

補助事業番号 2022M-238

補助事業名 2022年度 関節剛性の制御により音色を変化できる人工筋肉駆動打楽器演奏ロボットの開発 補助事業

補助事業者名 中央大学理工学部助教 奥井学

1 研究の概要

本研究では、関節剛性の制御により音色を変化できる人工筋肉駆動打楽器演奏ロボットの開発を目的とした。打楽器演奏では楽器の形状、叩く材料、叩く速度、接触時間、接触点などで様々な音色を表現するが、まずは打楽器演奏の基本となるシングルストロークでの音量調節を対象動作とした。また、制御手法としては人工筋肉の特性変化や環境変化に対してロバストであると期待できる強化学習を用いた。結果、シミュレーション環境で強化学習により獲得した動作を実ロボットに適用し、目標の打撃音量にあった打楽器演奏動作を生成されることを示した。

2 研究の目的と背景

近年、ライブ・エンターテインメント市場は急激に拡大している。この市場拡大と技術進歩に伴い、エンターテインメント業界にロボットを用いるための研究が行われている。その中でも打楽器演奏の研究に着目すると、その動作解析からロボットへの応用まで様々な検討が行われているが、従来のモータなどのアクチュエータでは人間のようなバリエーション豊富な打楽器演奏動作は困難である。これは生物が可変剛性特性を持つアクチュエータ、つまり筋肉の拮抗配置により駆動することに起因する。この可変剛性特性を活用した動的な運動生成により、人間は多様な動作を遂行可能である。

人工筋肉アクチュエータは上記のような可変剛性特性を持つアクチュエータである。この人工筋肉は生体筋を模倣しており、その中でも空気圧人工筋肉は人の筋肉特性に近く、出力重量比、メンテナンス性が共に高いなどの利点から実用化もされている。人工筋肉アクチュエータを用いれば、人間のような多彩な演奏動作の再現が可能と考えた。そこで本研究では、関節剛性の制御により音色を変化できる人工筋肉駆動打楽器演奏ロボットの開発を目的とした。

3 研究内容

(1) 打楽器演奏ロボットシステムの開発

(<https://manu252.wixsite.com/website/research>)

打楽器演奏ロボットの外観を図1に、システム概要を図2に示す。提案するシステムは計測制御用PC、打楽器演奏ロボット、打楽器からなる。ロボットは強化学習であらかじめ生成された動作をもとに、PCからの入力で作動し、打楽器をたたく。強化学習シミュレーションは打撃力や関節角度などのロボットの状態を観測し、これらの情報に基づき、報酬計

算，制御器の更新をすることで，動作生成を行い実機に適用する。



図1 開発したドラムロボット

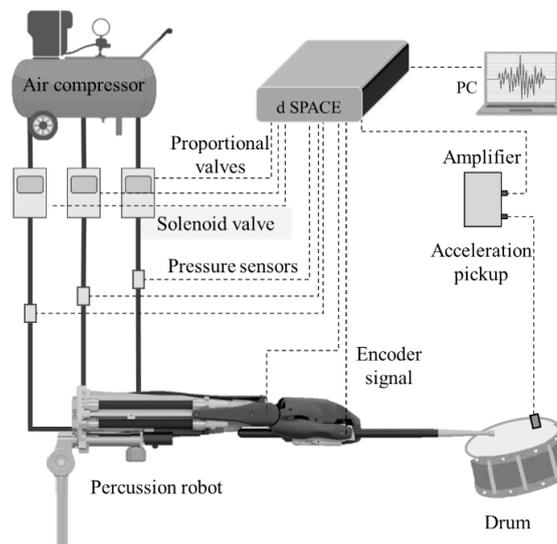


図2 システム構成

(2) 動作生成と実機への適用 (<https://manu252.wixsite.com/website/research>)

ドラムの打面に加える目標の力 F_t をそれぞれ 40 N, 60 N, 80 Nとして，シミュレーション環境内での強化学習を行った。図3は，学習収束後の結果と時間の推移の関係を示している。また，生成された圧力の指令値を実機で実行した際の結果を図4に示す。3つの図の縦軸は上から，DQNによって生成された演奏動作の印加圧力，ドラムに加わる力，手首関節の角度と横軸は時間の推移を示している。結果より，シミュレーションで獲得した動作を実機に適用することで，ロボットでの打楽器演奏に成功したといえる。また，目標の打撃力が強くなるにつれて，実際の打撃力も強くなることから，音の大小関係についても実ロボットでの再現に成功した。

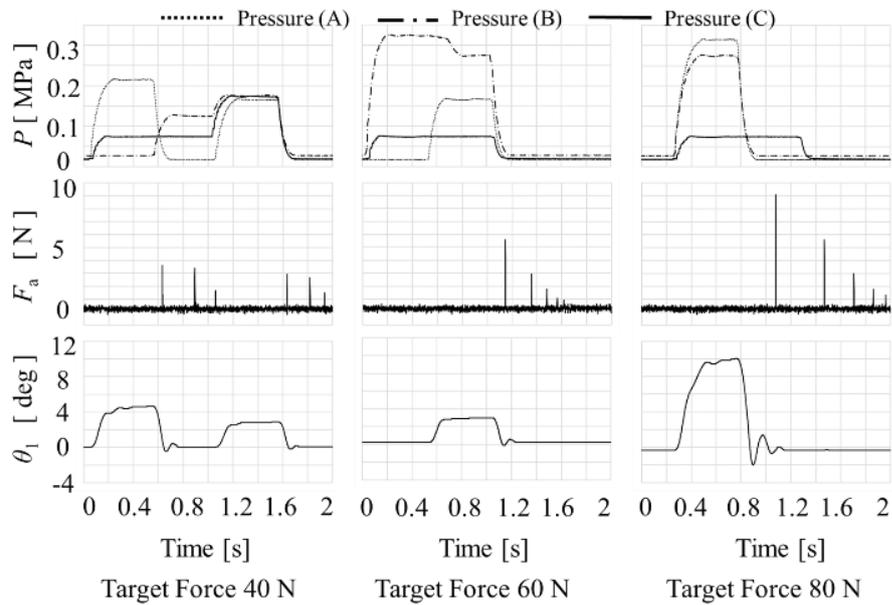


図3 シミュレーションでの強化学習実行結果

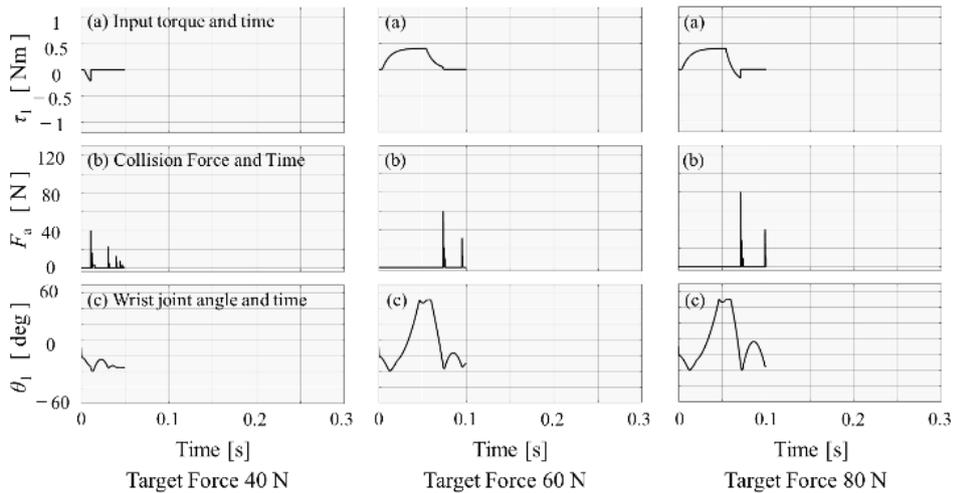


図4 実機への学習済み動作の適用結果

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究は人工筋肉の制御手法の確立を通じた、人間とロボットの協働を目指したものである。生物のような柔軟で軽量な人工筋肉アクチュエータの実用化が可能となれば、ロボットの活用範囲が大きく広がり、労働の代替や実際に触れあえるコミュニケーションロボットが実現可能になると考える。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者はこれまでに、ソフトアクチュエータに関する研究に従事してきた。制御についてはフィードバック制御やフィードフォワード制御に関するものがほとんどであり、強化学

習を用いた研究は本申請研究が初めてである。本研究は、申請者の知見を広げる観点でも、非常に有意義であった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- M. Okui, S. Nakamura, S. Kimura, R. Suzuki, R. Nishihama, T. Nakamura, "Control of single-stroke movement of a drum-playing robot by reinforcement learning using a realistic artificial muscle-driven robot", IECON 2022 - 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2022, Brussels, Belgium, MCRM6-1
- 山崎伶, 西濱里英, 奥井学, 中村太郎, "強化学習による打楽器演奏ロボットのシングルストローク動作獲得のシミュレーションによる検証", システムインテグレーション部門講演会 2021 (SI2021), 3D1-06, pp. 2762-2766. (2021. 12)
- 奥井学, 中村茉莉, 木村成吾, 西濱里英, 中村太郎, "実機を用いた強化学習のための空気圧人工筋肉駆動打楽器演奏ロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021, 2P2-A07. (2021. 6)
- 奥井学, 西濱里英, 鈴木隆二, 中村茉莉, 木村成吾, 中村太郎, "空気圧人工筋肉を用いた打楽器演奏ロボットの開発に向けた打楽器演奏動作の解析", 第 38 回日本ロボット学会学術講演会, 1H3-5 (2020. 10)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

特になし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 中央大学理工学部（チュオウダイガクリコウガクブ）

住 所： 〒112-8551

東京都文京区春日1-13-27

担 当 者： 助教 奥井学（マナブ）

担 当 部 署： 研究支援室（ケンキュウシエンシツ）

E - m a i l : secretary@bio.mech.chuo-u.ac.jp

U R L : <https://manu252.wixsite.com/website>

<https://www.mech.chuo-u.ac.jp/~nakalab/>