

2018 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関 名	早稲田大学
職位または役職	研究院講師
氏 名	長濱 峻介

1. 研究題目

分散・協調的な駆動機構を有するソフトアクチュエータシステムの開発

2. 研究目的

ロボットの巧緻性や安全性を実現するために、柔らかく安全なアクチュエータが求められている。人間のアクチュエータは、それらを体現しているアクチュエータと言われており、多数の筋原線維で構成された筋肉、腱、靱帯から成る。筋肉の特徴は筋原線維の集合体である様々な太さと長さの筋繊維が、身体に分散的に密に配置されていることである(分散性)。そして、これらの分散的に配置された筋繊維が、協調・同期して動作することにより大きな出力が得られる(協調性)。また、筋肉内部の筋紡錘が長さを感じ、筋の伸びの情報を脳に提示する。腱や靱帯は筋肉と骨を結合し、その粘弾性により衝撃吸収や張力調整を担う。人間はこれらの機序により、柔らかさや高い重量比出力を実現していると考えられる。その結果、従来の機械システムにはない身体性を有するに至り、巧緻性や安全性を実現している。

上記のことから人間のアクチュエータは「分散的に高密度に配置された動力が協調的に動作するシステム」と工学的には解釈することができ、これにより体積的に限られた身体の中に高密度にアクチュエータを配置することを可能としている。これらの特徴を有するアクチュエータシステムを構築するために、本研究ではねじれ紐式アクチュエータ(TSA)に着目した。このアクチュエータでは、電動モータの回転が紐をねじることで直線運動が取り出せる。さらに、減速機構も兼ねた動力伝達により機構の省スペース化が実現でき、ねじった紐が一定の柔軟性や弾性を持つという特徴も有する。複数のねじれ紐式アクチュエータを分散的に配置し、協調的に動作させることで人間のアクチュエータが有する(A)分散性、(B)協調性を実現する。

本年度は、TSA を分散的に配置した構造を有する機構の開発を行い、提案機構(分散協調駆動機構)の駆動における同期性能の評価を行った。また、分散協調駆動機構の同期性能向上のために TSA の特性調査を行った。

3. 研究内容及び成果

【TSA を分散的に配置した構造を有する機構の開発】

TSA は、減速機として粘弾性体（ダイニーマ等）の紐を使用する．そのため、同期駆動する際に多少の同期のずれがあってもその誤差を吸収すると考えられるこのアクチュエータの性質を利用することで、人間のアクチュエータが有する分散性・協調性を模倣し、体積比出力の高いアクチュエータを提案する．提案機構を備えた 1 自由度のロボットアームを開発し、実験により同期性能を確認した．

図 1(a)に本年度製作した機構を示す．図 1(b)に示すように、モータユニットを開発した．モータユニットは 4 つのモータが密に敷き詰められており、それらのモータは直列になるように配置されている．このユニットを図 1(a)のように敷き詰めることで密な配置を可能とした．また、ユニットを並べた際に後ろのユニットと前のユニットの紐どうしが干渉することを防ぐためにガイドを設置した．アームの制御方法としては、各モータではなくユニットごとの制御を行うことで、制御点数を減らすことを可能にした．制御回路としてカレントミラー回路を各ユニットの駆動に用いることで、同じ電流が各ユニットに流れるようにして、ユニットにかかる負荷を均等化した．

上記の 1 自由度アームを用い、機構の効率を確認する実験を行った．実験設定を図 2 に示す．この実験では、摩擦や同期のずれによる出力の損失が無い場合の提案機構の出力である理論出力と、提案機構を駆動した際の出力である協調駆動出力の比較を行った．ここでの出力とは提案機構の手先の力であり、フォースゲージを用いて取得した．理論出力では、ねじれ紐式アクチュエータ 1 個の出力を計測し、その値を摩擦などの損失が無い状態と仮定し計算を行った．協調駆動出力では、1～10 番ユニットと同じ長さの紐を用いた際のねじれ紐式アクチュエータの出力を計測した．理論出力に対する協調駆動出力の比（効率）を算出することで、提案機構の効率を確認した．実験結果を図 3 に示す．1～3 番のユニットを同時に駆動した際は効率が 70% 前後となったが、ユニットの個数を増やすことで徐々に効率が上がり、5 個以上のユニットを同時に駆動した際の効率は 90% 前後となった．この結果から 10% 程度の損失が生じていることが確認できた．しかしながら、ユニット数を増やした際の効率が一定に上昇しているわけでないことから、この損失はガイドの穴の摩擦係数やモータユニットの固定角度のバラつきなどのハードウェアが原因の損失である可能性がある．今回製作した機構は構成が複雑すぎたため、今後は同期性の確認を行うためのシンプルな機構を製作し実験して分散協調駆動機構の評価を行っていく．

【TSA の特性調査】

上記の分散協調駆動機構の実験の際に、TSA の出力に影響を与えるパラメータとして紐の直径や長さ、種類、硬さ、プーリの有無などがあることが確認できたため、単体の TSA の評価を行った．紐の直径を 0.1 mm 程度変更するだけで劇的に出力が変わることが確認できている．



図 1 分散協調駆動機構の試作

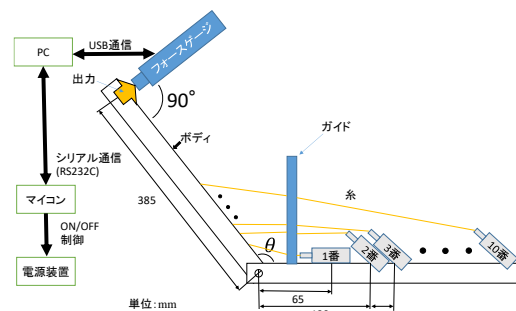


図 2 実験設定

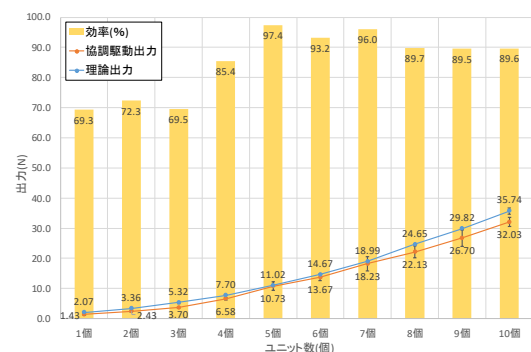


図 3 実験結果

4. 今後の研究の見通し

今年度行ったのは概念の検証であったので、今後は分散協調駆動機構の評価を厳密に行う必要がある。今後の流れとしては、まず各モータに対して紐の直径や長さを変更した際の TSA の最大出力や速度を明らかにする。その後、モータの個数を減らした分散協調駆動機構の評価を行い、TSA の同期性を厳密に確認する。機構の評価後、分散協調駆動を備えたロボットハンドや脚の開発を行い、従来のロボットにはできない運動が実現できることを実証する。

TSA の特性調査に関しては、実験から得られたデータから TSA のパラメータと出力の関係式（実験式）が構築できつつある。この関係式を用いることで、モータの出力や紐径等を変更した際の TSA の出力や紐の破断強度が推測でき、TSA を用いたシステムの設計が容易になる。今後、様々な条件で実験を重ね、得られた関係式が真であるかの確認を行っていく。また、TSA の設計方法が確立された後は、TSA にセンサ機能を付与し変位と張力が計測可能な TSA ユニットの開発を行っていく。これにより、TSA ユニットのみに運動に必要な情報が取得可能となり、システム全体を小型にすることができると考えている。

今後の大きな課題となりそうなのは、紐がプーリに接触した際に摩擦の影響で出力が大きく低下することである。この現象は、ロボットハンド等のアプリケーションを製作する上で TSA の配置の自由度を下げる要因となり、提案機構の分散性を実現する上で障害となりうる。そのため、プーリの材料や構造を変更するなどにより、摩擦を低減する技術も開発していく。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

【国内学会(査読なし)】

- [1] 佐藤充希, 長濱峻介, ズャーリッチ和樹, 菅野重樹, 「多様な動作モードを実現するためのねじれ紐式アクチュエータの特性調査」, SI2019.
- [2] ズャーリッチ和樹, 長濱峻介, 菅野重樹, 「複数のねじれ紐アクチュエータの分散的な配置の検討」, ROBOMECH2019
- [3] ズャーリッチ和樹, 長濱峻介, 菅野重樹, 「複数のねじれ紐式アクチュエータを用いた分散・協調駆動システムの開発」, SI2018.

【今後の予定】

分散協調駆動機構と TSA の特性評価に関してはまとまった結果が出つつあるので、査読付き論文誌に投稿していく。