

2021 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・画一的な平面関節機構

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。

近年、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。これまでの装具開発では、回転に伴う回転中心位置の変動が人の膝などの各関節でそれぞれ異なるために、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。

これらの問題に対して、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アシストするための、「関節角度の制御性能」
- ③ 人の運動をアシストするための、「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」

ここで、③は複数のモータ出力合成、④は減速前の合成による減速機数の削減、⑤は遠隔駆動用のベルト経路確保で、それぞれ実現できる。①と②について直動・回転関節の併用が考えられるが、直動関節により⑤のベルト経路の確保が難しい。一方、回転関節のみによるパラレルリンク機構ではベルト経路を確保できるが、モータ出力が回転中心変動に影響し、①の受動性を妨げる。

そこで、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、回転軸の位置が自在に変化する軽量・高出力な平面関節機構の開発を目指す。

3. 研究内容及び成果

A.2 つの平行リンク機構を平行に接続した膝装具機構の開発

A-1. 運動解析に基づくリンクパラメータの最適化

はじめに、人の膝関節モデルと平行リンク機構の可動域に基づくリンクパラメータの最適化方法を開発した。ここで、人の膝関節モデルとして、人の膝関節の靱帯構造を模した交差四節リンクモデルを用いた。

開発した方法の概要を図 1 に示す。まず、①上肢側・下肢側どちらかのリンク固定位置とそのずれを仮定したときに、膝関節モデルの動きによって回転関節の軸が動く領域を求める。次に、②得られた領域のうち、領域の面積が最小となる固定位置を最適な固定位置とし、その際の領域を最小動作領域とする。③最小動作領域に対して、反対側の装着位置のずれる領域をミンコフスキー和により重畳した、拡張最小動作領域を求める。④この拡張最小動作領域が平行リンク機構の可動域に収まることを拘束条件とし、リンク質量を評価関数として最適化することで、可動域を満たすリンクパラメータを獲得できる。

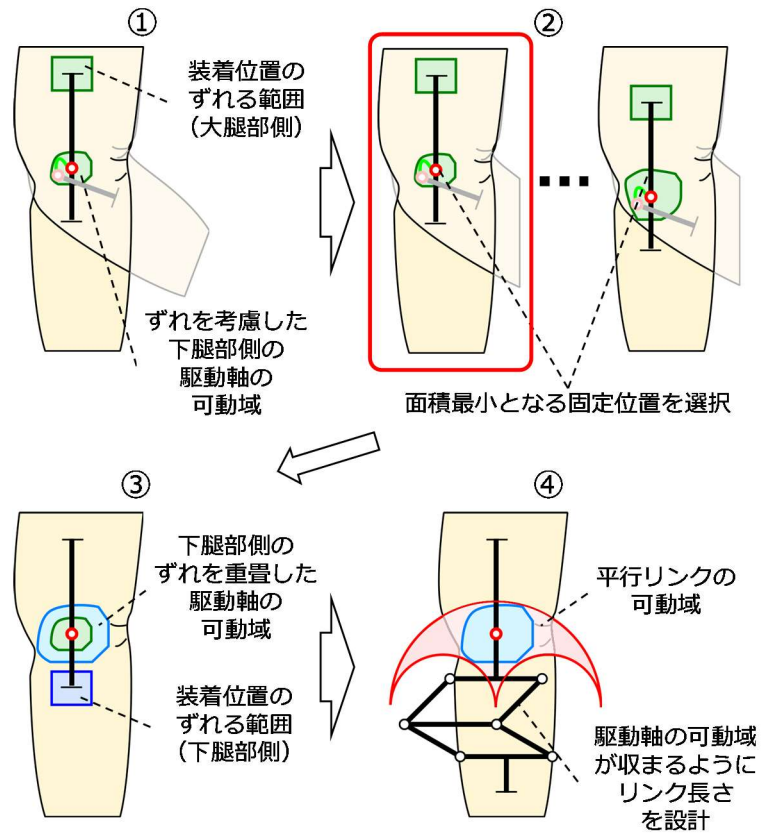


図 1. 人の膝関節モデルと平行リンク機構の可動域に基づくリンク長さの最適化設計。

リンクパラメータとしてリンク長さを考え、各リンク長さは等しいとして最適化を行った。結果として、リンク長さは 114mm と計算され、この値に基づいて図 2 の機構を設計した。

A-2. 平行リンク機構の駆動力伝達の解析

次に、モータの駆動トルクが、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により解析した。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 2 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、力は伝達されず、トルクのみが伝達されることを確認した(図 3)。

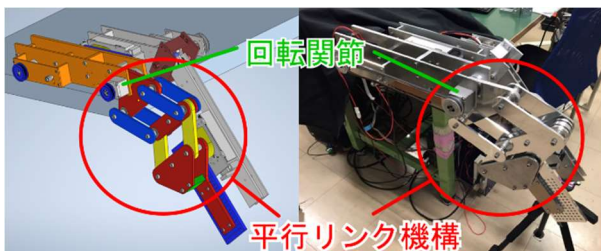


図 2. 開発した 2 つの平行リンク機構を平行に接続した膝装具機構。

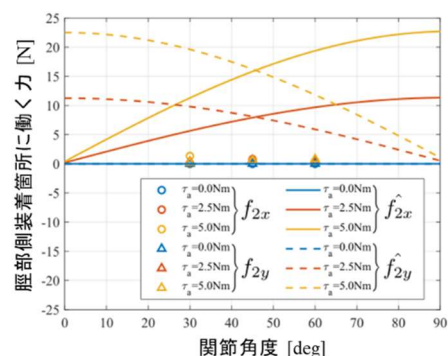


図 3. 力伝達の検証(点は実験結果. 線は必要トルクを力のみで実現した場合の計算結果.)

B. 角度差をもつ 2 つの平行リンク機構と遠隔駆動用ベルト経路をもつ膝装具機構の開発

さらなる軽量化のために、(1)2 つの平行リンク機構間における角度差、(2)ベルトによる遠隔駆動、を導入した膝関節装具機構を開発した。

各リンク長さに加えて角度差をリンクパラメータとして考え、A-1 の方法をベースとして最適化を行った。結果として、上肢側・下肢側リンク長さはそれぞれ 85.3mm, 81.0mm, 角度差は 100.9° として計算され、15%の質量低減を達成した。図 4 は角度差がない場合とある場合の可動域を比較した結果である。結果より、必要な拡張最小動作領域を含みつつ、可動域を小さくできた。

図 5 は、得られた値を用い、ベルトによる遠隔駆動を導入した膝装具機構である。図 5 の装具機構を人に装着して動作した際に、装着箇所がずれた場合でも動作できることを確認している。

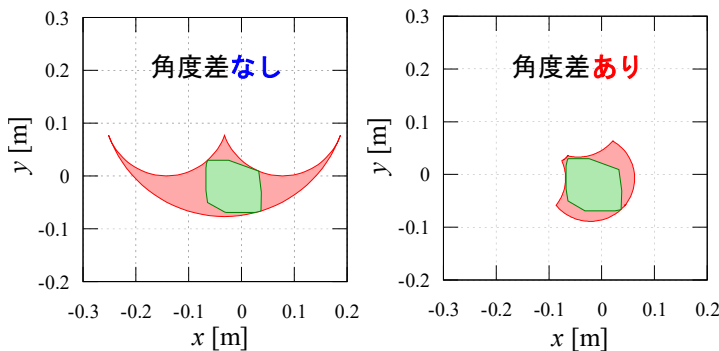


図 4. 平行リンク間の角度差の有無による可動域の違い。赤い領域が機構の可動域、緑色が拡張最小動作領域である。



図 5. 設計した角度差をもつ 2 つの平行リンク機構と遠隔駆動用ベルト経路をもつ膝装具機構。

4. 今後の研究の見通し

2021 年度は、膝関節を対象として、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、平行リンク機構を用いた平面関節機構の設計方法を確立した。設計において、装着箇所のずれを考慮して装具機構の回転関節軸が動く領域を求めることで、ずれにロバストなリンクパラメータ設計を示した。設計方法に基づいて得られたリンクパラメータを用いて、実際に図 2・図 5 の膝関節装具機構を製作し、ずれの影響や力の伝達について検証を行った。

これらの検証に合わせて、図 5 の装具機構を実際に膝へ装着して動いたところ、動作中にモータの質量で装着箇所のずれが生じやすいことを確認している。このため、遠隔駆動のためのモータをずれが起きづらい腰部へ配置することが必要となる。しかし、このとき三次元の角度変化を行う股関節をベルトが経由することが求められる。このため、ベルト経路を確保可能な股関節装具機構の開発が今後の課題であり、2022 年度はその開発に焦点をあてて研究を進めていきたい。

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] 窪田晃稀, 舩屋賢, 岡田昌史, “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”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022, 1A1-P10, 札幌, 2022.6.
- [2] 舩屋賢, “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”, 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, 千葉, 3P3-G06, 2022.12 (発表予定).

特許

- [3] 舩屋賢, 窪田晃稀, 岡田昌史, “‘関節装具’”, 出願者: 国立大学法人東京工業大学, 特願 2022-031605, 出願日 2022 年 3 月 2 日.