

2023年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻
職位または役職	助教
氏名	木村 航平

1. 研究題目

吸盤併用グリップの構成検討に基づく登攀ロボットおよびマニピュレーションへの応用

2. 研究目的

日常的な点検作業から災害時の緊急事態対応に至るまで、人の代わりに梯子や壁面を登攀移動できるロボットに期待が高まっている。従来、異なる登攀面に対してロボットは異なる機体（エンドエフェクタ）が要求される。梯子やフェンスのような棒状や格子状の登攀面に対してはグリップによる把持、掴み所の無い壁面に対しては吸盤や磁力による吸着、が各々要求されるため同一機体での解決が困難であった。

このような背景を踏まえて、吸盤による吸着・グリップによる把持・両者の同時実行、が可能な吸盤併用グリップ[特願 2023-015844]を開発した。開発したグリップは登攀ロボットに限らず、物体把持と吸着を実現できるためマニピュレーションへの応用も期待できる。一方で、自重の負荷を受け登攀中に関節モータが発熱し、タスクの継続が困難である課題なども挙げられる。そこで、(A)アクチュエータ数の削減、(B)ロボット身体部位での分散構成戦略、からなる機体の構成検討に基づき、上述の課題を解決するため(C)登攀ロボットおよびマニピュレーションへの応用、を目的とした研究を遂行する。

3. 研究内容及び成果

【成果 1: 登攀ロボットの機体構成の改良】

図 1 に示すように、研究開始前の登攀ロボット(旧機体)の3肢登攀ロボットから、新機体として車輪付き登攀ロボットへ機体構成の改良を行った。3肢登攀ロボットには、以下の課題が存在した。

課題 1 鉛直面のみ移動可能であり、人が鉛直面に登攀ロボットを引っ掛けるセッティングが必要。

課題 2 登攀状態でロボットが脱力した場合には落下。

課題 3 関節のサーボモータの発熱により、登攀タスクの継続が困難。

これらの課題を解決するために改良した新機体の車輪付き登攀ロボットの長所は以下である。

- i) 鉛直面の登攀だけでなく水平面における全方向移動も可能な4つの車輪付きの機体構成
- ii) 水平面から鉛直面への移行時の接触検知が可能、かつ登攀時および脱力時における全身の自重支持が可能な1本の体幹マニピュレータ

iii) 鉛直面の把持確認が可能な 2 本の双腕マニピュレータ

iv) 登攀中の休息を可能にする各マニピュレータの脱力機能

課題 1 に対する特長が i, ii, iii, 課題 2, 3 に対する特長が ii, iv に対応する. 特長 i, ii, iii を活用した行動実現を成果 2, 特長 ii, iv を活用した行動実現を成果 3 に示す. 本年度は吸盤併用グリッパの代わりに支点開閉型のグリッパを装着した形態でフェンスの登攀検証を実施した.



図 1 3肢登攀ロボットから車輪付き登攀ロボットへの機体改良

【成果 2: 水平面から鉛直面への登攀移行制御】

同一機体で水平面における車輪移動と鉛直面における登攀移動を切り替えることを目的として, 図 2 に示すように水平面から鉛直面への登攀移行制御を提案した. 大きく分けて 3 つの Phase を経て登攀移行が完了する. 図 2-【Phase 1】では, ①水平面での車輪移動から②鉛直面の検知が実行される. 鉛直面の検知方法として, 衝突により体幹マニピュレータにかかる関節負荷とロボットのピッチ姿勢角の変化を基に鉛直面を検知する. 図 2-【Phase 2】では, 鉛直面の検知後に正しく登攀対象を把持できているかをロボットが自律的に判断する②把持確認が実行される. 把持確認動作は, マニピュレータの手先をロール方向に回転させて, 把持成功時には把持による負荷をリアクションとして検出し, 把持失敗時には無負荷状態となるため, これらの差異に基づき成功/失敗を判断する. ③把持成功後は, 4 つの車輪を折り曲げて④4足形態へ変化する. 図 2-【Phase 3】では, ①4足形態から②~③把持確認を実行しながら双腕マニピュレータを上へ伸ばしていき, ④車輪を持ち上げると同時に⑤~⑥体幹マニピュレータを引っ掛けて移行を完了する.

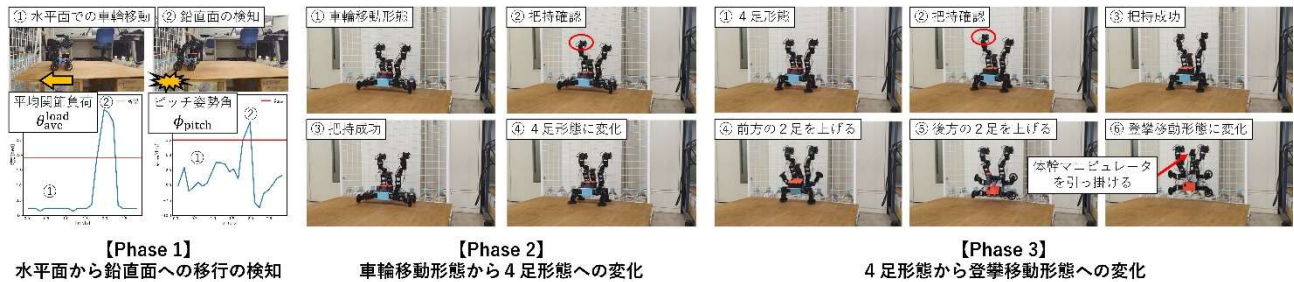


図 2 水平面から鉛直面への登攀移行

【成果 3: マニピュレータを脱力する休息動作を活用した発熱への対処】

研究目的で述べた, 自重の負荷による登攀中の関節モータの発熱, およびその影響による登攀タスクの継続困難を解決するために, 登攀中に関節モータの温度が上昇したら登攀ロボットのマニピュレータを脱力することで休息動作を入れながら, 図 3 に示すように長期の登攀タスクを

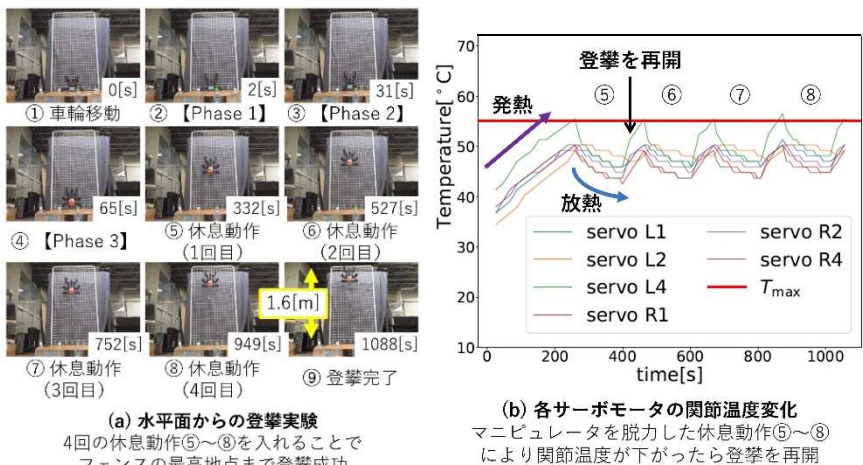
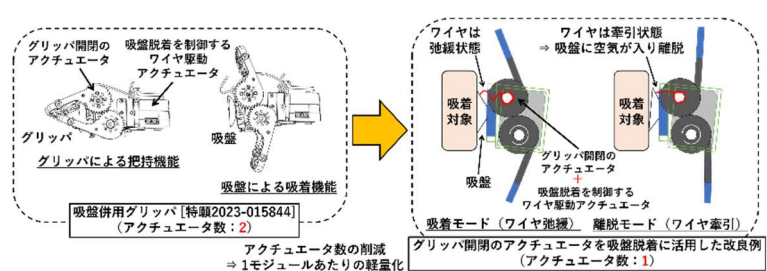


図 3 マニピュレータの脱力による休息動作を活用した登攀

可能にした。旧機体である3肢登攀ロボットの関節モータにも脱力機能は存在するが、3肢登攀ロボットは脱力時にグリップの把持状態が解けて落下する課題が挙げられた。新機体である車輪付き登攀ロボットには、全身の自重を支持可能な体幹マニピュレータがあり、体幹マニピュレータを脱力しても登攀ロボットは引っ掛かりを維持可能であり、脱力時にも登攀対象から落下することはない特長を有する。登攀の最中に割り込み処理として脱力を活用した休息動作を導入することで、関節温度の変化を見ながら長期の登攀が可能になる。図 3-(a)では、登攀中に 4 回の休息動作を割り込むことで、実験用フェンスの最高地点まで登攀することに成功した。図 3-(b)は、登攀期間における各サーボモータの関節温度の変化を表し、登攀によって関節モータが発熱したら冷めるまで休息動作を行うことで、温度が設定した閾値を上回らないように制御を実現している。

4. 今後の研究の見通し

本年度においては、主に研究目的の(B)ロボット身体部位での分散構成戦略、(C)登攀ロボットおよびマニピュレーションへの応用、に関する成果が示された。今後の見通しとして、車輪付き登攀ロボットのエンドエフェクタを吸盤併用グリップ [特願 2023-015844] に置換することで、壁面や掴み所の無い窓ガラス、柔軟物であるネット等の多様な登攀およびマニピュレーションを同一機体で実現可能なよう研究を進める。そのためには、研究目的の(A)アクチュエータ数の削減による軽量化が不可欠であり、図 4-【展望 1】に示すような、グリップの開閉とワイヤ駆動による吸盤の脱着を 1 つのアクチュエータで実現する計画を立てている。また、図 4-【展望 2】の右端に示すような登攀を活かした高所でのマニピュレーションも実現に向けて準備を進めており、現時点でネットを登攀しぶら下がった対象物を把持する予備検証を進めている。



【展望 1】吸盤併用グリップのアクチュエータ数の削減



【展望 2】吸盤併用グリップを応用した多様な登攀とマニピュレーション

図 4 吸盤併用グリップの構成改良と利活用

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

○ 学術論文(査読付)

[1] Takamichi Hamada, Ryu Kakinuma, Shunsuke Kudoh, Kohei Kimura, “Transformable fence climbing robots based on gripper with suction cup and vertical transition control”, ROBOMECH Journal, 投稿予定 (国内会議 ROBOMECH2023 の投稿推薦論文).

[2] 木村 航平, “形態変化する登攀ロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol.42, No.7, pp. 636-641, 2024(招待有り).

○ 国内会議(査読無)

[3] 伊藤 一步, 工藤 俊亮, 木村 航平, “把持確認が可能なカラビナ型グリップを有するネット登攀ロボット”, 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 (SI2024), 2B4-05, 2024 年 12 月発表予定.

[4] 濱田 敬道, 工藤 俊亮, 木村 航平, “マニピュレータの脱力を活用した登攀ロボットの休息動作”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 (ROBOMECH2024), 2P1-M09, 2024 年 5 月.

[5] 濱田 敬道, 工藤 俊亮, 木村 航平, “水平面から鉛直なフェンス面への移行が可能な車輪付き登攀ロボット”, 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 (SI2023), 3F3-03, 2023 年 12 月.