

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12報：傾斜伸縮時の可搬質量の実験的検討―
Title(English)	Study on Elastic Telescopic Arm -No.12 : Experimental Study on Payload Capacity in Inclined Extension-contraction Motion-
著者(和文)	塚原一裕, 有賀嵩紘, 遠藤玄
Authors(English)	Kazuhiro Tsukahara, Takahiro Aruga, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2026講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2026, 6

弾性テレスコピックアームに関する研究

—第12報：傾斜伸縮時の可搬質量の実験的検討—

Study on Elastic Telescopic Arm

-No.12 : Experimental Study on Payload Capacity in Inclined Extension-contraction Motion-

○ 塚原一裕（東京科学大） 正 有賀嵩紘（東京科学大） 正 遠藤玄（東京科学大）

Kazuhiro TSUKAHARA, Institute of Science Tokyo, tsukahara.k.ab@m.titech.ac.jp

Takahiro ARUGA, Institute of Science Tokyo

Gen ENDO, Institute of Science Tokyo

Many power transmission towers in Japan are aging, increasing the demand for inspections. Manual climbing poses severe risks, and drones struggle with physical tasks like hammering tests or heavy repairs. To address this, the authors previously proposed a three-dimensional mobile robot equipped with elastic telescopic arms that navigates by hanging from robust structures. While past studies verified the arm's extension limits without a payload or only in a vertical upward direction, this study investigates the arm's extension capabilities at various elevation angles with added payloads. Experiments revealed that at a 45-degree elevation, the arm successfully extended approximately 6.8 m with 0 kg and 0.5 kg payloads, and 4.2 m with a 1.0 kg payload. In the horizontal direction, the arm achieved a 5.0 m extension with a maximum payload of 1.5 kg. Furthermore, it was confirmed that increasing the arm extension length increases the tendency for the pipes to jam, preventing automatic contraction.

Key Words: Long-reach Arm, Mobile Robot, Elastic Telescopic Arm

1 緒言

現在日本にある送電鉄塔の多くは高度経済成長期以前に建てられたものが多く、これらの点検作業の需要が高まってきている[1]。送電鉄塔の点検作業は作業員が登って行うことがあるが、作業員が高所に登って作業を行うことは落下による怪我、死亡のリスクが大きい。近年ではカメラを搭載したドローンを用いることで目視点検作業をロボットが代替する試みがなされてきているが、打音検査などの物理的接触を伴う検査や長時間にわたる点検作業、補修作業をドローンで行うことは難しい。

筆者らは過去に、弾性テレスコピックアームと呼ぶ長尺直動機構を複数本有し、それらを使って送電鉄塔などの頑健な構造体にぶら下がりながら三次元的に移動可能な準静的立体機動ロボットを提案した[2]。この準静的立体機動ロボットはアーム先端に取り付けたグリッパにより構造体を把持する。アームは根元の回転関節により、水平方向から鉛直上向き方向まで、仰角 0~90 度の範囲で傾けられることが想定される。自動伸縮が可能な範囲については藤塚らによりアームの伸展角度に依存することが明らかにされているが[4]、この実験はエンドエフェクタの自重に相当する先端ペイロード無しという条件で行われた。このロボットの実現にあたり、先端にペイロードが付加された状態でのアーム伸展角度と自動伸縮の成否との関係を明らかにすることが必要である。鉛直上向き方向へのペイロード性能評価実験は過去に行われており、先端ペイロード 5 kg 時に 5 m 伸縮が可能であることが確認されている[5]。本稿では、弾性テレスコピックアームの先端に重りを付加した状態で仰角 45 度、水平方向での伸縮実験を行った結果について報告する。

2 弾性テレスコピックアーム

弾性テレスコピックアームの構造を図 1 に示す。弾性テレスコピックアームは電動で伸縮する釣り竿のような構造をした直動機構であり、径の異なるテーパパイプが複数重なったテレスコピック構造部分と、それを伸縮させる伸縮機構からなる。

パイプ部分には繊維強化プラスチック（本稿では CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)）を用いているため金属製のアームに比べ軽量であり、かつわずかにしなることが可能である。それにより外部環境に接触した際に衝撃をアームのしなりによっていなすことで外部環境とアームの損傷を防ぐことや、外部環境に沿いながら伸縮したりすることが可能となる。

本アームの伸縮には外側に螺旋状の溝のついた金属製フレキシブルチューブ（以降螺旋導管と呼称）を送りねじの軸のよう

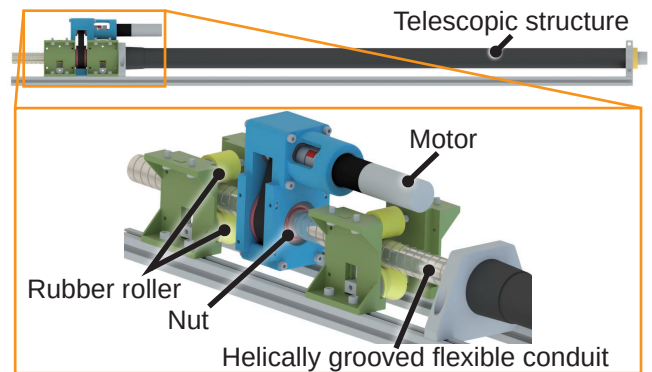


Fig.1 Structure of Elastic Telescopic Arm.

に用いる。螺旋導管に嵌合するナットを FFF(Fused Filament Fabrication) 方式の 3D プリンタにより製作し、これをモータで回転させることにより螺旋導管の送り出し・引き込みを行う。螺旋導管先端とテレスコピックパイプ先端をロープにより接続しておくことで、螺旋導管の送り出し・引き込みに連動してアームを伸縮させることができる。送りねじの軸が剛体棒である場合、アームの伸縮量と同じ長さの軸とそれを格納するスペースがアーム後端部に必要となるが、柔軟に屈曲可能な螺旋導管を用いると丸めてリールに格納することが可能となるため省スペース化が可能である。また、ナットとの摩擦により螺旋導管が軸回りに回転しねじれてしまう現象が確認されており[3]、これにより送りねじ機構が生成するアーム軸方向の力が管壁を外側へ押す方向に分解されてしまい、アーム手先の可搬ペイロードが低減する可能性がある。そのためナットの前後にゴムローラを一組ずつとりつけ、これで螺旋導管を挟み込むことにより螺旋導管の軸回りのねじれを抑制している。ゴムローラの押しつけ具合はねじの締め込みにより調整可能である。

3 弾性テレスコピックアームを複数用いた準静的立体機動ロボット

弾性テレスコピックアームを用いた準静的立体機動ロボットの構想図を図 2 に示す[2]。本ロボットは複数本のアームとそれら

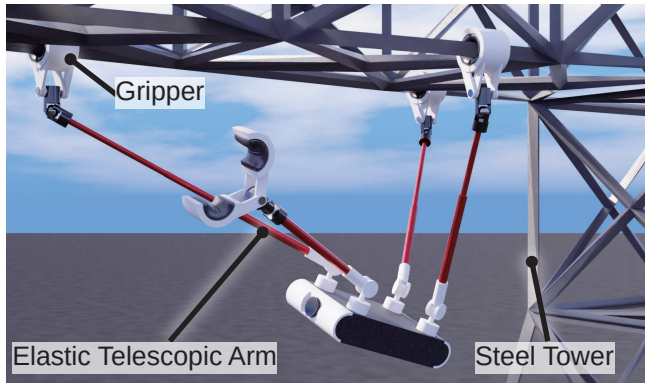


Fig.2 Conceptual design of omni-directional mobility robot.

の先端に取り付けられたグリッパにより頑健な環境とロボットを接続する。アーム根本には能動回転対偶を備え、アームの角度を仰角 0°~90 度まで傾ける。アームの伸縮量と角度を調整することでグリッパの位置を制御する。本ロボットはグリッパによる固定、ボディ位置の移動、グリッパ解放を繰り返すことで空間内を三次元的に移動する。

4 仰角 45 度・水平方向への伸縮実験

弾性テレスコピックアームを仰角 45 度方向に向けた状態と、水平方向に向けた状態の二種類について伸縮実験を行った。アーム先端に付加する重りは 0 kg から 0.5 kg ずつ増加させた。ねじれ抑制用のゴムローラの押しつけ力については、実験前に締め付けトルク 0.1 Nm でゴムローラ押し付け用ねじを締めることとし、実験中の調整は行わなかった。アームが破壊されない範囲で伸縮動作を行うために、伸縮中はアームの様子を目視で観察し、アーム先端が大きく振動した場合や異音が出た場合には動作を停止することとした。アームの最大収縮時の長さは約 1.0 m であり、伸展時の長さは、仰角 45 度方向への伸展時は撮影した画像から推定し、水平方向への伸展時はアームに沿わせるように配置した巻尺により測定した。本実験で使用したパイプはタモ網用のもの (ITGKS100, PROX) であり、先端径は $\Phi 21.5$ 、パイプの肉厚は約 1 mm、一節の長さは 1050 mm である。本製品は九本のテーパパイプと一本のケース用パイプの全十本のパイプからなるものだが、本実験では先端二節を抜いた計八本のパイプを使用した。

各伸展実験での結果を図 3 にまとめる。実際は重力の影響でアームはたわむが図中では表現していない。完全に収縮した状態を初期状態として、初期状態から伸縮を行って再び初期状態に戻るまでの間に、人手による補助を必要としなかった場合を補助無し、パイプ同士の噛みこみなどにより動作時に異音を検知した際にそれを解消するために人手による補助を要した場合は補助ありとここでは定義する。それぞれの実験時の様子については以下に述べる。

4.1 仰角 45 度方向への伸縮実験

仰角 45 度方向への伸縮の様子を図 4 に示す。実験の結果、ペイロード 0 kg, 0.5 kg の際には約 6.8 m, 1.0 kg の際には約 4.2 m まで伸展させることに成功した。1.0 kg 付加時の伸展長さが他に比べ短くなった原因としては、伸展動作中に先端の揺れが大きくなったことと、アーム部から軋むような異音が出たため動作を停止したためである。また収縮時において、ペイロード 0, 0.5 kg での伸縮動作時にモータによる自動収縮に失敗した。これはアーム部のうち最も太いテーパパイプと次に太いもののテーパ部が互いに強く嵌りこんだことにより、モータによる収縮が困難となったからである。

この実験の後、再度ペイロード無しの状態で伸展動作を行った際、約 5.0 m の伸展時にアーム根本側のパイプが裂けるように折れた。その前に行った実験で異音が出ていたことから、パイプ内部に損傷が生じていたものと考えられる。

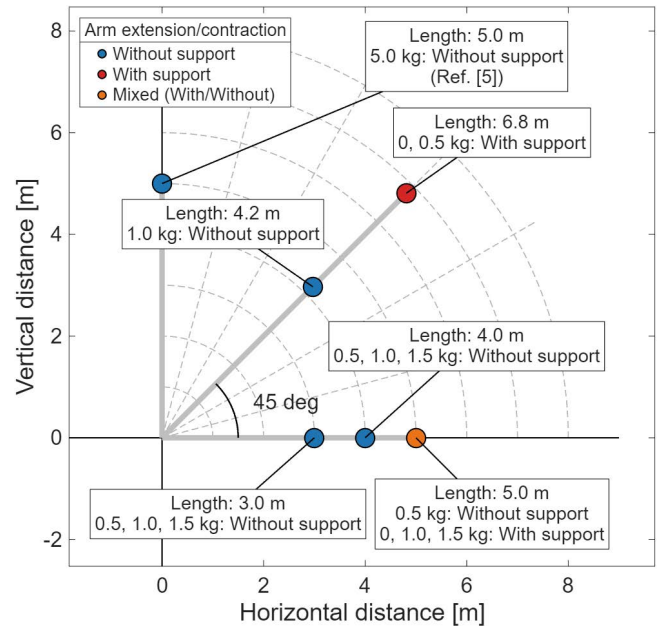


Fig.3 Results of extension and contraction experiment.

4.2 水平方向への伸縮実験

水平方向への伸縮実験では先端ペイロード 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg, 1.5 kg の四通りについて実験を行った。実験場のスペースの制約から本実験での最大伸展距離を 5.0 m に制限することとした。まず動作確認としてペイロード無し状態で 5.0 m の伸縮動作を行った。仰角 45 度方向の実験で伸展距離が長くなると自動収縮に失敗する傾向がみられたため、ペイロードを付加した場合はそれぞれにおいて 3.0, 4.0, 5.0 m の伸縮動作を一回ずつ行った。ペイロード 1.5 kg 時の伸展の様子を図 5 に示す。ペイロード 0, 1.0, 1.5 kg 時において、伸縮量 5.0 m の時に、仰角 45 度方向伸縮時と同様に、パイプ同士の嵌りこみにより自動伸縮に失敗した。嵌りこんだ箇所も同様のパイプであった。

上記の実験結果から、アーム伸展長さが長くなるほど、収縮時のパイプの嵌りこみが起きやすくなる傾向が水平方向伸縮でも確認された。

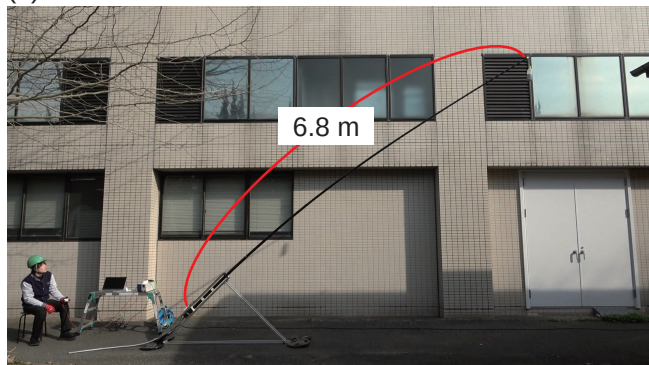
5 結言

本稿では弾性テレスコピックアーム先端に荷重を付加した際の伸縮性能についての実験的検討を行った。実験の結果、仰角 45 度方向へはペイロード 0 kg, 0.5 kg の際には約 6.8 m, 1.0 kg の際には約 4.2 m の伸展、水平方向へは最大 1.5 kg での 5.0 m の伸展に成功した。収縮時には最も太いパイプが伸びきった際に自動収縮不能となる場合が観察された。今後はさらなる伸縮性能向上を目指し、パイプ形状の見直しを行う。

参考文献

- [1] みずほ情報総研, “平成 30 年度新エネルギー等の保安規制高度化事業 (送電線点検等におけるドローン等技術活用可能性検討事業) 報告書,” https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/files/310322-1.pdf, (Accessed on 2026/2/27)
- [2] Tsukahara, K., Kodama, H., Fujitsuka, Y., Ueda, D., Aruga, T. and Endo, G., “Proposal and Feasibility Evaluation of a Quasi-static Omni-Directional Mobility Robot using Multiple Elastic Telescopic Arms,” *Proceedings of the 2026 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, TuBT2.2, 2026.
- [3] 清原遼介, 難波江裕之, 遠藤玄, “弾性テレスコピックアームに関する研究 - 第 6 報: 螺旋導管を用いた伸縮機構の改良 -,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 講演論文集, P2-A07, 2024.
- [4] 藤塚祐二, 清原遼介, 遠藤玄, “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 -,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 講演論文集, P2-A08, 2024.

(a)



(b)

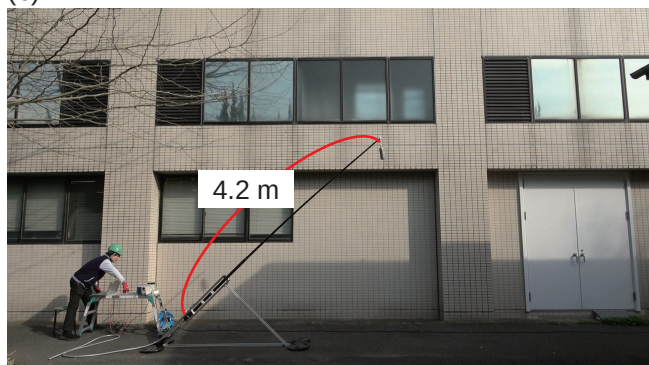


Fig.4 Extension at a 45-degree elevation. (a)0.5 kg payload. (b)1.0 kg payload.

[5] 塚原一裕, 有賀嵩紘, 遠藤玄, 志賀倫哉, 松村良太, 小西洸, 佐藤政幸, “弾性テレスコピックアームに関する研究 -第 11 報: 鉛直 5m, 可搬 5kg の伸縮動作の実現-, ” 第 43 回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 2P1-01, 2025.

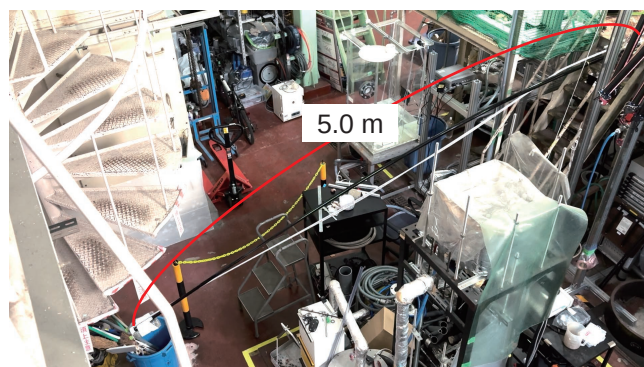


Fig.5 Extension in horizontal direction.