

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14122

研究課題名（和文）人と装具の運動間のずれを考慮した人と親和性の高いロボット装具の制御方法構築

研究課題名（英文）Controller design for human-friendly robotic orthoses considering the misalignment between human and orthotic motions

研究代表者

舩屋 賢（Masuya, Ken）

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：60796358

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、装具のセンサのみによる人の関節運動のリアルタイム推定と、ずれを補償するアクチュエータの制御方法構築による、人と親和性の高いアシスト装具の開発を目指した。まず、装具のセンサ値から、人の関節運動における回転中心位置を評価関数に基づいてロバストに推定する方法を構築し、実験でその有効性を確認した。並行して、人と装具の間の運動ずれを補償するために、装着箇所に発生する力に基づいて目標運動の速度を変化させる Assist-as-Needed なアクチュエータ制御器を構築した。アクチュエータ制御器に回転中心推定器を統合した装具制御器を構築し、人と装具の間の運動ずれを補償できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来研究の多くが、ハードウェアである機構に焦点をあてた人との親和性改善が主流であったことに対して、本研究の成果は、推定器・制御器のようなソフトウェアで人との親和性を改善することにある。このハードウェアではなくソフトウェアを中心とした設計方針は、本研究で扱った下肢のアシスト装具だけでなく、他のアシスト装具全般に対して重要な知見を与えることができる。さらに、日常での利用において、均一な装具が利用者に応じて適応していくインテリジェント装具の実現に貢献する。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a human-friendly wearable robot consisting of two software-based methods: the real-time estimator of human joint motion only using sensors on the robot and the actuator controller compensating for the motion difference between the human and robot. As the motion estimator, we proposed a robust estimator of the human joint's center of rotation (CoR) based on an evaluation function. On the other hand, as the actuator controller, we proposed an Assist-as-Needed controller varying the velocity of the desired motion with the inner force acting attachment location. Integrating the estimator and controller, the wearable robot can compensate for the motion difference by using the estimated CoR.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ウェアラブルロボット 運動アシスト 運動推定 Assist-as-Needed制御

1. 研究開始当初の背景

近年、工場や介護の現場において、パワーアシストスーツのような健常者のためのウェアラブルなアシスト装具が活躍するようになっており、将来的には、より人の日常に近い環境でロボット装具が活躍すると期待される。このような状況のもと、日常で使いやすいウェアラブルなアシスト装具の開発が盛んに行われている。

このようなアシスト装具には、装着者へ疲労感を与えずに所望のアシストを実現するために、①軽量さ、および②人と装具の運動間のずれの少なさが求められる。これらの要求のうち、①軽量さについては、これまでに、重量化の主な原因であるアクチュエータの軽量化や、可動部へのアクチュエータ配置を減らすためのパラレルリンク駆動やワイヤ駆動の実装により改善が図られてきた。

一方で、②運動ずれの少なさを実現するために、人の関節運動に基づくアシスト装具の運動設計が行われてきた。この方策では、装具の装着位置・姿勢が常に同じであることを仮定しているが、日常で利用する際の装具の脱着により仮定が常に成り立つとは限らない。すなわち、装着位置・姿勢のずれにより、結果的に人と装具の運動にずれが生じ、人との親和性が低下する。この問題に対して、受動的な自由度を装具に導入する方策が提案されており、研究代表者もまた柔軟部材を導入した関節装具[1]を開発してきた。しかし、そのような装具でも、人のアシストのために制御されるアクチュエータの力・トルクは、人の関節運動に沿ったものである必要があり、結果的に人の実際の関節運動が必要であった。

上記の問題を踏まえると、人の関節運動をリアルタイムに測定し制御に用いることが求められる。しかし、日常での利用を考えたとき、モーションキャプチャのような、装具の外部に設置されたセンサを用いることは好ましくない。したがって、基準となる装着位置・姿勢がずれている可能性がある装具に設置されたセンサのみで、人の関節運動をリアルタイムに推定し、ずれを補償するようにアクチュエータを制御することが課題となる。

2. 研究の目的

本研究では、装具のセンサのみによる人の関節運動のリアルタイム推定と、ずれを補償するアクチュエータの制御方法構築による、人と親和性の高いアシスト装具の開発、を目的とする。その開発にあたり、これまで研究代表者が扱ってきた膝関節を含む下肢を対象とした。下肢の関節運動の多くは、回転中心位置と姿勢が同時に変化するため、これらをリアルタイムに推定すれば、関節運動を推定できる。しかし、回転中心位置を求めるためには位置・姿勢の時間変化が必要であり、静止時の推定が難しい。研究代表者はこれまでに、ロボットが環境に接触したときの、位置・姿勢の時間変化と力の情報から回転中心位置をロバストに計算する方法を開発している[2]。この方法における「ロボットと環境」を「アシスト装具と人」に置き換えて適用することで、静止時の推定もまたロバストに実現できると考えた。

3. 研究の方法

本研究では、上記の目的達成のために、下記の3つの課題に取り組んだ。これらの課題のうち、課題1・2は並行して進め、それらを統合しながら課題3を遂行した。

課題1. 装具に設置したセンサの計測値から、人の下肢関節における回転中心位置と姿勢を推定する方法を開発する。

課題2. 人の下肢関節における回転中心位置・姿勢を用いて、運動のずれを補償するアクチュエータ制御器を開発する。

課題3. 回転中心位置と姿勢のリアルタイム推定と、運動のずれを補償するアクチュエータ制御器を統合した、人と親和性の高い下肢アシスト装具制御器を開発する。

4. 研究成果

本研究の主たる成果は以下の3つである。

(1) 装具上のセンサによる回転中心位置推定器の開発

人の膝関節の屈曲運動を対象に、回転中心位置推定器の開発を行った。推定器の設計にあたり、回転中心位置からの距離が計測値に近く、かつ、その距離が1ステップ前のものへ近くなるように評価関数を設定した。結果として、その評価関数を最小化する回転中心位置からの距離を用いることで、推定が行える。ただし、装具ロボットの装着箇所のずれは装着時のみ生じ、人の上肢と下肢の間の相対姿勢・相対角速度が計測できるとする仮定を置いた。図1に示す膝ダミーロボットと装具ロボットの下肢部を手で動かした実験により、開発した推定器で回転中心位置を推定できることを確認した(図2)。開発した回転中心推定器を他の関節へ拡張することが、今後の課題のひとつである。

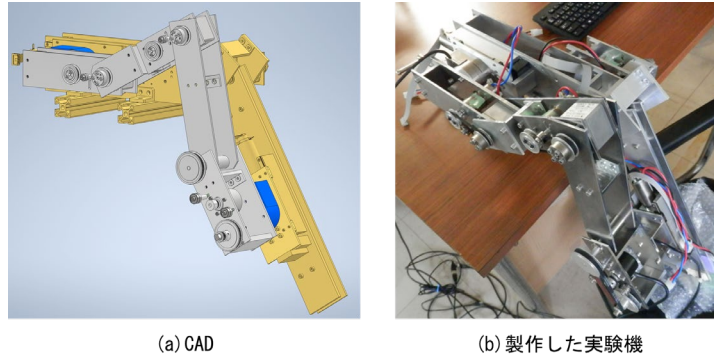


図 1. 膝ダミーロボットと装具ロボット.

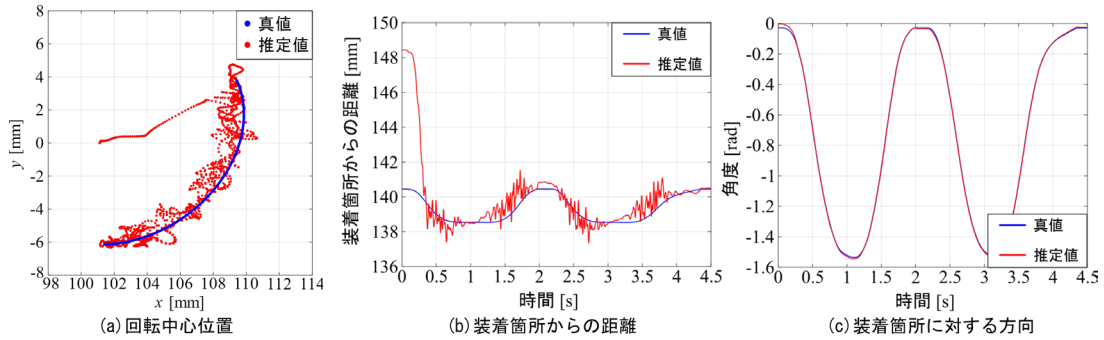


図 2. 手で動かした場合における回転中心推定の結果.

(2) 人と装具の運動ずれを補償するアクチュエータ制御器の開発

運動のずれに伴って装具の装着位置にはせん断力が生じることが知られている[3]. このことから、人と装具の運動におけるずれを補償するアクチュエータ制御器として、装着位置におけるせん断方向の力を最小化することを考えた. このとき、人の関節を運動させる力が目標値となることが同時に必要であるが、もし力の目標値が適切でない場合、アシストが不足し、目標となる運動が実現できない可能性がある. 逆に、過大なアシストが行われた場合、かえって装着者の能力低下を招く. このため、装着者の能力に合わせて、アシストの度合いを調節するように力制御が行われることが望ましいが、同じ装着者でも運動の速さが異なり、人と装具の運動間でずれが発生してしまう.

そこで、インデックスにより目標軌道を変化させる領域アトラクタ[4]に基づいて、人と装具の間の力をインデックスとして目標速度を調節する Assist-as-Needed な力制御器を開発した. その有効性の検証のために、図 1 の膝ダミーロボットに制限トルクを設定して動かした際に、装具ロボットの有無でどのような変化が生じるかを実験で確認した. 3つの制限トルク条件に対する、装具あり・なしでの膝の回転角度と角速度の相図を、図 3 に示す. 赤線で示したダミーロボットの能力が十分な場合、ダミーロボットのピークトルクに大きな変化がないことから、過度なアシストは行われていないことが確認できる. また、緑線

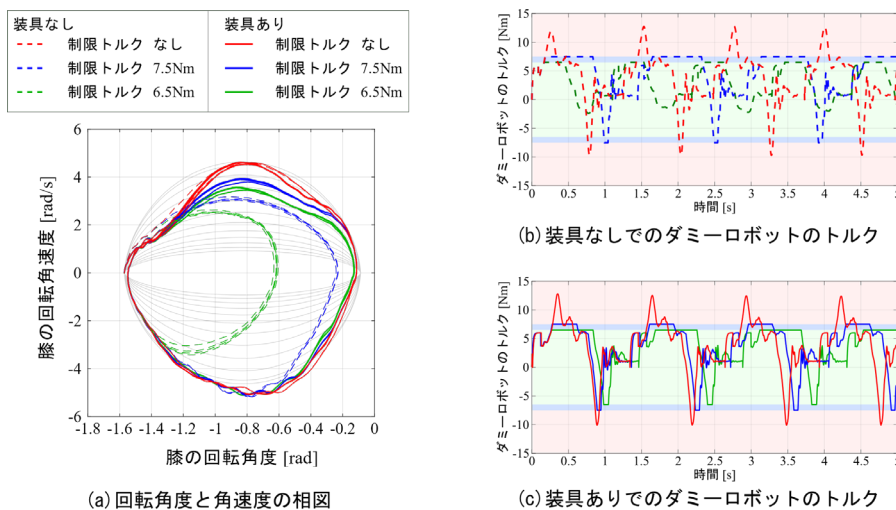


図 3. 膝ダミーロボットを用いたアシスト実験結果.

で示したダミーロボットの能力が不足している場合でも、アシストにより到達角度を赤線の場合に近づけられることがわかる。したがって、ダミーロボットの能力に従って制御器の目標速度を調節することで運動ずれを補償し、適切なアシストが行えることを確認した。

(3) 回転中心位置推定とアクチュエータ制御を統合した装具制御器の開発

(1)と(2)の成果を統合した、装具制御器を開発した(図4)。図3の条件と同じ条件で行った実験の結果を図5と図6に示す。ここで、図5は回転中心推定の結果、図6は各実験における膝の回転角度と角速度の相図を表す。

図5と図2の結果を比較すると、アクチュエータ制御器と統合した場合に距離の誤差が大きい。これは、制御の際に生じる実験機の振動やたわみの影響と考えられる。一方で、方向を表す角度は比較的精度よく推定できており、装着位置のせん断方向の力を制御することへの影響は小さいと考えられる。

次に、制御結果である図6と図3を比較すると、軌跡・ピークトルクともにおおよそ同じであることが確認できる。このため、回転中心推定器と統合したアクチュエータ制御器においても、ダミーロボットの能力に従って適切にアシストが行えているといえる。

以上より、研究目的である、人と親和性の高い下肢アシスト装具制御器を実現できた。

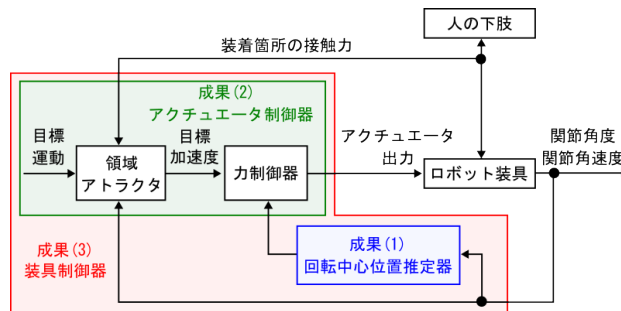


図4. 回転中心推定器とアクチュエータ制御器を統合した装具制御器。

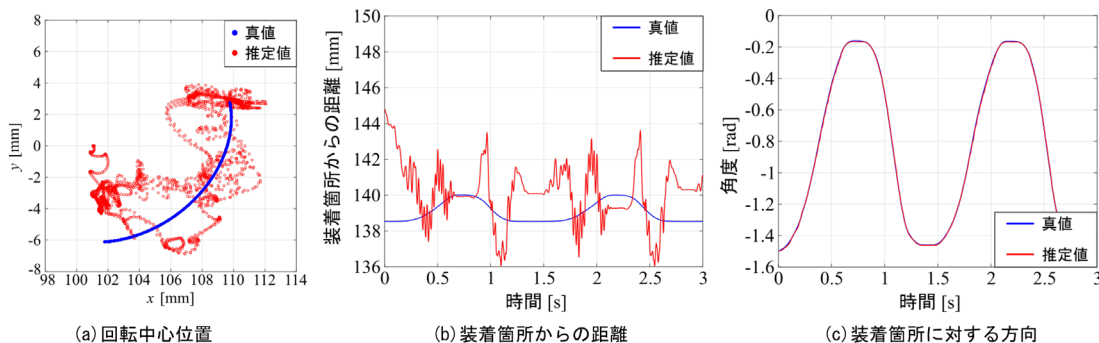
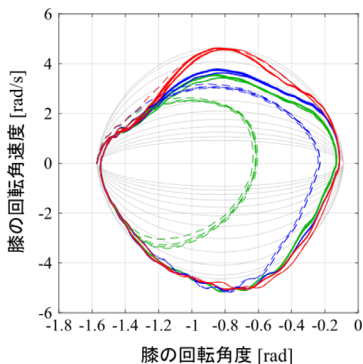
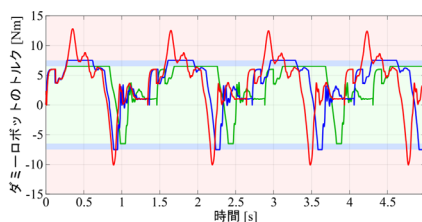


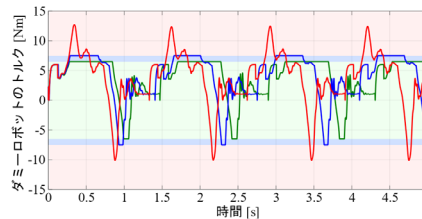
図5. 統合した装具制御器における回転中心推定の実験結果。



(a) 回転角度と角速度の相図



(b) 回転中心位置として真値を用いた場合のダミーロボットのトルク



(c) 回転中心位置として推定値を用いた場合のダミーロボットのトルク

図6. 統合した装具制御器におけるアシスト実験結果。

参考文献

- [1] K. Masuya and K. Tahara, *Proc. of AIM2020*, pp.132–137, 2020.
- [2] K. Masuya and T. Sugihara, *Advanced Robotics*, Vol.29, No.12, pp.785–799, 2015.
- [3] 福岡ら, *日本機械学会 Robomech2020 講演論文集*, 1A1-D03, 2020.
- [4] 岡田ら, *日本機械学会論文集*, Vol.88, No.912, 22-00012, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 弓掛匠、舩屋賢
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 舩屋賢
2. 発表標題 平行リンク機構とベルト駆動による回転軸位置が自在かつ遠隔駆動可能な膝関節装具機構の設計
3. 学会等名 第23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
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井手祐太, 舩屋賢, 岡田昌史
2. 発表標題 領域アトラクタを用いた膝装具ロボットのAssist-as-Needed制御
3. 学会等名 第23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
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田晃稀, 舩屋賢, 岡田昌史
2. 発表標題 平行リンクを用いた回転軸フリーなトルク伝達機構と膝装具への応用
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井手 祐太, 舛屋 賢, 岡田 昌史
2. 発表標題 回転中心推定を用いた膝装具接触部の力制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 関節装具	発明者 舛屋 賢, 窪田 晃稀, 岡田 昌史	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-031605	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岡田 昌史 (Okada Masafumi)	東京工業大学	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------