

2017年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関名 (大学、大学院、研究所名)	熊本高等専門学校 機械知能システム工学科
職位または役職	助教
氏名	松谷祐希

1. 研究題目

リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットのセンサレス位置・剛性制御

2. 研究目的

人間は既存の産業用ロボットと比較して、器用で柔軟な運動を実現することができる。その主な理由として、「人体の構造」が深く関係していると考えられている。人体の構造は、骨格が筋肉に覆われた筋骨格構造を有しており、筋肉の張力によって、関節を駆動させることができる。また、関節の剛性も調節することができ、姿勢を硬く維持したり、外力に応じて姿勢を柔軟に変化させたりすることができる。本研究では、「人体の構造」が人間の運動に寄与することを明らかにし、それを応用してロボットの制御性能を向上させるための研究を行う。

申請者は、人体の構造を模倣した腱駆動ロボットを対象にした内力フィードフォワード制御法を提案してきた。内力フィードフォワード制御法は、制御入力を運動学から求めることができ、センサ情報や力学モデルを必要としない。しかし、腱駆動ロボットが駆動冗長性を有しているため、制御入力を一意に決定することができない。また、昨年度は、リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットを提案し、可変剛性機構の位置によって剛性を変化できることを示した。しかし、シミュレーションによる静的な剛性評価しか行われておらず、実験的な検証と動的な検証も行う必要がある。

そこで本研究では、昨年度得られた知見を基に、リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットを対象とした実験を行い、その有効性を検証する。シミュレーションと実験により、可変剛性機構の動的な剛性評価を行い、位置・剛性制御の運動軌跡を評価する。次に、過去の研究で提案した内力フィードフォワード制御法の制御入力を最適化する方法として、ロボットの剛性楕円体を評価指標として用いる方法を提案し、センサレスで目標のリーチング動作と剛性を実現する方法を示す。

3. 研究内容及び成果

(1) 可変剛性機構を有する腱駆動ロボットの外力に対する剛性評価

昨年度開発したリンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットを対象に、動的な条件における、可変剛性機構の位置による剛性の可変性を示すため、腱駆動ロボットの手先に外力を与えたシミュレーションと実験を行った。図 1 に示す実験機は、リンク上にリニアガイドを有しており、ガイド上を可変剛性機構がスライド移動する。実験では、ロボットの姿勢は同じに設定し、可変剛性機構の位置が異なる状態で、外力によって生じた運動挙動を比較する。外力はバネ力によって一定力を発生することが可能な装置を用いて、インパルス状に加える。

実験機にインパルス状の外力を加えたときの実験結果を図 1 に示す。実験結果より、提案している可変剛性機構を有する腱駆動ロボットが、可変剛性機構の位置に応じて動特性に変化が生じることを示し、可変剛性機構の位置によって剛性を変化させることができることを定性的に確認した。

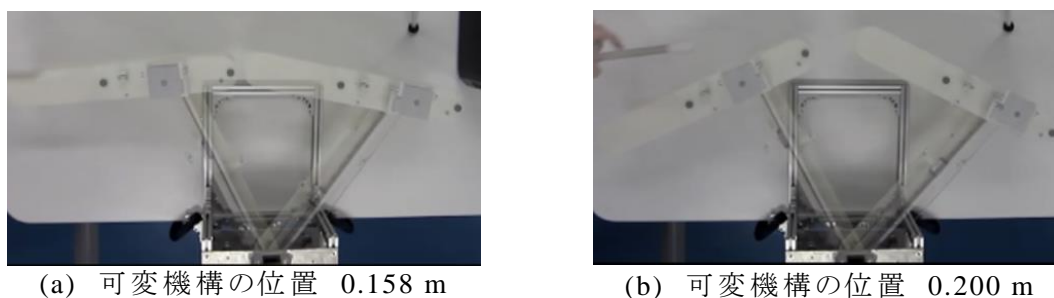


図 1 可変機構の位置の違いによる外力に対する運動挙動の比較

(2) 重力影響下における腱駆動ロボットのリーチング運動

重力影響下において、重力補償に正確な物理パラメータを必要としない、制御手法を提案し、その有効性をシミュレーションにて確認した。シミュレーション結果を図 2 に示す。シミュレーションでは、制御入力の計算に実際のリンクの物理パラメータではなく、誤差率 20%の集合からランダムに選んだ値を用いたが、目標位置に収束していることが確認できる。提案手法は、重力補償に正確な物理パラメータを必要とせず、さらにセンサ情報にむだ時間が含まれていても正確な位置制御を行うことができる。

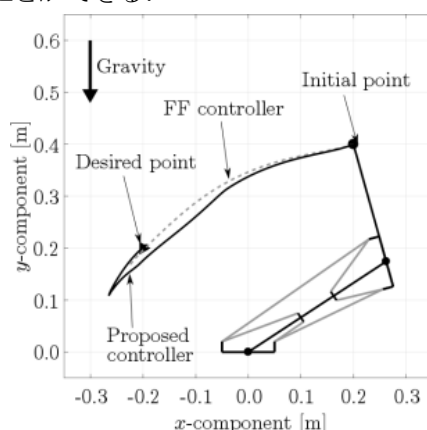


図 2 重力下における位置制御

(3) 剛性行列を用いた筋内力の決定法

内力フィードフォワード制御法の制御性能を向上させるため、剛性行列を用いて制御入力を求める制御入力の最適化を提案し、シミュレーションで有効性を確認した。本成果は、国際論文誌に投稿予定である。

4. 今後の研究の見通し

本研究では、リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットを対象に実験を行い、動的な剛性評価を定性的に示した。また、先行研究で提案した内カフィードフォワード制御法を拡張し、重力影響下において、重力補償に正確な物理パラメータを必要とせずに、腱駆動ロボットのリーチング運動を実現可能であることを示した。さらに、内カフィードフォワード制御法の制御入力を、剛性に関する指標を用いて最適化し、センサレスで位置・剛性制御が実現可能であることを示した。

今後は、リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットを対象にしたシミュレーションと実験において、剛性の定量的な評価方法を導入し、腱駆動ロボットの剛性の定量的な評価を行う。さらに、腱駆動ロボットの動作範囲を2次元平面から3次元空間に拡張する。重力影響下における位置制御法をベースとした新しい制御手法を提案し、3次元空間内の位置・姿勢制御を実現する。

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

- Y. Matsutani, K. Tahara, H. Kino and H. Ochi, "Stiffness evaluation of a tendon-driven robot with variable joint stiffness mechanisms", Proceedings of the IEEE-RAS 17th International Conference on Humanoid Robotics, pp. 213-218, 2017.