

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700238

研究課題名(和文)人間に近い器用さと知覚能力により、能動的相互作用可能な人間協調型ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of an active interactive human-friendly robot by emulating the dexterity and perceptual capabilities of humans

研究代表者

S. ALFARO, JORGE (SOLIS ALFARO, JORGE)

早稲田大学・理工学術院・その他

研究者番号：60434289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は人間形サキソフォン演奏ロボットWAS-4(Waseda Saxophonist No.4)を開発した。口腔内圧制御を用いた演奏システムMPG(Music Pattern Generator)を開発した。口腔内圧制御を用いた場合は5分間で吹鳴が止まらなかったため、制御方式の有用性が確認された。また、ダンサーとの即興的インタラクション能力向上のため、楽器演奏ロボットが即興演奏を安定して実現可能な口腔内圧システムを開発した。MPGを使用した場合は、ダンサーの加速度が大きくなるとNote Densityが大きくなるという結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this research, the Waseda Saxophonist Robot. No. 4 (WAS-4) was developed. The WAS-4 is capable of showing facial expressions during the performance. On the other hand, we have developed the Musical Pattern Generator (MPG) in order to control the oral cavity air pressure while interacting with a dancer. From the experimental results, the robot performance was not stopped after five minutes so that the effectiveness of the proposed control system was confirmed. In addition, we have developed in this study the Music-based Interaction System (MbIS). In order to enable the robot to improvise the interaction with a dancer, the oral cavity air pressure control system was used in order to assure the stability of the interaction. From the experimental results, at the time the proposed Musical Pattern Generator is used, when the measured acceleration of the dancer is increased, the Note Density is also increased.

研究分野：ロボット工学

キーワード：知識ロボット

1. 研究開始当初の背景

(1) われわれは、人の心身のメカニズムを追究し、人間とロボットの共生を目指してヒューマノイドロボットの研究開発を行っている。その中で情緒あるいは感性レベルで人間と交流ができることは、ヒューマノイドロボットにおける重要な機能のひとつであると考えられる。そこで本研究では音楽を用いた感性レベルでの交流の実現を目標とし、これまで人間形フルート演奏ロボットおよび人間形サクソフォン演奏ロボットの開発を開始した。

(2) 人間形フルート演奏ロボットの開発は1990年に開始され、2006年は人間の唇を模した口唇部および空気流路に干渉しない舌部を有する人間形フルート演奏ロボット WF-4RIV (Waseda Flutist No.4 Refined IV) を開発した。一方、人間をロボットに置き換え、ロボット-ロボット間のインタラクション研究を行うための新規異種楽器演奏ロボットとして、人間形サクソフォン演奏ロボット WAS-1 (Waseda Saxophonist No.1) の開発を開始した。

(3) これまで行われてきた WF4-RIV および WAS-1 に関する研究によって、ロボットが人間に近い演奏を実現している。WF4-RIV と WAS-1 が共に、仮想のオーケストラを指揮する PC 音楽シーケンサーによって共演することが可能となっている。ロボットは、人間の演奏者の演奏データを分析し、それをプログラミングすることによって演奏を行う。今後は、視覚および聴覚センサから得られる情報を処理し、ロボットの知覚機能の拡張に関する研究を主に行うことを考えている。知覚システムは、ロボット環境内で起きる出来事を可能な限り正確かつ柔軟に記録するように構築されている。さらに進んだ知覚の段階においては、楽器演奏ロボットは人間の演奏家とインタラクションを伴った演奏を行う能力を徐々に高めていくような、機能的かつ動的な学習アルゴリズムを実装する必要がある。さらに、人工知能の技術的進歩を利用することによって、音楽家による音楽表現の新たな手法の創作・作曲をモデル化するために実験を行うことが考えられる。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、人体を模擬した機構とセンシングを有する、親和性の高いロボットを開発し、人間とロボットのインタラクションに関し基礎実験を行うことを目的とし、2体の人間形楽器演奏ロボットに共演させることを通じて、人間のインタラクションの性質を理解すべく研究に取り組んでいる。

(2) 本目的には反応制御からアプローチし、共演者の情報に応じて動的にロボットを制御し、ロボットは人間とのインタラクション時の意思疎通方法を分析する必要があり、また行動成果を評価し活発な交流を可能とするため、多数のフィードバックを導入している。特に音、視覚認識により、複数の共演者情報を知覚することで実現を目指している。これにより、異なるマッピング戦略から良い方法で自然な音楽交流を適用し、多様な動作を実現させる。

3. 研究の方法

(1) 人間の楽器演奏時におけるメカニズムの解明、および音楽を用いた人間とロボット間のインタラクションの形成のため、2007年より人間形サクソフォン演奏ロボットの開発を行ってきた。本研究ではハードウェアの問題点を改善することを目標とする。以下に開発目標を示す。

- ・人間の眼球運動を再現する視覚機構、および吹鳴音の振幅変調を軽減する新型空気圧回路を開発する。
- ・上半身動作によって演奏者に演奏開始タイミングの指示を可能にする可動腰部、および人間の口唇の弾性を再現する型口唇部を開発する。
- ・演奏中に表情するを用いて人間とコミュニケーションの表情表出機構を開発する

(2) 吹鳴楽器演奏時における人体各器官の働きを機械モデルにより再現した人間形サクソフォン演奏ロボットの開発を行い、人間の吹鳴楽器演奏メカニズム、表現力の高い演奏手法、および人間とロボットとの音楽空間におけるインタラクションを工学的視点に立って追求し、音楽を通じて人間と感性レベルでコミュニケーション可能なロボットの開発を目的としている。

(3) また、音楽演奏の場において、より直感的に人間と交流可能なロボットの実現を目指して、MbIS (Musical-based Interaction System) を開発する。MbIS は、演奏者とダンサーとの即興的パフォーマンスに着目し、ダンサーの動作情報に応じて、ロボットの演奏をパフォーマンス中に自動的に変化させるシステムとなっている。これまで、ロボットのパラメータとサクソ吹鳴の関係がモデル化できておらず、演奏実験中に口腔内圧が上昇しサクソの吹鳴がたびたび停止してしまうため、ダンサーの情報認識システムや、自動作曲システムによって生成されるフレーズの有用性が評価を目的としている。

4. 研究成果

(1) 本研究は演奏中の表情を用いて人間と

コミュニケーションをとるため、表情表出が可能な眉およびまぶたを有する表情表出機構を搭載した、人間形サキソフォン演奏ロボット WAS-4(Waseda Saxophonist No.4)を開発した(図1)。視覚機構はカメラ2台によるピッチ軸,ヨー軸の2自由度を有する。これにより人間と同等の水平方向 202 [deg], 上下方向 128[deg]の視野角および角速度 622[deg/s]を実現した。空気圧回路は空気室の数を増加し食う気質回路のモデルからリザーバの設計を行った。その結果,流量の定常分に対する振幅の比率が従来の 19.2[%]から 4.9[%]へと軽減され,聴覚上の影響がないなめらかな吹鳴音を実現した。可動腰部は人間と同等の,前傾 40[deg],後傾 30[deg]の可動角を持ち,ばねとプーリを用いた自重補償機構を備えることで,演奏開始動作に必要な変位量 36.8[mm],変位時間 200[msec]を実現した。また,サキソフォン演奏時の口唇の弾性を測定し,弾性率を 0.7[N/mm]と求めた。これを用いて,サキソフォン演奏時の口唇の弾性モデルを決定し,吹鳴音の周波数成分の比較によって評価を行った。人間のサキソフォン演奏中の表情に注目し,可能な限り少自由度という前提の下,新たに眉に 1 自由度,まぶたに 2 自由度を有する表情表出機構を開発した。これらの表情表出機構を用いて,眉やまぶたの動きによる曲の印象の変化などをアンケート形式で評価し,人間とより深いコミュニケーションをとることの可能性を確認した。

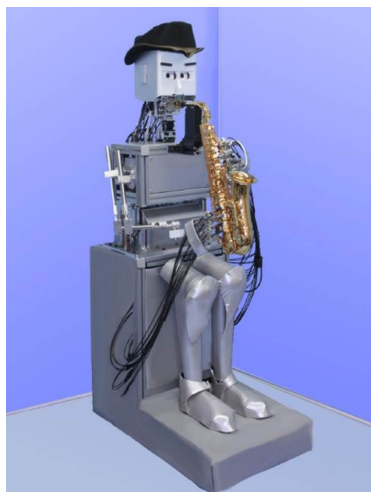


図1 Waseda Saxophonist Robot No.4.

(2) 口腔内圧制御を用いた演奏システムMPG (Music Pattern Generator) を開発した(図2)。ロボットの口唇開き幅 (X_{Lref}) に応じて,その音を吹奏する際の口腔内圧指令値 (P_{ref}) を決める。また,吹奏音変更の指令 (MIDI Signal) が入力された時は,その音に応じて流量制御弁を調整し,口腔内圧の上昇を防ぐ。発した口腔内圧制御システムの性能を評価する実験を行った。即興的パフォーマンスを想定し5 分間連続で,口腔内圧制御を用いた場合と口腔内圧制御を用いずにキャリブ

レーション作業をおこなった場合の演奏の様子を計測し比較する。演奏時に使用した楽譜は2014 年に開発された自動作曲システムで,4 つのパターンを5 秒間を目安に,実験者が順番に変更した。演奏の長さの5 分間は,プロが集中して即興パフォーマンスが出来る時間のおおよその限界が5 分程度であるという意見をもとに設定した。実験の結果を図3 に示す。口腔内圧制御を用いなかった場合は5 分間の演奏で7 回,サクスの吹鳴が停止してしまっ。一方で,口腔内圧制御を用いた場合は5 分間で吹鳴が止まらなかったため,制御方式の有用性が確認された。

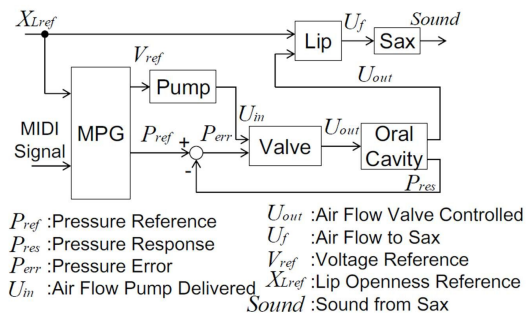


図2 Block diagram of the proposed oral cavity air pressure control system.

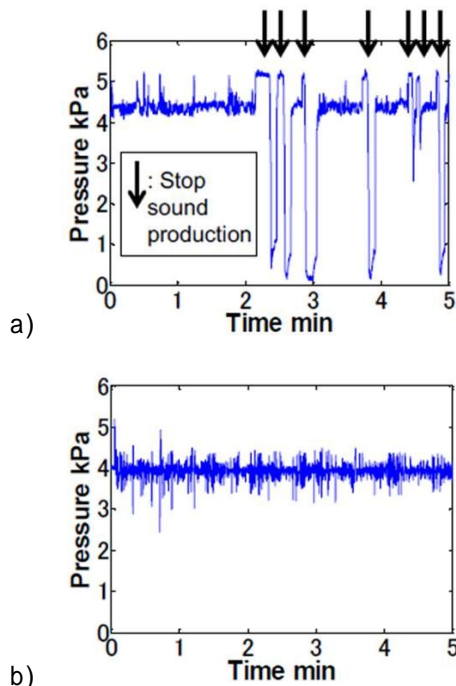


図3 Experimental results for the oral cavity air pressure control: a) Without the proposed control and b) With the proposed control system.

(3) 一方,ダンサーと即興的パフォーマンスに注目し,研究をおこなってきた。インタラクションの相手が演奏者でなくダンサーである理由は,インタラクションに用いられるチャンネルの計測しやすさにある。演奏者

が演奏中のコミュニケーションに用いる音楽や表情の変化などは計測出来る情報が限られており、ロボットが取得するのが難しい。一方、ダンサーは身体の動作を用いてコミュニケーションを取るため、カメラや加速度センサ等で計測することが可能である。われわれは、ダンサーとの即興的な音楽インタラクションをおこなうため、本研究に MbIS (Music-based Interaction System) を開発した(図4)。ダンサーとの即興的インタラクション能力向上のため、楽器演奏ロボットが即興演奏を安定して実現可能な口腔内圧システムを開発した。そのために、まず空気圧回路の改良によりサックスに流入する空気を平滑化し可制御性を向上した後、サックス吹鳴中の口腔内圧と口唇の開き幅の関係を、測定実験結果からモデル化した。モデルを用いて、サックスに流入する空気量を自動で調整するシステムを開発した。

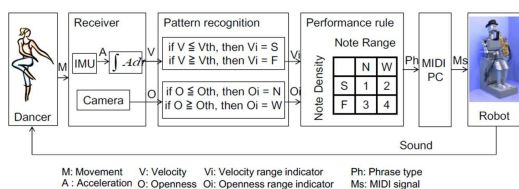


図4 Musical-based Interaction System.

(4) 即興パフォーマンス実験の実験条件を設定するにあたり、事前にプロ演奏者とプロダンサーへの聞き取り調査を行った。その中で、ダンサーと演奏者の関係性や、観客の有無などによって即興パフォーマンスの内容に影響を与えることが分かった。また筆者らの仮説通り、ダンサーは演奏者の表情からも情報を得ていると回答したため、ロボットの演奏能力の評価の為に視覚情報を制限した状態での実験を行う必要が確認できた。実験方法に関してまして、被験者はプロサクソフォニスト1名、プロダンサー1名であった。共に10年以上の経験があり、即興パフォーマンスの経験があった。この2名が組んで即興的にパフォーマンスを行うのは今回が初めてであった。実験結果には、ダンサーがLeaderの場合の実験結果を示す。プロ同士の結果をみると、ダンサーの加速度が大きくなった時にNote Densityが大きくなる様子が見られる。ロボットとダンサーの結果を見ると、MPGを使用していない場合は実験中に何度もサックスの吹鳴が停止している。MPGを使用した場合は、プロ同士の結果と同様にダンサーの加速度が大きくなるとNote Densityが大きくなるという結果が得られた。ダンサーとの即興的インタラクション実験では、これまで検討すべき項目が整理されないまま評価してきたロボットの演奏能力について、視覚情報を遮断した条件での即興パフォーマンスを行い、ロボットの即興的な振る舞いについて検証した。

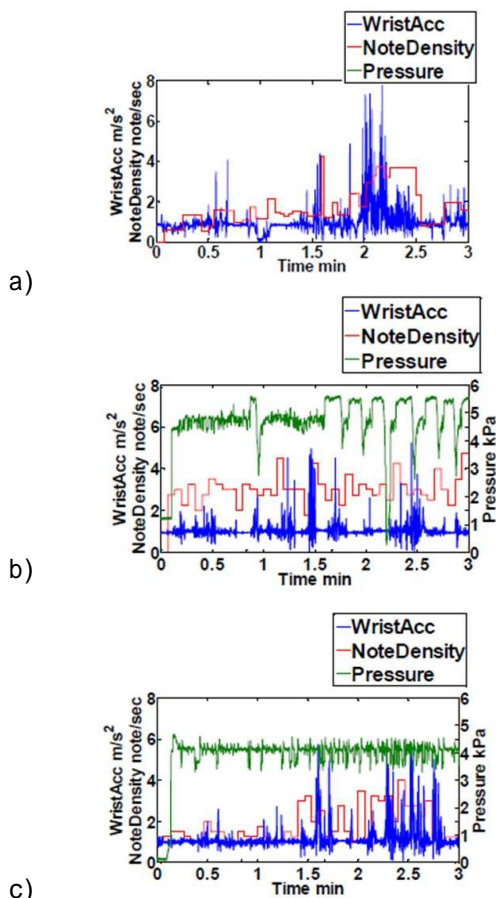


図6 Experimental results without MPG: a) Dancer - Leader and Robot - Follower b) Dancer - Follower, as well as with MPG: c) Dancer - Leader and Robot - Follower.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Solis, J., Takanishi, A., Biologically-inspired control architecture for musical performance robots, International Journal of Advanced Robot Systems, 査読有, 2014, 11:172, 1-11.
DOI: 10.5772/59232

[学会発表](計 4 件)

Solis, J., Ozawa, K., Petersen, K., Takanishi, A., Development of automatic system to optimize the sound quality and sound pressure of the Waseda Flutist Robot, 14th Mechatronics Forum International Conference Mechatronics, 2014年6月17日, Karlstad (Sweden), 377-383.

Solis, J., Petersen, K., Takanishi, A., Biologically-inspired mechanism design for anthropomorphic musical performance robots, 14th Mechatronics Forum International Conference Mechatronics, 2014年6月16日, Karlstad (Sweden), 549-554.

Solis, J., Petersen, K., and Takanishi, A., Design and development of a new biologically-inspired mouth mechanism and musical performance evaluation of the WF-4RVI, IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, 2013年11月8日, Tokyo (Japan), 200-205.

Solis, J., Petersen, K., Kashiwakura, J., Saitoh Y., Zecca, M, Takanishi, A. Development of the Waseda Saxophonist Robot No.2 Refined III: New Air Pump and Eye Mechanism, 2nd IFToMM Asian Conference in Mechanism and Machine Science, 2012年11月9日, Tokyo (Japan) ID77.

〔図書〕(計 4 件)

Solis, J., Takanishi, A., Human-Friendly Robots for Entertainment Purposes and Their Possible Implications, Evolutionary Robotics, Organic Computing and Adaptive Ambience: Epistemological and ethical implications of technomorphic descriptions of technologies, Michael Decker, Mathias Gutmann, Julia Knifka (Eds.), Berlin/Münster: Lit-Verlag, 2015.

Solis, J., Takanishi, A., Understanding the feasibility and applicability of the musician-humanoid interaction research: A study of the impression of the musical interaction, Robotics in Germany and Japan: Cultural and Technical Perspectives, Funk, M. and Bernhard, I. (Eds.), Peter Lang: Frankfurt am Main, Germany, Vol. 5, pp. 2014, 125-153.

Solis, J., Takanishi, A., Anthropomorphic Musical Robots Designed to Produce Physically-Embodied Expressive Music Performances, Guide to Computing for Expressive Music Performance, Kirke A., Miranda, R.E. (Eds.), Springer-Verlag: Heidelberg, Germany, 2013, 235-255.

Solis, J., Takanishi, A., Human-Friendly Robots for Entertainment and Education”, Service Robots and Robotics Design and Application, Ceccarelli, M. (Eds.), IGI Global: Heidelberg, Germany, 2011, 130-153.

〔その他〕

http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/top/research/music/saxophone/was_3/index.htm

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ソリス アルファロ ホルヘ

(SOLIS ALFARO, Jorge)

早稲田大学・理工学学院・招聘研究員

研究者番号：60434289