

補助事業番号 2020M-186

補助事業名 2020年度 バックドライバブルで可変剛性機能を有したアシストロボット用アクチュエータの開発 補助事業

補助事業者名 日本工業大学先進工学部ロボティクス学科 宮川研究室 宮川豊美

## 1 研究の概要

アシストロボット用アクチュエータとして高減速機付きモータが広く採用されているが、装着者の安全性確保には出力に力を検知するセンサを用いており、センサ故障時の安全確保が難しい課題がある。そこで遊星歯車機構の減速機能と差動機能を利用してモータ内蔵のセンサ情報のみで出力のバックドライバビリティと剛性を可変にする機能を有する2モータ1出力のアクチュエータを開発する。歩行アシスト装置、手指の運動支援装置、外出支援アシスト歩行車などの駆動部への応用を目指し、最大トルクが5Nm, 0.1Nmの2種の開発を実施する。

## 2 研究の目的と背景

ロボットアクチュエータとして応答速度や位置制御性に優れている高減速機付きモータはバックドライバビリティが低く、出力の剛性が非常に高い系になっており、詳細な使用環境のモデル構築が困難な日常生活環境で使用されるアシストロボットへの適用には、安全性確保の面から使用に制限が生じてしまう。そこで、バックドライバビリティを有する3K型不思議遊星歯車機構を基本構成として、その機構の減速機能と差動機能を利用してモータ内蔵のセンサ情報のみで出力の剛性を可変できる2モータ1出力の可変剛性アクチュエータを開発することである。また、試作したアクチュエータを高齢者等の外出をサポートする外出支援アシスト歩行車の走行駆動系に適用させた検証実験から有用性を検討し実用化のための課題抽出と位置づけられる。

## 3 研究内容

### (1)減速機構と差動機構を一体化したアクチュエータの開発

(<http://nit-robot.net/wordpress/laboratories/lab4/>)

#### ①アクチュエータ構造の検討

提案する3K型不思議遊星歯車機構と3K型不思議差動歯車機構を一体化させたアクチュエータの構造を検討した。図1に提案するアクチュエータの構造を示す。アクチュエータを構成する歯車機構について、3K型不思議遊星歯車機構の運動学、動力伝達効率の詳細検討を実施した。

#### ②アクチュエータの設計、試作、特性実験

アクチュエータの設計（概念設計、詳細設計）、アクチュエータの試作、特性評価（減速効率、バックドライバトルク、運動特性）を実施した。設計試作したアクチュエータの外観写真を図2に示す。ベースのサイズは130×100 [mm]であり、ベース取り付け時の高さは58 [mm]である。

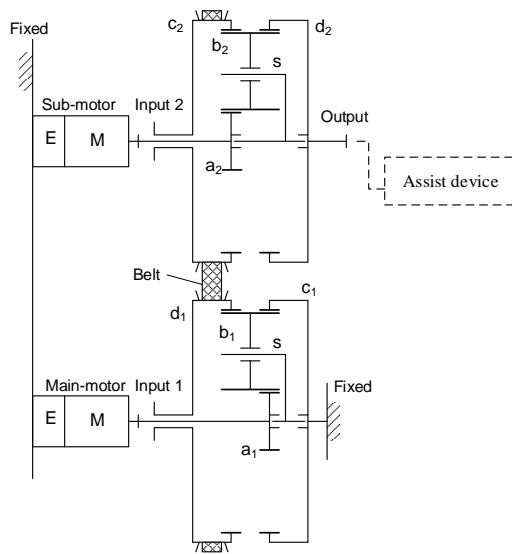


図1 提案するアクチュエータの構成

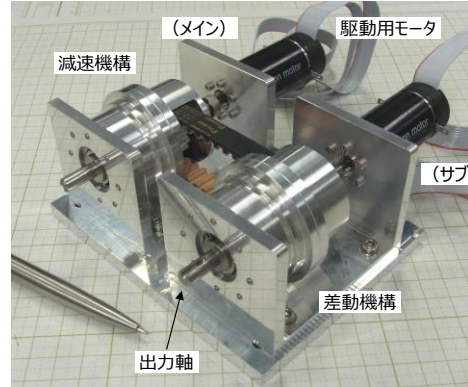


図2 試作したアクチュエータの外観

(2) 可変剛性を持たせる2つのモータ制御方法の考案

(<http://nit-robot.net/wordpress/laboratories/lab4/>)

① 可変剛性制御アルゴリズムの検討

差動機構を2つのモータで駆動するアクチュエータを制御する制御系の検討, 可変剛性制御アルゴリズムの検討について実施した. 検討した制御系のブロック図を図3に示す.

② モータ制御方法の検証

可変剛性制御アルゴリズムを実現させるために, アクチュエータ制御コントローラの設計・試作, アクチュエータ単体の制御実験を実施した. 図4に制御コントローラの構成を示す. 図5にアクチュエータの制御ブロック図を示す.

③ 歩行アシスト装置での検証実験

アクチュエータ単体で可変剛性制御の実験を行った. 図6に負荷トルク  $T=1.0$  [Nm] の場合のサブモータの角度波形を示す. 電流制御ゲイン  $K_c$  が大きい場合はサブモータの回転角が小さく, 速度は速度=0近傍で振幅が小さくなっている.

(3) 小型化したアクチュエータの開発 (<http://nit-robot.net/wordpress/laboratories/lab4/>)

① アクチュエータの詳細設計

提案する小型アクチュエータの仕様検討, 差動歯車機構の運動学, 歯車機構の出力トルクの検討, 歯車仕様の検討, 減速効率, 小型アクチュエータの詳細設計を実施した. 図7に提案する小型アクチュエータの構造を示す. 図8に設計した差動機構の概略断面図を示す.

② 試作および特性評価

小型アクチュエータの試作, 特性評価を実施した. 図9に試作した3K型不思議差動歯車機構の外観を示す.

③ 手指運動支援装置での検証実験

手指運動支援装置の構造, 手指運動支援装置の設計試作, 手指運動支援装置の評価を実施した. 図10に試作した手指運動支援装置の外観を示す.

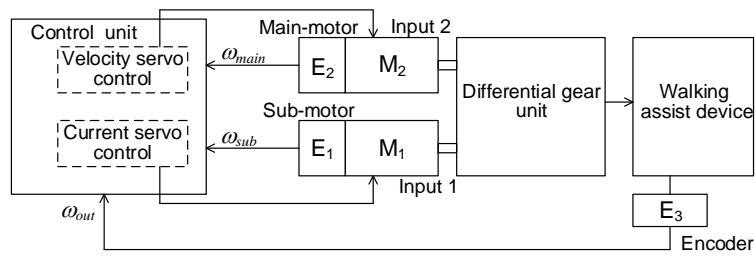


図3 アシスト装置の制御系ブロック図

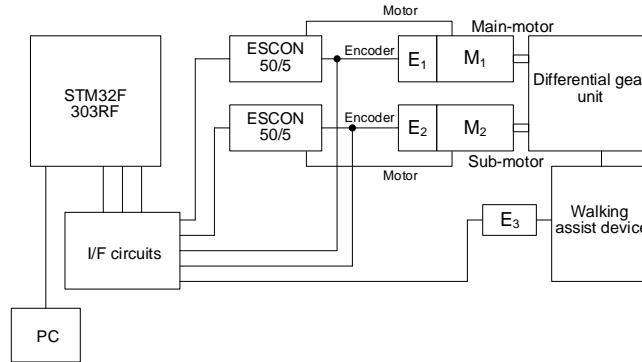


図4 制御コントローラの構成

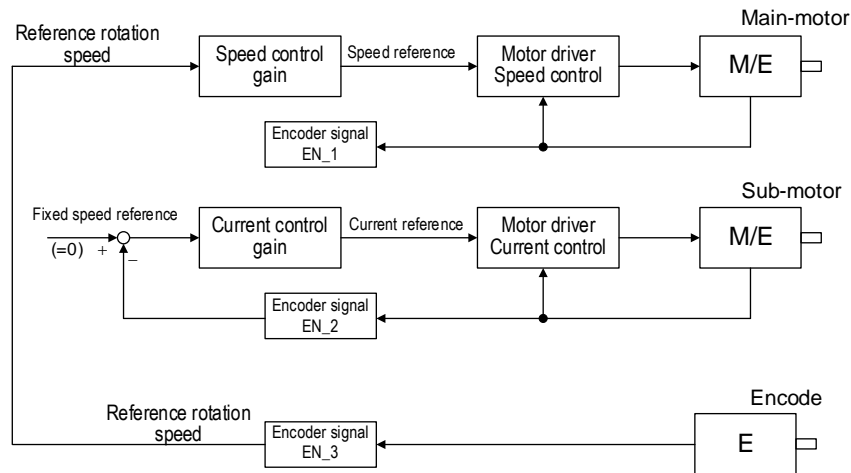


図5 アクチュエータの制御ブロック図

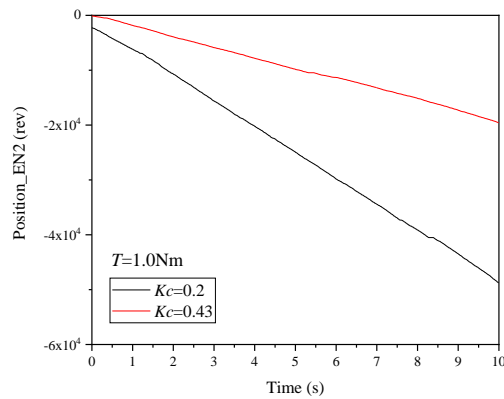


図6 モータ制御実験 (サブモータの角度波形)

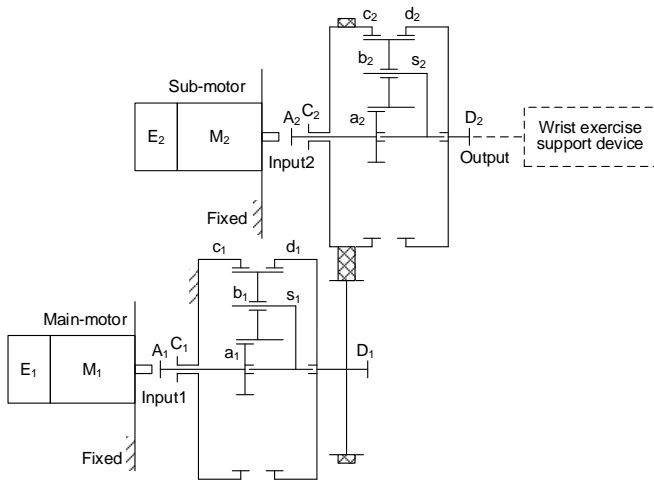


図7 提案する小型アクチュエータの構成

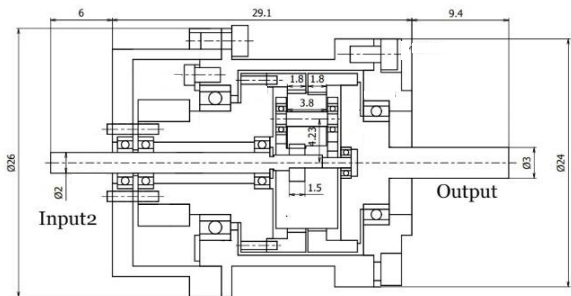


図8 設計した差動機構の概略断面図

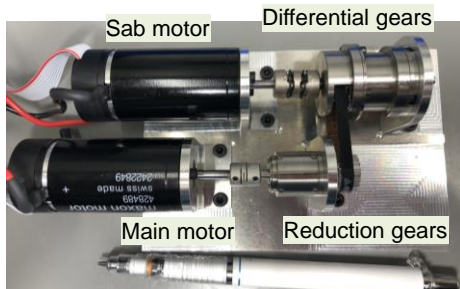


図9 設計した差動機構の概略断面図



図10 手指運動支援装置の外観

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

3K型不思議遊星歯車機構に着目し、歯車機構の減速機能と差動機能を一体化した機構を新たに設計し、各機能にそれぞれモータを接続し、モータ内蔵のセンサ(回転速度とコイル電流)情報のみで、出力の力の大きさが検知でき、その検知情報を用いて出力の剛性を可変する制御法を確立させる。可変剛性を2つのモータで実現するシステムは弾性要素を用いたもので、提案する機構には弾性要素がなく、シンプルな機構でありながら安全確保には欠かせないバックドライバビリティと可変剛性の2つの機能を有した画期的なアクチュエータが構築できる。

提案するアクチュエータは高減速比の歯車機構を使用しながら、高いバックドライバビリティを有し、駆動用モータの内蔵センサ情報のみで、出力の力の大きさが検知でき、その検知情報を用いて出力の剛性可変が可能な実用性の高いロボットアクチュエータを提供できる。さらに高バックドライバビリティなアクチュエータであることから、力感受性の高く、制御性に優れたものであり、アシストロボット、協働ロボットおよびヒューマノイド型ロボットへの適用が可能であり、ロボットやメカトロニクス of アクチュエータ制御技術の高度化に寄与できる。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

当研究室では、「高機能な機能要素を創出する設計技術とそれらを統合するシステム化技術の開発」を目的にして、実験・解析シミュレーションの両側面から研究活動を行っている。現在は、狹隘部移動ロボット、人共存環境下で作業するロボットプラットフォーム、ヒューマンセントリックロボットとロボットアクチュエータの研究を進めている。今回の研究は安全確保が重視される人との協同作業や介助機器にはバックドライバビリティを持たせたアクチュエータシステムが必要であることから、高減速比でもバックドライバビリティを有している3K型不思議遊星歯車減速機に着目し、機構的なアプローチでアクチュエータの本質的な安全確保の検証と実用化のための課題抽出と位置づけられる。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ・宮川豊美, 遊星歯車機構を用いたバックドライバブルな小型アクチュエータの開発, 日本設計工学会2021年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, (2021), pp.11-12.
- ・宮川豊美, 差動歯車機構を用いた可変剛性機能を有するアクチュエータの制御法, 第22回システムインテグレーション部門講演会(SI2021), (2021), p.2907.
- ・差動歯車機構を用いた装着型歩行アシスト装置の開発, 日本設計工学会2022年度春季大会研究発表講演会講演論文集, (2022), pp.59-60.
- ・差動歯車機構を用いた逆駆動可能な小型アクチュエータの開発, 日本設計工学会2022年度春季大会研究発表講演会講演論文集, (2022), pp.57-58.

## 7 補助事業に係る成果物

- (1)補助事業により作成したもの  
特になし
- (2)(1)以外で当事業において作成したもの  
特になし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 日本工業大学先進工学部ロボティクス学科  
(ニッポンコウギョウダイガク センシンコウガクブ )

住 所: 〒345-8501  
埼玉県南埼玉郡宮代町学園台4-1

担 当 者: 教授(キョウジュ)

担 当 部 署: 宮川 豊美(ミヤガワ トヨミ)

E - m a i l: miyagawa.toyomi@nit.ac.jp

U R L: <http://nit-robot.net/wordpress/laboratories/lab4/>