

球体型自走ロボットを用いたダンスパフォーマンスシステムの設計と実装

土田修平¹ 寺田 努^{1,2} 塚本昌彦¹

概要: 近年、ロボティクス技術の進展に伴い、人と踊る様々な移動ロボットが開発されている。移動ロボットを利用してパフォーマの身体表現の幅を広げる試みが見受けられる。しかし、これら移動ロボットを用いたパフォーマンスでは、パフォーマンスと移動ロボットのインタラクションについて明確にされていない。パフォーマンスの動作と移動ロボットの動作との表現に関するインタラクションを明確にし、対応付けを定式化することができれば、パフォーマンスの身体表現に新たな変化を与えることができると考えられる。そこで本研究では、パフォーマンスの身体動作と球体型自走ロボットの動作との組み合わせによって、身体表現にどのような影響をもたらすか調査するために、パフォーマンスの動作と球体型自走ロボットの動作の対応を考える仕組みを構築する。具体的には球体型自走ロボットと、光という表現の要素を加えた新たな身体表現を模索できるシステムを提案する。また、提案システムを本番環境での実運用を試み、実運用における問題点を洗い出した。さらに、新しい表現方法について聞き取り調査を基に模索した。

Design and Implementation of a Dance Performance System Using a Self-propelled Sphere Robot

TSUCHIDA SHUHEI¹ TERADA TSUTOMU^{1,2} TSUKAMOTO MASAHICO¹

Abstract: Recently, various methods for having moving robots dance have been developed because of the advances in robotics-related technologies. There is an attempt that the physical expression of the performance is extended by moving robots. However, the performance using these robots are not clear about the interaction between the self-propelled robot and performers. If we are able to clarify the interaction of the expression of the moving of the robots and the moving of the performers, and formulate the association of those, it is considered that we will be able to change the physical expression of performer. In this study, we build a mechanism to consider the corresponding between the moving of the spherical robots and the moving of the performers in terms of a combination of those, in order to investigate whether to bring what effect on the body expression. Specifically, we propose a system that we are able to grope new body expressions are added the spherical self-propelled robots and lights. In addition, we attempted the proposed system in the production environment, and it was washed out the problems in the actual operation. Furthermore, we grope the new body expression based on the interviews.

1. はじめに

近年、ロボティクス技術の進展に伴い、人と踊る様々な移動ロボットが開発されている [1, 2]。これら移動ロボットがパフォーマンスの代わりに務めることや、映像を映し出す

ことによって、ダンスパフォーマンスのための練習を支援すること [4-7] や、ステージ上に存在しないパフォーマンスをステージ上に存在するような表現 [8] を行うことが可能となった。また、移動ロボットを利用してパフォーマンスの身体表現の幅を広げる試みが見受けられる。しかし、これらの移動ロボットを用いたパフォーマンスでは、パフォーマンスと移動ロボットのインタラクションについて明確にされていない。パフォーマンスの動作と移動ロボットの動作との表

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

現に関するインタラクションを明確にし、それぞれの対応付けを定式化することができれば、パフォーマの身体表現に新たな変化を与えることができると考えられる。

そこで本研究では、パフォーマの身体動作と球体型自走ロボットの動作との組み合わせによって、身体表現にどのような影響をもたらすか調査するために、パフォーマの動作と球体型自走ロボットの動作の対応を考える仕組みを構築する。今回利用する移動ロボットは Sphero2.0 [9] である。これは、他の移動ロボットと比較して球体という単純な形状が、ロボットの機能的に見える部分を最大限に削ぎ落したのようになっており、単なる移動するオブジェとして楽しめるデザインであることが Sphero2.0 を利用する理由の1つである。ホイールやローラーが剥きだした状態であれば、物体の移動そのものだけでなく、回転する部分にも観客やパフォーマの意識が向いてしまう可能性があるため、単純な移動する物体に比べ、身体表現には向いていないと考えられる。また、球体自身が移動する様は、物体が移動するための機構が直観的にわかりにくく、一般的な人々にはできない身体動作の連続を見せるパフォーマと同様に、観衆に非日常な感覚を与えられる可能性が高く、身体表現との連携に適していると考えられる。さらに、球体という形状は最も衝撃を吸収・分散させることができ、身体表現を行っているパフォーマとの衝突が起こった場合でも、壊れにくいといった利点がある。それら移動する球体型自走ロボットと、光という表現の要素を加えた新たな身体表現を模索できるシステムを今回提案し、このシステムを利用することによって身体表現を拡張できると考えられる。

本論文では、2章にて関連研究を紹介し、3章にて提案システムの概要について述べる。4章にて新たな表現手法について模索し、5章にて舞台での実運用について述べ、6章にて本論文のまとめを行う。

2. 関連研究

近年、多くの演出家や芸術家が、様々な技術によって移動させた物体を用いて身体表現の拡張を試みている。Daito Manabeら [10] は、身体とデータの間をコンピュータ制御したクアッドコプターを使うことで、実際の空間でダンサーが身体的に、そしてより直感的にオブジェクトを認識できる様なシステムを開発した。DreamWorks Animation LLC. [11] は、仮想の生物であるドラゴンを移動するロボットで表現することによって、CGでは表現できない3次元の空間を利用したパフォーマンスを行った。William Forsythe [12] は、大量の振り子を吊るした空間を作製した。これにより、鑑賞者がこの空間に一度入ると、周期的なリズムを刻む振り子に合わせて、かわしながら移動してしまい、それがまるで踊っているかのように見える。Daniel Wurtzel [14] は、床に置かれた風を起こす装置によって、布がまるで意図を持って踊っているかのように見える Pas

de Deux を作成した。パフォーマは縦横無尽に舞う布に合わせて踊るパフォーマンスを行う。TOVIA co. [13] が作製したニンジャライトは、身体の動作に合わせて球体群を上下移動させることによって、まるで空間を操っているかのような表現が可能である。CHUNKEY MOVE [15] のCONNECTEDにもニンジャライトと同様の表現が見受けられる。

これらのように、人の身体表現と移動する物体との連携は数多く見られるものの、人の身体表現と移動する物体の表現におけるインタラクションに着目した研究は行われていない。

また、本研究に関連する研究として、ロボティクス技術を用いた身体性の拡張に関する研究を挙げる。吉田ら [16] は、擬似的に身体の一部とすることで、自分の手を伸ばしているような感覚や、幽体離脱して遠くに飛んでいるような感覚を提示するシステムを提案した。金井ら [17] は、ロボットが受けた触刺激を人に伝達することで、その人の身体性がロボットにまで拡張されるかを実験により検証した。

これらのように、ロボティクス技術を用いて、身体性の拡張を試みる研究は見られるが、身体表現に着目した研究は行われていない。本研究では人の身体表現と移動する物体、特に球体型自走ロボットの表現の連携による身体表現の変化について調査が可能なシステムを提案する。

3. 提案システム

3.1 設計方針

提案システムの目的は、身体表現において、人間の身体に移動する物体と光という新たな表現の要素を加えることで、身体表現にどのような影響を与えるか調査可能にすることである。そのためには、パフォーマが自由に物体の移動と光を制御でき、パフォーマ自身で新たな要素を考慮したパフォーマンスを作成できる仕組みを構築する必要がある。音楽や振り付けに合わせて球体型自走ロボットの動き、光のパターンを作成するために、プログラミングの知識がないパフォーマでも主にマウス操作で作成できるシステムを構築する。

また、球体型自走ロボットを実際に動作させることによって動きを確認する方法は、カメラを設置できる広い場所や通信環境の整備、球体型自走ロボットの充電など、手間がかかり簡単には行えないため、シミュレータ上で容易に確認できる仕組みが必要である。シミュレータ上で動く球体型自走型ロボットに合わせて実際に踊りながら確認できるシステムを構築する。

3.2 システム構成

提案システムの利用手順は以下の通りである。

- (1) 開発したアプリケーションを用いて、球体型自走ロボットの動作と光をそれぞれ作成する。

表 1 Sphero2.0 の仕様

サイズ	φ 74[mm]
重量	168[g]
最高速度	2[m/s]
通信可能距離	max 30[m]

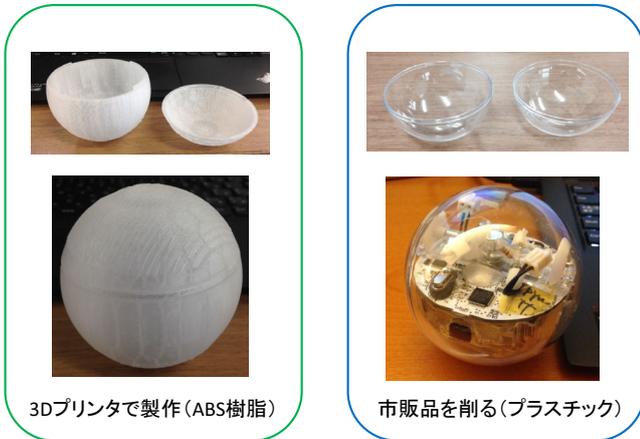


図 1 新たに作製した外殻

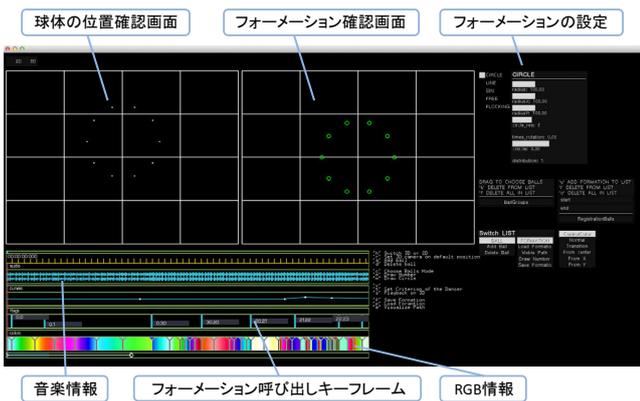


図 2 動作，光作成用アプリケーションの UI

- (2) Microsoft 社の Kinect [18] を用いて，シミュレータ上で先ほど作成した通りに光り，移動させた球体と踊りの確認を行う，
- (3) 光，動作のパターンを制御用 PC，Android にそれぞれ保存する．
- (4) 音楽と球体型自走ロボットの移動，光を同期させながら，パフォーマンスを行う．

提案システムを実現するために以下の 2 つのソフトウェアを実装した．ハードウェアに関しては球体型自走ロボットである Sphero2.0 を用いた．Sphero2.0 のスペックを表 3.2 に示す．Sphero2.0 内に赤外線 LED を組み込むため，外殻を取り除き，新たに外殻を 3D プリンタを用いた ABS 樹脂で作製したタイプと，市販されている球体型カプセルの一部を削ることによって作製したタイプの 2 タイプを作製した．動力部分をそれらに入れ正常に動作することを確認した．作製した外殻を図 1 に示す．

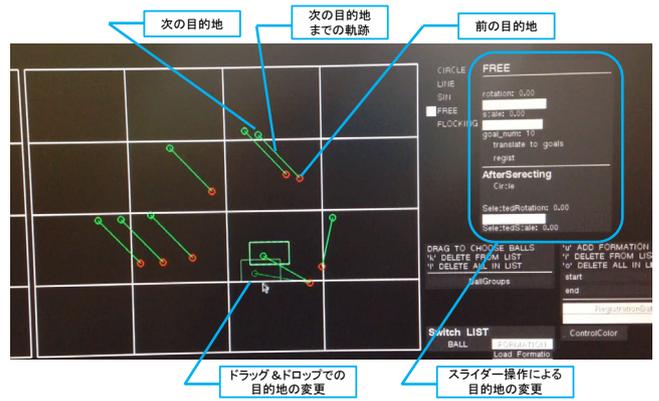


図 3 フォーメーション作成時の画面

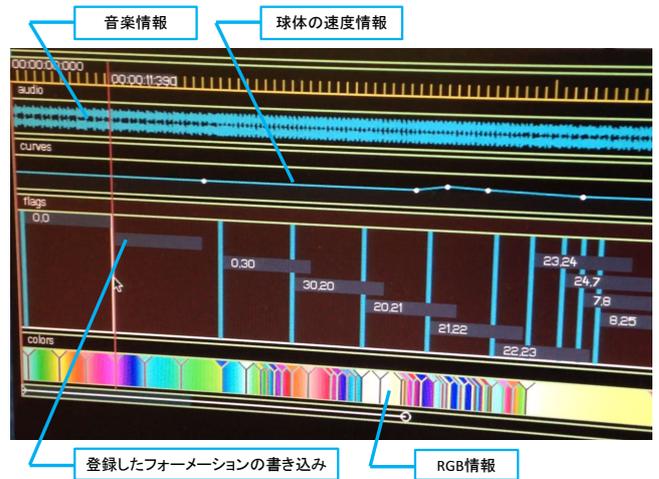


図 4 タイムラインに沿ったフォーメーション，RGB 情報の登録

3.2.1 動作，光作成用アプリケーション

開発したアプリケーションの UI を図 2 に示す．開発には openFrameworks を用いた．制御できる球体自走型ロボットの個数はパフォーマンスの規模に合わせて自由に変更できる仕様になっている．

フォーメーション作成時の画面を図 3 に示す．球体型自走ロボットのフォーメーションは，スライダでパラメータを操作，もしくは球体型自走ロボットの位置を示した点を直接ドラッグ&ドロップすることによって，作成できる．

作成したフォーメーションを音楽情報が載ったタイムラインにキーフレームを追加する (図 4) ことによって，音楽に同期させたフォーメーション移動を可能にする．

また，動作，光の確認は 3D 表示が可能で，Kinect を利用してシミュレータ上で実際に振り付けを行いながら，パフォーマンス全体の確認ができる．パフォーマンス確認時の画面を図 5 に示す．パフォーマンスは Kinect で取得した関節情報から作成したボーンで表されている．パフォーマンスが確認すると，球体型自走ロボットの動作と光のパターンの情報が入ったファイルを自動的に CSV 形式で作成される．

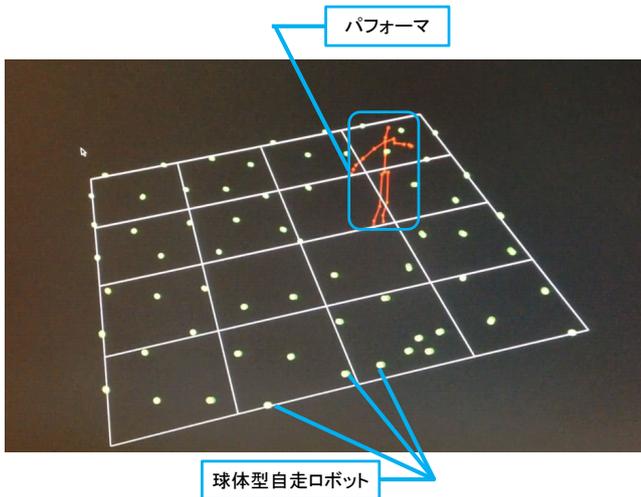


図 5 パフォーマンス確認時の画面

3.2.2 球体型自走ロボット制御システム

球体型自走ロボット制御システムの構成を図 6 に示す。赤外線カメラを用いて、映像の背景差分から赤外線 LED を搭載した球体型自走ロボットの位置を検出し、手動で ID を割り当てている。赤外線カメラは自由な位置、角度で設置することができ、射影変換を用いて天井に取り付けた環境と同様の球体型自走ロボットの位置情報に変換している。

球体型自走ロボットが移動する位置、光り方については、動作、光作成用アプリケーションにて作成した CSV 形式のファイルを読み込むことによって、決定して行く。光り方のパターンについてはあらかじめ Android 側に保存しておく。これにより、メイン PC から Android へ送る情報を球体型自走ロボットの動作のみにし、情報量を減らすことができる。

球体型自走ロボットの次の目的地までの距離、角度から、PID 制御を用いて球体型自走ロボットの速度、向きを算出する。また、それぞれの球体同士は衝突を避けるため、距離に応じて斥力が働くようにし、速度、向きがその値に応じて修正される。さらに、球体型自走ロボットはカメラ映像からは向きを判定することができない。そのため、パフォーマンス開始時を基準として、向きを設定しているが、球体型自走ロボットが移動を繰り返す度に、向きにずれが生じて、どれだけずれが起こったか確認することができない。そこで、図 7 に示すように、目的地までの理想の軌跡からの距離 d を毎フレーム毎に算出し、距離 d の値と球体の角度のずれる方向から、球体型自走ロボットの向きを推測し、向きの修正を行っている。制御用 PC にて決定した球体型自走ロボットの速度、向き情報を Wi-Fi を介して、Android に送信し、Android から Bluetooth 接続された球体型自走ロボットに命令を行っている。Bluetooth 接続を安定させるために、Android1 台につき球体型自走ロボット 1 台のみの対応付けにしている。尚、電波の干渉を避けるため、Wi-Fi の使用する周波数帯域は 5GHz を用いた。

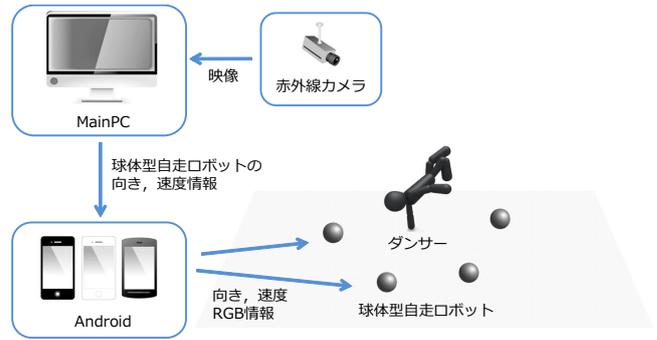


図 6 システム構成

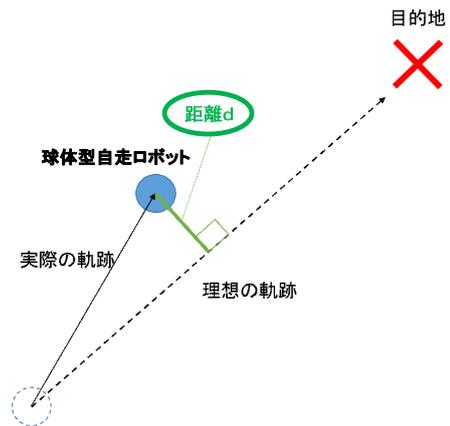


図 7 目的地までの理想の軌跡からの距離 d

現段階のシステムの制約としては、カメラと球体型自走ロボットの間にはダンサーが一定時間以上入ってしまった場合には球体型自走ロボットのトラッキングが難しくなるため、カメラと球体型自走ロボットの間に入らないようなパフォーマンス構成を強いられる。また、速度においても PID 制御を用いているため、球体型自走ロボットの性能を最大限に生かした動作ができない。

4. 表現手法の模索

通常のパフォーマンスでは実現できない身体表現手法の確立を目指し、ダンス歴 3 年以上のパフォーマ 10 名にデモ動画を確認してもらい、新しい身体表現の可能性について聞き取り調査を行った。得られた表現から考えられる新しい表現手法を以下に示す。

- パフォーマと球体が連動しているかのように見せる手法

図 8 のようにパフォーマンスの身体動作と球体の動作が揃えば、それぞれが連動して動作しているように見ると考えられる。また、パフォーマンスの動作に合わせて球体の光り方が変化すれば、パフォーマンスによって光を変化させたかのように見ると考えられる。

- 発光する球体の照明効果を用いてパフォーマンスの身体を見せる手法

パフォーマンスが発光する球体に近づけばダンサーの身

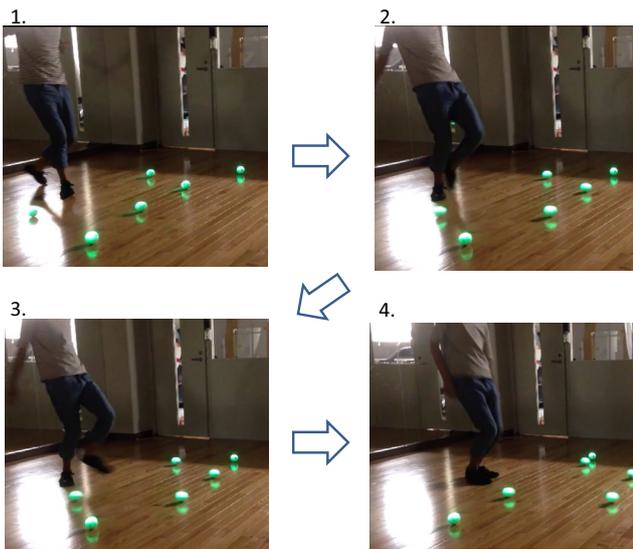


図 8 パフォーマと球体が運動しているかのように見せる

体(肌など)が浮かび上がる。この効果を用いて、球体の光り方を様々な方法で制御することによって、ダンサーの生身の部分を多様に見せることができると考えられる。

- 非日常感を強調するために素朴な見た目の球体を利用する手法

球体型自走ロボットの見た目を、日常にある素朴なもの、例えば野球ボールやテニスボール、糸玉といったものにする。これら普段動くことがない物体が、パフォーマが単なる「道具」「モノ」として持っていた物体を床に置くといった何気ない動作に合わせて、突如動き出すことによって、パフォーマンスの反応を変えられることができ、現実世界から少し逸脱した世界を表現できると考えられる。

- 空間の伸縮を強調するために、球体群の範囲を変更する手法

多数の球体が移動する様は空間が伸縮しているような感覚を覚える。また、移動する形によっては、磁界など、力が働いている場所があるかのような感覚も覚える。これらを利用して、パフォーマンスの身体動作に合わせて球体群が集まってきたり、広がったりする、もしくは球体群の動きによってパフォーマンスの身体動作の大きさが変化すると考えられる。

- 生き物の群れのように見せる手法

球体群が移動する様は、魚などの群れを彷彿させる。自律的に球体を動作させるアルゴリズムを利用して、球体群がパフォーマンスを避ける、球体群がパフォーマンスの身体動作に反応するといった演出を行えば、球体群とパフォーマンスがコミュニケーションを取っているかのように見えると考えられる。

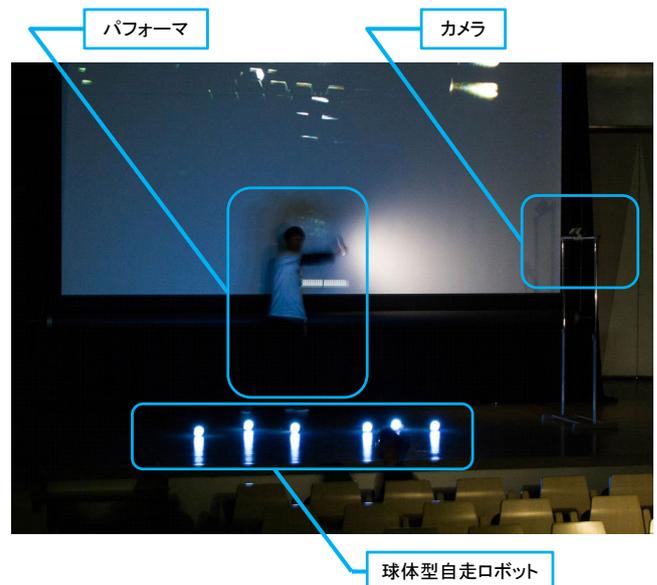


図 9 舞台でのリハーサル風景

5. 実運用の試み

提案システムが舞台上における多数の観客に見せるパフォーマンスにおいても利用できるか確認するために、2014年10月11日、神戸ファッション美術館オルビスホールで開催された塚本・寺田研究室設立10周年記念講演会において、本システムを利用したデモを行った(図9)が、研究室での環境とは異なった舞台上での本番環境では、システムが正常に動作されなかった。システムが正常に動作しなかった原因の1つとして、無線の干渉が考えられる。本番当日、150人以上の観客を会場内に収容したため、研究室での環境以上に、Bluetooth通信で使用される2.4GHzの周波数帯域を利用したアクセスが増えたと考えられる。このため、本システムにおいて、Sphero2.0とAndroidが接続するために多数のBluetooth通信での接続を行ったが、パフォーマンスの待機中にこれらの接続が切断され、再接続に時間がかかり、限られた時間内での修復ができなかった。この問題については、他の周波数帯域を利用した通信方法を検討する必要がある。また、システムでの問題に加え、照明を落としきった状態では発光する球体型自走ロボットは視認できるが、パフォーマンスはほとんど視認できなかった。この問題については、パフォーマンスに蓄光テープなど暗闇で光を放つ素材を身体に沿わせる、もしくは再帰性反射材を身に纏い、赤外線カメラに干渉しないスポットライトを観客席側からパフォーマンスに当てることによって、パフォーマンスの動作を視認可能にする必要がある。

6. まとめ

本論文では、パフォーマンスの身体動作と球体型自走ロボットの動作との組み合わせによって、身体表現にどのような

影響をもたらすか調査するためのシステムを提案し、新しい身体表現の可能性について模索した。今後、システムを利用して様々なパフォーマンスを作成し、パフォーマンスの身体動作と球体型自走ロボットの動作の対応を定義していくことによって、単なる身体拡張ではなく、身体表現レベルでの拡張を行い、新たな身体表現のジャンルとしての確立を目指す。また、球体に限らず、様々な形状の自走ロボットを製作し、形状による違いがどのような影響を身体表現に及ぼすのか、についても調査を行う。さらに、現在のシステムでは、カメラの設置や無線など実環境におけるシステムの利用において、いくつか問題点が挙げられる。本番環境への利用に向けてシステムの改善を行う。他にも、動力部分が外殻に包まれているため、容易に完全な防水加工ができる。今後は陸上のみならず、シンクロナイズドスイミングなど水上での身体表現の拡張も行う。

謝辞 本研究の一部は、独立行政法人情報処理推進機構の2014年度末踏IT人材発掘・育成事業「ダンスパフォーマンスに特化した自走ロボット制御システムの開発」による支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] 池内克史, 中澤篤志, 小川原光一, 高松淳, 工藤俊亮, 中岡慎一郎, 白鳥貴亮: 民族芸能のデジタルアーカイブとロボットによる動作提示, 日本バーチャルリアリティ学会学会誌, Vol. 9, No. 2, pp. 14–20 (June 2004).
- [2] F. Tanaka, J. R. Movellan, B. Fortenberry and K. Aisaka: Daily HRI Evaluation at a Classroom Environment - Reports from Dance Interaction Experiments-, *Proc. of the 1st ACM SIGCHI/SIGART Conference on Human-Robot Interaction (HRI '07)*, pp. 3–9 (Mar. 2006).
- [3] 中村彰宏, 大林千尋, 柴田智広: ダンシング 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 (May 2011).
- [4] S. Tsuchida, T. Terada and M. Tsukamoto: A System for Practicing Formations in Dance Performance Supported by Self-Propelled Screen, *Proc. of the 4th Augmented Human International Conference (AH '13)*, pp. 178–185 (Mar. 2013).
- [5] K. Kosuge, T. Takeda, Y. Hirata, M. Endo, M. Nomura, K. Sakai, M. Koizumi and T. Oconogi: Partner Ballroom Dance Robot-PBDR-, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (SICE JCMSI)*, pp. 74–80 (Jan. 2008).
- [6] D. V. Lu, C. Wilson, A. Pileggi and W. D. Smart: A Robot Acting Partner, *Proc. of the ICRA 2011 Workshop on Robots Art: Frontiers in Human-Centred Robotics as Seen by the Arts*, (May 2011).
- [7] A. Nakamura, S. Tabata, T. Ueda, S. Kiyofuji, and Y. Kuno: Multimodal Presentation Method for a Dance Training System, *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI '05)*, pp. 1685–1688 (Apr. 2005).
- [8] E. Jessop, P. A. Torpey and B. Bloomberg: Music and Technology in Death and the Powers, *Proc. of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '11)*, pp. 349–354 (May 2011).
- [9] Orbotix: Sphero2.0, <http://www.gosphero.com/ja/>.
- [10] D. Manabe: Dance with Drones, <https://www.youtube.com/watch?v=HQLORg5C0iU>.
- [11] DreamWorks Animation LLC: How To Train Your Dragon Live Spectacular, <http://dreamworksdragonslive.com/>.
- [12] William Forsythe: Nowhere and Everywhere at the Same Time No.2, <https://vimeo.com/94638603>.
- [13] Tovia co.: ニンジャーライト, <http://www2u.biglobe.ne.jp/~tovia/lighting/NINJARLIGHT.html>.
- [14] Daniel Wurtzel: Pas de Deux, <https://vimeo.com/94638603>.
- [15] CHUNKY MOVE: CONNECTED, <https://www.youtube.com/watch?v=VgKxTcds2V8>.
- [16] 吉田成朗, 鳴海拓志, 橋本直, 谷川智洋, 稲見昌彦, 五十嵐健夫, 廣瀬通孝: ジェスチャ操作型飛行ロボットによる身体性の拡張, 日本ソフトウェア科学会第21回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ2012 論文集, pp.403–408 (Mar. 2012).
- [17] 金井 祐輔, 大澤 博隆, 今井 倫太: 触知覚伝達は人とロボットに一体感をもたらすか?, 電子情報通信学会技術研究報告. CNR, Vol. 113, No. 84, pp. 19–23 (June 2013).
- [18] Microsoft: Kinect, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>.