

2022年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	宮崎大学 工学教育研究部 機械知能工学プログラム
職位または役職	准教授
氏名	舩屋 賢

1. 研究題目

ロボット装具のための回転軸位置が自在に変化する軽量・高出力・画一的な関節機構

2. 研究目的

本研究では、人の生活を豊かにするウェアラブルロボット装具のための、回転軸の位置が自在に変化する画一的かつ軽量・高出力な関節機構の開発、を目的とする。

健常者用のウェアラブルロボット装具が工場や介護の現場へ導入されつつあり、人の生活を豊かにするロボット装具の研究が期待されている。従来研究では、回転に伴って生じる回転中心位置の変動が人の膝・足首・腰などの各関節で違うため、ある関節を対象とした関節機構開発、すなわち、ハードウェアのテーラーメイドに基づく装具開発が行われてきた。しかし、ハードウェア調整によるコスト増加や、設計のための測定による利用者の負担増加が問題となる。

そこで、報告者は、推定器・制御器のようなソフトウェアが人に合わせて自動調整される、ソフトウェアのテーラーメイドに基づく装具開発を目指し、研究を進めている。ソフトウェアのテーラーメイドが可能になれば、画一的な関節機構の組合せで装具を設計でき、ハードウェアの調整コスト削減が図れ、装具の普及につながる。このような機構には、次の5つの特性が求められる。

- ① 人の回転中心変動に合わせるための、「回転中心変動に対する受動性」
- ② 人の関節角度を意図した角度で補助するための、「関節角度の制御性能」
- ③ 人の運動補助のための、「高速・高トルクな出力」
- ④ 人に装着するための、「モジュールの軽量さ」
- ⑤ 組合せて装具を設計する際に駆動部の質量を減らすための、「遠隔駆動」

これらを満たす関節機構として、報告者は永守財団研究助成 2021 にて、平行リンク機構とベルト駆動を統合した平面関節機構の開発に取り組んできた。この機構を股関節などへ拡張することで、より画一的な関節機構を設計できると考えられるが、それらの関節は三次元的に回転し、かつ回転中心が三次元的に変動する。三次元回転は球面機構で、回転中心の三次元変動は動作方向の異なる平行リンク機構の組合せで対応できるが、その際、球面機構や動作方向の異なる平行リンク機構において、④軽量さを満たすベルト経路確保が難しい。また、他の遠隔駆動方法としてワイヤ駆動が考えられるが、ワイヤのずれ・たわみにより②制御性能の確保が難しい。

そこで研究助成 2022 では、平行リンク機構とワイヤのように柔軟なタイミングベルトを統合した、回転軸の位置が自在に変化する軽量・高出力な三次元関節機構の開発を目指す。

3. 研究内容及び成果

■ A. ワイヤのように柔軟なタイミングベルトの開発

まず、ワイヤのように柔軟なタイミングベルトの開発に取り組んだ。開発したプロトタイプを図 1 に示す。プロトタイプは、型へ設置したループ状芯材の周りにゴムを注型することで製作した。

開発した柔軟なタイミングベルトの駆動伝達性能を、入出力軸と軸方向が直交する回転関節をベルト経路中に含む実験機(図 2)で検証した。ここで、柔軟性に焦点を当て、直交回転関節軸の回転角度を一定として、入出力軸の回転角度を計測した。図 3 の結果より、途中の回転角度によらず、およそ一定の駆動伝達性能を示すことを確認した。

■ B. 平行リンク機構を用いた股関節用関節機構の開発

◆ B-1. 四つの平行リンク機構を用いた機構開発

上記と並行して、平行リンク機構を用いた股関節用関節機構の開発に取り組んだ。製作した関節機構を図 4 に示す。ここで、四つの平行リンク機構を組み合わせた構造とし、屈曲・伸展をモータ駆動で補助するものとした。

この関節機構について、回転関節へモータにより与えられる駆動トルクが、平行リンク機構を介して装着位置の力・トルクにどのように伝達されるかを仮想仕事の原理より解析した。結果として、装着位置にはトルクのみが伝達されることを確認した。

さらに、駆動トルクのみが伝達されることを図 4 の実験機で検証した。装着位置に設置した 6 軸力センサの計測値より、ある装着箇所では、働くモーメントから計算される等価な力に比べて、装着箇所に働く力が小さいことを確認した。このことから力は伝達されず、トルクのみが伝達されることを確認できた。

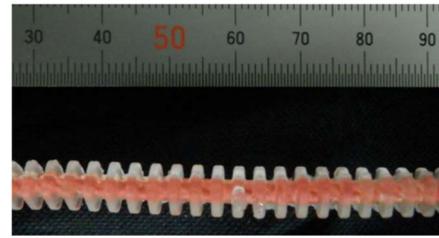


図 1. 開発した柔軟タイミングベルト.

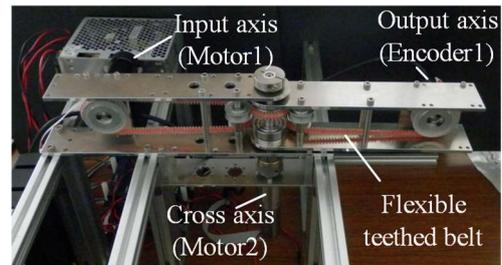


図 2. 入力軸・出力軸と軸方向が直交する回転関節をベルト経路中に含む実験機.

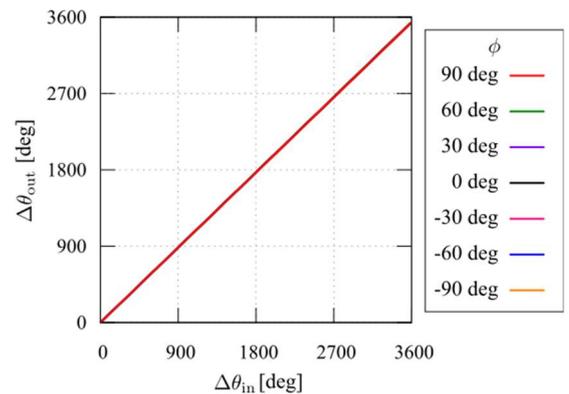


図 3. 直交する回転軸の角度を一定としたときの入力軸の回転と出力軸の回転の関係(傾き 0.98).

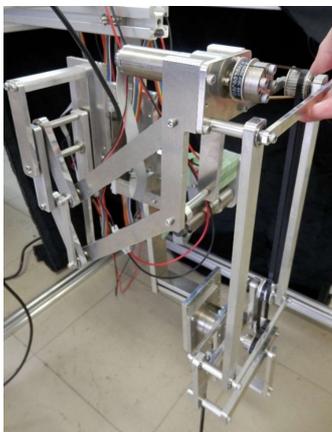


図 4. 製作した股関節用関節機構.

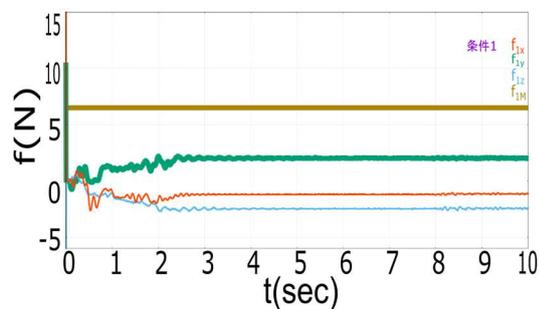


図 5. 駆動時の力の測定結果. 赤色・緑色・青色がそれぞれ x・y・z 方向の力, 黄土色がモーメントと等価な力を示す.

◆B-2. 三つの平行リンク機構を用いた機構開発のためのパラメータ最適化

さらなる軽量化のために、平行リンク機構の数を三つに減らした設計方法を構築した。ここで、股関節用関節機構の動作は三次元的となり、可動域の境界を求めることは難しい。そこで、可動域の包含問題を逆運動学の求解問題に置き換えた、可動域境界を求めない最適化計算方法を構築した。開発した方法により、三つの平行リンク機構であっても人の股関節可動域と装着位置のずれから求まる要求可動域を満たす、リンク長さの設計が行えた。

■C. 柔軟なタイミングベルトと平行リンク機構を統合した股関節用関節機構の開発

AとBの成果をもとに、柔軟なタイミングベルトと平行リンク機構を統合した股関節用関節機構の設計に取り組んだ。柔軟なタイミングベルトの経路を図2の実験機をもとに設計することで、平行リンク機構の軸方向が変化しても、経路長が一定となる経路を構築できることを確認した。

4. 今後の研究の見通し

2022年度は、股関節を対象として、遠隔駆動のためのベルト経路を確保可能、かつモータ出力が回転中心変動に影響しない、複数の平行リンク機構を用いた関節機構の設計に取り組んだ。また、その設計にあたり、三次元的な経路を通すことのできる柔軟なタイミングベルトの開発を進めた。設計した股関節用関節機構において、解析および図4の試作機を用いた実験により力の伝達について検証を行った。

柔軟なタイミングベルトによる駆動伝達において、入力軸の回転量と出力軸の回転量が同期せず、また回転中にゴム部が断裂することがある。前者の同期に関する問題については、プロトタイプではベルトとプーリの歯のかみあい十分でないことが原因のひとつと考えられる。また、後者の断裂に関する問題は、材料の見直しにより改善できると考えられる。これらを踏まえて、現在、歯形状の再設計および材料を再選定した柔軟なタイミングベルトを開発中である。

また、2022年度の研究では、人の股関節可動域と装着箇所の変動に焦点をあてた設計を行ったが、実際の利用時には、途中のすべてのリンクが環境と接触しないようにしなければならない。とくに、この環境との接触は、足首関節のような環境に近い部位で顕著に生じうると考えられる。このため、今後の研究のひとつとして、環境との接触を考慮した設計方法の構築が必要である。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国内会議(査読無)

- [1] 舩屋賢, “柔軟タイミングベルトを用いた遠隔駆動の基礎的検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023, 1A2-H15, 名古屋, 2023.6.
- [2] 弓掛匠, 舩屋賢, “装着位置のずれを吸収する平行リンク機構を応用した股関節用外骨格の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023, 2A1-C06, 名古屋, 2023.6.
- [3] 弓掛匠, 舩屋賢, “平行リンク機構を用いて装着位置のずれを吸収する股関節用外骨格のリンク長さ最適化”, 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 千葉, 3C3-05, 2023.12 (発表予定).

特許

- [4] 舩屋賢, “柔軟タイミングベルト及び装置”, 出願者:国立大学法人宮崎大学, 特願 2023-131555, 出願日 2023年8月10日.