

補助事業番号 2022M-268

補助事業名 2022年度ロボットと環境の衝突に伴う撃力を低減可能な高速抵抗力
可変MRダンパの開発と制御補助事業

補助事業者名 芝浦工業大学 工学部 電気工学科 宇宙ロボットシステム研究室
安孫子聡子

1 研究の概要

本研究では、ロボットと環境の衝突に伴う撃力を低減可能な高速抵抗力可変ダンパの開発を行う。高速な抵抗力を可変とするために、機能性材料の一つであるMR流体を用い、本質的な高速応答性を活用した撃力制御を行うことを目指す。ここでは、未知な物理パラメータを含む宇宙デブリの衝突に対して適応的に減速・把持をするダンパ制御、ヒューマノイドロボットの高所からの落下着地時の衝撃緩和と歩行を両立するダンパ制御という二つのアプリケーションを対象とし、直動抵抗力可変 MRダンパ（以下、MRダンパ）を開発する。本報告では、論文投稿の計画との兼ね合いより、高所落下時の撃力緩和の内容を抜粋して報告する。まずシングルロッド方式およびダブルロッド方式のMRダンパの数理モデルを導出し、磁場解析と動力学シミュレーションによる連成解析により設計パラメータの導出と解析を行った。その後、基礎パラメータに基づきMRダンパを開発し、その基礎検証を行った。基礎検証より、撃力の吸収と立位の両立が可能であるダンパの実現が可能であることが示された。一方、開発した初号機のMRダンパはMR流体の液漏れ防止のため初期摩擦力が大きくなってしまった。そのため、第2号機を開発した。今後、同ダンパの基礎検証を行い、研究を継続する予定である。

2 研究の目的と背景

宇宙ロボットの浮遊大型デブリの衝撃を吸収した安全な捕獲や災害時の人型ロボットの高所からの投入・着地等の従来想定以上の応用分野を考えた場合、撃力の発生により既存のロボット技術のみでは実現できない。本事業では、機能性材料である磁気粘性（MR）流体の本質的な高速応答性を活用した撃力制御を実現することを目指す。

3 研究内容

- (1) ロボットと環境の衝突に伴う激力を提言可能な高速抵抗力可変MRダンパの開発と制御
(<https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/researches/mrdamper.html>)

まず、MR流体が直動ダンパに封入されている場合の抵抗力の発生原理を流体の挙動も含めて図1に示すようにモデル化した。直動ダンパでは、内部ピストンがMR流体内部を駆動し、ピストンはコイルが内包されており、同コイルに流す電流を制御することで磁力を制御する。ピストンには空隙があり、磁場の影響下でMR流体が空隙を通過することで抵抗力が発

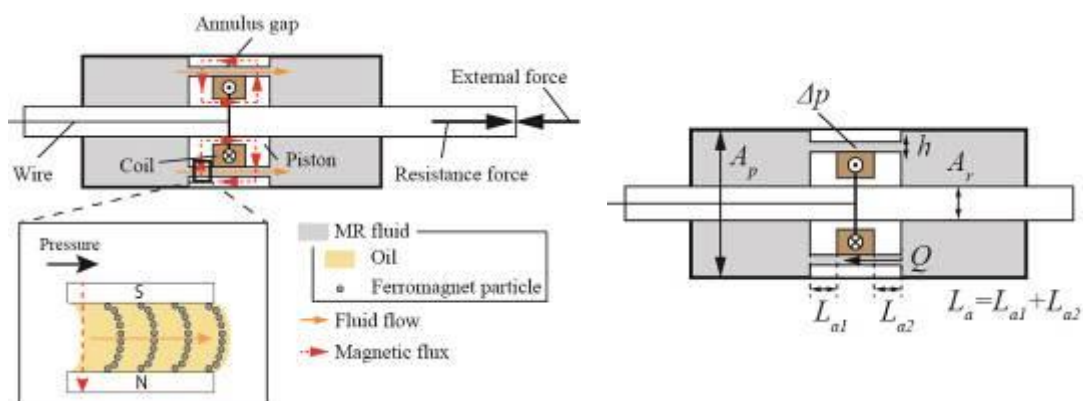


図 1 MR ダンパのモデリング

生ずる。この抵抗力の大きさをコイルの電流制御で可変とする。これらモデリングを挙動解析シミュレータとして用いることで目的とするMR流体のパラメータを検討した。

次に、MRダンパの開発に際し、MRダンパを搭載したロボットの構造や運動学、動力学の基礎的な解析が必要であったため、連成解析シミュレータの基礎となる動力学シミュレータを開発した。高所着地動作を実現するための二脚ロボットとして、受動関節を含む閉リンク機構とし、その大腿部にMRダンパを搭載することで衝撃力を緩和することを想定する。また、同ロボットは歩行時には安定的な歩行が実現できる剛なロボットとなるような設計を目指す。図2に開発するロボットの構成図と磁場印加の可否による減衰力の解析結果を示す。連成解析では、先に示したMRダンパのモデリング、MR流体のB-Hカーブ、磁場解析に基づき、それぞれの条件に対して発生しうる抵抗力を導出し、脚ロボットの挙動解析を行った。印加電流によって抵抗力を大きくすることができることを確認した。また、ダンパ内部のMR流体の流路幅によって、抵抗力が変化するため、設計パラメータの一つとして、流路幅を変化させた場合の印加磁場あり、なしでの落下時と立位時の抵抗力を解析した。その結果、0.4mm程度の流路幅があれば両状態の両立が可能であることがわかった。

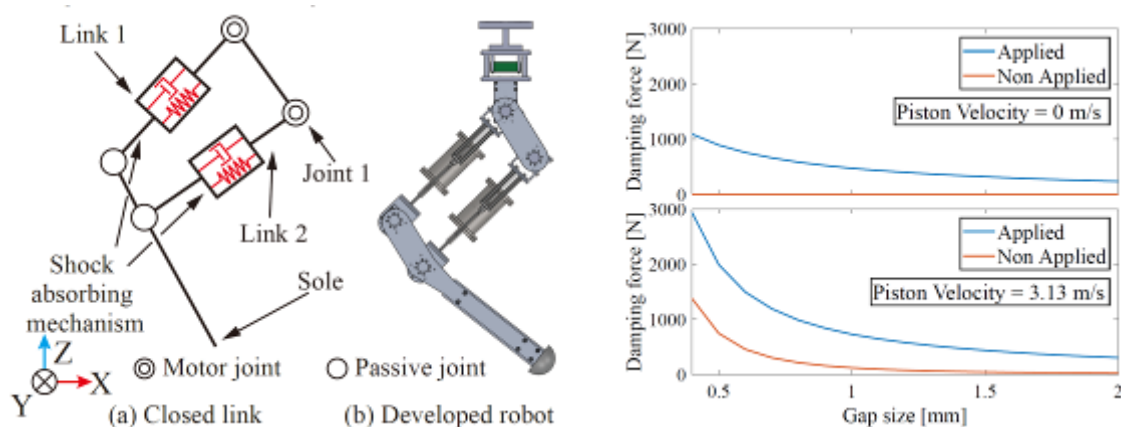


図 2 MR ダンパ搭載多リンクロボットシミュレーションと減衰力計算



上記解析結果に基づき、図3に示すMRダンパを開発し、落下装置にて落下試験を実施した。論文執筆との関係上、詳細の記載は現段階では控えるが、基礎検証より、MRダンパによる撃力の吸収と立位の両立が可能であるダンパの実現が可能であることが示された。

図 3 MR 直動ダンパ

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では、機能性材料の一つであるMR流体を用いた抵抗力可変ダンパを開発した。本研究で得られた成果は、衝撃緩和というアプリケーションに適応可能であり、本研究で対象とした宇宙デブリの衝突時の弾き飛ばしの防止やロボットの高所からの着地衝撃緩和、さらには、重さの変化する重量物に対する可変ダンパとしての利用・発展が期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者はこれまで宇宙ロボットによるデブリ捕獲やヒューマノイドロボットの高所からの着地動作にかかわる問題をマルチボディシステムの動力学と制御の観点から解撤しようと試みてきた。その研究に対して、制御のみでは解決できない撃力に対してハードウェア側の解決が不可欠であるという考えに至った。一方、宇宙デブリでは捕獲対象物体が未知である場合は、対象物体の物理パラメータに見合う適切な抵抗力を発する必要がある。また、ヒューマノイドの高所着地の場合、着地時の衝撃緩和と歩行・立位の両立が必要である。そこで、機能性材料の一つであるMR流体に着目した。MR流体に関しては、補助事業者はこれまで遭遇型力覚提示装置と呼ばれる装置開発に利用していた実績があり、本研究は、その応用分野を発展させたものである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Ryogo Mizuno, Satoko Abiko, and Teppei Tsujita, “A Study on a Method for Maintaining Contact During Capture of Space Debris with an Magneto-Rheological Damper,” Proceedings of the 16th IFToMM World Congress, 7M1-112, Japan, November 2023.
2. 関根 知晴, 安孫子 聡子, 辻田 哲平, 「ヒューマノイドロボットのための着地衝撃吸収と位置制御の両立可能な抵抗力可変 MR ダンパの設計」, 計測自動制御学会東北支部第 346 回研究集会 2023, 346-19, 2023.

3. 羅 靖涛, 安孫子 聡子, 辻田 哲平, 「宇宙デブリ捕獲に向けた MR 流体を用いた回転型可変減衰ダンパを有するアームと鋼球の衝突試験」, 第 41 回日本ロボット学会学術講演会 2023, RSJ2023AC2G2-02, 2023.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

本事業紹介HP <https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/researches/mrdamper.html>

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 芝浦工業大学工学部

(シバウラコウギョウダイガクコウガクブ)

住 所: 〒135-8548

東京都江東区豊洲3-7-5

担 当 者: 教授・安孫子聡子(アビコサトコ)

担 当 部 署: 宇宙ロボットシステム研究室

(ウチュウロボットシステムケンキュウシツ)

E - m a i l: abiko@shibaura-it.ac.jp

U R L: <https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/>