

トーラスクローラー型移動ロボットの機構に関する研究

Torus Crawler Driven Robot Mechanism and Movement

○佐藤功規, 赤平大, 佐藤僚太, 藤沢隆介

○Kouki Satou, Dai Akahira, Ryouta Satou
Ryuusuke Fujisawa

八戸工業大学

Hachinohe Institute of Technology

キーワード：トーラス(solid torus), 無限回転運動(torus endless track),
移動メカニズム(mobile mechanism)

連絡先：〒031-8501 青森県八戸市妙字大開 88-1
佐藤功規, E-mail:g111030@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

現在, レスキューロボット研究は阪神大震災, 東日本大震災という 2 回もの甚大な震災の影響により一層期待が高まっており, 遠隔操作, 遠隔モニタリングなどの技術が活用され, 無人ロボットの研究がますます必要とされている. レスキューロボットは水中, 火災, 災害現場で要救助者の探索, 構造物調査や瓦礫除去を目的としており, 様々な運用方法や機構が存在している. 移動ロボットの形態設計における三つの基本形は車輪・クローラーなどの無限回転機構, 脚機構, そしてヘビのような節体幹機構が存在する[2][3][4].

本研究のロボットはクローラーを移動手段としたリンクを多連結したヘビ型ロボットである. KOHGA[5]や MOIRA[6]のようなリンク毎に推進機構を有する多連結ヘビ型ロボットは災害現場などの不整地で運用する場合, 冗長性によりロボットの移動形態を変化させて複雑な環境に適応した推進を行わせることが可能である. しかし, 移動環境が不連続で突起部がある障害を登る際にクローラーベルト間の非駆動部や関節部がスタックしてしまう問題があった (Fig. 1). この問題は, クローラーがリンク毎に存在

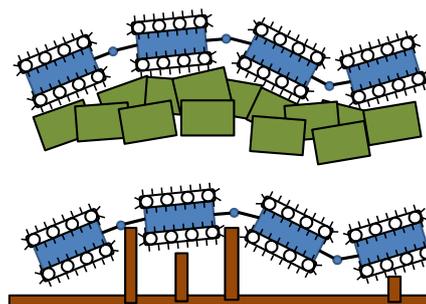


Fig. 1 Image of a stuck

し, 関節部には推進機能が存在しないことが原因である. 本研究ではそれらのロボットとは異なる新しい移動機構を開発する. 具体的には, トーラス状のクローラーを推進に利用することでロボット全てを覆う連続的なクローラーを実現する. これについては TSD (Toroidal Skin Drive) ロボット と非常に良く似た機構となっている[7]. このロボットは円筒状のクローラーの表面を駆動させ無限回転機構により移動している. しかし, この TSD ロボットはクローラー内にテンションリングを施していることから運用が難しく, 整備性が悪い. 本研究はこのようないリングが無くても運用できるクローラーを提案する. 本論文は, 特にクローラーと運用に用いる内部リンクの機構解説とクローラー推進方法について述べる.

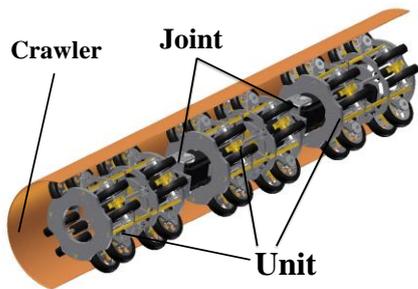


Fig. 2 General drawing (1st generation)

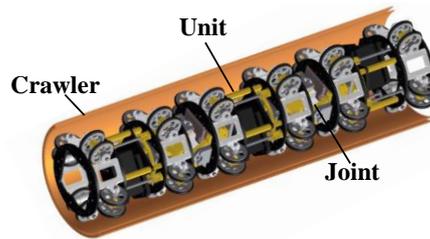


Fig. 3 General drawing (2nd generation)

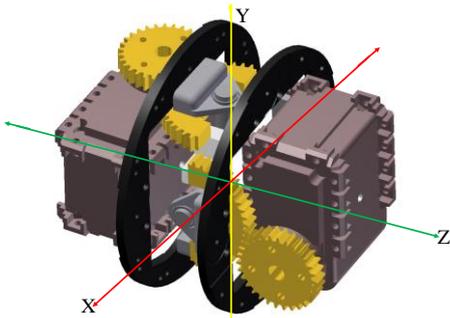


Fig. 4 Multiple joint

2. トーラスクローラー型ロボットの機構 ロボットの構成

Fig. 2 にトーラスクローラー型ロボット (TDR) の第 1 世代の全体図を示す。基本仕様として全長 900mm, 直径 160mm, 重量は約 9kg である。このロボットはクローラー, 内部リンク, 連結部の 3 つの要素から構成される。リンクを連結させることでヘビのように長い胴体を用いての運用が可能となる。その連結に用いられる関節はピッチ運動とヨー運動が可能のため三次元的な動きであり, 関節の角度は $\pm 80^\circ$ まで曲げることが可能である。しかし第 1 世代のロボットは全重量が約 9kg もありサーボモータに負担がかかり熱暴走する現象が発生するという問題が存在した。そのため第 2 世代のロボットを製作した。Fig. 3 にトーラスクローラー型ロボットの第 2 世代の全体図を示す。全長 420mm, 直径 115mm, 全重量は約 1.8kg となった。また大きな変更点としては関節部の構造である。第 1 世代の関節ではリンク間距離が長く, 関節を曲げた時にクローラーを巻き込んでしまい運動ができなくなる問題があった。そこで多関節を利用した構造に変更した。第 2 世代の関節の角度は $\pm 20^\circ$ となった。Fig. 4 に関節の全体図を示す。

内部リンクの構造について

Fig. 5 に示すように内部リンクには一つあたり計 16 輪のタイヤが上下左右に設けられており, そのタイヤを駆動させることでクローラーによる運動をさせている。リンク本体の中央のアクチュエーターで 4 つのシャフトを回転させ, シャフトはウォームギヤとウォームホイールを駆動させている。



Fig. 5 Internal independently unit of robot

クローラーの駆動メカニズム

レスキューロボットには瓦礫や凹凸のある地面など悪路での運用が可能な移動機構やそれを走破できる走破性が求められる。そのような環境でも有効な移動機構としてクローラーが存在する。本研究では Fig. 6 に示すようにアメゴムバンドをクローラーとして使用している。円筒のアメゴムバンドを折重ね, 終端同士を接着することでトーラス状のクローラーとした。クローラー内にはマッサージ用ローションを封入することで内部摩擦を極限まで減少させることに成功した。これはクローラーが運動する際に外皮と内皮の間に生じる摩擦を軽減させるためである。

Fig. 6 に示すのは, トーラスクローラーをロボットが手繰り出して進む様子である。

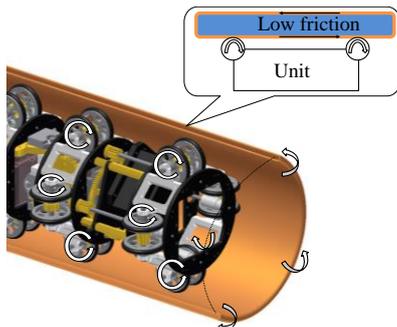


Fig. 6 Driving mechanism for torus crawler



Fig. 7 System configuration

クローラー内部のロボットがトーラスクローラーの内壁を外部に手繰り出す動作をすることでロボット全体が推進する。以下、ローションが封入されている箇所を「クローラー内」と呼び、ロボットが入る部分を「クローラー間」と呼ぶ。

システム構成

Fig. 7にロボットのシステム構成を示す。制御基板 (FDIII-HC) を通して7つのアクチュエータを制御する。

3. 移動のメカニズムと実機実験

クローラーは内部リンクに特定の動作をさせることで運動させることが可能になる。ここで移動メカニズムを **Fig. 8** に示す。動作の流れは以下の通りである。

- a) 初期状態であり、内部のロボット本体はクローラーの中央に位置している。
 - b) リンク A のタイヤでクローラーの内面を押し出しリンク B,C のタイヤは動作を停止させる。この動作によりクローラーにしわが溜まる。
 - c) 溜めたしわをリンク B によって送り出す。このときリンク A, C はストップさせる。
 - d) 溜めたしわを押し出し、移動量を確保する。この動作によってクローラーが前に押し出される。
 - e) 最終的には①の状態のように中央に移動させる。
- a)~e)の動作を行うことで連続的にクローラーを用いての無限回転運動が可能となる。

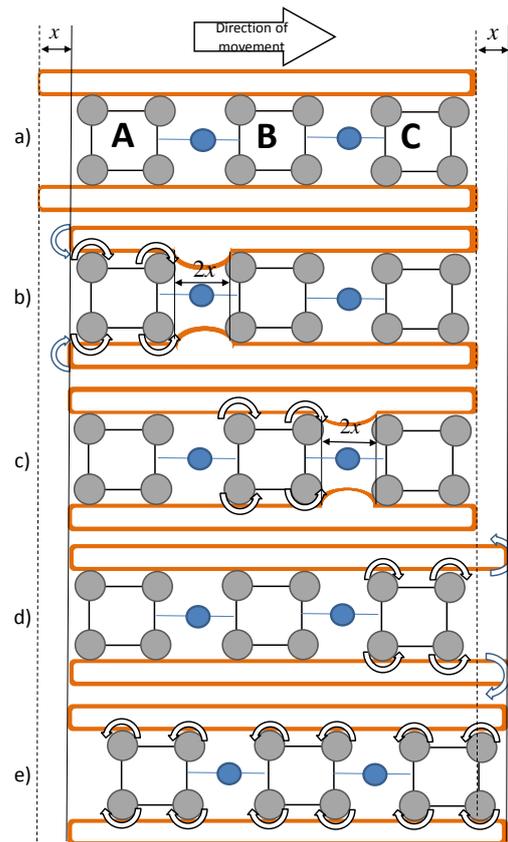


Fig. 8 Method for driving torus

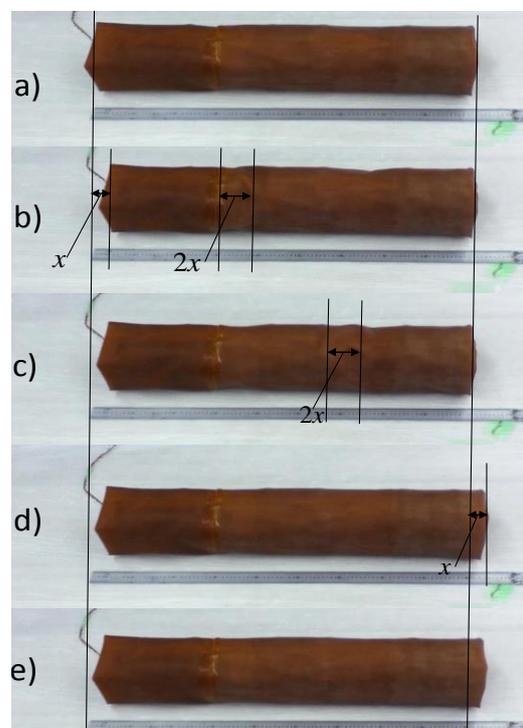


Fig. 9 Experimental result of driven a crawler

Fig. 9 は吸込量（リンクがクローラーを吸込むときの量） $x=30[\text{mm}]$ としたときの実機実験の様子である。提案手法の通りにロボットがトラスクローラーの内壁を手繰り出すことで前方へ推進していることがわかる。

4. まとめと今後の展開

本論文では、多リンクヘビ型レスキューロボットの移動時におけるスタックの可能性を指摘した。そして、スタックの危険性の少ないトラスクローラーによる推進機構を提案した。トラスクローラー間にロボットが留まり、クローラー内壁を手繰り出すことで推進するメカニズムを提案し、試作機を製作した。実験の結果、提案手法で提示したように前進運動を続けることができた。

実験時にいくつかの問題点が露呈した。長時間動作を続けているとロボット本体がクローラーから出てきてしまい運動を続けることが不可能となってしまう問題が生じた。これは e) の移動量を予め決定しているためである。床との摩擦やロボット本体の誤差などによってクローラー間のどの位置にロボット本体が存在するのかは常に異なる。そのため、ロボットに光センサ等を搭載することでクローラーから出てしまわないよう制御する必要がある。

今回の実験では、提案手法の有効性を検証するためにロボット本体を直線形状に保ったまま前進させた。この場合、クローラー内の摩擦はほとんど存在しないため、坂などは全く上ることができない。関節を曲げながらの推進運動を行う必要がある。

参考文献

- [1] 佐藤徳孝, 松野文俊, 遠隔操縦インターフェイス技術日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 2, pp.156-159, 2010.
- [2] 林良太, 辻尾昇三, 余永, 可撓性シャフトを用いたクローラーロボットの遠隔操縦機構, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.3, pp. 422-428, 2007.
- [3] 亀川哲志, 鈴木隆司, 大谷浩一, 松野文俊, 脆弱環境下での移動を実現するための4脚移動ロボットの足探り動作による足場認識と歩行の実現, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 2, pp. 215-222, 2010.
- [4] 亀川哲志, 松野文俊, 三次元蛇型ロボットにおける体幹ねじり型移動の解析とGAによる移動形態推移時の運動計画, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.5, pp. 509-516, 2003.
- [5] 亀川哲志, 松野文俊, 遠隔操作性を考慮した双頭ヘビ型レスキューロボット KOHGA の開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No.7, pp. 1074-1081, 2007.
- [6] 北島寛, 大須賀公一, 4面クローラ機構を有するガレキ内探索レスキューロボット MOIRA, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2003.
- [7] James C.McKenna, David J.Anhalt, Frederick M.Broson, H.BenBrown, Michael Schwerin, Elie Shammas, Howie Choset, Toroidal Skin Drive for Snake Robot Locomotion, Proc IEEE Int Conf Rob Autom, Vol.3, pp. 1150-1155, 2008.