



TITLE:

# Redundancy Control of Snake-Like Robots for Mobile Manipulation and Joint-Failure Recovery( Digest\_要約 )

AUTHOR(S):

Elsayed, Belal Ahmed Abdelaziz

---

CITATION:

Elsayed, Belal Ahmed Abdelaziz. Redundancy Control of Snake-Like Robots for Mobile Manipulation and Joint-Failure Recovery. 京都大学, 2023, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2023-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k24322>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; [1]"Mobile Manipulation Using a Snake Robot in a Helical Gait", in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 27, no. 5, pp. 2600-2611, Oct. 2022, doi: 10.1109/TMECH.2021.3114168. [2]"Joint failure recovery for snake robot locomotion using a shape-based approach", Artif Life Robotics vol. 27, no. 2, pp. 341-354, doi:10.1007/s10015-022-00742-1 [3]"Gait Recovery for A Snake Robot With Multiple Failed Joints", IEEE Transactions on Robotics (under review)

京都大学	博士 (工学)	氏名	Belal Elsayed
論文題目	Redundancy Control of Snake-Like Robots for Mobile Manipulation and Joint-Failure Recover (冗長性を活かしたヘビ型ロボットの物体操りと関節故障リカバリー制御)		

(論文内容の要旨)

ヘビ型ロボットは多数の同じリンクを能動関節で結合した単純な機構でありながら、その超冗長性を活かして様々な複雑環境での活躍が期待されている。本論文では、ヘビ型ロボットの運動学モデルに基づき、実環境における多様な作業の実現と耐故障性を保証する制御手法を提案している。まず、ヘビ型ロボットがパイプの周りに螺旋形状で巻き付きながら捻転動作を生成することで、ヘビ型ロボット全体の移動と先頭のリンクの位置姿勢の目標軌道への追従を実現する制御手法を提案している。次に、ヘビ型ロボットの複数の関節に故障が生じた場合でも、その冗長自由度を活かして、故障関節の近傍の関節を用いてリカバリーを実現する制御手法を提案している。30以上の関節を有するヘビ型ロボットを用いて、提案した制御手法の有効性をシミュレーションおよび実機実験により検証している。

本論文は5章からなり、各章の要旨は以下の通りである。

第1章は序論であり、生物の蛇は足がないにも関わらず体全体を使った移動をはじめ様々な機能を発現する原理を理解するための構成論的アプローチと生物がもつ機能を超越する人工物としてのヘビ型ロボットの研究開発についてこれまでの研究を紹介している。また、ヘビ型ロボットの従来研究では、主に移動タスクが考えられており、マニピュレーションのような複雑なタスクに関する研究や故障が生じた場合の対応に関する研究が不足していることを指摘し、本論文のヘビ型ロボット研究における位置付けを説明している。さらに、本論文の構成を述べている。

第2章では、ヘビ型ロボットによるマニピュレーションタスクの実現について考え、ロボットの運動学モデルの導出と制御系の設計を行っている。ヘビ型ロボットをベースパートとマニピュレーションパートに分けて、ベースパートでパイプの周りに巻き付きながらの移動を実現するとともに、マニピュレーションパートの先頭のエンドエフェクターによる作業を実現するための制御手法を提案している。ベースパートは螺旋形状でパイプに巻き付きながら捻転運動をすることにより移動を、マニピュレーションパートは残りの自由度を用いて先頭リンクの位置姿勢の目標軌道への追従を実現する。ベースパートが運動することにより、環境とロボットとの接触点が変わるので、その推定が必要になる。本章ではその推定手法を提案し、実験に用いるヘビ型ロボットに対するシミュレーションにより、推定手法の有効性を検証している。また、36関節をもつヘビ型ロボットがパイプの周りに巻き付きながら移動し、ロボット先頭リンクを目標軌道へ追従させる実験および先頭リンクに自由度をもつエンドエフェクターを追加することなくバルブ回しを実現する実験を実施し、提案制御手法の有用性を検証している。

第3章では、2次元運動するヘビ型ロボットに関節故障が生じた場合の冗長性を活かしたリカバリー制御について考えている。故障により関節がロックされる場合とフリーになる場合を考え、故障関節の近傍の関節をリカバリーパートと定義する。故障関節の

京都大学	博士 (工学)	氏名	Belal Elsayed
<p>運動を考慮し、リカバリーパート末端のリンクの位置姿勢を故障関節がない場合の位置姿勢に一致させる制御系を設計している。3 1 関節をもつヘビ型ロボットを用いたうねり推進に対するシミュレーションにより、関節がロックされる場合とフリーになる場合のそれぞれに対して、提案したリカバリー制御が有効に機能し、リカバリー制御を実施しない場合に比べて推進距離が大幅に改善されることを示している。</p> <p>第 4 章では、3 章の内容を一般化し、3 次元運動するヘビ型ロボットに関節故障が生じた場合の冗長性を活かしたリカバリー制御について考えている。また、関節故障に関しても、ロックとフリーに関節の出力トルクの最大値が低減する故障も加え、同時に複数の異なる故障が発生する場合も考慮している。ロボットの 3 次元運動にともない、姿勢表現の特異点を回避するためクォータニオンを導入した。運動学モデルに基づき故障関節の運動を考慮し、リカバリーパート末端のリンクの位置姿勢を故障関節がない場合の位置姿勢に一致させる制御系を設計している。また、故障関節の配置に応じたリカバリーパートの設定方法を提案している。さらに、3 6 関節をもつヘビ型ロボットに対して、ロックとフリーと関節の出力トルクの最大値が低減する 3 種類の故障の組み合わせが最大 3 関節に生じた場合の実機実験を行っている。ヘビ型ロボットに 2 次元運動であるうねり推進、3 次元運動であるサイドワインディング推進およびクローラーゲイトを実装して、提案したリカバリー制御が有効に機能し、リカバリー制御を実施しない場合に比べて推進距離が大幅に改善されることを実験により示している。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文のまとめと、今後の課題について述べている。</p>			