

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	弾性テレスコピックアーム搭載型不整地移動ロボットの提案 ワイヤ駆動による手先位置決め精度の検討
Title(English)	A Proposal of off-road Mobile Robot with Elastic Telescopic Arm Study of Accuracy of Arm Tip Position Control by Tendon Drive
著者(和文)	小川淳司, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之
Authors(English)	Atsushi Ogawa, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2019 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2019, 6

# 弾性テレスコピックアーム搭載型不整地移動ロボットの提案 ワイヤ駆動による手先位置決め精度の検討

A Proposal of off-road Mobile Robot with Elastic Telescopic Arm  
Study of Accuracy of Arm Tip Position Control by Tendon Drive

○学 小川 淳司 (東工大) 正 遠藤 玄 (東工大)  
正 鈴森 康一 (東工大) 正 難波江 裕之 (東工大)

Atsushi OGAWA, Tokyo Tech, ogawa.a.ae@m.titech.ac.jp

Gen ENDO, Tokyo Tech

Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech

Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

There is a demand for an off-road mobile robot having a high mobility and a wide movement range in a complicated environment such as a disaster site in which a person cannot enter. However, even if conventional moving mechanisms such as wheels, legs, crawlers are used, it may be difficult to move such as a steep slope. Therefore, in this research, we propose a method to fix wires directly to the external environment using elastic telescopic arm. And in this paper, we aim to control the tip position by the bending motion of the arm, and we show the results of the experiments on the relationship between winding value of a rope and the tension and the tip position. And we measured accuracy of the tip position control by winding value of a rope.

**Key Words:** off-road Mobile Robot, Elastic Telescopic Arm, Tendon-driven

## 1 緒言

不整地移動ロボットは災害現場などの人が入ることができない複雑な環境下において有効であり、走破性を向上させて移動範囲を拡大することが望まれる。しかし、従来の車輪、脚、クローラなどの移動機構を用いても、急斜面などのロボットの移動が困難な場合があるため、この問題の解決を試みる一例として、グリップを投擲して外部環境に固定し、ワイヤで牽引することで移動範囲を拡大する方法がある [1]。しかしこの方法は、グリップを投擲するため不確実であり、巻取り時と投擲時に対応可能な幅広い減速比の作成が困難であるという問題があった。そこで本研究では長尺なアームを用いて直接ワイヤを外部環境に固定する方法を提案する。アームには径の異なる同心円状の伸縮するテレスコピック構造を使用する。このテレスコピック構造は細径で高伸縮比という特徴があるため小型の移動体に搭載することができる。しかし、現状のテレスコピック構造は剛性が高く、直線状にしか伸縮しないため能動的に障害物を避けられないという問題や、手先位置を微調整できないという問題があった。そこで本研究では、剛性が低く柔軟に屈曲が可能な弾性テレスコピックアーム [2] をワイヤで制御する方法を提案する。そして、弾性テレスコピックアームを移動車両に搭載し、アームの伸縮や屈曲を行いながら手先に取り付けたワイヤを外部環境に固定し、牽引することで自重を支えて不整地での走破性を向上する移動ロボットの開発を目指す。なお本稿では、ロボットに搭載する弾性テレスコピックアームのワイヤ駆動による手先位置決め精度の検討を行う。

## 2 弾性テレスコピックアームを用いた不整地移動方法

弾性テレスコピックアームは Fig.1 に示すように屈曲機構と伸縮機構を有し、屈曲と伸縮を行うことでエンドエフェクタを目標に固定する。弾性テレスコピックアームを用いた不整地移動法の概要を Fig.2 に示す。不整地に差し掛かる Fig.2a から Fig.2b にかけて、アームをヨー方向とピッチ方向に回転させ、目標に対して狙いを定める。その後、アームを伸展させ目標に手先を接近させる。そして、ワイヤを巻き取ることでアームを屈曲させ、手先位置をより精密に制御し、先端に取り付けたエンドエフェクタを目標に固定する。その後、Fig.2c でエンドエフェクタとアームを分離させ、エンドエフェクタを目標に固定した状態でアームを収縮する。そして、エンドエフェクタに取り付けたワイヤを巻取り、自身を牽引することで自重を支えながら不整地を走行する。不整地を走破した後、Fig.2d でエンドエフェクタを目標から取り

外し、ワイヤでエンドエフェクタを巻取ってアームに取り付け、再び走行する。この方法では準静的にすべての動作が実現できるため確実性が保証され、従来のグリップを投擲した場合に実現が困難であった幅広い減速比が必要なくなるという利点が挙げられる。

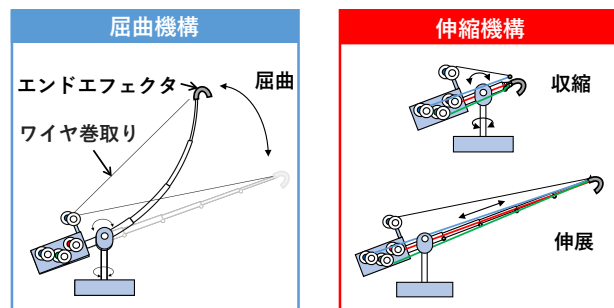


Fig.1. Mechanism of Elastic Telescopic Arm

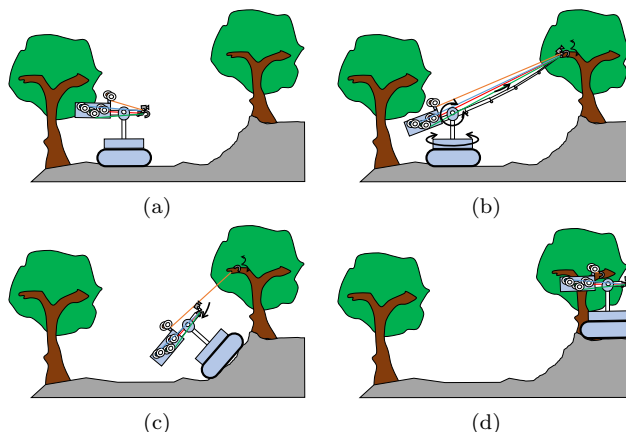


Fig.2. Proposal of Moving Method of off-road

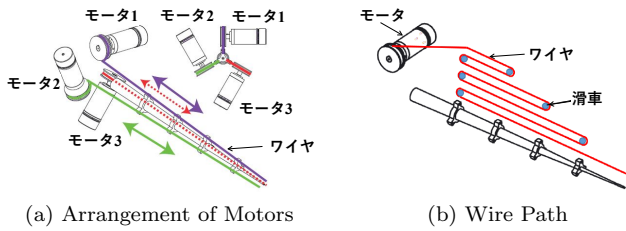


Fig.3. Bending Mechanism

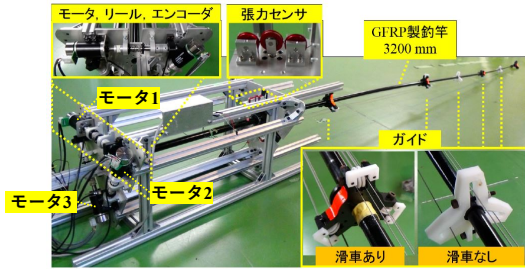


Fig.4. Appearance of Experimental Equipment

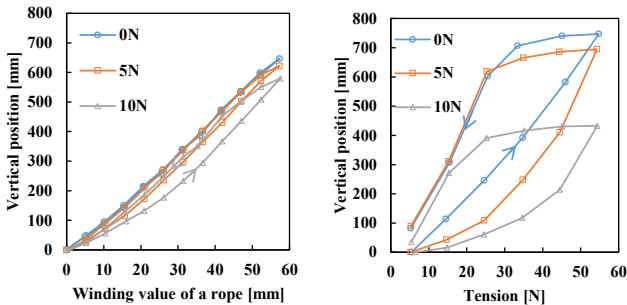


Fig.5. Experimental Result

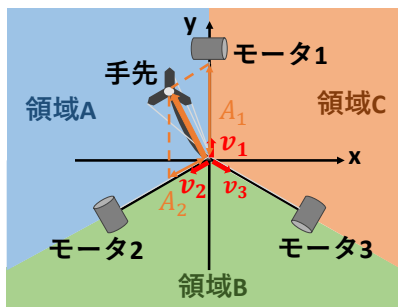


Fig.6. Coordinate

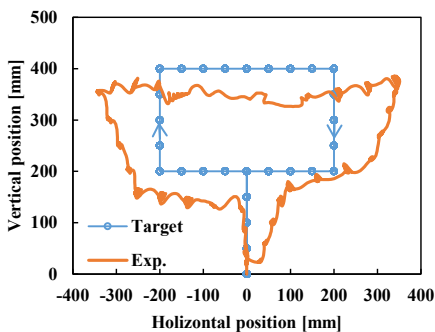


Fig.7. Trajectory of Tip Position

### 3 屈曲動作実験

藤岡ら [3] によって製作された弾性テレスコピックアームは手先位置の制御が行われていなかった。そこで、ワイヤ駆動によるアームの屈曲動作を行い、手先位置を測定する実験を行った。実験目的は、ワイヤ巻取り量とワイヤ張力に対する手先位置の鉛直方向変位の関係を調査し、手先位置のオープンループ制御に用いることである。屈曲機構は3つのモータと3本のワイヤを Fig.3 に示すように配置している。また、実験装置の構成を Fig.4 に示す。アームの基部にエンコーダと張力センサを取り付け、ワイヤ巻取り量とワイヤ張力に対する手先位置の鉛直方向変位を測定した。実験方法として、モータ2とモータ3を駆動させて鉛直下方向に一定の張力を加えた状態で、モータ1を駆動させて手先位置を鉛直方向に変位させた。ワイヤ巻取り量に対する手先位置の鉛直方向変位を Fig.5a に、ワイヤ張力に対する手先位置の鉛直方向変位を Fig.5b に示す。なお、グラフには鉛直下方向に加えた張力を示している。鉛直下方向に張力を加えていない際の、ワイヤ巻取り量に対する手先位置はヒステリシスが小さかったが、ワイヤ張力に対する手先位置はヒステリシスが大きかった。この原因はワイヤとガイドにおける摺動部で摩擦が生じ、張力伝達率が低下することでアーム基部の張力の低下が手先に伝わりにくいためだと考えられる。また、鉛直下方向に張力を加えた際はワイヤ張力の増加に対する手先位置の増加が線形的でなくなることが分かった。

### 4 手先位置のオープンループ制御

屈曲動作実験でヒステリシスが小さく、手先位置の増加がおおよそ線形的であったワイヤ巻取り量に対する手先位置の鉛直方向変位の関係を用いて、手先位置をオープンループ制御した。手先位置の座標を Fig.6 に示すように、各モータが寄与する方向のベクトル  $v_1, v_2, v_3$  に分解して決定した。そして、手先位置が領域Aに存在するとき、モータ1とモータ2をワイヤ巻取り量で制御し、モータ3はワイヤがたるまないように5Nの張力を加えた。同様に、手先位置が領域Bに存在するとき、モータ2とモータ3をワイヤ巻取り量で制御し、モータ1は5Nの張力を加え、手先位置が領域Cに存在するとき、モータ1とモータ3をワイヤ巻取り量で制御し、モータ2は5Nの張力を加えた。また、ワイヤ巻取り量は手先位置の座標から各モータに寄与する変位量を算出し、Fig.5aのワイヤ巻取り量に対する手先位置の鉛直方向変位の関係を用いて決定した。実験結果を Fig.7 に示す。水平方向の平均誤差は78mm、鉛直方向の平均誤差は37mmであり、アーム長が3400mmであるから、水平方向の平均誤差率は2.3%、鉛直方向の平均誤差率は1.1%だった。このことから、手先位置が目標値に追従したことが分かる。

### 5 結言

手先位置をオープンループ制御した。この制御によって手先位置決めの可能性を示唆した。今後は手先位置決めレーザーレンジファインダや視覚情報を用いたフィードバック制御を検討している。

### 謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務の結果得られたものです。

### 参考文献

- [1] 中本 秀一, 福島 E. 文彦, 広瀬 茂男, “ハイパー・テザーの研究 その12 グリッパ型投擲・投錨機構の開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 講演予稿集 2002, 2A1-J10(1)-(2), 2002
- [2] 藤岡 隆, 遠藤 玄, 難波江 裕之, 鈴森 康一, “ワイヤ駆動型弾性テレスコピックアームの開発” ロボティクス・メカトロニクス講演会 講演予稿集 2018, 2A1-J09, 2018
- [3] Takashi Fujioka, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae, “Proposal of Tendon-driven Elastic Telescopic Arm and initial bending experiment”, 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2017