

電磁石と磁石を用いる構造が簡単なユニバーサルグリップ

○津上 祐典 西田 健 (九州工業大学)

1. はじめに

産業用ロボットによる対象物の搬送作業に用いるエンドエフェクタは、グリップと呼ばれる。近年、様々な形状や材質の対象物の把持を目的として、多様な汎用グリップ（ユニバーサルグリップ）の研究開発が行われている。柔軟膜を有するユニバーサルグリップには、粉体を内包した柔軟膜の内部において真空により発生するジャミング現象を利用するグリップに関する研究 [1]-[3] や MR 流体の固化を磁力によって制御するグリップ [4] などが提案されている。特に、磁力を用いるユニバーサルグリップは、空気圧を利用するグリップに比べて利用環境に制約が少ないという特長を有する。MR α 流体グリップ [4] は MR α 流体が封入された柔軟膜と電磁石から構成される。MR α 流体とは磁力で見かけ上の粘度の変更が可能な機能性流体である MR (Magneto-rheological) 流体に非磁性体の粉体の混合することで生成される改質 MR 流体である。このグリップは、柔軟膜の固化強度を磁力で瞬時に制御できるため即応性が高い上に、安定した把持が可能であるなど多くの特長を有する。

一方で、MR 流体と電磁石を用いるため、小型化や軽量化のために、厳密に設計および製作された機構を必要とする。そこで本研究では、MR 流体を利用せず、電磁石、永久磁石、柔軟膜、水のみを用いて、より簡単な構造でユニバーサルグリップとして機能する新しいグリップを提案する。本研究では、このグリップを水グリップと呼ぶ。水グリップは、様々な形状の対象物を把持することができるという長所は MR α 流体グリップから継承しつつ、構成が簡潔であり、把持および保持には電力を必要としない。対象物を開放する一瞬だけ電力を使用する。本論文では、本提案グリップの構成や動作原理、性能検証の結果について述べる。

2. 基本設計

2.1 構成要素

水グリップを図 1 に示す。柔軟膜は半球状のものを使

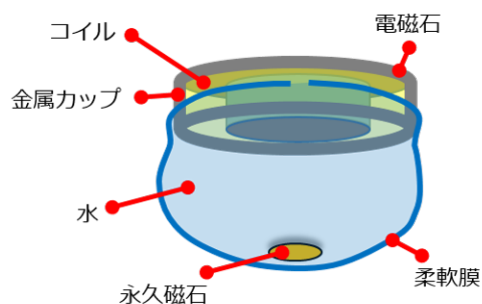


図 1 水グリップの構成要素

用した。素材は天然ゴムである。柔軟膜の素材は、NBR やフッ素ゴムなどを用いることで、硬度や耐久性能を向上できる。柔軟膜内部には水を封入し、電磁石に端部を覆いかぶせるように装着する。このとき、水が漏れないように、柔軟膜を接着もしくはワイヤなどで縛り付ける。水の代わりに油やジェルなどの液体を封入してもよく、把持性能が変化するが、気体の封入でも機能する。永久磁石を柔軟膜の先端部分に貼り付ける。永久磁石の配置は自由であるが、本研究では、磁束密度の高いネオジム磁石を利用した。さらに、電磁石と永久磁石が接触しないように、電磁石もしくは永久磁石に非磁性体材料のカバーを設ける。これらが直接接触すると、磁力の制御では剥離できなくなることに注意が必要である。

2.2 動作原理

次に、グリップの動作原理について説明する。グリップの動作原理を図 2 に示す。グリップを永久磁石が電磁石に吸着するまで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し、その状態で固定される。このとき、対象物には柔軟膜の復元力と水の重力による力が加わり、それらの合力に対する垂直抗力に比例する摩擦力が、物体と柔軟膜の接触面に発生する。この摩擦力によって対象物を把持することができる。

次に、電磁石に電圧を印加し永久磁石と逆向きの磁界を発生させると、電磁石と永久磁石が反発して剥離し、柔軟膜の形状が復元することで対象物を解放する。本グリップは把持および保持に電圧の印加が必要がなく、対象物の解放の一瞬だけ電圧の印加を必要とする。

3. グリップの試作と動作検証

前述した機構に基づき水グリップを開発した。試作した水グリップの外観を図 3 に示す。使用した永久磁石の最大磁束密度は 0.4 T、電磁石は直径 $\phi 76$ mm、高さ 60 mm である。永久磁石との接触を防ぐために電磁石に設けたカバーは、ABS 樹脂で厚さ 2 mm のもの

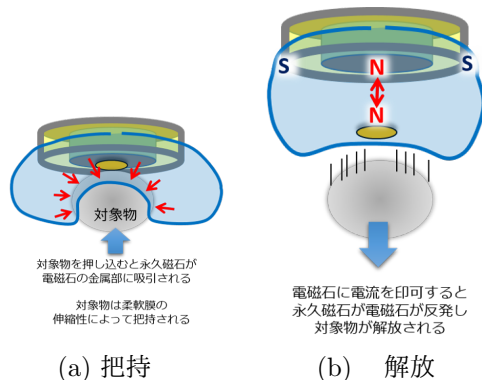


図 2 水グリップの把持解放シーケンス



図3 水グリップの外観

を3Dプリンタで製作した。柔軟膜は天然ゴムであり、200 mlの水を封入した。水の量は試行錯誤によって決定した。

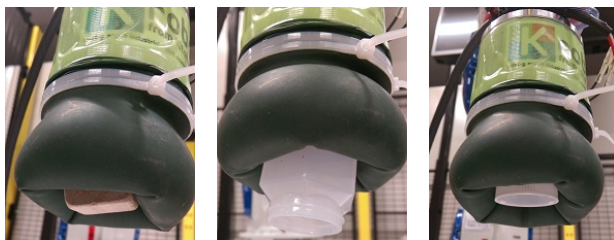
4. 試作機を用いた基礎実験

試作機により様々な対象物に対する把持実験を行った。木のブロック、プラスチックの六角形のボトル、ペットボトルのキャップを対象物とした。これらの対象物は、非磁性体であり、水グリップを押し付けることで包み込むことができる大きさのものを選定した。水グリップがこれらの対象物を把持する様子を図4に示す。図4より本グリップが様々な対象物の把持が可能であることを確認した。

さらに、産業用ロボットに組み込んで搬送試験を行った。試験の手順は；(1) 対象物を把持する、(2) 対象物を200 mmの高さまで持ち上げる、(3) 水平方向に400 mm搬送する、(4) 対象物を下げて目標位置に解放する。対象物として水を充填したペットボトル(500 ml)を使用し、キャップを把持した。搬送実験の結果、搬送中にペットボトルの下部は搬送方向に対して揺れる現象が確認されたが、対象を把持、搬送および解放できることを確認した。

5. 水グリップの小型化

水グリップの構成要素を小型化する検証を行った。3.節で試作したものと同一の構成であるが、電磁石は直径φ34 mm、高さ15 mmのものを用い、約半分の大きさに小型化した。小型のグリップに対しても同様の把持実験を行った結果、種々の対象物を把持できることを確認した。図5に小型化した水グリップの概観と把持実験の一例を示す。水グリップは小型化することで、

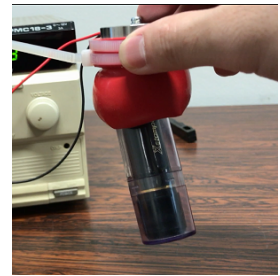


(a) 木のブロック (b) 六角ボトル (c) キャップ

図4 グリップが様々な対象物を把持する様子



(a) 小型化した水グリップ



(b) 把持の様子

図5 小型化した水グリップの性能の検証

より低い磁束密度で把持と解放を制御できるようになるため、より小型の電磁石を使用することができるようになる。永久磁石移動機構など複雑な機構を必要としないため、さらに小型化することが可能である。

6. まとめ

電磁石、永久磁石、柔軟膜および水を用いた新しいユニバーサルグリップを提案し、その機構と動作原理を示した。また、複数の水グリップを試作し、基礎実験を通して原理証明を行い、様々な形状の対象物を把持できることを確認した。さらに、水グリップを産業用ロボットに搭載して対象物搬送実験を行った。搬送中に対象物が揺れることを確認したが、正確に把持、搬送、解放することが可能であることを確認した。水グリップは、小型化のための厳密な設計を必要とせず、グリップの構成要素のスケールを小さくするだけで容易に小型化が可能であることを確認した。現在、水グリップの制作において、水の封入量や柔軟膜の厚さなどは試行錯誤により定めているので、今後は、磁界解析や力学モデルの利用により、最適な設計手法を確立する予定である。

参考文献

- [1] G. Bancon, B. Huber: "Depression and grippers with their possible applications", 12th ISIR, Paris, pp.321-329, 1982.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] T. Nishida, Y. Okatani, K. Tadakuma: "Development of Universal Robot Gripper Using MR α Fluid", International Journal of Humanoid Robotics, pp.1-12, 2016.