

2017 年 11 月 30 日

2016 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
所属機関の住所	〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627
Tel	0965-53-1284
E-mail	matsutani@kumamoto-nct.ac.jp

1. 研究題目

人間の筋骨格構造に基づいた次世代型ロボットアームの開発

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」と「脳の運動生成原理」の二つの要素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、筋肉によって駆動する。また、筋骨格構造は駆動冗長性を有しているため、関節の剛性を調節でき、姿勢を硬く維持したり外力に応じて柔らかく変化させたりすることができる。「脳の運動生成原理」は、人間が目をつぶり視覚情報を遮断した状態でも運動を行えることから、フィードバックだけでなくフィードフォワードも重要な役割を果たしていると考えられている。

申請者はフィードフォワードによる動作生成に着目し、これまでに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、センサや力学モデルを用いることなく目標位置に制御することができ、外乱が生じて目標位置への制御を継続することができる。しかし、先行研究はシミュレーションベースで行われており、実験による検証は行われていない。

上記の背景および先行研究とともに、本研究では、人体特有の構造が人間の運動に寄与することを明らかにし、ロボットの制御性能を向上させるための研究を行う。まず、人間の構造を模倣した腱駆動ロボットを開発し、内力フィードフォワード制御法の有効性を実験的に検証する。さらに、腱駆動ロボットにロボット独自の機構を搭載し、ロボットの運動性能を向上させる。

3. 研究内容及び成果

(1) 内力フィードフォワード制御法の実験的検証

人間の構造を模倣した腱駆動ロボットを開発し、内力フィードフォワード位置制御法の有効性を実験的に検証した。まず、3Dプリンタで製作したリンク2つと6本のテグスで構成する腱駆動ロボットを製作した。本システムでは、一定の張力を入力するだけで位置制御が可能であることを示すため、テグスに重りを取り付け、重りの荷重によりテグスに張力を発生させている。そのため、本システムはセンサだけでなくアクチュエータも搭載していない。

図1に腱駆動ロボットを対象にした内力フィードフォワード位置制御法による制御結果を示す。目標位置(図中の赤丸)で釣り合う内力を制御入力としてテグスに与えると、ロボットの姿勢が変化し、目標位置に姿勢が収束することが確認できた。さらに、制御中に外力を与えると、ロボットは外力にならった運動を行い、外力がなくなるとすぐに目標位置へ向かう運動に復帰することが確認できた。腱駆動ロボットを対象に内力フィードフォワード制御法を用いることで、人間と接触した場合でも、人間に危害を与えない柔軟な動作が可能なロボットを開発した。



図1 内力フィードフォワード位置制御の実験結果

(2) リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットの剛性評価

リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットに対して、剛性楕円体を用いた静的な剛性評価を行った。シミュレーションにて、腱駆動ロボットの手先位置を維持したまま、可変剛性機構の位置を変化させ、手先剛性楕円体を用いて腱駆動ロボットの剛性を評価した。図2に示す結果より、剛性楕円体の長軸を最大で約23°変化させることが可能であることを示した。

(3) リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットの開発

図3に示すリンクにリニアガイドを搭載し、リンク上をスライド移動可能な可変剛性機構を有する腱駆動ロボットを開発した。各機構にテグスが2本ずつ接続されており、テグスの張力によって駆動する。そのため、従来の可変剛性機構を有する腱駆動ロボットに比べ、新たなアクチュエータを必要とせず、シンプルな構造にすることが可能である。基礎実験として、手先位置を維持したまま、可変剛性機構の位置を変化させることができることを示した。

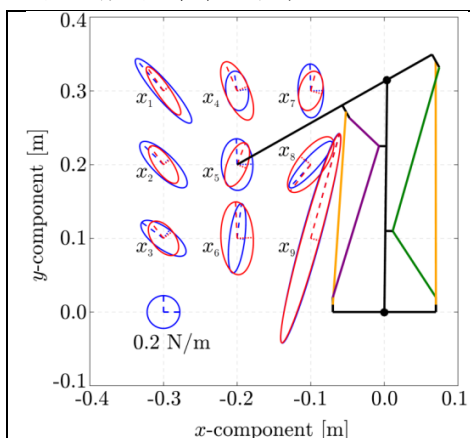


図2 剛性評価の結果

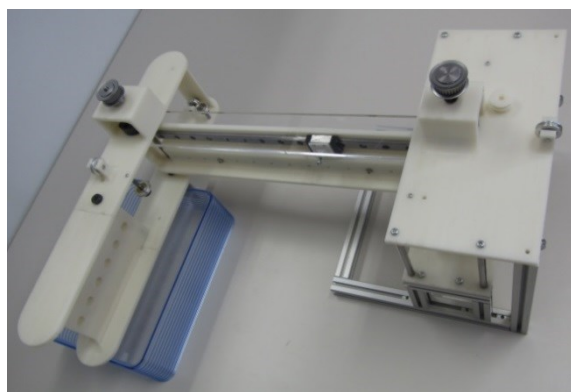


図3 リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボット

4. 今後の研究の見通し

(1) リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットの実験的検証

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実験し、静的な剛性評価、動的な剛性評価を行う。本申請では、シミュレーションによる腱駆動ロボット静的な剛性評価を行った。今後の研究では、開発した腱駆動ロボットを対象に、リンク上の可変剛性機構の位置の違いによる、リーチング運動の軌跡の変化や、外力によって運動が阻害された場合の運動挙動の変化を実験的に検証する。

(2) 内力フィードフォワード制御法における制御入力最適化

腱駆動ロボットの剛性楕円体を評価指標として用いた、内力フィードフォワード制御法の制御入力の最適化方法を提案し、センサレスで位置・剛性制御を実現する。内力フィードフォワード制御法の制御入力である目標位置で釣り合う内力は、ロボットの駆動冗長性により一意に決定することができない。そこで、内力とロボットの剛性楕円体の関係式を導出し、任意の手先位置で任意の手先剛性を実現可能な制御入力の決定方法を提案する。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

- [1] 松谷祐希, 田原健二, 木野仁, 越智裕章, “リンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットの剛性評価”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集, 2P2-12a2, 2016.
- [2] 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.