

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に関する研究 - 第7報：螺旋導管による多方向伸縮 -
Title(English)	Study on Elastic Telescopic Arm - Multi-directional Extension and Contraction Using a Spiral Tube -
著者(和文)	藤塚祐二, 清原遼介, 遠藤玄
Authors(English)	Yuji Fujitsuka, Ryosuke Kiyohara, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2024講演論文集, , , 1P2-A08
Citation(English)	Proceedings of the 2024 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , , 1P2-A08
発行日 / Pub. date	2024, 5

# 弾性テレスコピックアームに関する研究

## - 第7報：螺旋導管による多方向伸縮 -

### Study on Elastic Telescopic Arm

#### - Multi-directional Extension and Contraction Using a Spiral Tube -

○学 藤塚 祐二 (東工大) 学 清原 遼介 (東工大)

正 遠藤 玄 (東工大)

Yuji FUJITSUKA, Tokyo Tech, fujitsuka.y.aa@m.titech.ac.jp

Ryosuke KIYOHARA, Tokyo Tech, kiyohara.r.aa@m.titech.ac.jp

Gen ENDO, Tokyo Tech, endo.g.aa@m.titech.ac.jp

A long-reach arm is effective for in-vessel inspection during decommissioning work at the TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. We conventionally realized a telescopic arm extension upward and horizontally for an estimated more than 7 m by pushing a different-diameter flexible tube from the end of an elastic telescopic arm using three worm gears. In this paper, we proposed a new extension/contraction mechanism by modifying the previous extension/contraction mechanism considering the tube slipping out when the arm is bent. The proposed arm was extended in multiple directions, and the performance of the extension/contraction mechanism was evaluated. As a result, the arm extended about 7 m in three directions by pushing the arm out one by one.

**Key Words:** Long-reach arm, Telescopic structure, Decommissioning

## 1 緒言

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉において炉内構造物の把握や燃料デブリの取り出しが進められている。廃炉作業を行う上で原子炉格納容器内部の調査が必要であるが、炉内は放射線量が高く、複雑かつ狭隘部が存在し、人の進入が困難である。圧力容器底部にはメルトダウンにより数10 cmの穴があることが確認されているが、穴の位置と形状から調査機器を搬入するためには、外径100 mm、収縮時長さ1 m、伸長時長さ7 m以上を実現する展開式アームが求められる [1]。

これまで本研究室では、柔軟な螺旋状の溝を有する導管（螺旋導管）をテレスコピック構造の弾性屈曲可能なアームに送り出すことによって、アームを上方と水平方向へ推定7 m以上伸展させることに成功している [2]。しかし、その伸縮機構は外径が14.9 mmから24.1 mmの螺旋導管を送り出せるように3つのウォームギアと螺旋導管の歯を嵌合させることによって伸展させているため、3つのウォームギアと螺旋導管の接触面積が小さく、屈曲時に導管がギアから抜け落ちてしまう可能性が考えられる。また、導管径が太く、重量が大きくなり屈曲が困難になってしまうと考えられる。

そこで、本研究では送りねじのような伸縮機構を提案し、従来より外径が一回り小さい螺旋導管を用いることで、アームを伸縮したのち収縮させる実験を行う。多方向にアームを伸展させることで提案した伸縮機構の性能を評価する。

## 2 弾性テレスコピックアーム

本研究には図1に示すテレスコピック構造を有するケーブル牽引用竿をアームに用いる。テレスコピック構造は径の異なる同心円状の構造材が連なった構造をしている。このアームは構造材にGlass Fiber Reinforced Plastic (GFRP)を採用し、収納時長さ0.65 m、伸長時長さ8.7 m、最大径53 mmと高伸縮比（約13.4:1）、細径な構造を実現しており、外力や自重により弾性変形し、しなる特徴がある。本来、アームの伸長時長さは10 m程であるが、図1の伸長時長さ8.7 mは本研究で用いる螺旋導管で押し出すことのできない径が小さい先端2本の構造材を取り除いた状態を示している。

## 3 螺旋導管を用いた伸縮機構

図2に提案する伸縮機構を示す。この伸縮機構は螺旋導管の送り出し手法として、螺旋導管の螺旋溝に嵌合する歯（めねじ）を内部に持つギアを回転させ、螺旋導管をギア内部に挿入すること

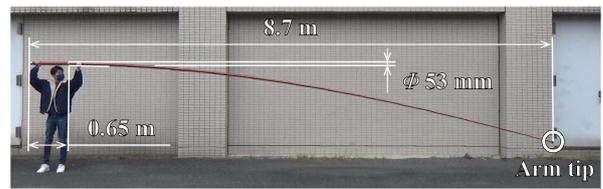


Fig.1 Cable towing rod with a telescopic structure (DEN-SAN: DRXF-10000)

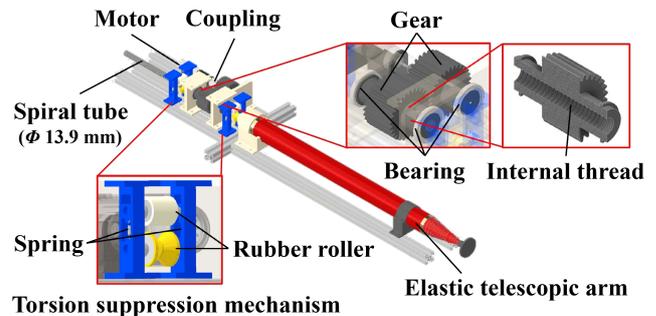


Fig.2 A proposed extension and contraction mechanism

で送り出す手法を採用する [3]。送りねじのように回転運動を直線運動に換え、アーム軸方向に螺旋導管を送り出しアーム構造材を押し出すことでアームの伸展を実現できる。また、今回は螺旋導管の先端とアーム先端とをロープを用いて固定しているため、ギアを反対方向に回転させることで螺旋導管が送り戻されアームの収縮が可能になる。

一方で、図2のような伸縮機構は一般的な送りねじとは異なり、送る対象である螺旋導管の回転が固定されていないため、導管が長軸周りにねじれてしまう。それにより、アーム内部では導管が螺旋形状となり、アーム内壁を押すことにより摩擦力が増加したり、螺旋導管が伸縮機構手前で絡まってしまったりする。また、従来の3つのウォームギアを用いる機構とは異なり、ギア内部に螺旋導管を挿入する仕様であるため、ギアと螺旋導管が同時に回転してしまうといった問題が生じる。そこで、本研究では伸

縮機構の前後にねじれ抑制機構を採用する。このねじれ抑制機構は回転自由なストレートタイプのゴムローラとV字溝付きゴムローラを利用し、ばねの力により螺旋導管にゴムローラを3点接触させることで螺旋導管のねじれと回転が抑制できるように設計した。ローラを螺旋導管に押し付ける力は約15 Nであり、ねじれ抑制機構を使用しない場合と比較して螺旋導管の長軸周りのねじれや回転を抑制できることを実験的に確認した。

本研究の伸縮機構は従来の機構と比較して螺旋導管の外径が約13.9 mmと一回り小さく、アームの屈曲が容易になるとともに、ギアの数やリンク等の部品点数が少なく、よりコンパクトで軽量な伸縮機構にすることができる。

#### 4 多方向伸展・収縮実験

提案した伸縮機構を用いて、アームを水平(0 deg)、斜め(45 deg)、上方(90 deg)への伸展と収縮実験を実施した。アームは構造材間の摩擦により構造材が先端側から1本ずつ押し出されず、不均一に伸展する。そこで、ここでは構造材が先端側から1本ずつ伸展するように手で構造材を抑えた場合を補助ありとし、抑えない場合を補助なしと定義する。今回は補助なしと補助ありの場合で伸展・収縮を3方向に3回ずつ実施し、アームの長さは巻尺で測定した。

図3と図4に実験結果を示す。図3は補助なしと補助ありで3回ずつ実験を行った中で最も伸展した際のアーム先端位置とその際の収縮時のアーム先端位置を示した図である。横軸に水平距離、縦軸に鉛直距離を取り、図中の数値はアーム長さを示している。アームの先端位置やしなり具合は巻尺による測定値や動画から得たおおよその推定位置である。図4は補助ありの場合の最高伸展時の様子であり、図中の左上の数字は伸展時間を示している。図4(a)より、水平伸展時にアーム先端は地面に触れた状態になってしまった。

図3より、補助なしと補助ありの場合では補助ありの方がより伸展しており、3方向へ約7 mの伸展を達成した。その理由として、補助なしの場合は複数の構造材が伸展することで構造材の摩擦が増えてしまうが、補助ありの場合は構造材が1本ずつ押し出されるため構造材間の摩擦が比較して小さいためだと考える。また、図4より伸展時間は0 degの時420 s、45 degの時500 s、90 degの時280 sと90 deg、0 deg、45 degの順番で伸展時間が長くなっている。90 degの時は螺旋導管の重量による影響が大きく、0 degの時はアーム構造材間の摩擦による影響が大きい。45 degの時はアーム・螺旋導管の重量と構造材間の摩擦による影響でモータへの負荷が大きくなってしまい、アーム伸展に時間を要してしまったと考えられる。さらに、螺旋導管の外径は寸法誤差があるとともに柔軟であるため負荷を受けると外径が少し変化してしまう。少し外径が太くなっていると伸縮機構にうまく挿入されないため、手で螺旋導管をねじることで太くなっている部分を直す作業が必要になり、時間がかかってしまう。

一方、収縮に関しては図3より0 deg、45 degでは構造材が他の構造材に引っかかってしまい最後まで収縮できないことはあるがアーム根元付近まで収縮可能であることが確かめられた。しかし、90 degの時は0.1 m程しか収縮できていない。その理由として、螺旋導管の自重により伸縮機構とアーム間で螺旋導管が圧縮されてしまい、螺旋導管が太くなったり、座屈したりし、伸縮機構にうまく挿入されなくなってしまうためだと考えられる。そのため、収縮時には螺旋導管の自重による圧縮を逃がす構造にする必要がある。

#### 5 結言

本研究では送りねじのような伸縮機構を提案し、柔軟な螺旋導管をテレスコピック構造のアームに送り出し、アーム構造材を先端から1本ずつ押し出すことで水平(0 deg)、斜め(45 deg)、上方(90 deg)の3方向に約7 mの伸展を達成した。

しかし、従来の3つのウォームギアを用いる機構とは異なり、ギア内部のめねじに螺旋導管を送り込むため、螺旋導管の外径の変化に対応できず、導管の送り出しが止まってしまうことがある。そのため、機構の改善が必要である。また、アームの構造間摩擦を減らすために異なる材料やアームを使用することでさらなる伸展が期待できる。

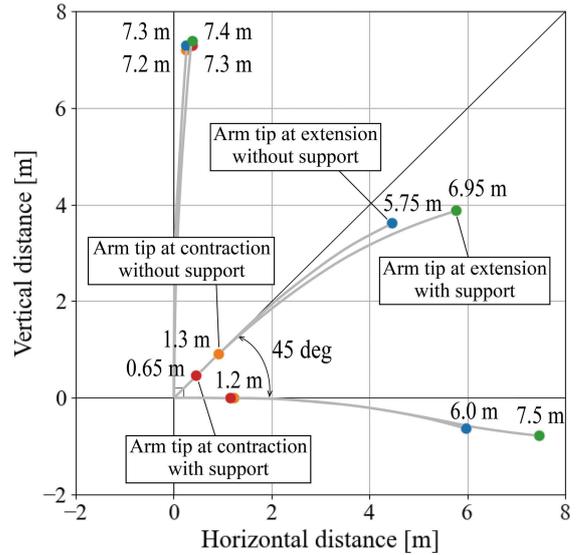


Fig.3 Results of extension and contraction experiments

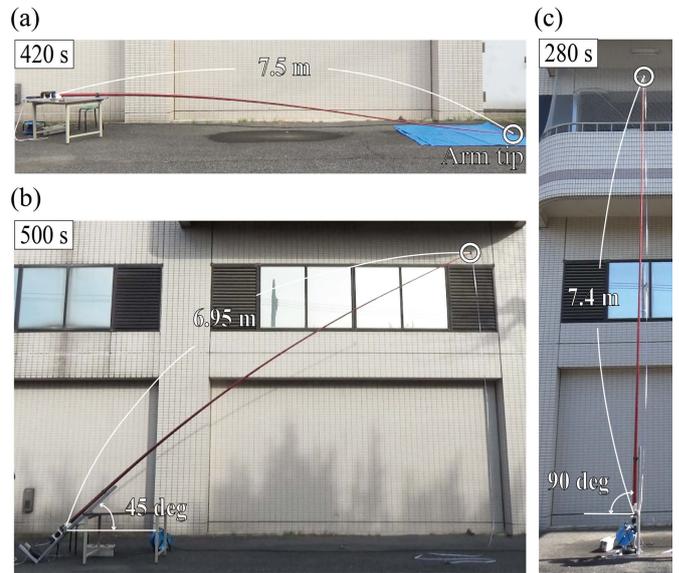


Fig.4 Extension results when supported by hand

(a) 0 deg (b) 45 deg (c) 90 deg :

The upper left number indicates extension time.

#### 参考文献

- [1] International Research Institute for Nuclear Decommissioning, “廃炉・汚染水対策事業費補助金 原子炉圧力容器内部調査技術の開発”, 2022. [https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022005\\_RPVnaibuchosa.pdf](https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022005_RPVnaibuchosa.pdf) (Accessed on 03/01/2024).
- [2] 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.
- [3] 株式会社東芝, 蒸気乾燥器内部目視点検装置, 特許 2558942. 1996.