

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10報：弾性テレスコピックアームを用いた車輪型ロボットの移動性能向上
Title(English)	Study on Elastic Telescopic Arm -No.10 : Improvement of Mobility Performance of Wheeled Robot with Elastic Telescopic Arm-
著者(和文)	塚原一裕, 児玉大翔, 藤塚祐二, 遠藤玄
Authors(English)	Kazuhiro TSUKAHARA, Hiroto KODAMA, Yuji FUJITSUKA, Gen ENDO
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2025講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2025, 6

弾性テレスコピックアームに関する研究

—第10報：弾性テレスコピックアームを用いた車輪型ロボットの移動性能向上—

Study on Elastic Telescopic Arm

-No.10 : Improvement of Mobility Performance of Wheeled Robot with Elastic Telescopic Arm-

○塚原一裕 (Science Tokyo) 学 児玉大翔 (Science Tokyo)
学 藤塚祐二 (Science Tokyo) 正 遠藤玄 (Science Tokyo)

Kazuhiro TSUKAHARA, Institute of Science Tokyo, tsukahara.k.962d@m.isct.ac.jp

Hiroto KODAMA, Institute of Science Tokyo

Yuji FUJITSUKA, Institute of Science Tokyo

Gen ENDO, Institute of Science Tokyo

It is difficult for a wheel drive robot to climb steps that are larger than the radius of its wheels. In this study, we experimented with a wheeled robot equipped with a quasi-statically driven long reach arm "Elastic Telescopic Arm" to climb stairs. By extending this arm and connecting the robot to the environment with a gripper attached to the end of the arm, we showed that the robot could climb stairs that it could not normally climb. The results showed that the use of an Elastic Telescopic Arm can improve the mobility performance of a wheeled robot.

Key Words: Telescopic structure, Long-reach arm, Rough-terrain locomotion

1 緒言

従来、高所や不整地などのヒトが作業しにくい環境でロボットが活動できるようにする手法は複数提案されてきた。その中の一つとして、環境にワイヤ端部を固定しウィンチでワイヤを巻き取ることで、単独では踏破できない不整地を移動可能とする手法が存在する。しかしこの手法を採用するにあたって、ワイヤ端部の固定と解放を自動で行う点などにまだ課題が存在する。

ワイヤ端部にフックやアンカ、小型ロボットなどの固定具を有し、それを狙った位置に投擲することで環境に固定するという移動ロボットはこれまでも複数開発されてきた。これらはキャスティングマニピュレーションとしてまとめられている [1]。中本らは車輪・クローラとフック投擲・ワイヤ牽引機構を有するロボットを開発した [2]。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外部環境を把持することで固定し、その後ワイヤを巻き取ることでロボットの車輪・クローラでの移動を補助する。これにより本来車輪・クローラだけでは踏破困難であった急斜面などを乗り越えることを提案しており、試作機による検証実験が行われている。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ことや、風や空気抵抗などの外的要因の影響を受けやすいため投擲の精度を高めることが困難であるなどの課題があった。後者の課題に対し浅野らは、投擲精度を高めるのではなく、対象を把持するグリッパ型から爪で引っ掛けて固定するフック型に変更することで投擲したテザー端部の固定成功率向上を目指した [3]。このフックを移動ロボットに搭載することも提案・試作されている [4]。

これらのような端部の固定方法は動的であるよりも準静的である方が確実性が高いと考えられる。そこで本研究では、準静的に駆動する長尺アーム「弾性テレスコピックアーム」を用いる手法を検討する。永井らは弾性テレスコピックアームを車両ロボットに取付けたものを製作し、車輪直径よりも高い段差の踏破に成功した [5]。このロボットはアームを用いてフックを環境にひっかけることで固定し、フックに接続されたワイヤを巻き取ることで車輪による移動を補助したが、フックの解放方法についての検討はなされていなかった。またこの時用いられた弾性テレスコピックアームは3.6 mまでしか伸展できていなかったが、現在は最大8.6 mまで伸展できるように改良が進んでいる [6]。本研究では弾性テレスコピックアームを備えた四輪駆動ロボットを試作し、アームとその先端のグリッパを用いてロボットと環境を接続した後アームを収縮させることで、ロボット単体では登れなかった階段を踏破可能となることを実証し、弾性テレスコピックアームに

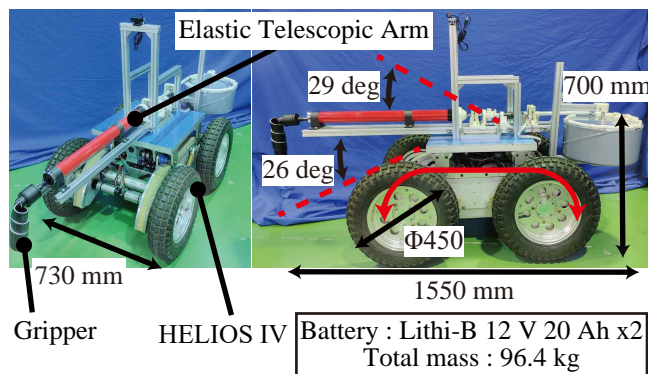


Fig.1 Overview of the prototype four-wheel drive robot "HELIOS IV" with the Elastic Telescopic Arm. Table moves along red line.

よってロボットの移動性能を向上可能であると示すことを目的とする。

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 (Elastic Telescopic Arm, ETA) はテーパのかかった径の異なる GFRP 製パイプが複数本連なったテレスコピック構造を持つ長尺アームである。本アームはアーム部最外径 58 mm と細径ながら最大伸展距離は 8.6 m (伸縮比 13.2) という高伸縮比を実現している [6]。

本アームの伸縮には、螺旋状の溝を有する金属製フレキシブルチューブ (螺旋導管) を用いる。螺旋導管を送りねじの軸のようにして、送り出し機構のギヤ (送りねじのナットに相当するもの) をモーターで回転させることにより、押し出し・引き込みを行う。螺旋導管先端とテレスコピック構造の先端はロープで接続されており、アーム伸展は螺旋導管でテレスコピック構造を押し出していき形で行い、収縮時はこのロープを介してテレスコピック構造先端を引き込むことで行う。

3 試作したロボット

本実験のために製作したロボットを図 1 に示す。本ロボットは四輪駆動ロボットと ETA から構成される。

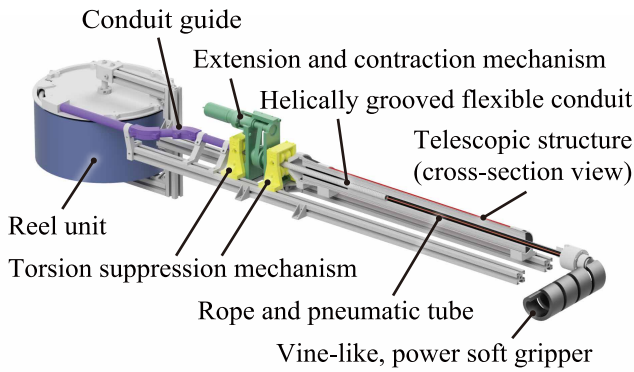


Fig.2 Components of Elastic Telescopic Arm

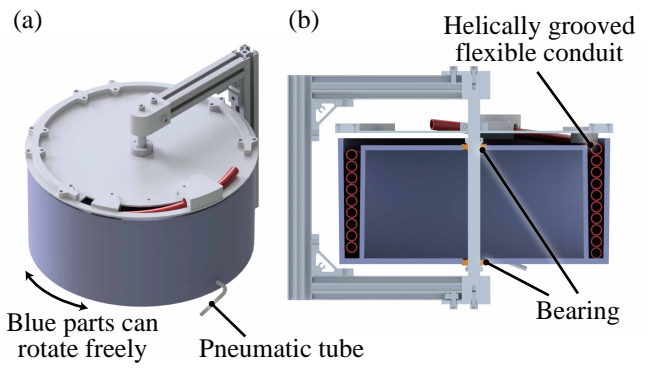


Fig.4 Components of reel unit (a)Overview (b)Cross-section

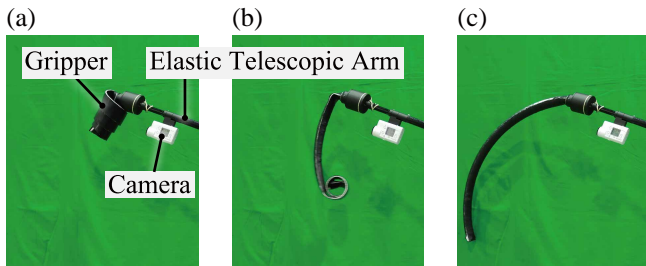


Fig.3 Movement of Power Soft Gripper (a)contraction (b)during extension (c)extension

四輪駆動ロボットとして、当研究グループで開発された”HELIOS IV”を用いた。これは各ホイールそれぞれをモータで駆動する独立四輪駆動ロボットであり、車輪と制御基板、バッテリー等を備えたボディとその上に可動テーブルを有する。ボディ側には直線と円弧を組み合わせた形のレールが備わっており、可動テーブル部分をこのレールに沿って移動させることが可能である。レールに沿ってラックギアが配置されており、可動テーブル側に取り付けられたピニオンギアをこれにかみ合わせモータで回転させることによりテーブルの移動を実現する。HELIOS IV は不整地移動が可能な車いすとして当初開発された機体であり、階段昇降のためにはタイヤの空気圧を低く設定し、段差に倣ってタイヤを変形させる必要がある。このような低圧タイヤは硬平地上での移動においては著しく移動仕事率が低下するため、移動環境に応じてタイヤ圧力の制御が必要であった。可動テーブルはテーブル姿勢を水平に保つように動き、上に人が乗って階段を昇降する際の転倒を防止することができる。

ETA は HELIOS IV の可動テーブルに固定されている。テーブルの傾斜による ETA の仰角は最大 29 度、俯角は最大 26 度である。アームは軸方向に伸縮可能であり、車輪によるヨー軸まわりの回転、可動テーブルを傾けることによるピッチ軸まわりの回転によりアーム先端の位置を制御する。これらはすべてゲーム用コントローラ (DUALSHOCK 4, ソニー・インタラクティブエンタテインメント) を用いて操作する。

ETA の構造を図 2 に示す。今回用いた ETA はテレスコピック構造部、グリッパ、螺旋導管を格納するリール機構、螺旋導管の送り出し機構、螺旋導管の軸回りに生じてしまうねじれを抑制する機構を備えている。

ETA 先端に搭載するグリッパには当研究チームにて開発されている蔓型パワーソフトグリッパ [7] を用いた。このグリッパの把持原理はオイラーのベルト理論に基づいており、把持対象に巻き付いているグリッパ巻き角の増加に応じて可搬重量が大幅に増加する。このグリッパの構造としては定荷重ばねが消防用ホースの中に入っており、それにゴムシートが接着された構造となっている。本グリッパの動作の様子を図 3 に示す。初期状態においてグリッパは定荷重ばねにより螺旋状に巻かれている (図 3(a))。グリッパ根元部分からホース内に空圧を印加するとグリッパ根本側から伸びていき (図 3(b))、ホースを膨らませるようにして伸びきる (図 3(c))。その後、グリッパ先端が把持対象に接している状

態で排気すると定荷重ばねによってグリッパは先端から巻かれ、対象に巻き付くようにして把持を行う。

ロボット内部に螺旋導管を格納する必要があるため、本 ETA には全長 10 m の螺旋導管を格納可能なリール機構を搭載した。リール機構の構造を図 4 に示す。リール機構を設計するにあたり、螺旋導管に許容以上の圧縮力や引張力がかかり機構や螺旋導管が破壊されることを防ぐため、送り出し機構とリール機構の回転を同期させることが必要となる。同期の方法については、送り出し機構のモータの出力を減速してリールを回す動力とする方法が確実性のある方法であると考えられるが、この方法には機構が複雑になるという欠点が存在する。そこで今回製作したリール機構においては、螺旋導管が通常のロープとは異なり、引張力だけでなく圧縮力も伝達できることを利用して受動的に回転するリール機構を製作した。リール機構は容易に製作できるように、塩ビ管用キャップ (呼び 250 および 300) を用いた。この二つを組み合わせることにより螺旋導管を格納する円筒状の空間を作る。二つの塩ビ管用キャップはベアリングを介して機体の固定軸と接続されているため、中心軸周りに受動回転可能である。螺旋導管内部に通した空圧用 $\phi 4$ チューブの端部がリール側面から引き出されており、ここから空圧を供給する。螺旋導管をリール機構から繰出す際はリール機構が受動回転し、螺旋導管の繰出しを妨げない。逆に格納する際は螺旋導管が圧縮力を受け、力をリールの回転方向へ変換することにより受動的にリール機構を回転させる。

ロボットはノート PC、マイコンボード (NUCLEO-F446RE, ST マイクロエレクトロニクス)、モータードライバ (EPOS4 50/15 Compact CAN, maxon)、車輪とテーブルを駆動するモータ (EC-i 52, maxon) を有する。コントローラとノート PC は Bluetooth によって通信しており、コントローラからの情報を基にマイコンがモータードライバに対し各種目標値を送信する。モータードライバ同士はデイジーチェーン接続されている。コントローラにはアナログ値を出力可能なジョイスティックが 6 軸搭載されており、これらを用いてロボットの操作を行う。車輪とテーブルのモータは速度制御、ETA のモータはトルク制御により制御される。

4 階段踏破実験

実験は図 5 に示す階段にて実施する。最初に ETA を用いない状態で本ロボットが階段を登れないことを確かめる。次に、ETA を用いて階段を登る実験を行う。実験手順を以下に述べる。まず、車輪で階段正面まで移動する。次にアームを斜め上方へ伸展させる。十分な長さまでアームを伸展させたのちアームの伸縮量と角度を調整しつつ先端のグリッパを用いて頑健な環境を把持する。この階段の踊り場部分の壁には金属製のパイプが 2 本取り付けられており、アームの把持対象としてこれのうち上側のものを使用する。その後、ETA に許容値以上の曲げや引張力がかからないようにアームの傾きと伸縮量を調整しつつ、アームを縮めながら車輪により階段を踏破できることを確認する。

ETA を用いない場合における実験の様子を図 6 に示す。このとき後輪が段差に差し掛かった段階で前輪が浮き上がったことを確認した。可動テーブルの位置を変え機体重心を前方寄りへ移動させれば解決される可能性があるが、機体質量が 96.4 kg であり

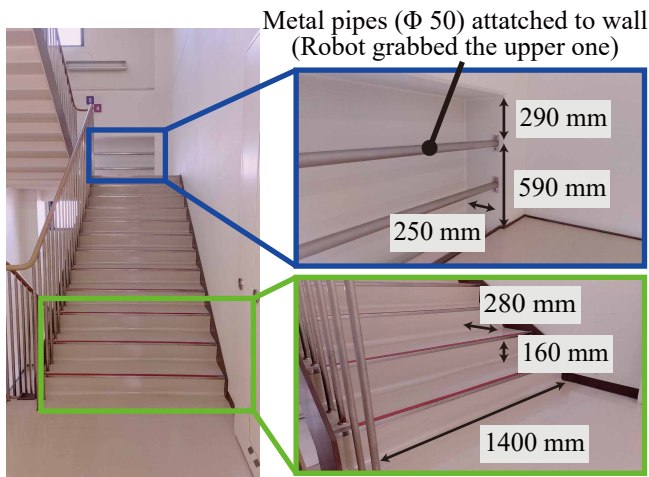


Fig.5 Overview of stairs and pipes gripped by the robot

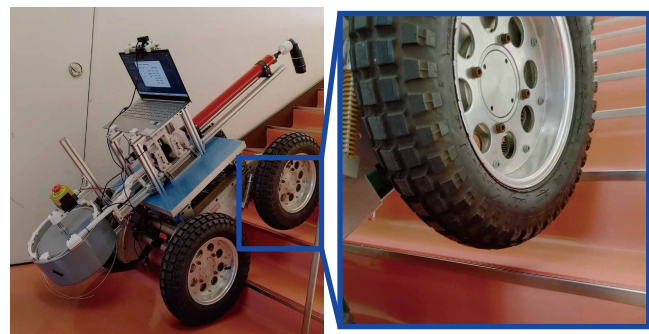


Fig.6 Experiment of climbing stairs without using ETA. Front wheels are lifting.

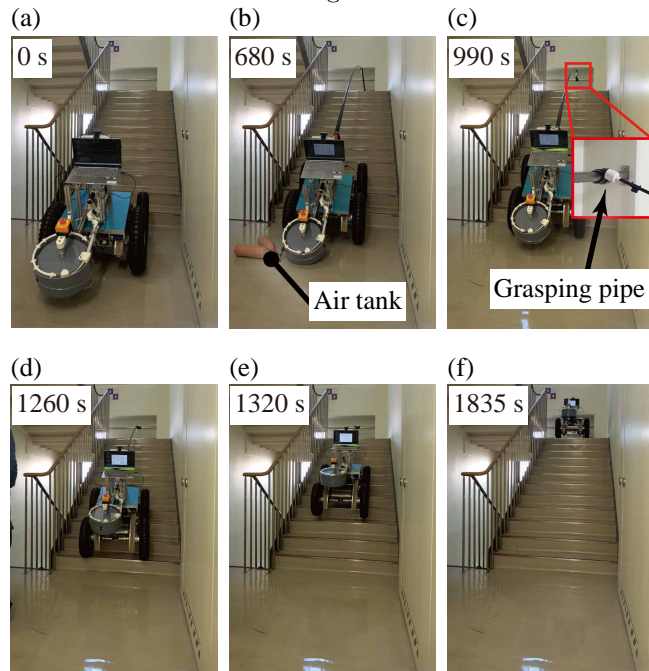


Fig.7 Experiment of climbing stairs using ETA (a)Start of the experiment (b)ETA extension (c)Grasping a pipe attached to wall (d)(e)Climbing stairs (f)Climbing finished

ロボットや建物が破損する可能性があることと安全上の観点から一度横転しかけた時点で実験を終了した。

次に ETA を用いた実験の様子を図 7 に示す。実験は二回行った。一回目で操作方法を確認した後、二回目でロボットが転倒したり滑り落ちたりすることなく、階段の踏破に成功した。踏破に要した時間はおおよそ 1835 秒であった。ETA を用いない状態で機体が後転しかけたことを踏まえると、ETA は機体を引っ張り上げるだけでなく転倒防止にも役立ったと考えられる。また、階段の段差が障害物となり、把持目標のパイプはロボットから直線的につかみにくい位置に存在した。しかし ETA のしなりを利用することで段差を回避しつつパイプまでアクセスすることが可能であった。

5 結言

本稿では弾性テレスコピックアームを四輪駆動ロボットに取り付け、これを用いてロボットと環境を接続することでロボット単体では登れなかった段差の踏破に成功した。これにより、弾性テレスコピックアームを用いることで移動ロボットの移動性能を向上可能であることを実証した。

参考文献

- [1] 有隅仁, “キャストニ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.
- [2] 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概要集, 2A1-J10, 2002.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Nagai, T., Ogawa, A., Nabae, H., Suzumori, K. and Endo, G., “Rough Terrain Traveling Method Using an Elastic Telescopic Arm and a Tether”, 2022 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), pp. 22-28, 2022.
- [6] 藤塚祐二, 遠藤玄, “弾性テレスコピックアームに関する研究 - 第 8 報: 可搬質量の実験的検討 -”, 第 25 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.2F1-01, 2024.
- [7] Kodama, H., Ide, T., Yunhao, F., Nabae, H. and Suzumori, K., “Vine-Like, Power Soft Gripper Based on Euler’s Belt Theory”, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.9, No.4, pp.3108-3115, 2024.