

改質 MR 流体を用いるパラレルグリッパの開発

○津上 祐典 西田 健 (九州工業大学)

1. はじめに

産業用ロボットは、エンドエフェクタを交換することで、種々の作業に幅広く対応することができる。特に対象物の把持や搬送、設置の一連の作業に用いられるエンドエフェクタをグリッパと呼ぶ。一方で、グリッパの自動交換には専用設備が必要であり、運用前に複雑なプログラミングが必要である。運用中にも、その交換作業に一定時間を要することや、交換に伴う把持計画の変更が必要であることから、グリッパの交換は生産工程の高速化のボトルネックとなる場合がある。

これらの問題を解決することを目的とし、グリッパの形状や機構、把持計画に関する数多くの研究が現在まで行われている [1][2]。さらに近年、対象物の姿勢推定とグリッパの交換手順を省略し、作業効率を向上させるための汎用性の高いグリッパが提案されている [3]-[9]。これらはユニバーサルグリッパと呼ばれ、対象物の姿勢推定に要する複雑な計測、移動軌道計画、およびグリッパの交換作業の手順を削減しつつ、多種多様な対象物の把持に適応する。

ユニバーサルグリッパの動作原理には、アクチュエータを多数利用するもの、気圧を利用するもの、磁力を利用するもの等が提案されている。ジャミンググリッパ [3]-[5] は、主に粉体を封入した柔軟膜とエアコンプレッサから構成される。これは、柔軟膜内部の空気圧を制御することで粉体の流動性を変化させ、柔軟膜全体の固化強度を変化させることで対象物を把持する。タコの吸盤を模倣したグリッパ [6] は、多数の吸盤内部の形状をエアコンプレッサによって変形することで、対象物を吸着し把持する。Choi ら [7] は、柔軟膜を膨張させることで対象物を挟み込み把持するグリッパを開発している。これは、把持状態では、常に柔軟膜内部に空気圧を印加し続ける必要があり、柔軟膜の耐久性や把持および解放の応答速度に制約がある。磁力の印加による柔軟膜の固化を制御するユニバーサルグリッパとして、MR α 流体グリッパ [8] がある。これは、柔軟膜部を対象物に押し当てた後に磁力を印加して改質 MR 流体を固化することで対象物を把持する。磁力の印加による固化強度を向上させるための改質 MR 流体の利用に特長がある。Pettersson ら [9] は、パラレルグリッパの把持部（対象物と接する部分）に MR 流体を封入した柔軟膜と電磁石を装着したグリッパを開発している。このパラレルグリッパは、まず対象物を挟み込んで把持部を対象物の形状に合わせた状態で電磁石により磁力を発生し、MR 流体を固化する。これによって、果物などの、形状が一様でない対象物の安定した把持を実現している。これは気圧を利用しないため、前述の気圧を利用するグリッパに比べて、駆動の静音性や周囲環境に対する制約が少ない。しかし、MR 流体を十分に固化させるためには 0.3[T] 程度の磁束密度が必要であるため [10]、十分な把持性能を実現する

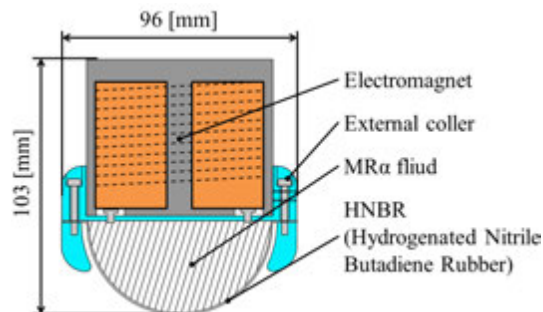
ための電磁石の体積や質量の増加が問題となる。

本研究では、同じ磁束密度に対する固化強度が MR 流体よりも高い改質 MR 流体と、永久磁石の移動機構を組み合わせることで、新しいパラレルグリッパを構築した。本パラレルグリッパは、様々な形状や姿勢の対象物を把持可能であると同時に、把持した対象物を高速搬送することができる。本論文では、開発したパラレルグリッパの機構と性能を検証した実験結果を示す。

2. MR α 流体グリッパ

MR α 流体は、MR 流体に非磁性体の粉体を添加することによって生成される改質 MR 流体であり、磁界の印加により固化強度を制御できる。また、MR 流体に比べて印加される磁界の磁束密度に対する固化強度が高く、比重が小さいという特長がある。この MR α 流体を利用した従来のグリッパの概要を図 1 に示す。グリッパの柔軟膜の素材は水素化ニトリルゴム (HNBR: Hydro-genated Nitrile Butadiene Rubber) であり、磁界発生源として電磁石を使用している。また、MR α 流体が封入された柔軟膜は外部カラーによって挟み込まれる。

このグリッパは以下の流れで把持を行う。はじめに、磁界を印加していない状態、すなわち MR α 流体が流



(a) MR α 流体グリッパの構成



(b) MR α 流体グリッパの外観

図 1 MR α 流体グリッパ

動化している状態でグリッパを対象物に押し当てると、柔軟膜は対象物の形状に沿って変形する。次に、磁界を印加するとMR α 流体が固化し、対象物とグリッパの柔軟膜の間に生じる静止摩擦力などの要因によって対象物を把持する。このグリッパは対象物と柔軟膜間に働く静止摩擦力などにより把持することができるが、対象物に対する押し当て動作を必要とするため、ばら積みされた対象物や、押し当て動作により破損する可能性がある対象物の把持はできない。

3. MR α パラレルグリッパ

従来のMR α 流体グリッパの特長を継承しつつ、不得意とする上述の対象物の把持を可能とするために、MR α 流体グリッパを小型化して対向するように指先部に組み込んだパラレルグリッパを開発した。本研究では、これをMR α パラレルグリッパと呼び、その概要を図2に示す。低剛性の対象物を把持するために、グリッパの開閉部のサーボモータの電流測定による指先のトルクを計測できるように設計した。指先部に対向して組み込まれた二つの柔軟膜内部にはMR α 流体が充填されており、それに印加する磁界の制御のために、永久磁石の移動機構を構築した。左右の指の根本に組み込まれたモータからプーリを介してボールねじを回転させることで、永久磁石部分を移動させる。この機構によって、永久磁石がMR α 流体に接近すると手先が固化し、引き離されると軟化する。永久磁石部分は図3に示すように、鉄ヨークと組合せて構成し、磁束密度を向上させつつ漏れ磁束を低減する機構とした。磁界

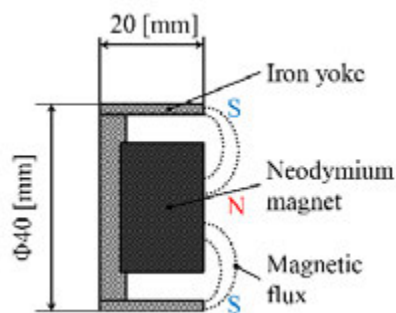


図3 永久磁石部の構成

発生のために、体積あたりの磁束密度が高い永久磁石を採用したことにより、MR α 流体グリッパの小型が可能となった。次に、柔軟膜の表面に梨地処理¹を施すことで対象物との張り付きを低減し、対象物の解放性能を向上した。また、厚みを変化させるゴム部の設計により、解放動作にゴムの弾性を寄与させる機能性の向上と、耐久性の向上を実現した。

本パラレルグリッパは以下の流れで対象物を把持する。まず、MR α 流体を流動化させた状態で対象物を挟み込む。次に、モータを回転させて永久磁石をMR α 流体に接近させ、MR α 流体を固化させることで対象物を把持する。

4. 実験

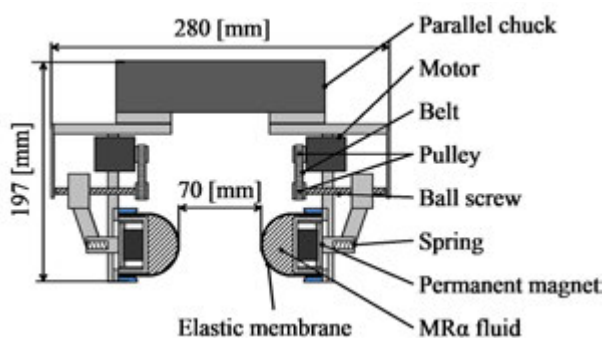
4.1 様々な形状の対象物の把持

様々な形状の対象物を用いて把持実験を行い、開発したパラレルグリッパの性能を評価した。実験に用いた対象物を表1に示す。本パラレルグリッパが把持可能である直径70[mm]以下の大きさの対象物を用いて実験を行った。種々の対象物を把持した様子を図4に示す。これらの実験の結果より、表1に示す対象物を問題なく把持できることが確認された。

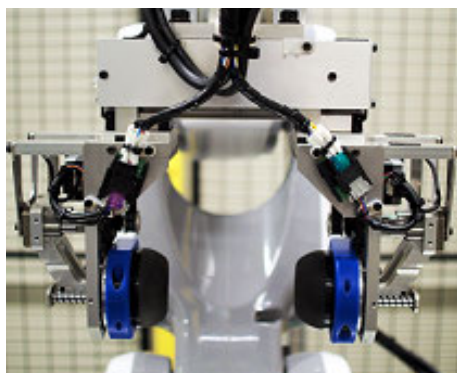
次に、複雑な形状および種々の素材に対する把持性能を確認した実験の様子を図5に示す。把持対象物として、メガネ(19[g])、木製六角ボルト(6[g])、フィギュア(30[g])、ペットボトル(644[g])を用いた結果、対象物を傷つけることなく把持できることが確認された。

4.2 MR α 流体による把持性能の向上

MR α 流体による把持特性の向上への寄与を明らかにするために、磁界印加の有無による把持力の変化について検証を行った。図4に示した対象物を用いて、以下の手順により把持力を測定した;1) 把持対象物にフォースゲージを接続して、パラレルグリッパにより対象物を挟み込む、2) 永久磁石をMR α 流体に接近させる、3)



(a) 開発したパラレルグリッパの構成



(b) 開発したパラレルグリッパの外観

図2 MR α パラレルグリッパ

表1 実験に用いた把持対象物

Shape	Prism	Column	Sphere	Spring
Material	ABS	ABS	Wood	SWP-A
Weight[g]	23	16	66	29

¹細かな凹凸を付ける処理。

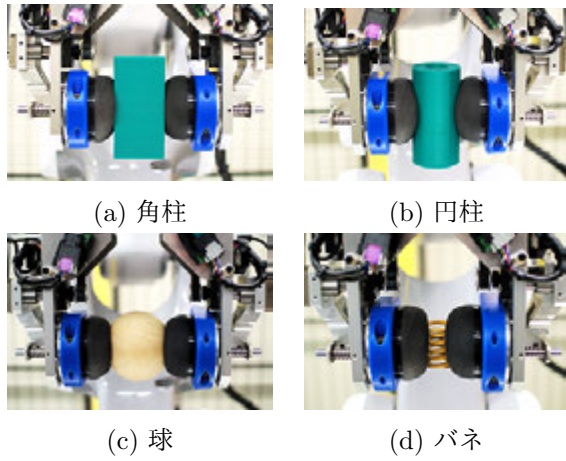


図4 様々な対象物の把持

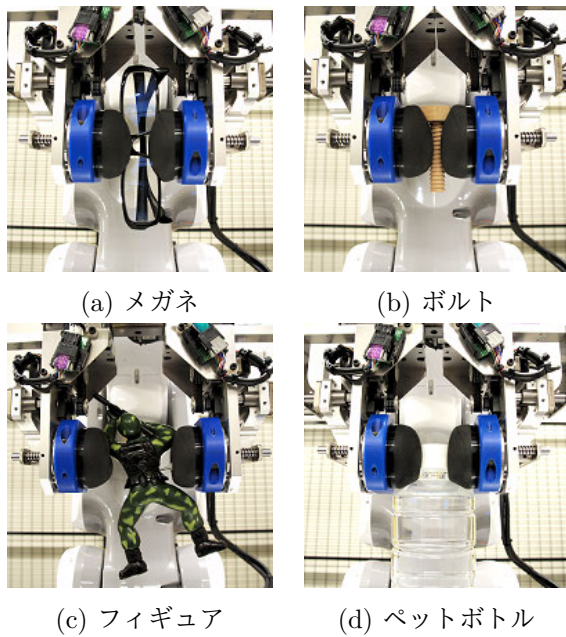


図5 様々な形状の対象物を把持する様子

フォースゲージを鉛直下方に引きさげる力を徐々に大きくしていき、対象物を解放したときの引張力 [N] を把持力として測定する。また、二番目の手順を除いて、MR α 流体の固化が把持に寄与しない場合の実験を同様に行った。種々の対象物に対する本実験結果を図6に示す。この結果より、パラレルグリッパによる挟み込み動作後にMR α 流体を固化することで、鉛直下方に対する把持力が上昇することが確認された。特に、対象物を包み込むように柔軟膜が変形する球体に対して、大きな把持力の上昇が確認された。

4.3 把持姿勢の変化による把持性能の変化

把持姿勢による把持力の変化を検証するために、立方体のブロックを用いて、二種類の姿勢における把持力を測定した。パラレルグリッパにより対象物を把持した様子を図7に示す。前述と同様の手順で把持力を測定した。図7(a)に示す姿勢では、把持力が47.7[N]であったのに対して、同図(b)に示す姿勢では100.05[N]

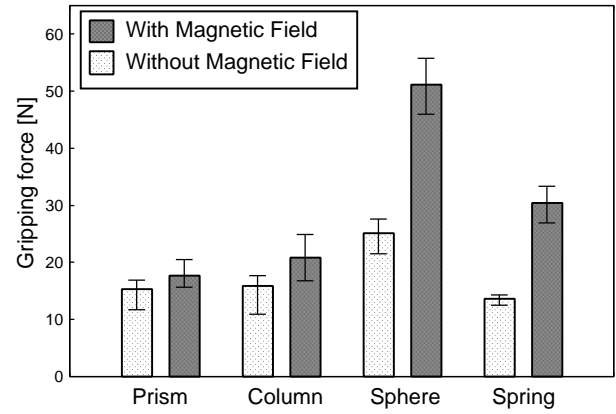
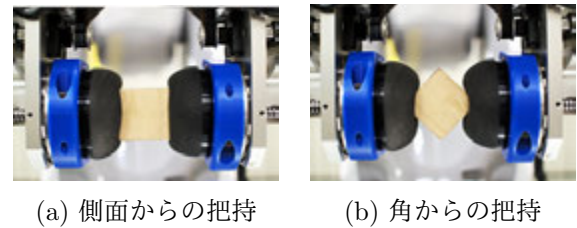
図6 MR α 流体による把持性能の向上に関する実験結果

図7 木のブロックを把持する様子

であった。この実験結果より、対象物を包み込むようにして把持する場合に、把持力の上昇が確認された。

4.4 壊れやすい対象物の把持

開発したグリッパは、対象物を柔軟膜で挟み込み、そのトルクを調整可能であるので、壊れやすい対象物を傷つけることなく把持することが可能である。その特性を検証するために、壊れやすい対象物として、電球 (16[g]) とみかん (159[g]) を用いて把持実験を行った。また、ここではパラレルグリッパの挟み込み力を最小の17.8[N]に設定した。グリッパによる把持の様子を図8に示す。これらの実験により、開発したパラレルグリッパは電球やみかんのような壊れやすい対象物の把持が可能であることが確認された。

4.5 パラレルグリッパによる高速搬送

開発したパラレルグリッパを産業用ロボットに組み込み、対象物の高速搬送に関する性能評価を行った。ここでは、従来のMR α 流体グリッパ [8] と、開発したパラレルグリッパの把持性能の比較を行った。また、パラレルグリッパの挟み込み力を17.8[N]と50.0[N]に設定し

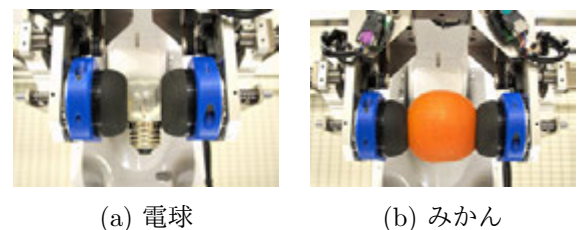


図8 壊れやすい対象物を把持する様子

た場合と比較した。本実験では、水を充填した 600[ml] のペットボトル (644[g]) を対象物とし、そのキャップ部分を把持する箇所とした。実験の手順は以下の通りである；1) ロボットによりグリップを把持位置へ移動させ、対象物を把持する、2) 対象物を把持した状態で水平方向に搬送する (グリップによる挟みの方向と直行する水平方向に搬送)、4) 対象物を落下させなければ成功とする。この搬送実験を 20 回行った。また、搬送速度は 200[mm/s] から 2800[mm/s] の間で変更して実験を行った。実験結果を図 9 に示す。これらの実験結果より、開発したパラレルグリップの高速搬送時の把持性能の向上が確認された。

これらの実験結果より、本パラレルグリップは挟み込みと柔軟膜による対象物の包み込み後の MR α 流体の固化の二種類の作用によって対象物を把持していることが示唆された。すなわち、力拘束と形状拘束が同時に実現されていると考えられる。

5. まとめ

本研究では MR α 流体を用いるパラレルグリップを開発した。また、本パラレルグリップを用いて様々な形状の対象物を把持する実験を行い、四角柱や円柱、球体のような形状に加えて、フィギュア、六角ボルト、メガネ、ペットボトルのような複雑な形状と複数の素材の対象物を把持可能であることを確認した。また、対象物を把持した状態で高速搬送した場合に、従来の MR α 流体グリップよりも把持性能が高いことを確認した。さらに、電球やみかんのよう壊れやすい対象物の把持が可能であることを確認し、本パラレルグリップの有用性を示した。

謝辞

本研究は、北九州産業学術推進機構による平成 27 年度新成長戦略推進研究開発事業 (実用化研究開発事業) 「万能ハンドを用いるマニピュレータシステムの開発」の成果である。パラレルグリップの設計・製作して頂いた、前田機工株式会社、株式会社マエダエンジニアリング、イナバゴム株式会社、株式会社フジタ、マグネティックソリューションズ、アキツデザインの皆様に感謝致します。

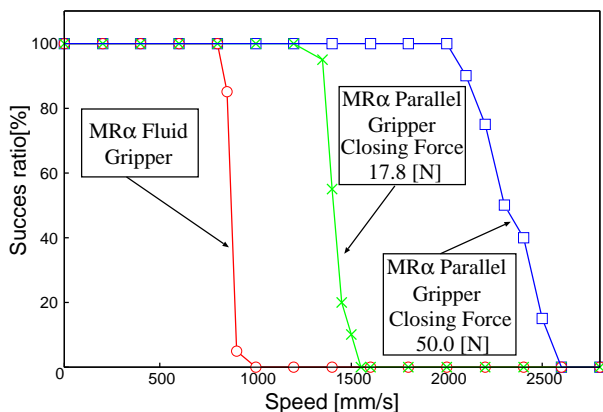


図 9 パラレルグリップによる高速搬送に関する実験結果

参考文献

- [1] 永田和之, 宮坂崇, 金宮好和, 山野辺夏樹, 丸山健一, 川端聡, 河井良浩: “複雑な環境下における指示物体の把持”, 日本機械学会論文集 (C 編), vol.79, no.797, pp.27-42, 2013.
- [2] 永田和之, 脇田優仁, 小野栄一: “空間への作業情報貼付によるロボットへの作業教示”, 日本機械学会論文集 (C 編), vol.74, no.738, pp.346-352, 2008.
- [3] G. Bancon, B. Huber: “Depression and grippers with their possible applications”, 12th ISIR, Paris, pp.321-329, 1982.
- [4] J. R. Amend Jr, E. Brown, N. Rodenberg, H. M. Jaeger, H. Lipson: “A Positive Pressure Universal Gripper Based on the Jamming of Granular Material”, IEEE trans. on Robotics, vol.28, pp.341-350, 2012.
- [5] T. Nishida, D. Shigehisa, N. Kawashima, K. Tadakuma: “Development of Universal Jamming Gripper with a Force Feedback Mechanism”, Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 242-246, 2014.
- [6] 高橋智一, 菊池智史, 鈴木昌人, 青柳誠司: “タコの吸盤を模倣した真空吸着グリップの開発”, 精密工学会誌, vol.79, pp.970-971, 2013.
- [7] H. Choi, M. Koç: “Design and feasibility tests of a flexible gripper based on inflatable rubber pockets”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol.46, pp.1350-1361, 2006.
- [8] T. Nishida, Y. Okatani, K. Tadakuma: “Development of Universal Robot Gripper Using MR α Fluid”, International Journal of Humanoid Robotics, pp.1-12, 2016.
- [9] A. Petterson, S. Davis, J. O. Gray, T. J. Dodd, T. Ohlsson: “Design of a magnetorheological robot gripper for handling of food products with varying shapes”, Journal of Food Engineering, vol.98, pp.332-338, 2010.
- [10] 藤田豊久, 島田邦雄: “MR 流体の特性とその応用”, 日本応用磁気学会誌, vol.27, no.3, pp.91-100, 2003.