

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	ロープと複数ストッパを用いた弾性テレスコピックアーム屈曲機構の提案
Title(English)	Proposal of an Elastic Telescopic Arm Bending Mechanism Using a Rope and Multiple Stoppers
著者(和文)	藤塚 祐二, 遠藤 玄
Authors(English)	Yuji Fujitsuka, Gen Endo
出典(和文)	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 予稿集, , , pp. 1986-1988
Citation(English)	Proceedings of the 24th SICE System Integration Division Annual Conference, , , pp. 1986-1988
発行日 / Pub. date	2023, 12
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は公益社団法人計測自動制御学会に帰属します。 (c) 2023 The Society of Instrument and Control Engineers

# ロープと複数ストッパを用いた 弾性テレスコピックアーム屈曲機構の提案

○藤塚 祐二（東京工業大学），遠藤 玄（東京工業大学）

## Proposal of an Elastic Telescopic Arm Bending Mechanism Using a Rope and Multiple Stoppers

○ Yuji FUJITSUKA (Tokyo Tech), Gen ENDO (Tokyo Tech)

Abstract: It is dangerous for people to enter reactor facilities at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant for decommissioning work and to enter disaster sites where debris is scattered. Therefore, a long, thin, highly extendable, and bendable robot arm is effective for investigating a wide area in a narrow space. This paper proposes a new bending mechanism of an elastic telescopic arm in which a groove is provided in rope guides, and a stopper is pressed against the groove of the rope guides to generate bending moments.

### 1. 緒言

東京電力福島第一原子力発電所の炉内構造物や燃料デブリの状況調査，瓦礫が散乱する災害現場の周囲観測など，人の進入が困難な場所において長尺アームが有用である．これまで本研究室では柔軟な螺旋導管を細径な弾性テレスコピックアーム（Elastic Telescopic Arm: ETA）内部に押し込み，アームを上方へ 7.9 m，水平方向に 8.0 m 伸展させることに成功している<sup>[1]</sup>．また，アームを上方伸展時に周囲の環境と接触し，倣いながら受動的に屈曲伸展させることが可能である．この手法を用いれば，原発の圧力容器内部調査において十分な高さまでアームを伸展させることが期待出来る．

一方で，狭隘路や災害現場において広範囲観測や障害物回避を行うためにはアームを能動的に屈曲させる必要がある．そこで本稿では ETA の屈曲機構に着目し，従来とは異なる新たな屈曲機構の提案と概念実証を行う．

ここでは，不整地の走破性向上を目的とした不整地移動ロボットに搭載された伸展機構と屈曲機構を有する ETA<sup>[2]</sup> を ETA-I とし，柔軟な螺旋導管を用いた伸縮機構と本稿で提案する屈曲機構を有する ETA を ETA-II と呼ぶことにする．

### 2. ETA

図 1 に ETA の概念図を示す．テレスコピック構造は径の異なる構造材が同心円状に連なった構造をしており，構造材を押し出すことにより軸方向に伸展する．また，アームを屈曲可能とするために，構造材はしなやかに弾性変形しつつ，自重やある程度の外力を受けることが必要となる．本研究では先行研究<sup>[3]</sup>で使用されたものと同様に，ケーブル牽引用の市販の竿（DENSAN DRF-8000s）をアームに用い，提案する屈曲機構の概念実証を行う．このアームは構造材に GFRP を採用し，収納時長さ 460 mm，伸長時長さ 8000 mm，最大径 64 mm と高伸縮比，細径な構造を実現しており，自重や外力を受けてしなる特徴を持つ．

### 3. ETA の屈曲

テレスコピック構造ではアームが先端に行くにつれて細くなる構造になっているため，アーム全体を同じ曲率で曲げようとすると，根元側ほど大きな曲げモー

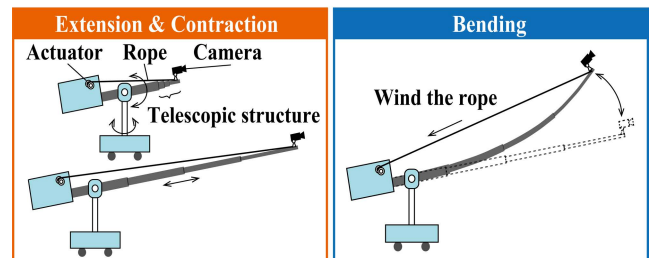


Fig.1 Concept of ETA

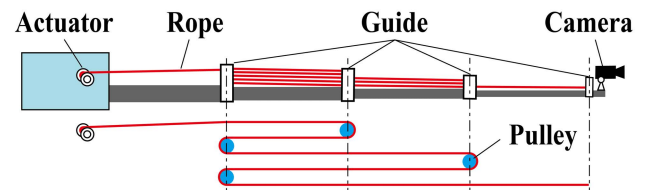


Fig.2 The bending mechanism of ETA-I

メントが必要になる．また，図 1 の右のようにアーム先端部を引っ張るだけでは先端のみが極端に曲がってしまい，アームが折れてしまう可能性がある．そのため，これらを考慮して屈曲機構を設計しなければならない．

#### 3.1 従来機構 ETA-I の課題

図 2 に ETA-I の屈曲機構の概要図を示す．ETA-I の屈曲機構は均等な曲げを実現するために構造軸方向に複数の小径プーリを配置し，ロープを折り返すことで断面二次モーメントが小さい先端側の極端な曲がりを抑制するとともに，根元側の曲げモーメントを大きくするワイヤ駆動による屈曲法であった<sup>[3]</sup>．また，ガイドを 3 方向にすることで多方向の屈曲が可能であるとともに，少ないアクチュエータで駆動出来る．

しかし，実際には小径プーリによる張力伝達効率が低いために，張力を先端まで適切に伝達することが出来なかった．さらに，張力伝達効率を改善するためには，プーリ直径を大きくしなければならず，それによりアームの径方向の構造が大きくなってしまうという課題があった．

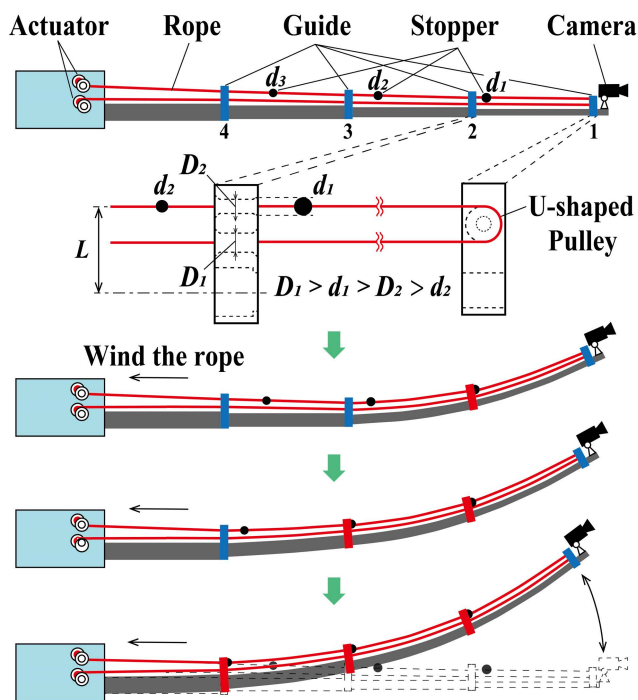


Fig.3 The bending mechanism of ETA-II: The blue guides represent when a stopper is not pressed against the guide groove, and the red guides represent when a stopper is pressed against the guide groove.

### 3.2 提案する ETA-II の屈曲機構

図 3 に ETA-II の屈曲機構の動作概要図を示す. ETA-II の屈曲機構はロープに径の異なるストッパを取付け、先端側から根元側のガイドに順番にストッパを押し当てることで、先端側にかかる曲げモーメントを制限しつつ、根元側には大きな曲げモーメントをかけられるような仕組みになっている。

図 3 に示すように、先端のガイド 1 にはストッパが乗り越えられるように U 字溝プーリが取付けられている。ガイド 2 に着目すると、直径  $D_1$  の孔はすべてのストッパが通過可能、直径  $D_2$  の孔は直径  $d_2$  と  $d_3$  のストッパが通過可能になっており、直径  $d_1$  のストッパはガイドに設けられた溝にはまるような構造になっている。ガイド 3 と 4 も同様にガイドの溝に直径  $d_2$  と  $d_3$  のストッパがそれぞれはまるようになっている。

その結果、ロープの巻取りによりアーム先端のほうからストッパがガイドの溝に押し当てられ、曲げモーメントを発生させることでアーム全体の屈曲を実現出来ると考える。一方で、それぞれのストッパの固定位置、アクチュエータによるロープの巻取り量とアームストップ間距離 (図 3 中:  $L$ ) による曲げモーメントの大きさを考慮することによって、断面二次モーメントが小さい先端側の極端な変位を抑え、アームの破壊を防ぎつつ、根元側ほど大きな曲げモーメントを得ることが出来る。

アームを収縮する際には屈曲時とは反対方向にロープを巻取り、直径  $D_1$  の孔から全てのストッパを回収することでロープの弛みが生じずにアームを収縮させることが出来る。

図 4 にガイドを 3 方向にした屈曲機構を示す。ETA-I の屈曲機構と同様にガイドを 3 方向にすることで、ア

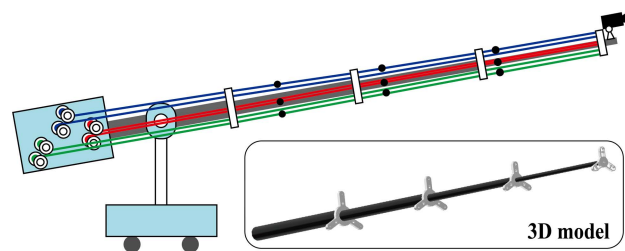


Fig.4 A 3-direction version of the bending mechanism

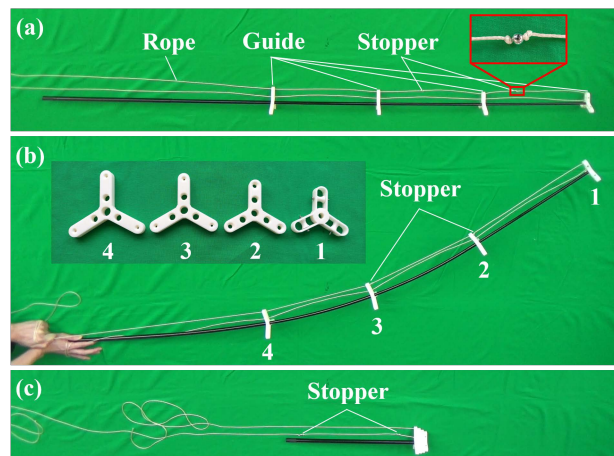


Fig.5 Proof of concept results: (a) Extension (b) Bending (c) Contraction

クチュータの個数を最小限にして上下左右への 2 自由度の屈曲が可能になる。図 4 中の 3D モデルでは、ガイドの長さが等しくなっているが、鉛直方向のガイド 1 方向のみ長くする、ロープの巻取り量を増やす、ストッパの固定位置を工夫することでアームの自重に対抗することが可能であると考えられる。

ETA-II の屈曲機構は ETA-I の屈曲機構と比較して、曲げモーメントを得るためにプーリを使用しておらず、プーリの張力伝達損失の影響を受けないため、アームの構造を比較的小さくしつつ大きな屈曲を得ることが可能であると考えられる。

### 4. 屈曲機構の概念実証

提案する屈曲機構が実現可能かを確かめるために、DENSAN DRF-8000s の構造材 5 本用いて概念実証を行った。

図 5 に概念実証の結果を示す。図 5 (a) に示すように、ロープには化学繊維ロープである直径 1.5 mm の Vectran, ストッパには径の異なる穴あき剛球を 2 つ用い、ストッパの前後に玉結びを付けることでストッパをロープに固定した。ガイドは 3D プリンタの Zortrax M200 Plus を用い、ABS ライク樹脂で作製した。根元側ほどガイドを大きくしている理由は根元側ほど断面二次モーメントが大きく、曲げモーメントを必要とするからである。

図 5 (b) より、ロープを手で引っ張ることでストッパをガイド 2 と 3 の溝にそれぞれ押し当てて曲げモーメントを発生させ、アーム全体を屈曲させることが出来た。また、ロープを反対方向に巻取り、ストッパを回収することで、図 5 (c) のようにロープが弛むことなく構造を収縮可能であることが確かめられた。

## 5. 結言

本稿では、ロープと複数ストッパを用いた ETA 屈曲機構の提案と概念実証を実施した。その結果、提案した屈曲機構は実現可能であることが確かめられた。

今後は構造材の本数を増やすことでアームをさらに長くし、アクチュエータを用いた屈曲実験を行う。また、伸展機構との統合により ETA-II の完成を目指す。

## 参考文献

- [1] 永井敏也, 高橋秀治, 木倉宏成, 遠藤玄: “異径螺旋導管による直動を行う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

演会講演論文集, pp. 2A1-A20 (2023)

- [2] T. Nagai, A. Ogawa, H. Nabae, K. Suzumori, and G. Endo: “Rough Terrain Traveling Method Using an Elastic Telescopic Arm and a Tether”, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, pp. 22-28 (2022)
- [3] T. Fujioka, G. Endo, K. Suzumori, and H. Nabae: “Proposal of Tendon-driven Elastic Telescopic Arm and initial bending experiment”, *2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp. 164-169 (2017)