



# ダンスパフォーマンスにおける自走型スクリーンを用いた隊形練習支援

土田, 修平  
寺田, 努  
塚本, 昌彦

---

**(Citation)**

情報処理学会論文誌, 56(5):1428-1441

**(Issue Date)**

2015-05-15

**(Resource Type)**

journal article

**(Version)**

Version of Record

**(Rights)**

© 2015 情報処理学会

**(URL)**

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90005149>



# ダンスパフォーマンスにおける 自走型スクリーンを用いた隊形練習支援

土田 修平<sup>1,a)</sup> 寺田 努<sup>1,2,b)</sup> 塚本 昌彦<sup>1,c)</sup>

受付日 2014年2月24日, 採録日 2015年2月4日

**概要:** 複数人でのダンスパフォーマンスでは音楽と振り付けが上手くリンクしているものであっても、隊形が崩れているとダンスパフォーマンスとしての質が大幅に低下してしまう。そのためダンスパフォーマンスにおいて、隊形の練習は振り付けの習得と同様に重要な要素となっている。隊形を上手く魅せるためには、バラつきなく人との間隔を保つことと、次の隊形へスムーズに移行することを意識しなければならない。しかし練習の際に1人でもダンサが欠ければ、隊形の適当な間隔を掴むことが困難となる。そこで本研究では、隊形練習において一部のダンサが欠けてもスムーズに練習を行うための自走型スクリーンを用いたダンス練習支援システムを提案する。システムの提案にあたって、1人で踊る、自走ロボットと踊る、プロジェクト映像と踊るの3つの隊形の練習手法のうち、どれが実際にダンサと2人で踊る練習手法の感覚に近いかを調査した。その結果から、プロジェクト映像と踊る手法が最も感覚が近く、自走ロボットと踊る手法が最も移動の再現性が高いことを確認した。これら2つの手法を組み合わせた隊形練習における一部のダンサが欠けてもスムーズに練習を行うための自走型スクリーンを用いたダンス練習支援システムを提案した。また、自走型スクリーンが自走ロボットと踊る手法とプロジェクト映像と踊る手法の利点をそれぞれ備えているか評価実験を行った。さらに、カーテンスクリーンを用いた再実験を行った。結果、提案手法は感覚の類似性が高いプロジェクト映像と踊る手法の利点を備えているが、位置の再現性が高い自走ロボットと踊る手法の利点は備えていなかった。

キーワード: ダンス, 練習支援, 自走ロボット, プロジェクト

## A System for Practicing Formations in Dance Performance Supported by Self-propelled Screen

SHUHEI TSUCHIDA<sup>1,a)</sup> TSUTOMU TERADA<sup>1,2,b)</sup> MASAHICO TSUKAMOTO<sup>1,c)</sup>

Received: February 24, 2014, Accepted: February 4, 2015

**Abstract:** When dancing in a group, collapsed formation will greatly reduce the quality of dance performance even if the choreography is synchronized with the music. Therefore, learning the dance formation in a group is as important as learning its choreography. It is also important to be aware of keeping the proper formation and moving smoothly into the next formation to perform professional level group dances. However, it is difficult to obtain the sense of a proper formation if some members of the dance cannot participate in the practice. In this work, We propose a practice-support system for performing the formation smoothly using a movable screen even if there is no dance partner. We investigated whether a sense of a presence provided with each method, such as dancing alone, dancing with a projected video and dancing with a self-propelled robot, for practicing formations was close to the sense we really dance with a human. From the result, we verified that the sense of dancing with a projected video is closest to the sense of dancing with a dancer, and the trajectory-information of dancing with a self-propelled robot is close to the trajectory-information of dancing with a dancer. Practicing in the situation similar to the real is able to be performed by combining these two methods. Furthermore, we investigated whether the self-propelled screen obtained the advantages of dancing with both methods and found that it only obtained advantages of dancing with projected video. In addition, we added dancing with a curtain screen into methods, and conducted the experiment again. The results from our experiments clearly revealed that dancing with a projected video in terms of human feelings, and dancing with a self-propelled robot in terms of the trajectory information were closest to the feelings and the movements of dancing with a dancer.

**Keywords:** dance, support system, self-propelled robot, projector

## 1. はじめに

近年、ダンススタジオの増加やキッズダンスの流行などによって、ダンスパフォーマンスによる身体表現能力やリズム感の向上に注目が集まっており、ダンスの初心者でも大人気でダンスパフォーマンスを披露する機会が増えている。複数人のダンスパフォーマンスでは、音楽と振り付けがうまくリンクしているものであっても、隊形が崩れているとダンスパフォーマンスとしての質が大幅に低下してしまう。ダンスパフォーマンスをうまく魅せるためには、ダンス間の適切な間隔を保つことと、次の隊形へスムーズに移行することを意識しなければならない。しかし練習の際に1人でもダンスが欠ければ、隊形の適切な間隔をとることが困難となる。

一方、これまでにダンスパフォーマンスを支援する様々な研究が行われている。振り付けの習得を支援するものとしては、モーションキャプチャ技術を用いた手法 [1], [2] や慣性センサを用いた手法 [3] などがある。技能習得のための手法 [4], [5] などは、動作を練習する際にどのように支援を行えば効果的であるかを検証しており、手本となる動きの表示の方法、動作の解析による手本と実際の動きの差の可視化などについて研究を行っている。しかし、筆者らが知る限りこれまで隊形練習に着目した研究は行われていない。そこでまず本研究では、隊形練習において一部のダンサが欠けてもスムーズに練習を行うための自走型スクリーンを用いたダンス練習支援システムを提案する。システムの提案にあたって、1人で踊る、自走ロボットと踊る、プロジェクト映像と踊るの3つの隊形の練習手法のうち、どれが実際にダンスと2人で踊る練習手法の感覚に近いかを調査した。その結果から、プロジェクト映像と踊る手法が最も感覚が近く、自走ロボットと踊る手法が最も再現性が高いことを確認した。これら2つの手法を組み合わせた隊形練習における一部のダンサが欠けてもスムーズに練習を行うための自走型スクリーンを用いたダンス練習支援システムを提案する。また、自走型スクリーンが自走ロボットと踊る手法とプロジェクト映像と踊る手法の利点をそれぞれ備えているか評価実験を行い調査した。さらに、カーテンスクリンを用いて自走型スクリーンを含めた再実験を行った。

以降、2章では関連研究について述べ、3章では隊形の練習方法を列挙し、自走型スクリーンを用いた隊形練習支

援システムの要件、隊形練習方法の評価実験の結果と考察、システム機能、構成について詳細に述べる。4章では自走型スクリーンの実装を行い、その評価実験と考察について述べる。5章ではカーテンスクリンを用いた再実験とその考察について述べる。6章で本論文のまとめを行う。

## 2. 関連研究

### 2.1 ダンスに利用されるロボット

近年、ロボティクス技術の進展にともないロボットが踊るための機構 [6], [7] や踊るヒューマノイドロボットが開発されている [8], [9], [10]。Xia らは人による複雑な入力なしでロボットを自動で踊らせるアルゴリズムを示しており [11]、Nakaoka らはダンスから得たモーションを元にロボットを踊らせるシステムを開発している [12]。しかし、これらの方法ではロボットを人間のようにはスムーズに振りや移動をさせることができない。また、人と踊る様々な自律型ロボットが開発されており [13]、Kosuge ら [14] が開発した社交ダンスパートナーロボット「PBDR (Partner Ballroom Dance Robot)」は社交ダンスに必要な動きを実現するための様々な機構が組み込まれている。このロボットは内蔵された6軸力覚センサで3方向の力とモーメントを受け取り、あらかじめロボットに記憶させておいた社交ダンスのステップをもとに、搭載したコンピュータを用いて動きをコントロールする。このため、ダンスパートナーのリードしたい方向を感じ相手の意図するステップを推定するといったことができる。しかしこのシステムは社交ダンスに特化しており、ストリートダンスパフォーマンスのような複数人での激しい動きや振りを行うダンスは考慮していない。文献 [15] では教示映像をつねに被験者の前に表示させ、さらに映像のみでは表現できない奥行きをロボットによって表現するダンストレーニングシステムを開発している。実際の移動の距離をロボットについていくことによって学ぶことができる。しかし、ロボットと対面して踊るため実際にダンスと隊形を組んで踊るような本番に近い感覚は得られないという問題がある。

### 2.2 ダンスの振り付け支援

ダンスなどの動作の振り付けの支援や動作の解析について、仮想世界を利用した手法 [16]、モーションキャプチャ技術を用いた手法 [17], [18], [19] や慣性センサを用いた手法 [20] など、様々な方法で行われている。文献 [21] ではDVカメラからユーザの動作を撮影し、ユーザがあらかじめ体の各部に着色されたマーカを装着することによって、カメラ映像の色識別から平面的なマーカ軌跡を取得、同時に加速度センサを装着し激しい動作の情報を取得し、これらを組み合わせた情報から振りの練習支援を行っている。これによりDVカメラのみを用いた支援よりも正確な振りの評価が可能となった。また、文献 [22] では振りを練習す

<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,  
Hyogo 657-8501, Japan

<sup>2</sup> 科学技術振興機構さきがけ  
PRESTO, Japan Science and Technology Agency, Chiyoda,  
Tokyo 102-0076, Japan

a) shuhei.t@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) gakkai.jiro@ipsj.or.jp

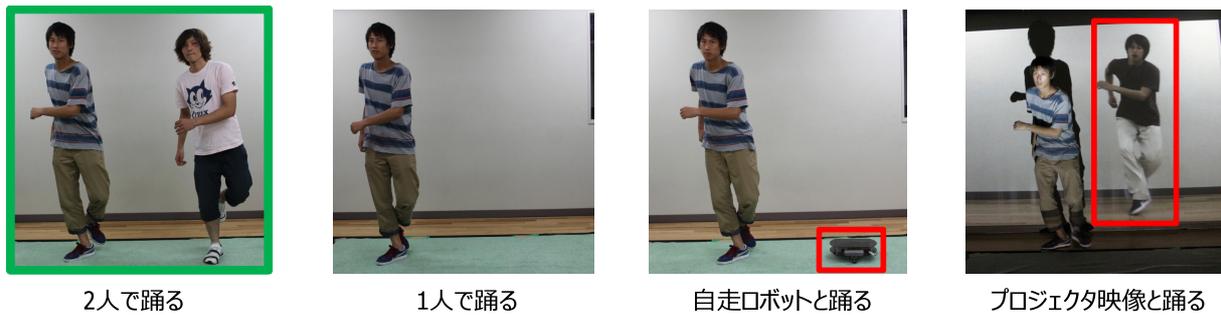


図 1 考えられる隊形練習手法

Fig. 1 Methods for practicing formations.

際の手本となるモデル映像の表示方法についても検討を行っている。この方法で手本となるモデル映像をユーザの映像に重ね合わせ、振りがどのように間違っているのか文字情報によって、振りの良否をスコアとして表示しユーザに提示する手法を提案している。さらに文献 [23] は、地域伝統舞踊における「動作の流れ」を理解するための学習支援システムを開発した。このシステムでは、振りができているという思い込みを正すために、踊り手がとらえている拍と動作がうまく対応しているかを明示することで手本となる動作との違いを提示した。このように、人の動作を解析し振り付けを支援する研究は数多く見られるが、隊形にまで考慮した研究は見られない。

以上により本研究では本番の感覚に近い隊形練習を行うための支援システムを提案する。

### 3. システム設計

#### 3.1 システム要件

本研究で提案する隊形練習時に一部のダンサが欠けてもスムーズに練習が行える隊形練習支援システムを構築するためには、以下の2つの要素が必要であると考えられる。ただし、ここでいう感覚は実際のダンサと踊る際に、視覚や聴覚、触覚、嗅覚などから得られる外的な刺激と、人や物に対する恐怖感、不信感といった心理的な距離から生じる内的な刺激を感知すること、感知する仕組みを意味する。**感覚の類似性** 実際にダンサと踊っている際の感覚と似ているか。ダンス練習時には、振り付けが揃っているかなど実際にダンサと踊った場合に得られる感覚の情報の共有が必要であり、感覚の類似性が重要であると考えられる。

**移動の再現性** 実際にダンサと踊っている際の移動と似ているか。実際にダンサと踊った際と同様の間隔の維持が必要であり、移動の再現性が重要であると考えられる。

ここで、感覚が類似性が高く移動の再現性が低いと実際にダンサと踊る際の移動とはまったく違う移動を習得することになり意味がないといえ逆にまた移動の再現性が高く感覚の類似性が低いと、実際にダンサと踊る際に感覚に違

和感を覚え振りや移動に影響を与える可能性があると考えられる。そのためこれら2つの要素は隊形練習支援システムにおいてともに必要であるといえる。

#### 3.2 隊形練習方法

通常のダンスの練習では、ダンサ全員が揃っている状態で鏡を見ながらの練習を行う。3.1節より隊形練習において一部のダンサが欠けた場合、それを補う手法として以下の3つが考えられる。

- あらかじめ撮影しておいた参考となる動画を見ながら踊る手法
- プロジェクタを用いて欠けているダンサを投影することによって欠けているダンサとの感覚を掴む手法
- 人間と同じ速度で移動する自走型ロボットを用いて、欠けているダンサの正確な移動を確認する手法

#### 3.3 隊形練習方法についての実験

##### 3.3.1 実験手順

まず、図1に3.2節から考えられる隊形の練習手法を示す。これらそれぞれの隊形練習手法のうち、左端に示す「2人で踊る」とそれ以外の3手法それぞれを比べて3.1節で述べた要件を満たすかどうか評価した。

実験手順は被験者に8拍を3回繰り返す、約12秒間の振りを参考動画をもとに覚えさせ、実際に2人のダンサで踊ってもらった。ここでいう拍は、4分音符を1拍として定義し、1拍の長さは約0.5秒とする。その後、図5に示す「自走型ロボットと踊る」「プロジェクタ映像と踊る」に加えて「1人で踊る」の3種類の隊形練習手法を行ってもらい、評価を行った。

今回、ダンサの代わりに映像、自走ロボットを用いており、これらと踊る際には、人の五感に加え、「もの」に対する恐怖感、不信感といった心理的な距離が大きく変化すると考えられる。本研究において提示された「もの」と一緒に踊っている際の感覚の差を調査するためにも、感覚の差に大きく影響を与える存在感の影響を考慮した振り付けを設定する必要がある。そのため、実験で用いた振りには、提示される存在感による影響が大きいと考えられる以下の

表 1 アンケートの質問項目  
Table 1 Question items.

|      |  |
|------|--|
| 質問 1 | 前後の交差を行うとき、<br>ダンサと踊る際の感覚に近かったか？         |
| 質問 2 | すばやくダンサと接近するとき、<br>ダンサと踊る際の感覚に近かったか？     |
| 質問 3 | 横並びで間隔を保ちながら移動するとき、<br>ダンサと踊る際の感覚に近かったか？ |
| 質問 4 | 振り、動作はしやすかったか？                           |
| 質問 5 | 距離感を掴みやすかったか？                            |



図 2 OMNIKIT2010  
Fig. 2 OMNIKIT2010.

3つの要素が含まれている。

- 交差 ↑↓: 前後に交差するように移動する。
- 接近 → ←: すばやく相手と接近する。
- 平行移動 → →: 一定の距離を保ちながら移動する。

評価項目は 3.1 節であげた「感覚の類似性」と「移動の再現性」で「感覚の類似性」の評価には実験後アンケートに答えてもらった。表 1 にアンケートの質問項目を示す。この質問項目は振りに含まれる 3つの要素を考慮した5つであり、それぞれ 5段階評価で評価してもらった。「移動の再現性」の評価には Microsoft 社の Kinect [24] を用い、実験中のダンサの移動を記録した。Kinect の誤差は数センチ程度であり、移動の記録には十分だと考えられる。また、今回行う移動の速度は 1.2 m/sec 程度であり、十分な精度での認識が可能であるといえる。なお、ダンサと 2人で踊る手法を含めどの手法も手法ごとに 3回ずつ行った。

さらに、各手法の詳細を以下に示す。

1人で踊る 鏡を見ながら 1人で踊る。

自走ロボットと踊る 8方向へ移動可能な自走ロボット、OMNIKIT2010 [25] を見本となるダンサの振り付けを基に出発地点、方向転換を行う地点、終着地点をそれぞれ定め、音楽に合わせて付属の無線コントローラで手動での操縦を行い、そのロボットと踊る。図 2 および表 2 に OMNIKIT2010 の外観と主な仕様を示す。

プロジェクタ映像と踊る プロジェクタを用いて欠けているダンサを壁に投影した映像と踊る。ダンサの映像はあらかじめ見本となるダンサの振りを撮影した映像を利用する。プロジェクタをユーザに向かって投影する

表 2 OMNIKIT2010 の主な仕様  
Table 2 Hardware specification of OMNIKIT2010.

|           |   |
|-----------|---|
| CPU       | VS-WRC003 (Vstone Co., Ltd)<br>ルネサステクノロジ社製 H8/36064G<br>センサ入力アナログ入力× 4<br>モータ出力 DC モータ× 4 |
| サイズ       | 350 mm×350 mm×128 mm  |
| 重量        | 2.6 kg  |
| 耐荷重       | 3 kg  |
| 連続駆動時間    | 約 30 分  |
| 駆動車輪      | スリットウレタンオムニ TYPE2581  |
| 移動速度 (前進) | 2.9 m/s   |

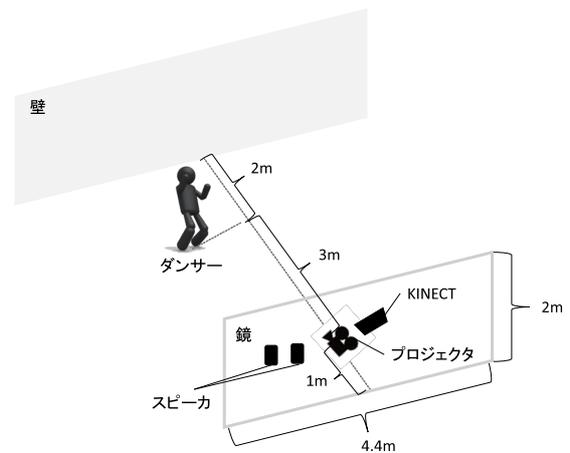


図 3 実験時の構成図

Fig. 3 System configuration for the experiment.

場合、眩しさを感ずると考えられる。ここで、実際のステージパフォーマンスではスポットライトなど非常に強いライトがステージを照らしており、場合によっては観客が見えない状況が起こりやすいことを考慮すると、眩しいという状況はより本番に近い環境で練習することができるため、良い練習環境であるといえる。しかし、ダンサと踊る感覚に影響を与える可能性があるため、アンケート結果には十分注意を払う必要がある。

今回複数人ではなく、2人での実験を行った理由としては、まずは人と映像、人と自走ロボットの関係をそれぞれ調査する必要があり、複数人で実験を行った場合、手法間で差が生じた原因として、それが人の影響なのか、その他の影響なのか判断が難しいことがあげられる。

最後に、実験時の構成図を図 3 に示す。実験は研究室にある奥行 6m、横幅 7m のスタジオにて行った。プロジェクタ、KINECT、スピーカーは鏡から 1m 離れた箇所に設置し、ダンサは鏡から 4m 離れた箇所を初期位置とした。扉をすべて閉じ、外部からの音ができるだけ入らないように努めた。また、プロジェクタ映像を使用する際は、部屋の電気を消した環境で行った。

表 3 評価アンケート集計結果  
Table 3 Results from questionnaire.

|             | 質問 1 |     | 質問 2 |     | 質問 3 |     | 質問 4 |     | 質問 5 |     |
|-------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|             | 平均   | 分散  |
| 1人で踊る       | 2.0  | 1.6 | 1.7  | 0.4 | 2.1  | 1.2 | 3.8  | 1.7 | 1.4  | 0.2 |
| 自走ロボットと踊る   | 3.0  | 1.1 | 2.7  | 2.2 | 2.6  | 1.8 | 2.0  | 1.6 | 2.6  | 1.1 |
| プロジェクタ映像と踊る | 2.0  | 0.7 | 3.2  | 0.8 | 3.4  | 1.1 | 4.1  | 0.8 | 2.9  | 0.3 |

表 4 2人で踊る手法とそれぞれの手法との移動のずれの平均 (mm)  
Table 4 Average distance between each method and the method of dancing with a dancer (mm).

| 被験者番号       | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1人で踊る       | 246 | 190 | 298 | 432 | 359 | 308 | 589 | 341 | 289 |
| 自走ロボットと踊る   | 203 | 197 | 415 | 370 | 255 | 190 | 483 | 261 | 306 |
| プロジェクタ映像と踊る | 206 | 211 | 519 | 552 | 279 | 263 | 282 | 237 | 471 |

```

S=0;
for(m=0;m<3;m++){
  for(n=0;n<3;n++){
    for(i=0;i<N;i++){
      Min=∞;
      for(j=0;j<M;j++){
        if(Min>|Ti-Tj|){ //時間の差が最小値より小さい時
          Min=|Ti-Tj|; X'=X'j; Y'=Y'j;
        }
      }
      Di=sqrt((Xi-X')^2+(Yi-Y')^2);
      S+=Di; //N回計算した距離を加える
    }
    Ave+=S/N ; //距離の平均値を算出する
  }
}
Ave'=Ave/(3*3) ; //総当たりの平均を算出する

```

図 4 2人で踊る練習手法と他の練習手法との移動のずれの平均値を算出するためのアルゴリズム

Fig. 4 Algorithm for calculating the average distance.

3.3.2 被験者

被験者は平均年齢 21.8 歳の男性 5 名, 女性 4 名, 3 年以上のストリートダンス経験を持つ計 9 名である。

3.3.3 結果と考察

表 3 にアンケート結果を, 表 4 に 2 人で踊る練習方法と他の隊形練習方法との移動のずれの平均を, 図 5 に被験者 1 人が移動した具体的な軌跡を示す。ここで, 図 4 に 2 人で踊る練習手法と他の練習手法との移動のずれの平均値を算出するためのアルゴリズムを示す。1 つのデータ (たとえば 2 人で踊る 1 回目) ともう一方のデータ (たとえばロボットと踊る 2 回目) の距離の平均値 Ave を算出する。このように 2 人で踊る手法 1~3 回とロボットと踊る手法 1~3 回を総当たりして算出した 9 つの距離の平均値をさらに手法の比較回数である 9 で割った平均値 Ave' を求める。平均値 Ave' を移動のずれの平均値とする。

ただし 2 人で踊る手法のある位置での時間を  $T_i$ , 位置データの個数を  $N$ , 被験者の 2 次元上での位置を  $(X_i, Y_i)$ , 他の手法で踊る手法のある位置での時間を  $T_j$ , 位置

データの個数を  $M$ , 被験者の 2 次元上での位置を  $(X'j, Y'j)$  とする。

実験結果をもとにどの手法が実際に 2 人で踊る手法の感覚と移動に近いかの考察を行う。

質問 1 に関して, Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ, 有意差は存在しなかった ( $X_2 = 4.69, p > 0.05$ )。数値としては自走ロボットと踊る手法の評価が他の手法と比べ最も高かった。これはプロジェクタ映像には奥行きがなく分かりにくいというえに映像に意識が向いてしまったこと, 1 人で踊る手法では隣に合わせるものがないため分かりにくく鏡を利用して奥行きについては感覚が分からないこと, また, 前後の交差ではロボットにぶつかる心配が少ないために自走ロボットとの距離をとりやすかったことなどが原因として考えられる。被験者のコメントとして, 1 人で踊るよりも自走ロボットと踊る方が感覚を掴みやすいと回答していた。また, 別の被験者は 1 人の方が踊るときに感覚を得やすいと回答しており, 頭の中で前と後ろで大きく動くという感覚が作られて

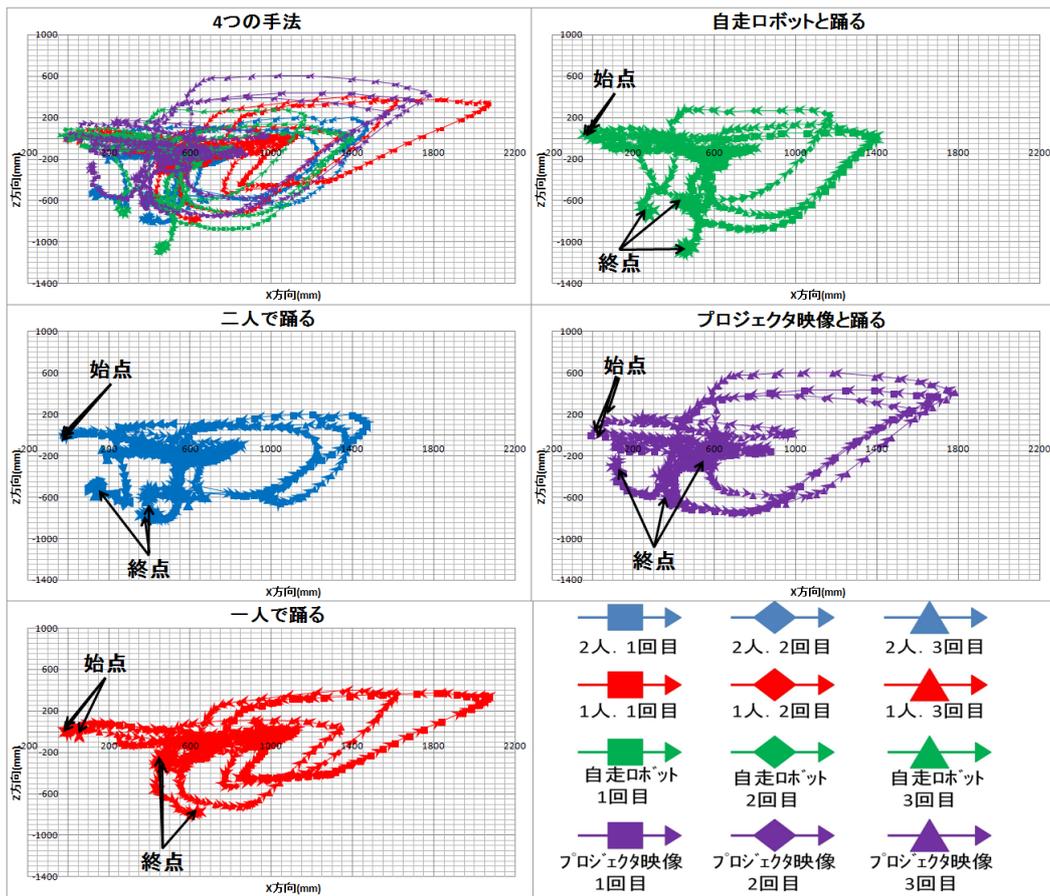


図 5 被験者 1 人の移動の軌跡  
Fig. 5 Trajectory for a subject.

いたので、前後移動の際には 1 人でも一緒に踊っているようなイメージをしやすいと回答している。さらに、1 人で踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法については評価が等しいことが分かる。これは隣に何も物体が存在しないことが影響しているのではないかと考えられる。プロジェクタ映像と踊る手法に関しては分散値が小さく、1 人で踊る手法と比べて多くのダンスが実際のダンスと踊る際の感覚とは違うと感じていることが分かる。

質問 2 に関して、Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ、有意差が存在した ( $X_2 = 7.20, p < 0.05$ )。次に、それぞれの手法間において Scheffe の方法を用いて平均値の差の検定を行ったところ、1 人で踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法の平均値の差においてのみ有意差が存在した ( $X_2 = 7.15, p < 0.05$ )。これは、1 人で踊る手法よりもプロジェクタ映像と踊る手法の方がダンスに接近する感覚に近いといえる。また、数値としてはプロジェクタ映像と踊る手法の評価が最も高いことが分かる。これは、横移動を行うときに奥行きは関係ないこと、他の手法と比較して一緒に踊る人やロボットと衝突する心配がなく、最も適切な間隔をとりやすかったことが原因であると考えられる。また、自走ロボットと踊る手法には、自走ロボットがつねに一定のスピードでしか移動できず、

人の移動のように自然な移動ができないこと、ロボットに高さがないため踏まないように意識が足元に向いてしまうことなどにより、被験者の注意が必要以上に自走ロボットに向いてしまったことが感覚を掴みにくかった原因と考えられる。また、1 人で踊る手法には、近づいてくるダンスがないために接近する感覚はほとんどなかったこと、ダンスという基準がないのでどの程度移動すれば良いか分からないことなどが低い評価の原因と考えられる。自走ロボットと踊る手法と 1 人で踊る手法を比較すると自走ロボットと踊る手法の方が高い評価を得ている。これは、自走ロボットと踊る手法の分散値が大きく、何人かは高評価をあげていたため評価が高くなったこと、1 人で踊る手法の分散値は小さく、ほぼすべてのダンスの評価が低かったためと考えられる。自走ロボットと踊る手法において評価を高くしたダンスが数名確認された理由としては、実際にロボットが近づいてくるので、距離を意識しやすくダンスと踊る手法の感覚に近かったためであると考えられる。

質問 3 に関して、Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ、有意差が存在しなかった ( $X_2 = 4.53, p > 0.05$ )。数値としてはプロジェクタ映像と踊る手法の評価が一番高かった。原因としては、質問 2 と同様であると考えられる。また、1 人で踊る手法には質問 2

であげた原因に加え、ダンスという基準がなく歩幅を調整しようとする意識が低くなってしまったことが評価を下げる原因である可能性も考えられる。また、質問2に比べて質問3のほうが1人で踊る手法の評価が高くなっていった。これは、1人で大きく1歩を踏み出す際の方が不安が大きく、すばやく接近したり前後に交差するといった大きな動きに対して、横並びで移動という小さな動きでの細かい調整であったために、質問2よりも質問3のほうが感覚としての評価が高かったと考えられる。自走ロボットと踊る手法には、自走ロボットという基準があるために、大きく踏み出してすばやく接近することと、横並びで小さな動きで調整しながら移動することとは、感覚の差がほとんど生まれなかったため、評価が質問2とほぼ同様であったと考えられる。自走ロボットと踊る手法と1人で踊る手法を比較すると自走ロボットと踊る手法の方が評価が高く、また他の質問項目と比べ、数値の差が小さい。これは、質問1と比べて自走ロボットと踊る手法の評価が下がっていることから、横並び移動では他の移動と比べつねに自走ロボットと衝突する可能性が生じたため、感覚に違和感を覚えたのではないかと考えられる。

質問4に関して、Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ、有意差が存在した ( $X_2 = 8.73$ ,  $p < 0.05$ )。次に、それぞれの手法間において Scheffe の方法を用いて平均値の差の検定を行ったところ、自走ロボットと踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法の平均値の差においてのみ有意差が存在した ( $X_2 = 7.49$ ,  $p < 0.05$ )。これは、自走ロボットと踊る手法よりもプロジェクタ映像と踊る手法の方が振り、動作がしやすいといえる。また、数値としてはプロジェクタ映像と踊る手法の評価が最も高いことが分かる。隣に何もいないという状況は1人で踊る手法と同様であるのに評価の差が出た原因としては、距離感の掴みやすさの違いが振りの踊りやすさにも影響したと考えられる (質問5参照)。また、踊っている映像を鏡越しに確認できるので、一緒に踊っているような感覚を得られたことも一因してあげられる。1人で踊る手法には、評価の分散値が高く、衝突する心配がないので振りや動作を大きく行えたと感じた人は評価を高くし、見本となるものが見えないために不安を感じた人は評価を低くするなど評価が2極化した。また、ダンスやロボットの有無が振り、動作への影響は感じないと答えた被験者が1人いた。これは、被験者がふだんからダンスショーを想定した練習よりも、個人で踊る場面を想定した練習を行ってきたことが原因と考えられる。自走ロボットと踊る手法には、質問2、質問3でも述べたように自走ロボットの動きが自然でないためそちらに注意が向いてしまい、振りや動作がおろそかになってしまったこと、自走ロボットの動きが音にあっていなかったため踊りにくかったこと、自走ロボットの音に気をとられたことなどが評価が低い原因として考えられ

る。また、自走ロボットと踊る手法と1人で踊る手法を比較すると1人で踊る手法の方が評価が高い。これは、自走ロボットと踊るという経験がダンスにはなく、自走ロボットに対する信頼が低いことが1人と踊る手法と比べて大きく評価を下げた原因の1つではないかと考えられる。

質問5に関して、Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ、有意差が存在した ( $X_2 = 11.01$ ,  $p < 0.05$ )。次に、それぞれの手法間において Scheffe の方法を用いて平均値の差の検定を行ったところ、1人で踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法の平均値の差においてのみ有意差が存在した ( $X_2 = 10.18$ ,  $p < 0.05$ )。これは、1人で踊る手法よりもプロジェクタ映像と踊る手法の方が距離感が掴みやすいといえる。また、数値としてプロジェクタ映像と踊る手法の評価が最も高いことが分かる。原因としては、奥行き距離感が掴みにくくとしても、質問2、3での評価が高く全体としては距離感を掴みやすかったためであると考えられる。1人で踊る手法には、基準となるダンスや自走ロボットがなく距離感が掴みにくかったため、評価は低かった。自走ロボットと踊る手法については、質問2、3での評価がそのまま反映されたためか、評価は2極化した。また、自走ロボットと踊る手法と1人で踊る手法を比較すると自走ロボットと踊る手法の方が評価が高い。これは、プロジェクタ映像と踊る手法と同じく、距離感を測る際に基準となるものを提示されているほうが距離感を取りやすいと感じやすいためと考えられる。

よってこれら質問項目の結果から、ダンスの感覚はプロジェクタ映像と踊る手法が最も2人で踊る手法に近いことが分かった。

次に移動のずれについての考察を行う。まず、移動のずれの算出した平均値が短い程2人で踊る手法の軌跡と近似しているため、正しく位置取りができたといえる。被験者1から被験者9に関してそれぞれ Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ、すべての被験者において有意差が存在した ( $p < 0.05$ )。次に、それぞれの手法間において Scheffe の方法を用いて平均値の差の検定を行ったところ、被験者1の1人で踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法の平均の差 ( $X_2 = 1.50$ ,  $p > 0.05$ )、被験者2の1人で踊る手法と自走ロボットと踊る手法の平均値の差 ( $X_2 = 4.77$ ,  $p > 0.05$ ) においてのみ有意差が存在しなかったが、他のすべての手法間については有意差が存在した ( $p < 0.05$ )。

表4の結果から、9人中4人は自走ロボットと踊る手法、3人は1人で踊る手法、2人はプロジェクタ映像と踊る手法が最も距離が短く、9人中6人はプロジェクタ映像と踊る手法、3人は1人で踊る手法が最も距離の平均が大きくなった。また有意差がすべての手法間で確認できた7人中3人は自走ロボットと踊る手法、2人は1人で踊る手法、2人はプロジェクタ映像と踊る手法が最も距離が短く、7人

中5人はプロジェクタ映像と踊る手法、2人は1人で踊る手法が最も距離の平均が大きくなった。このことから、自走ロボットと踊る手法が最も2人で踊る手法の移動に近いことが分かる。また結果から1人で踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法とではすべての被験者において有意差が確認され、9人中6人が1人で踊る手法の方が2人で踊る手法の移動に近く、より上手く移動を再現できたといえる。これはプロジェクタ映像により実際とは少しずれた位置を提示したことが原因であると考えられる。

以上により自走ロボットと踊る手法は、実際の位置取りとしては最も正確に行っていたことになる。これは1人で踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法では隣に何も存在するものはないが、自走ロボットと踊る手法は実際に隣に自走ロボットが存在するため、自走ロボットという基準ができて位置取りがしやすかったことや、質問2のアンケート結果からもいえるようにダンスと踊る手法と同様に衝突しないように無意識に移動が制限されたことなどが考えられる。

#### 4. 自走型スクリーン

##### 4.1 システム設計

アンケート結果、移動のずれの考察から、感覚の類似性においてはプロジェクタ映像と踊る手法が、位置の再現性においては自走ロボットと踊る手法がそれぞれ2人で踊る手法の感覚、移動に近いことが分かった。これらをふまえて提案システムでは、3.1節で述べた要求を満たすように下記のとおり設計した。

システムの構成を図6に示す。提案システムはダンスの動きを再現する自走ロボットとそれを制御する小型PC、深度計測カメラから得られた移動データや動画を処理し小型PCやプロジェクタに送信するためのメインPC、ダンスの音源を再生するスピーカなどから構成されている。システムの流れとしては、まず練習を行う前に深度計測カメ

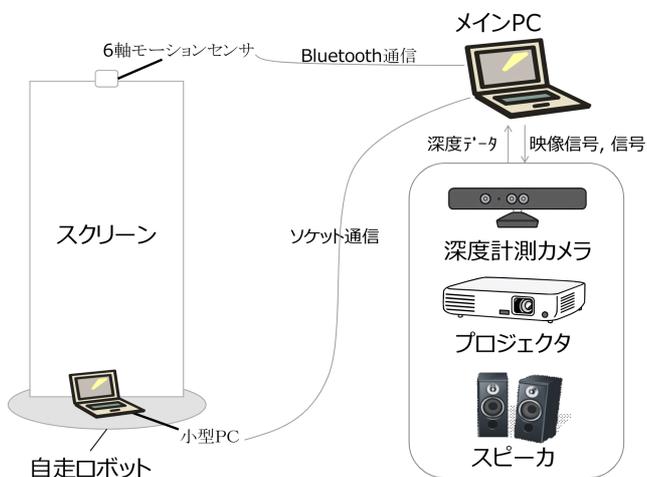


図6 システム構成  
Fig. 6 System structure.

ラを用いて、欠けるダンスの振りつけを撮影し、その移動の軌跡と映像を取得およびメインPCに保存する。その後提案システムは練習時に欠けたダンスの映像をスクリーンへ投影し、保存された移動の軌跡データを小型PCに送信し自走ロボットを動かすことで隊形練習を支援する。ここで、自走ロボットは人の動作に近い移動をスムーズに行えるように、8方向に移動可能で、モータの回転を細かく制御できるものを用いた。

また、ダンスが移動する移動を正確に再現するために、Kinectと6軸モーションセンサを用いてリアルタイムでの移動を取得し補正する。まず、深度計測カメラを用いてスクリーンの位置補正を行う。これは自走ロボットの特性により、数十センチ程度ずれが生じることがあるためであり、具体的には深度計測カメラからスクリーンの現在を取得し、目的の位置からずれた場合に自動で目的の位置にスクリーンを移動させるように制御する。これにより、自走型スクリーンを正確に指定した座標に動かすことができる。次にスクリーンの角度を補正する。図7にスクリーンの補正の模式図を示す。図7において、スクリーンに向かって左端の深度を $Z_1$ 、右端の深度を $Z_2$ 、2点間のX軸方向の距離を $X_{12}$ とする。提案システムは式(1)を用いて $\theta$ が0になるように補正をかける。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Z_2 - Z_1}{X_{12}} \quad (1)$$

最後に、大きな移動のずれを防ぐためスクリーンの揺れを6軸モーションセンサで取得する。前後に移動した際などスクリーンが大きく揺れてしまい、スクリーンの面をプロジェクタの投影方向に対し垂直に補正する際がうまく働かない場合あり、次の移動に影響を及ぼしてしまう。そのため、スクリーンの大きな揺れを取得し、揺れが大きい際には補正を一時停止することにより、大きな移動のずれを防ぐことができる。

これらにより、ダンスの映像がスクリーンに投影され、投影されたダンスを鏡越しに確認したときなどの場合に前面にプロジェクションした際と同じ効果が得られると考えられる。

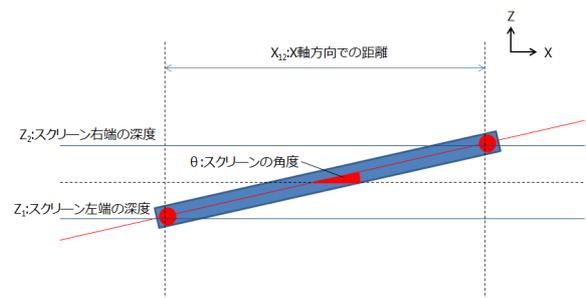


図7 角度補正の模式図  
Fig. 7 Correction of angle.



図 8 自走型スクリーンの外観

Fig. 8 A snapshot of using the system.

#### 4.2 自走型スクリーンの実装

実装したシステムの外観を図 8 に示す。自走ロボットとしては 3.3.1 項で用いた OMNIKIT2010 に 6 軸モーションセンサを取り付けたスクリーンを設置した。スクリーンは風の抵抗を少なくするために網戸のネットを用いた。さらにロボットには小型 PC (SONY 社の VGN-UX90PS) を搭載している。スクリーンの 3 次元位置を計測するメイン PC には、深度計測カメラ (Microsoft 社の Kinect)、プロジェクタ (BenQ 社の MP522 ST)、スピーカ (BOSE 社の Computer MusicMonitor) が接続されている。

アプリケーションは Microsoft Visual Studio 2010 で、C# を用いて開発した。メイン PC と小型 PC 間の通信には Socket 通信、6 軸モーションセンサとのシリアル通信を用いている。また、メイン PC の画面には自走型スクリーンの現在地から目的地までの距離、Kinect と水平な方向を基準としたスクリーンの傾き、プログラムの現在の進行状況、目的地の座標をリアルタイムで表示する。提案システムの時間的な遅れは MainPC と小型 PC 内での処理に約 80 msec、これに Wi-Fi を介しての通信時間を足した時間である。今回、システムに関する評価実験を行っていないため、この時間遅れがユーザの感覚と移動に及ぼす影響は確認できていない。

#### 4.3 自走型スクリーンについての評価実験

##### 4.3.1 実験の手順

次に自走型スクリーンがプロジェクタ映像と踊る手法、自走ロボットと踊る手法のメリットをそれぞれ備えているかについて評価実験より検証する。被験者には 8 拍を 2 回繰り返して、約 8 秒間の 3 つの振りを参考動画をもとに覚えさせた。ここでいう拍は、4 分音符を 1 拍として定義し、1 拍の長さは約 0.5 秒とする。これら 3 つの振りは、3.1 節で述べた提示される存在感による影響が大きいと考えられ

表 5 アンケートの質問項目

Table 5 Question items.

|      |                    |
|------|--------------------|
| 質問 1 | ダンスと踊る手法の感覚に近かったか? |
| 質問 2 | 距離感を掴みやすかったか?      |

表 6 自走型スクリーンの評価実験アンケート結果

Table 6 Results from questionnaire.

| 質問<br>手法番号 | 1                 |     |     | 2   |     |     |     |
|------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            | 1                 | 2   | 3   | 1   | 2   | 3   |     |
| 接近移動       | Ave. <sup>1</sup> | 3.0 | 2.9 | 2.9 | 2.2 | 2.8 | 2.7 |
|            | S.D. <sup>2</sup> | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 1.4 |
| 平行移動       | Ave. <sup>1</sup> | 1.7 | 3.5 | 3.1 | 2.4 | 3.4 | 3.3 |
|            | S.D. <sup>2</sup> | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 1.4 | 1.1 | 1.4 |
| 前後交差       | Ave. <sup>1</sup> | 1.8 | 2.9 | 3.1 | 2.7 | 2.9 | 3.4 |
|            | S.D. <sup>2</sup> | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 1.2 | 0.9 | 1.4 |

<sup>1</sup> 平均値, <sup>2</sup> 標準偏差

る交差、接近、平行移動の 3 つの要素が対応している。

評価項目は 3.1 節であげた「感覚の類似性」と「移動の再現性」で「感覚の類似性」の評価には実験後アンケートに答えてもらった。表 5 にアンケートの質問項目を示す。それぞれ 5 段階評価で評価してもらった。「移動の再現性」の評価には Microsoft 社の Kinect [24] を使い、実験中のダンスの移動を記録した。なお、ダンスと 2 人で踊る手法を含めどの手法も手法ごとに 3 回ずつ行った。

さらに、各実験方法の詳細を以下に示す。

**手法 1** OMNIKIT2010 を付属の見本となるダンスの振り付けを基に出発地点、方向転換を行う地点、終着地点をそれぞれ定め、音楽に合わせて無線コントローラで手動での操縦を行ったものと踊る。

**手法 2** プロジェクタを用いて欠けているダンスを壁に投影した映像を鏡越しに確認しながら踊る。ダンスの映像はあらかじめ見本となるダンスの振りを撮影した映像を利用する。

**手法 3** 自走ロボットと踊る手法と同様に、無線コントローラで手動での操縦を行った自走型スクリーンと踊る。スクリーンに投影する映像は手法 3 で使用した映像と同様である。

今回複数人ではなく、2 人での実験を行った理由としては、3.3.1 項で述べた理由と同様である。

最後に、実験時の構成図は 3.3.1 項で述べた環境と同様である。

##### 4.3.2 被験者

被験者は平均年齢 22.2 歳の男性 6 名、女性 3 名、3 年以上のストリートダンス経験を持つ計 9 名である。

##### 4.3.3 結果と考察

表 6 にアンケート結果を、表 7 に 2 人で踊る手法とそれぞれの手法との移動のずれの平均を示す。実験結果を基にどの手法が実際に 2 人で踊る手法の感覚と移動に近いか

表 7 2人で踊る手法とそれぞれの手法との距離の平均 (mm)  
**Table 7** Average distance between each method and the method of dancing with a dancer (mm).

| 手法番号 |                   | 1   | 2   | 3   |
|------|-------------------|-----|-----|-----|
| 接近移動 | Ave. <sup>1</sup> | 127 | 87  | 137 |
|      | S.D. <sup>2</sup> | 125 | 68  | 158 |
| 平行移動 | Ave. <sup>1</sup> | 177 | 135 | 224 |
|      | S.D. <sup>2</sup> | 162 | 120 | 201 |
| 前後交差 | Ave. <sup>1</sup> | 149 | 107 | 126 |
|      | S.D. <sup>2</sup> | 124 | 81  | 117 |

<sup>1</sup> 平均値, <sup>2</sup> 標準偏差

の考察を行う。2人で踊る手法とそれぞれの手法との移動のずれの平均値を接近移動については以下の式(2), 平行移動については以下の式(3), 前後交差については以下の式(4)に従って算出した。

$$Ave = \frac{1}{9} \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 d(k, l) \quad (2)$$

$$Ave' = \frac{1}{9} \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 d'(k, l) \quad (3)$$

$$Ave'' = \frac{1}{9} \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 d''(k, l) \quad (4)$$

ただし,

$$d(k, l) = |\max X_i - \max X'_j|$$

$$d'(k, l) = |(\max X_i - \min X_i) - (\max X'_j - \min X'_j)|$$

$$d''(k, l) = |(\max Y_i - \min Y_i) - (\max Y'_j - \min Y'_j)|$$

1つのデータ(たとえば2人で踊る1回目)での最もダンサ側に近づいた値と最も遠ざかった値をそれぞれ移動の最大値と最小値によって算出する。このようにすべての手法において最大値と最小値を求め、それらを実験回数である総和で割ることによってそれぞれ最大値の平均値 Ave, 最小値の平均値 Ave' を求める。また,  $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M$  とし, 2人で踊る手法の位置データの個数を  $N$ , 練習回数を  $k$ , 被験者の2次元上での位置を  $(X_i, Y_i)$ , 他の手法で踊る手法の位置データの個数を  $M$ , 練習回数を  $l$ , 被験者の2次元上での位置を  $(X'_j, Y'_j)$  とする。

質問項目に関してそれぞれ Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ, 平行移動の質問1についてのみ有意差が存在した ( $X_2 = 7.92, p < 0.05$ )。次に, それぞれの手法間において Scheffe の方法を用いて平均値の差の検定を行ったところ, 平行移動の質問1における自走ロボットと踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法の平均の差についてのみ有意差が存在した ( $X_2 = 7.20, p < 0.05$ )。平行移動については前後移動のように映像のダンサの大きさが変化しないことや, 接近移動よりもリズムを合わせるタイミングが多かったことなどが違いとしてあ

げられる。ダンサの映像の大きさが変化すると, 通常よりも大きい, または小さいダンサの映像と踊ることとなり, そこから得られる違和感が感覚に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。また, ダンスパフォーマンスでは拍のタイミングがお互いの息を合わせるタイミングであり, ダンサと踊る感覚が最も強く得られると考えられる。リズムを取るタイミングは, 振り付けから平行移動, 前後移動がそれぞれ拍ずつの移動に対して, 接近移動では2拍分の移動となるため, リズムを合わせる拍数は平行移動の方が多くなっており, よりダンサと踊る感覚に近かったのではないかと考えられる。そのため, これらの違いがプロジェクタ映像と踊る手法がダンサと踊る手法の感覚により近くなった原因ではないかと考えられる。また表6から, 自走型スクリーンと踊る手法の質問1, 2の評価がプロジェクタ映像と踊る手法に近いことが分かる。このことから自走型スクリーンは感覚の類似性が高いプロジェクタ映像と踊る手法の利点を備えているといえる。

次に移動のずれについての考察を行う。

算出した平均値が小さいほど2人で踊る手法の移動と近似しているため, 正しく位置取りができたといえる。それぞれの実験項目に関して Kruskal-Wallis 検定を用いて平均値の差の検定を行ったところ, 平行移動についてのみ有意差が存在した ( $X_2 = 8.13, p < 0.05$ )。次に, それぞれの手法間において Scheffe の方法を用いて平均値の差の検定を行ったところ, 平行移動の自走型スクリーンと踊る手法とプロジェクタ映像と踊る手法の平均の差についてのみ有意差が存在した ( $X_2 = 8.12, p < 0.05$ )。平行移動については自走型スクリーンの方が自走ロボットよりも不規則な動きが生じたときにスクリーンが揺れるなどのダンサの移動を制限する影響が多く出たことが差が出た原因ではないかと考えられる。表7から, 手法1から3において自走型スクリーンと踊る手法の距離の平均値が最も高くなったことが分かる。このことから, 自走型スクリーンは位置の再現性が高い自走ロボットと踊る手法の利点を備えていなかったといえる。

実験結果より, 自走型スクリーンは感覚の類似性が高いプロジェクタ映像と踊る手法の利点を備えていたが, 位置の再現性が高い自走ロボットと踊る手法の利点を備えていなかった。考えられる原因としては, 自走型スクリーンが床との摩擦の影響により不規則な動きをしたため必要以上の存在感を持ったこと, またスクリーンとの衝突の際に怪我の恐れがあり無意識に動きが強く制御されたこと。さらにスクリーンの速度が足りず映像がスクリーンから外れてしまい距離の取り方に戸惑いが生じてしまったことなどがあげられる。

ここで, 見本となるダンサの実際の振り付けから, 対象となる踊りで想定される平均・最大速度を導出したところ, 平行移動の平均速度は約 0.5 m/sec, 最大速度は約 1.3 m/sec,

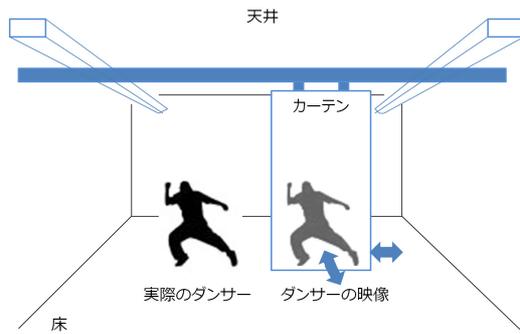


図 9 2軸動作可能な電動カーテンの配置, 移動方向  
Fig. 9 Settings of two-axis movable curtain.



図 10 カーテンレールにスクリーンを天井から吊るした機構の外観  
Fig. 10 A snapshot of dancing with a curtain.

前後移動の平均速度は 0.4 m/sec, 最大速度は 1.0 m/sec, 接近移動の平均速度は 0.5 m/sec, 最大速度は 1.6 m/sec であり, 自走型スクリーンの最大速度は約 1.3 m/sec であるため, 接近移動に関しては実際のダンサーの最大速度に達していないことが分かった. そのため想定する接近移動の最高速度を満たす機構を用いて, 再実験する必要がある. しかし, 人型大のスクリーンをホイールによって移動させる機構では人間の接近移動のように移動開始から最大速度に達するまでの時間を短くすることは厳しい. そこで, カーテンレールにスクリーンを天井から吊るした機構を新たに作製し, 4.3 節と同様に手動でスクリーンを移動させ, 再実験を行った.

作製したスクリーンの配置, 移動方向についてに図 9 に, スクリーンの外観を図 10 に示す.

2本のカーテンレールを平行に天井に取り付け, それらに対し垂直に新たに1本のカーテンレールを先程の2本のカーテンレールで吊るしている. これによりカーテンを前後左右に移動させることができる. 横方向の移動についてはナビオ社の電動カーテンレール TV24 の回転部分を加工したカーテンレールを利用した. モーターがレール上に敷か

れたワイヤーを巻き取るように回転させることによって, カーテンが移動する. 回転部分はモーターとカーテンが動作する部分とのギア比が低かったために, モーターの回転が直接カーテンレールを動作させる部分とつながるよう加工した. これにより最大速度は 1.4 m/sec に達した. 前後方向については横移動に使用した電動カーテンレールの両端に垂直に2つのカーテンを取り付け, 電動カーテンレール自体を移動させることによって可能にしている. 前後方向については手動での移動のみとなっており, 今後横方向と同様にモーターを取り付け自動化を目指す. スクリーンは風が抜けやすいようレースカーテンを使用している.

カーテンレールを利用した機構を作製した理由としては, カーテンレールが固定されており移動方向がずれないため不規則な動きを抑えられること, また床を走る自走ロボットを必要としないためより近い距離ですれ違うような練習ができる. さらに重量があるモーターごと移動させる必要がないため高出力のものを利用できさらなるスピードの上昇が期待できるなどあげられる. しかし, カーテンレールを天井などに設置するなど仕掛けが大きくなること, 複数人での利用方法が限定されてしまうことなどの欠点もあげられる. これらを考慮したうえで実験を行った.

## 5. カーテンスクリーンについての調査

### 5.1 カーテンスクリーンの評価実験

カーテンスクリーンによる影響を調べるために考えられるそれぞれの隊形練習手法において, 実際にダンサー2人で踊る際の感覚に近いかどうか評価した. 実験で使用したカーテンスクリーンは横方向のみ移動でき, カーテンに取り付けた紐を引っ張ることによって移動できる. これにより最大速度 6.0 m/sec に達することができるため, 4.3 節にて想定する人の移動の最大速度に達していなかった接近移動について, 実験を行うことができる. 被験者には8拍×2の約8秒間の2つの振りを参考動画をもとに覚えさせた. ここでいう拍は, 4分音符を1拍として定義し, 1拍の長さは約0.5秒とする. これら2つの振りは, 3.1節で述べた提示される存在感による影響が大きいと考えられる接近, 平行移動の2つの要素が対応している.

評価項目は3.1節であげた「感覚の類似性」と「移動の再現性」で「感覚の類似性」の評価には実験後アンケートに答えてもらった. アンケートの質問項目は4.3.3項の表5で示した2つである. それぞれ5段階評価で評価してもらった. 「移動の再現性」の評価にはMicrosoft社のKinectを用い, 実験中のダンサーの移動を記録した. なお, ダンサー2人で踊る手法を含めどの手法も手法ごとに3回ずつ行った.

さらに, 各実験方法の詳細を以下に示す.

手法1 鏡を見ながら1人で踊る.

手法2 OMNIKIT2010を付属の見本となるダンサーの振り

表 8 カーテンスクリーンの評価実験アンケート結果  
Table 8 Results from questionnaire.

| 手法番号 | 平行移動 |     |     |     |     | 接近移動 |     |     |     |     |
|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|      | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 質問 1 | 2.3  | 1.7 | 2.3 | 3.7 | 3.3 | 3.0  | 2.3 | 2.3 | 3.0 | 3.7 |
| 質問 2 | 2.7  | 2.0 | 3.7 | 3.3 | 4.3 | 3.0  | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 3.7 |

表 9 被験者 3 人の距離差の平均値 (cm)

Table 9 Average distance among three subjects (cm).

| 手法番号 | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   |
|------|----|-----|-----|-----|-----|
| 平行移動 | 56 | 150 | 83  | 204 | 150 |
| 接近移動 | 74 | 90  | 188 | 109 | 63  |

付けをもとに出発地点、方向転換を行う地点、終着地点をそれぞれ定め、音楽に合わせて無線コントローラで手動での操縦を行ったものと踊る。

**手法 3** プロジェクタを用いて欠けているダンスを壁に投影した映像を鏡越しに確認しながら踊る。ダンスの映像はあらかじめ見本となるダンスの振りを撮影した映像を利用する。

**手法 4** 自走ロボットと踊る手法と同様に、無線コントローラで手動での操縦を行った自走型スクリーンと踊る。スクリーンに投影する映像は手法 3 で使用した映像と同様である。

**手法 5** ダンスの映像が投影されたスクリーンをカーテンレールに沿って手動で移動させたものと踊る。スクリーンに投影する映像は手法 3 で使用した映像と同様である。

今回複数人ではなく、2 人での実験を行った理由としては、3.3.1 項で述べた理由と同様である。

最後に、実験時の構成図は 3.3.1 項で述べた環境と同様である。

### 5.1.1 被験者

被験者は平均年齢 21.3 歳の 3 年以上のストリートダンス経験を持つ男性 3 名である。

## 5.2 結果と考察

アンケート結果を表 8 に、2 人で踊る際とそれぞれの手法との距離の平均を表 9 に示す。実験結果をもとにどの手法が実際に 2 人で踊る際の感覚と移動に近いかの考察を行う。距離の平均値の算出方法は 4.3.3 項にて述べた方法と同様である。

質問 1 に関して、平行移動については自走型スクリーンと踊る、カーテンスクリーンと踊る手法について高い評価を得た。これはダンスの映像とともに移動する物体が隣にあったため、実際のダンスと比べると少し違和感を感じるものの、踊る感覚としては近いと感じた被験者が多かったためと考えられる。また、映像を投影することによって振りが揃っている感覚が得られることによって練習に対する

モチベーションが上がるといった意見もあった。単にものを移動させるよりも、映像を付加させることによってモチベーションの向上へつながると考えられる。接近移動については、カーテンスクリーンと踊る手法について高い評価を得た。これは自走型スクリーンと比べて素早い移動が可能のため、映像を追い続けることができたことが高い評価につながったと考えられる。

質問 2 に関して、平行移動については、プロジェクタ映像と踊る、自走型スクリーンと踊る、カーテンスクリーンと踊る手法について高い評価を得た。これらは、映像によってダンスの移動のための予備動作を見ることができたため、次の移動を予測でき距離感を掴みやすかったと考えられる。また、カーテンスクリーンについては映像と連動した素早い動きができたため、より距離感を掴みやすく感じ最も高い評価を得られたと考えられる。接近移動についてはカーテンスクリーンと踊る手法について高い評価を得た。これは、自走ロボットと踊る手法と同等の素早い移動が可能であり、自走ロボットよりも大きな等身大のスクリーンが移動していたことが、位置を確認するマーカとしての機能を十分に発揮できたからではないかと考えられる。質問 1, 2 からカーテンスクリーンと踊る手法については、平行移動、接近移動ともにそれぞれ実際に 2 人で踊る手法の感覚に近くプロジェクタ映像と踊る手法の利点を備えていたといえる。

次に軌跡情報についての考察を行う。算出した平均値が小さいほど 2 人で踊る手法の移動と近似しているため、正しく位置取りができたといえる。表 9 の結果から、平行移動については 1 人で踊る、プロジェクタ映像と踊る手法が 2 人で踊る際の移動に近いことが分かった。また接近移動についてはカーテンスクリーンと踊る手法が最も 2 人で踊る手法の移動に近かったが、手法ごとに大きな差は見られなかった。そのためカーテンスクリーンについては自走ロボットと踊る手法の利点を備えていなかった。考えられる原因としては、吊るしたスクリーンの生地が非常に薄いことから存在感をほとんど感じられないという意見があり、スクリーンをマーカとしてとらえることが難しかったことが考えられる。

今回の実験からカーテンスクリーンと踊る手法については、自走型スクリーンと踊る手法と同様にプロジェクタ映像と踊る際の利点は備えていたが、自走ロボット踊る手法の利点を備えていなかった。このことから、隊形練習を行う際に映像が投影されたスクリーンをダンスのように移動させることによって、ダンスと一緒に踊る感覚は掴みやすいものの、実際の移動がずれてしまうことが分かった。

## 6. おわりに

本論文では、欠けたダンスの代わりに自走型スクリーンを用いる、ダンスの隊形練習支援システムを提案した。隊

形の練習方法において、実際にダンスと2人で踊った際の感覚に近いかを調査し、提示内容によって隊形移動における他のダンスとの間隔が変化することが分かった。また評価実験から、感覚においてはプロジェクト映像と踊る際が、位置情報においては自走ロボットと踊る際がそれぞれ2人で踊る際の感覚、移動に近いことを確認し、それら2つの手法を取り入れた新たな手法を提案した。評価実験より、自走型スクリーンと踊る手法は感覚の類似性が高いプロジェクト映像と踊る手法の利点を備えているが、位置の再現性が高い自走ロボットと踊る手法の利点は備えていなかった。また、スクリーンの移動速度を向上させたカーテンスクリーンを利用した再実験を行い、隊形練習を行う際に映像が投影されたスクリーンをダンスのように移動させることによって、ダンスと一緒に踊る感覚は掴みやすいものの、実際の移動がずれてしまうことが分かった。

今後システムのさらなる改善を目指し、より複雑で長いに振りでの実験を行い、また今後、スクリーンにダンスの感覚に影響を与えると考えられる様々な機構を追加し、移動するスクリーンの影響について調査する。さらに、複数台の自走型スクリーンを使用してより複雑な隊形練習支援を行うことを目指す。

#### 参考文献

- [1] 土居裕和, 植田一博: モーションキャプチャ・データに基づく能の所作の特徴量抽出, 情報処理学会研究報告, Vol.2004-CH-62, No.58, pp.29-35 (2004).
- [2] 石川航平, 山本知幸, 藤波 努: モーション・キャプチャ装置を用いたサンバ・リズム習得過程の分析, 人工知能学会第20回全国大会予稿集, 2D1-02 (2006).
- [3] 仰木祐嗣, 馬場敏之, 坂口勇夫: ピエゾ抵抗型3軸加速度センサを用いたゴルフスウィング技能評価システムの開発, 日立金属技報, Vol.120, pp.45-50 (2004).
- [4] Yang, U. and Kim, G.J.: Just Follow Me: An Immersive VR-Based Motion Tracking System, *Proc. 7th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM '99)*, pp.435-444 (1999).
- [5] Yang, U. and Kim, G.J.: Implementation and Evaluation of "Just Follow Me": An Immersive, VR-Based, Motion Tracking System, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, *MIT Press*, Vol.11, No.3, pp.304-323 (2002).
- [6] Shinozaki, K., Iwatani, A. and Nakatsu, R.: Concept and Construction of a Robot Dance System, *International Journal of Virtual Reality (IJVR)*, Vol.6, No.3, pp.29-34 (2007).
- [7] Riley, M. and Atkeson, C.G.: Methods for Motion Generation and Interaction with a Humanoid Robot: Case Studies of Dancing and Cdatching, *Proc. 2000 Workshop on Interactive Robotics and Entertainment (WIRE '00)*, pp.35-42 (2000).
- [8] Or, J.: A Control for a Flexible Spine Belly-Dancing Humanoid, *Journal of the International Society of Artificial Life (ISAL)*, Vol.12, No.1, pp.63-87 (2006).
- [9] Murata, K., Nakadai, K., Yoshii, K., Takeda, R., Torii, T., Okuno, H.G., Hasegawa, Y. and Tsujino, H.: A Robot Uses Its Own Microphone to Synchronize Its Steps to Musical Beats while Scatting and Singing, *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'08)*, pp.2459-2464 (2008).
- [10] Oliveira, J.L., Gouyon, F. and Reis, L.P.: Robot Dance based on Online Automatic Rhythmic Perception, *Proc. 3rd International Workshop on Intelligent Robotics (IROBOT'08)* (2008).
- [11] Xia, G., Tay, J., Dannenberg, R. and Veloso, M.: Autonomous Robot Dancing Driven by Beats and Emotions of Music, *Proc. 11th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS '12)* (2012).
- [12] Nakaoka, S., Nakazawa, A., Yokoi, K., Hirukawa, H. and Ikeuchi, K.: Generating Whole Body Motions for a Biped Humanoid Robot from Captured Human Dances, *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '03)*, pp.3905-3910 (2003).
- [13] 中村彰宏, 大林千尋, 柴田智広: ダンスシング Roomba—踊る掃除制御, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-EC-20, No.10, pp.1-6 (2011).
- [14] Kosuge, K., Takeda, T., Hirata, Y., Endo, M., Nomura, M., Sakai, K., Koizumi, M. and Oconogi, T.: Partner Ball-room Dance Robot -PBDR-, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (SICE JCMSI)*, pp.74-80 (2008).
- [15] Nakamura, A., Tabata, S., Ueda, T., Kiyofuji, S. and Kuno, Y.: Multimodal Presentation Method for a Dance Training System, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI '05)*, pp.1685-1688 (2005).
- [16] Crivella, R., Daly, B., Schaaf, R., Ventura, D., Camill, T., Hodgins, J. and Pausch, R.: Training for Physical Tasks in Virtual Environments: Tai Chi, *Proc. IEEE Virtual Reality (VR 2003)*, pp.87-94 (2003).
- [17] Shiratori, T., Nakazawa, A. and Ikeuchi, K.: Rhythmic Motion Analysis Using Motion Capture and Musical Information, *Proc. 2003 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI '03)*, pp.89-94 (2011).
- [18] Hachimura, K., Kato, H. and Tamura, H.: A Prototype Dance Training Support System with Motion Capture and Mixed Reality Technologies, *Proc. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communications (ROMAN 2004)*, pp.217-222 (2004).
- [19] Chan, J., Leung, H., Tang, J. and Komura, T.: A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology, *IEEE Trans. Learning Technologies*, Vol.4, pp.187-195 (2010).
- [20] Chen, Y.J. and Hung, Y.C.: Using Real-time Acceleration Data for Exercise Movement Training with a Decision Tree Approach, *Expert Systems with Applications*, Vol.37, No.12, pp.7552-7556 (2010).
- [21] 林 貴宏, 尾内理紀夫: モーションキャプチャと加速度センサを用いた振りの練習支援, 電気学会論文誌 E, Vol.129, No.6, pp.173-180 (2009).
- [22] 高橋雅人, 林 貴宏, 尾内理紀夫: "振り"の練習を支援するインタラクティブシステム, 情報インタラクション2004 論文集, Vol.2004, No.5, pp.97-104 (2004).
- [23] 高橋智也, 松田浩一, 海賀孝明, 長瀬一男: 地域伝統舞踊における「動作の流れ」を教えてくれる学習支援システム, インタラクション2008 論文集, Vol.2008, No.4, pp.133-140 (2008).
- [24] Microsoft XBOX Kinect, available from (<http://www.xbox.com/en-US/Kinect>).

- [25] 土佐電子 OMNIKIT2010, 入手先 ([http://www.tosadenshi.co.jp/cargo/goodslist.cgi?in\\_kate=10-3](http://www.tosadenshi.co.jp/cargo/goodslist.cgi?in_kate=10-3)).



土田 修平 (学生会員)

1989年生。2012年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2014年同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程前期課程修了。現在、同大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程後期課程に在籍。ウェアラブル・ユビキタス・エンターテインメントコンピューティングに興味を持つ。



寺田 努 (正会員)

1974年生。1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年より同講師。2007年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事, 2005年には同機構事務局長を兼務。工学博士。アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1964年生。1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996年同専攻助教授。2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004年神戸大学電気電子工学科教授。現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等, 8学会の会員。