

カムを用いたIBマグネット機構とそれを利用した高 所作業支援装置に関する研究

松葉佐, 哲仁

<https://hdl.handle.net/2324/7363793>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 松葉佐 哲仁

論文名 : カムを用いた IB マグネット機構とそれを利用した高所作業支援装置に関する研究

区 分 : 甲

論文内容の要旨

本論文は、造船所や海運などの海事産業で頻繁に行われる高所作業の安全性と作業効率を向上させるための作業支援装置に関するものである。海事産業においては、船体の大きさゆえに数十メートル以上の高さで行われる作業も多い。これは、作業員にとっては落下のリスクを伴うもので、ロープや足場の手配といった煩雑な準備作業も必要になる。これらの省力化を進めることは急務であるが、現場への自動化機械の導入は進まず、現在も人手による作業が依然として行われている。著者は、ロボットの導入が進まない根本的な原因をロボットの導入コストや運用コストが現場での実用性に対して見合っていないことにあると考えた。なぜなら、すでに市販されているロボットが存在し、様々な壁面移動装置の研究もあるにも関わらず、十分に普及していないからである。そこで、低価格で壁面作業支援ロボットを実現することを目標として開発と検証を行った。

本論文で提案するロボットは、動力源として空気圧駆動を採用したことが大きな特徴である。空気圧機器は部品単体のコストにおいて優れているうえ、造船所や港湾施設、船上に設置された既存設備を有効活用することでさらに安価に使えるアクチュエータである。また、出力重量比に優れ、軽量のエアチューブによってエネルギーを供給できる点も壁面作業支援装置に適しているといえる。一方で、既存の登攀ロボットでは、エネルギーを供給する電線やバッテリーの重量問題のある電動機を用いており、精密制御の難しさから空圧機器はほとんど利用されてこなかった。本論文では、船舶上や造船所での利用に限定することで空気圧を安価に活用できる点に注目し、その利点を最大化し、最小限の構成でロボットを開発・検証したうえで、実用化に向けた展望を示す。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の研究背景と目的を明確にし、これまでの壁面登攀ロボットの関連研究について概要をまとめた。本研究で使用する空気圧駆動についても概要をまとめ、空気圧が既存のロボットで利用されていない理由と本研究の目的であれば適した選択肢であることを示した。

2,3,4 章では、ロボットの脚の吸着機構であるカムを用いた IB マグネットの設計手法とその性能評価について述べた。第 2 章では、ロボットの脚部である鋼板壁面への吸着ユニットの設計手法について述べた。本論文では、磁石の吸着エネルギーを弾性エネルギーとして蓄え、着脱時に外部エネルギーをほとんど利用しない「内力補償磁気吸着ユニット (IB マグネット)」に着目した。従来の IB マグネットはコスト、設計難度などにおいて課題が残されていた。そこで、この課題を解決するためにカムを用いた新構造を提案した。この構造は汎用部品と 3D プリンタで造形した部品で安価に吸着ユニットを製造可能である。本章では、カムフォロアに作用する力のつり合いとカム形状に関する微分方程式を示し、これを解くことによってカム形状を求める手法を提案した。平進カムを使った設計手法についてこの微分方程式を解析的に解くことにより、カムを用いた方法が工作

精度や壁面の状態の影響を受けにくい性質があることを示した。また、前出のカムをもちいた方法は、スライド機構にコストがかかることからさらにコストを下げる回転式カムを用いた設計手法も提案した。

第3章では、回転式のカムが解析的に微分方程式を解くことができないことから数値積分と最適化を用いてカム形状を設計する手法を提案し本設計法を実装した。

5,6章では開発した吸着機構を搭載した空気圧駆動のロボットについての設計また、壁面での実験について述べた。第4章では、実験において試作機 (Fig. 1) を製作し、着脱に必要なエネルギーは75%減し、着脱に必要な力が97%低減することを確認した。また、従来手法よりも誤差に対する耐性が強く、船体上にある2[mm]程度の溶接ビードにおいても動作が可能であることが示された。

第5章では、このIBマグネットを脚部に利用した必要最小限のアクチュエータで間欠的に移動する歩行機構を持つロボットの構造や制御について提案した。ロボットのすべての駆動部には、外部から供給される圧縮空気を利用するエアシリンダを利用した。各関節の動作とそのための空気回路を工夫することで、低コスト化のための部品点数の削減を徹底し、フィードフォワード制御と簡易なフィードバック制御を組み合わせる構成とした。これにより、高価な比例弁を使用せず、また電磁弁の数も最小に抑えられた。

第6章では、実験において第5章で提案したロボットを製作し (Fig. 2), 実験室に設置した鋼板壁面と実際の船体ブロックの壁面を対象に試験を行い、登攀・旋回性能、造船の現場で想定される寸法の段差の乗り越え性能の確認を行った。また、自重の3倍の質量を載荷した状態でも安定して登攀でき、小型であるため速度は出ないものの鋼板壁面で、実用に耐えうる性能となることを確認した。一方で、天井面を逆さに移動するケースでは、ロボット本体のたわみやリンク部の遊びにより脚が天井面に届かず、脚の組み替えに失敗し落下するという課題が残った。これは電磁弁の数を最小限に抑えた設計の影響もあり、天井面の歩行に必要な制御方法についての知見を得た。

第7章では、本論文の各章で得られた成果をまとめ、論文の結論と展望を述べた。

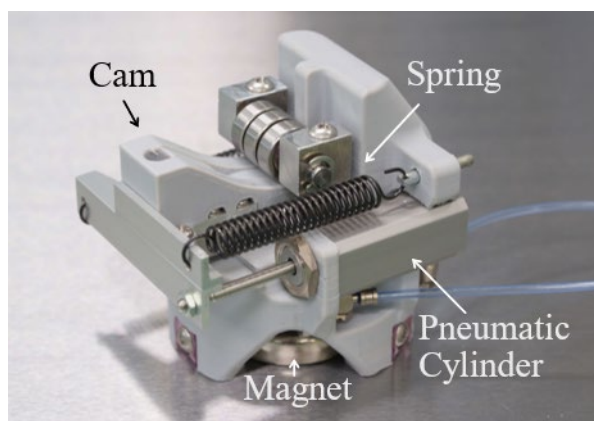


Fig. 1 IB Magnet with cam.

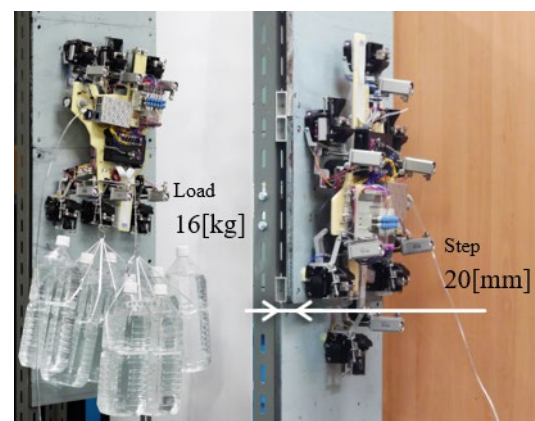


Fig. 2 Robot moving at wall surface.