

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を複数用いた準静的立体機動ロボットの提案
Title(English)	
著者(和文)	遠藤玄, 塚原一裕, 藤塚祐二, 植田大輝
Authors(English)	Gen Endo, Kazuhiro Tsukahara, Yuji Fujitsuka, Daiki Ueda
出典(和文)	第42回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2024, 9
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

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の提案

遠藤 玄（東工大） ○塚原 一裕（東工大） 藤塚 祐二（東工大） 植田 大輝（東工大）

We propose an "Omni-directional Mobility Robot" using multiple Elastic Telescopic Arms (ETAs). The ETA has a telescopic structure that can linearly extend in the longitudinal direction and elastically deform. Energy supply to an end-effector is feasible because the ETA can be a conduit for electric wires and pneumatic tubes. The robot can move three-dimensionally by extending and retracting the arms while quasi-statically fixing the ends of the arms to the environment.

1. 緒言

高所や不整地などの、人間が作業しにくい環境で活動するロボットには一定の需要がある。これまでに、ワイヤ端部を環境に固定し、ウィンチを用いてロボット単独で三次元的な移動を可能とする不整地移動ロボットなどが提案されてきたが、端部の固定・解放の自動化が課題となっていた。この課題を解決する手段として、筆者らの研究グループで提案している弾性テレスコピックアーム (ETA : Elastic Telescopic Arm)[1] が有効であると考えられる。

本稿では、ETA を複数有し、これを移動手段とする新しいロボット (図 1) を提案する。ETA 先端を環境に固定しつつ ETA の向きと伸縮量を制御し、ぶら下がったり、ロボット本体を任意の位置に引っ張り上げたりすることで三次元空間での準静的な移動や、エネルギー消費のない定在を実現することが可能であると考えられる。

2. 弾性テレスコピックアーム

ETA とは釣竿のようなテレスコピック構造であり、柔軟にすることができるアームである。自重を構造で支えることから、長尺化が容易で水平姿勢を保持するエネルギーが不要であったり、外部環境に沿うように受動的に屈曲できるなど、簡素でありながら他の機構には無い著しい特長を持つ。

ETA のテレスコピック構造を伸縮させる手法についてはこれまでにいくつか提案がなされてきた。永井ら [2] は螺旋導管をテレスコピック構造内部に押し込むことで伸展させる手法を開発した。本稿における螺旋導管とは、螺旋状の溝を有するステンレス製の屈曲可能なケーシングチューブのことを指す。螺旋導管はもともと内部に通した電線や空圧チューブを保護することが目的であることから、ETA 先端に電力や圧縮空気などを送ることができる。

螺旋導管がテレスコピック構造の中で大きく蛇行すると、螺旋導管の軸力が伸展に用いられず、管壁を押す方向に使われてしまい、結果、最大伸展長さやペイロードが低くなる。これを防ぐため、永井らはテレスコピック構造が伸展するのに応じて、押し込む螺旋導管の直径を増加させる方法を考案し、3つのウォームギヤで螺旋導管を保持しつつ送りネジのように送り出す手法を取っている [2]。この手法を用いた ETA は推定 7.9 m まで伸展可能であることが確かめられている。しかしこのときの課題として、螺旋導管が軸回りに自転してしまうことで ETA 内部において螺旋導管のねじれが生じるために

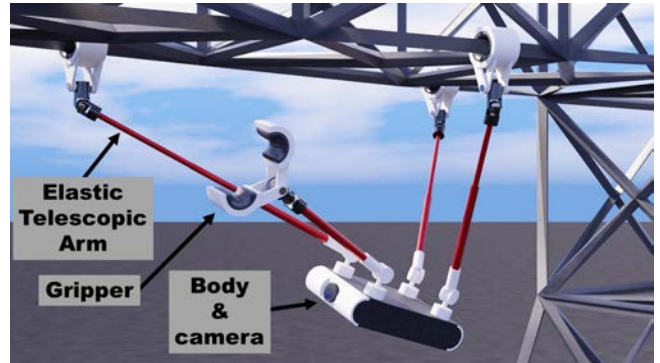


図 1: 弾性テレスコピックアームを複数有するロボット

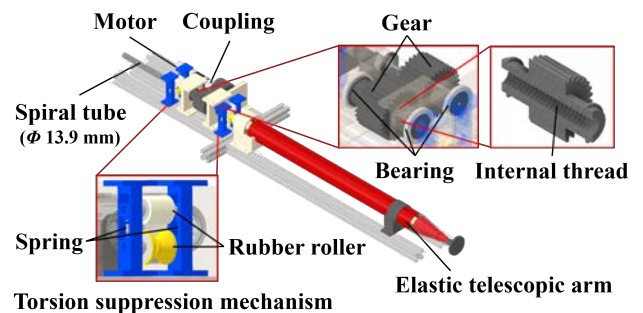


図 2: 螺旋導管伸縮型 ETA [4]

導管を送る際に螺旋導管を絡まないように捌くことが必要であったこと、螺旋導管の溝とギヤが歯飛びすることなどがあった。これらを解決するため、軸周りの回転を拘束する受動ローラで挟み込む手法 (図 2) が提案された [3][4]。これにより、螺旋導管を順次太くする必要がなくなり、送り出しは単純なナット形状で実現できることになった。現在まで実験により 8.5 m の人手を介さない自動伸縮が実現されている。

3. 先行研究

現在までに、ワイヤ端部を環境に固定し、ワイヤの巻取り量を制御することで三次元空間を移動することができるロボットは複数開発されてきた。中本らは車輪とフック投擲・ワイヤ牽引機構を有するロボットを開発した [5][6][7]。このロボットはワイヤの先端に開閉可能なフックを取り付け、これを投擲して樹木などの環境を掴

表 1: ETA と類似機構の比較

名称	直径 [mm]	質量 [kg]	最大ペイロード [kg]	最大伸展距離 [m] (伸縮比)
ETA(螺旋導管型)	58	5.4	2.0	8.5(11.9)
ZipperMast ZM-4[12]	240	7	3.5	2.5(11.4)
ZipperMast ZM-10[12]	430	48	15	6.0(17.1)
RoboPole 5ESJ-200/800[13]	-	50	15	8.0(4.0)
RoboPole 6ESJ-2510/1200[13]	-	240	50	12(4.8)
NK-9[14]	102.5	26	22	9.0(3.9)
Spiral Zipper system[15]	114	1.7	54	2.2(-)
Pneumatic driven telescopic arm(IRID)[16]	97	-	2.0	7.3(7.23)

んだり引っ掛けたりすることで固定し、その後ワイヤを巻き取ることでロボットの車輪での移動を補助する。これにより本来車輪だけでは踏破困難だった段差なども乗り越えることを提案している。しかし、フックの投擲とワイヤの牽引を機構的に両立させるこの手法では、投擲距離が限定される、投擲位置が不確実であるなどの課題があった。

投擲によりエンドエフェクタの位置姿勢を制御する手法はキャストイングマニピュレーション [8] と呼ばれるが、今まで提案された機構の中で、ETA の最大長よりも遠くに投擲可能かつ端部の固定と解放を繰り返し行うことができる機構は筆者らの知る限り未だ開発されていない。

井上ら [9] はワイヤ端部をドローンに接続し、それを環境に引っ掛けることで固定する手法を開発しているが、先端の各ドローンそれぞれにバッテリーを持たせなければならないため頻繁なバッテリー交換が必要であることや、ドローンが入ることのできる空間があるところにしか固定できないなどの制約が考えられる。

4. 提案するロボット

提案するロボットの構造は次のとおりである。本ロボットは複数本の ETA とボディから構成される。ボディにはカメラや制御装置、バッテリー等の動力源などを搭載する。ETA 根本には、pitch,yaw 軸周りに回転可能となるように回転機構を取り付け、これをモータを用いて制御する。これに ETA の伸縮を加えると、ETA 先端の機体に対する相対位置は球面座標系で表現することができる。ETA 先端には環境に固定するためのグリッパと手先確認用のカメラを取り付ける。本ロボットはこのグリッパを用いて、充分頑健な環境を把持しつつ移動する。3 本以上の ETA を伸ばして機体を持ち上げ、残りの ETA を進行方向側に伸ばして機体重心を移動させる。これを繰り返すことにより三次元空間を移動する。

本ロボットに ETA を用いる利点は主に 5 つある。

(1) 準静的に駆動できるため確実性が高いこと

キャストイングマニピュレーション [8] のように動的に動作するシステムは投擲中のわずかな時間の中で制御を行う必要があるが、ETA は準静的に伸縮動作を行うため、伸縮動作中に常に制御をかけつつ動作することが可

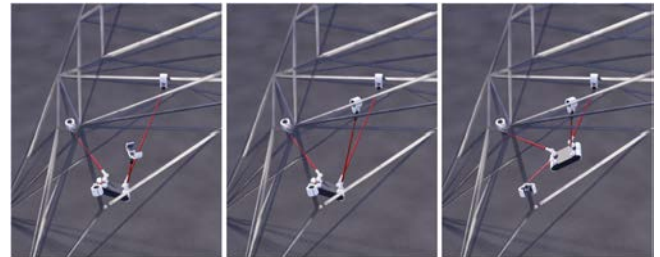


図 3: 本ロボットの動作イメージ

能であり、技術的実現可能性が高い。

(2) リーチが長いこと

ETA は 8.5 m まで伸展可能と確かめられている。また、ETA は多方向に伸展可能な長尺アームであり、水平方向にも鉛直方向にも伸展可能なアームである [4]。そのため、本ロボットは三次元的に任意の方向に移動可能であると考えられる。さらに、ETA は高弾性な構造であり、しなるようにして伸展することが可能である。この特性を利用し、ETA に屈曲機構を取り付けることで手先の位置制御を行うことができる [10][11]。この機構を用いると、障害物を回避しつつ、その奥にある対象を把持するような動作が可能であると考えられる。

(3) 手先出力が高いこと

現在までに ETA は最大 2kg のペイロードを達成している。また、送りねじ同様の機構を用いている ETA は圧縮荷重だけでなく引張荷重も支えることができる。

(4) 消費電力なしで定在できること

螺旋導管の送り出し機構として送りネジのような機構を用いているが、この機構はバックドライブしないことが実験的に確かめられている。すなわち、ロボットが環境にぶら下がっている状態で送り出し機構に用いているモータを止めても ETA は自重は伸縮しない。したがってロボットの機体位置を消費電力なしで空間上に定在させることができる。

(5) アーム先端への電力・空圧の供給ができること

前述の通り、螺旋導管を用いた ETA は内部に配線・配管を通すことができる。これを用いて電力や電気信号、圧縮空気を ETA の根本と先端でやり取りすることができ、バッテリーなどの動力源や制御装置をボディに集約することができる。これにより、アーム先端の荷重軽減が期待される。

本ロボットに用いる ETA と類似の伸展アームとの比較を表 1 に示す。他の類似機構に比べて、ETA は伸縮比が大きいことが特徴である。ETA よりも大きい伸縮比を持つ機構はあるが、これは直径、質量ともに ETA よりはるかに大きい。このことから、移動ロボットに用いる際には ETA のほうが優れていると考えられる。

5. 適用例

提案するロボットの適用先の一つとしては、鉄骨構造を有するインフラストラクチャー構造物の目視点検および打音検査を考えている。現在、鉄塔の検査は作業員が直接登って行う場合が多い。人間が高所作業を行うのは危険が伴うため、この作業を本ロボットで代替することができればより安全に点検作業を行うことが可能である。目視による点検であればドローンを用いるのが簡単な方法ではあるが、鉄塔周辺での気流の乱れなどを考慮すれば鉄塔内部の検査は極めて困難と思われる。本ロボットであれば、確実に省電力で長期に定在できる移動・点検ロボットシステムが実現できると思われる。

別の活用先として林業分野が挙げられる。林業分野では人が歩き回るなど人力を要する作業が数多く存在するが、本ロボットを用いることでその負担を軽減することができると考えている。四足歩行ロボット「Spot」(Boston Dynamics 社製)を用いて森林巡回作業をさせる研究がなされているが [17]、不整地であるため転倒することがある。ETA を複数有する本ロボットであれば、木にぶら下がりながら移動することが可能であるため地面の状況によらず移動が可能であると考えられる。森林においては ETA 先端を固定することができる箇所が多く存在するため、本ロボットにとっては移動のしやすい領域である。また、この分野においては、先行研究として行われていた 4 輪駆動の移動ロボットに ETA を載せた構成 [10][18] も有効であると考えられる。先行研究における ETA は 3.6 m まで伸展しているが、本提案に用いる螺旋導管型 ETA は 8.5 m まで伸展可能であることが確かめられているため、さらなる移動性能の向上が見込まれる。

6. 実現可能性の検討

現在まで圧縮荷重が加わっている場合の伸縮実験は行われてきたが、引張荷重が加わっている状態での実験は行われていなかった。ETA に引張荷重が加わっている状態で伸縮が可能かを検証するため、現在の ETA の自重である 7.0 kg (ETA 本体質量が 5.4 kg、固定用のアルミフレームが 1.6 kg) を持ち上げられるかを実験した。

まず、螺旋導管がどのくらいの引張荷重まで支えられるかの実験を行った (図 4)。螺旋導管の上端部を上方に固定して吊り下げ、下端部に重りを吊り下げて引張荷重を加えた。螺旋導管の変形の評価は、送り出し機構のナット部に嵌合するか否かで行った。結果として、25 kg の重りを吊り下げても大きな変形は見られなかった。



図 4: 螺旋導管引張実験



図 5: 持ち上げ実験

次に、ETA を伸展した状態で先端を上方に固定し、収縮させていくことで ETA 本体を持ち上げる実験を行った (図 5)。用いたモータは日邦電機製 MM-26EH に減速比 31.5:1 の減速機を取り付けたものである (30 W で使用した)。実験の結果、ETA はおよそ 20 mm/s の速度で上昇し、自重を持ち上げることが可能であることを確認した。

7. 結言

本稿では、螺旋導管を用いた ETA を複数本有する移動ロボットの提案を行った。

螺旋導管を用いた ETA を移動ロボットに適用するにあたり、今後はこの ETA にどの程度までの引張荷重がかかっている状態で伸縮が可能かを定量的に明らかにする。そのデータを基に試作機として、まずは 4 輪駆動の移動ロボットに ETA を載せたものを製作し、移動ロボットにおける ETA の実用性の検討を進める。

参考文献

- [1] T. Fujioka, G. Endo, K. Suzumori, H. Nabae: “Proposal of Tendon-driven Elastic Telescopic Arm and Initial Bending Experiment”, International Symposium on System Integration, pp.164-169, 2017.
- [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 2023 講演論文集, 2A1-A20, 2023.
- [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 7 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, 1P2-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, 1P2-A08, 2024.
- [5] 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・投锚機構の開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-J10, 2002.

- [6] 浅野 暢一, 広瀬 茂男: “遠隔固定解除可能な投擲フックの開発: 電動式と空圧式遠隔駆動機構の検討 (特殊移動ロボット・メカトロニクス)”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-J06, 2007.
- [7] Se-gon ROH, Ben ALLAN, Robert MARSHALL, Stuart KERR, Daniel KILLEN, Shigeo HIROSE: “Development of Tethered Detachable Hook IV for Robot Locomotion in Extremely Rough Environments”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A2-Q03, 2011.
- [8] 有隅 仁: “キャスティングマニピュレーション”, 日本ロボット学会誌, vol. 41, no. 10, pp. 854-857, 2023.
- [9] 井上 信多郎, 河原塚 健人, 鈴木 天馬, 勇崎 颯太, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: “環境接続可能なワイヤ駆動ロボットによる空間移動と物体操作”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-M01, 2024.
- [10] 小川 淳司, 遠藤 玄, 鈴森 康一, 難波江 裕之: “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”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1P2-L01, 2019.
- [11] 藤塚 祐二, 遠藤 玄: “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”, 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, 1986-1988, 2023.
- [12] OBSIMA technology: “ZipperMast”, https://www.obsima.no/produkter/taktisk_elektronikk/mastsystemer-nyhet/zippermast (2024/7/5 閲覧)
- [13] Synthe Tech: “コアーテック社 ロボポール 多段伸縮ねじ式電動ポール”, <https://synthe.jp/lineup/robopole/> (2024/7/5 閲覧)
- [14] ユアサ工機株式会社: “可搬型伸縮ポールシステム NH/NK マストシリーズ”, <http://www.yuasakk.co.jp/pole/nhnk.html> (2024/7/5 閲覧)
- [15] F. Collins and M. Yim: “Design of a spherical robot arm with the Spiral Zipper prismatic joint”, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 2137-2143, 2016.
- [16] IRID: “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 最終報告”, https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022005_RPVnaibuchosa.pdf, 2022. (2024/7/5 閲覧)
- [17] Impress Watch: “四足歩行ロボ「Spot」斜面を登る。スマート林業に投入”, <https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1420923.html>, 2022. (2024/7/5 閲覧)
- [18] 小川 淳司, 難波江 裕之, 鈴森 康一, 遠藤 玄: “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具現化”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-H03, 2020.