

令和 4 年 4 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22398

研究課題名(和文)柔軟直動モータを用いたトビヘビ型ソフトロボットの開発

研究課題名(英文)Flying snake-inspired robot using flexible linear motors

研究代表者

金田 礼人(Kanada, Ayato)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：60879972

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文):細長い体を持つ生物は、体を伸ばしたり、捻じったり、平らにすることで作業空間を最適化し、環境への適応力を向上させることができる。このような柔らかい変形の可能性を示すために、細長い体を平らにして滑空するトビヘビに着想を得た4自由度連続体ロボットを提案した。このロボットは、本体の幅を55mmから165mmまで大きく変形させることができ、環境に応じて異なる接触作用を用いることができる。受動摩擦、把持、径方向膨張の3つの接触戦略を試験し、それぞれ平坦な面、薄い壁、狭い空間でのロボットの移動に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ヘビ型(連続体)ロボットに胴体扁平化機構を取り入れることで、様々な環境において移動性が向上することを実証した。本研究の成果は、体の形を自在に変化させることで、狭い隙間に潜り込んだり障害物を踏破できるヘビ型ロボットの実現に期待できる。

研究成果の概要(英文):Living organisms with elongated bodies can stretch, twist, and flatten their bodies for optimizing their workspace and improving their adaptability to the environment. To demonstrate the potential of such soft deformations, we propose a four degree of freedom (DoF) continuum robot inspired by a flying snake that glides by flattening its elongated body. The proposed robot has a flexible, extensible, and flattenable body and untethered actuation systems. The body flattening mechanism can deform the width of the robot body to a large extent (from 55mm to 165mm) and use different contact interactions depending on the environment. We test three contact interactions, including passive friction, gripping, and radial expansion, and successfully move the robot on a flat surface, thin wall, and confined space. We develop a model based on multibody dynamics to predict the large deformation of the flattened continuum body, which we verify in the experiment.

研究分野：ソフトロボティクス

キーワード：連続体ロボット トビヘビ ソフトアクチュエータ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生物のヘビは、その細長い形状を活かして狭所や樹上など複雑な地形を移動でき、また種類によっては水中遊泳したり滑空飛行したりする。これを模倣したヘビ型ロボットは、工業・医療における内視鏡検査および災害現場での探査活動に役立つと期待されている。ヘビ型ロボットの研究の歴史はすでに 50 年にも及ぶが、その基本構造は現在に至るまで変わっていない。無数のリンク機構を直列につなぎ、その関節部に 1~3 個程度のモータを配置している。この構造はそのシンプルさと制御の容易さから、長年のあいだ研究者に好まれて使われ続けている。しかし、その伝統的な固い構造は環境との相互インタラクションが制限する問題があった。

2. 研究の目的

生物のトビヘビはろっ骨を広げることで体を扁平にし、滑空することが知られている。申請者は、このような大きな形状変化をヘビ型(連続体)ロボットに取り入れることで、不整地や樹上での踏破性が向上できると考えた。本研究では申請者が独自に開発した柔軟直動モータを用いて、自身の形状を大きく変形できるソフトヘビ型ロボットの開発を目指す。提案するロボットは、このトビヘビを模した胴開閉機構を取り入れることで、環境とのインタラクションを自発的に変化させる。生物規範ロボットを用いたアプローチによって、柔軟性が環境への適応性に与える影響を明らかにし、形状の変化による狭所および壁面における踏破性の向上を調査する。

3. 研究の方法

(1) 試作機開発

フレキシブルラックピニオン機構に基づいて、ヘビ型ロボットを試作した。ロボットは、図 1 に示すように、2 本のフレキシブルチューブと 2 つの駆動ユニットで構成される。駆動ユニットに取り付けられたモータは回転することで、フレキチューブを前後に押し出せる。ロボットはフレキチューブの長さを変更することで、本体を曲げたり伸ばしたりできる。各駆動ユニットは胴体を折りたたむためのバネとモータが搭載されており、ロボットの幅を大きく変化させる。

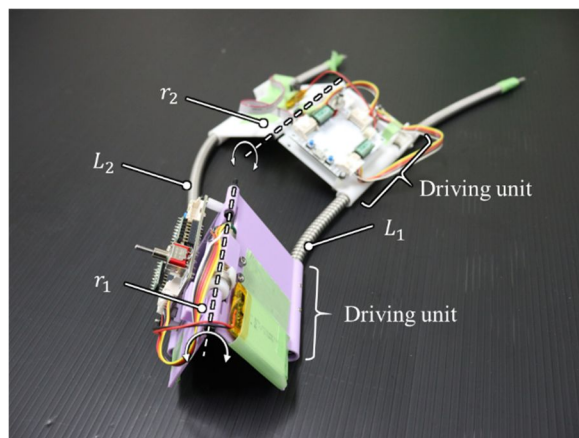


図 1: 提案ロボットの外観

(2) モデリング

胴開閉機構と柔らかいチューブによって、ロボットの体幹は大きく変形する。この非線形変形を予測するために、多体力学に基づいたモデルを構築した。ロボットがチューブを大きく伸ばす、または胴開閉機構によってチューブ間距離が変化した場合であっても、モデルはロボットの非線形変形を精度よく予測できる。

(3) 実験

這いずり(クローリング)は四肢のない動物やロボットに共通する運動機構であり、接触点の解放と把持の遷移を交互に繰り返すことが特徴である。接触相互作用を変化させる方法としては、受動摩擦、把持、計方向膨張、能動粘着などが挙げられるが、それぞれ特定の環境でしか機能しない。例えば、径方向拡張の接触相互作用は、狭い空間でしかロボット本体を基板に押し付けることができず、十分な摩擦を提供できない。従来のクローリングロボットは基本的に 1 つの接触方法のみを採用しており、環境への適応性に限界があった。我々は、環境適応のためには複数の接触インタラクションを用いることが必要であると考えている。この仮説を検証するために、把持、径方向拡張、受動摩擦の 3 つの接触インタラクションを実証する。

4. 研究成果

受動摩擦、把持、半径方向の拡張の 3 種類の接触相互作用をテストし、ロボットの能力を実証した。その結果、胴開閉機構が様々な環境下でのロコモーションに有効であることがわかった。受動摩擦は平坦な環境では有効ですが、自重に依存するため把持力が比較的小さく、傾斜地や不整地での運動が制限されます。把持と径方向拡張は比較的大きな粘着力を発揮し、特定の環境下で運動速度を向上させる。図 2 は狭い空間と開けた空間の遷移を調べるための実験を示している。ロボットは受動摩擦によって開けた空間を移動したのちに、胴開閉機構を用いてロボット幅を小さくすることで壁の隙間に入り込む。半径方向膨張(図 2 a)を用いて体を壁に押し付けるこ

とで、摩擦力を発揮し狭い空間を通り抜ける。再び、受動摩擦を用いることで開けた空間への移行に成功した。本成果は IEEE/RSJ IROS2022 へ投稿中である。

(4) 当初の目標の1つである「トビヘビ型ロボットによる滑空」は本研究内で実現できなかったが、プロジェクト中に発見した課題点から研究を大きく進めることが出来た。トビヘビ型ロボットの課題は、力を外部に伝えるための背骨を持たない事である。柔軟な体幹は周囲の環境に馴染む一方で、モータが大きな力を発揮しても座屈してしまう欠点がある。生物のヘビのように、柔らかい体幹と大きな発生力を両立できないか考えた。そこで発案したのが 脱臼ジョイントと スライド式背骨である。

脱臼ジョイントはその名の通り、ロボット背骨の関節が着脱を繰り返すことで硬くなったり柔らかくなったりする機構である。ロボットが大きく体を伸ばす時には関節が外れて自在に伸縮し、逆にロボットが大きな力を発揮する時には関節同士が連結して剛性を高められる。本成果は IEEE ACCESS に掲載された。スライド式背骨は上記の脱臼ジョイントをさらに発展させた機構である。例えば図1の提案ロボットでは、フレキチューブが大きく伸びるほど、ロボットの剛性が低下し、その先端の位置制御が困難になる。そこで、フレキチューブの伸縮に合わせて、ロボットを支える背骨をスライドさせる機構を提案した(図3)。ロボットが大きく伸縮しても、常に背骨が体を支えることで剛性の低下を防げる。下図は提案機構をロボットアームとして使用しているが、ヘビ型ロボットにも採用できる。本機構を組みあわせたトビヘビ型ロボットを新たに作成中である。本成果は IEEE Robotics and Automation Letters に掲載された。

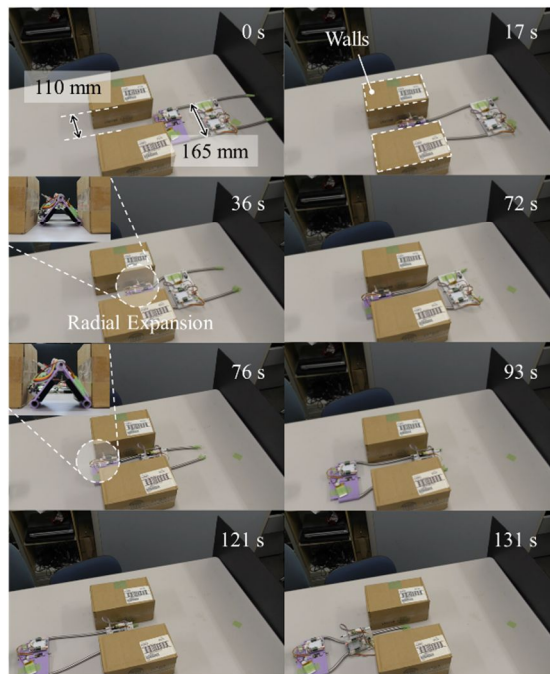
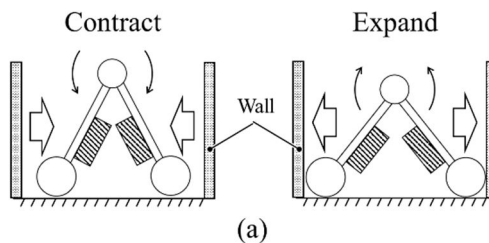


図2：開けた空間から狭い空間への遷移



図3：スライド式背骨の外観

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kanada Ayato, Mashimo Tomoaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Switching Between Continuum and Discrete States in a Continuum Robot With Dislocatable Joints	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 34859 ~ 34867
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3062284	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Matsuda Ryota, Mavinkurve Ujjal, Kanada Ayato, Honda Koki, Nakashima Yasutaka, Yamamoto Motoji	4. 巻 7
2. 論文標題 A Woodpecker 's Tongue-Inspired, Bendable and Extendable Robot Manipulator With Structural Stiffness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 3334 ~ 3341
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2022.3146954	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------