

MRエラストマを用いたサクシオンカップ機構における各種パラメータが吸着力に及ぼす影響

《磁気駆動機能材料の最適化設計》

鷲見知咲，坂本裕之（日本ペイントホールディングス(株)）

○尾崎惇，安孫子聡子（芝浦工業大学）

1. 緒言

MR（磁気粘弾性）エラストマ（Magneto-Rheological Elastomer: MRE）は、外部磁場で可逆的に見かけの粘弾性、磁性、形状が変化する機能性弾性体（intelligent elastomer）である。機能性弾性体の定義は現在でも明確ではないが、弾性体に外部刺激（光、熱、電磁気、力、化学種など）を加え、そのマイクロ構造に由来する諸物性を変化させたり、マクロ的に刺激応答させたりすることで形状等の変化が提示できるなど、様々な機能を発現するトランスデューサ的機能材である。特に外部刺激を磁気に求めたMREは、高い応答速度や形状の変位が大きいという、興味深い物理変化を提示できることから、制振材料や人工筋肉など、新たな機械要素として近年注目されるようになってきた材料である [1-3]。しかし、MREの用途は未だ限定的であり、制振材料への応用や薄膜アクチュエータに関する研究 [4-6] が報告されてはいるもののロボット機構への具体的応用事例は示されていない。この理由は明快で、提示出力が一般的に小さく、実用的ではない点に収斂される。今回著者らは、外部磁場で変位するMREを用いた高出力サクシオンカップ（吸盤）機構を創出した。これはMREが外部磁場で吸引され、変形することで、対称面との間に負圧（真空）層を生み出し、吸着させる機構である。一定程度の平滑性が担保できればガラス、壁面等の非磁性面でも吸着が容易であり、壁面移動ロボットや飛行ロボットの吸着機構として利用できる。また、ロボットハンドへ吸引・把持機能を付与することも可能としている。

本研究のMREは、磁性体・マトリックス弾性ポリマ・添加剤よりなる非常に簡素な素材構成となっている。これまでのMREが、ポリマに対する磁性体の易分散性を重視するあまり、出力面で不安のあるゲル体を好んで用いてきたのに対し、強いエントロピー弾性を提示可能なゴム成分を中心に構成されている。本稿では、その出力特性をサクシオンカップ機構の吸着力と定義し、その支配性をMRE構成因子である、サクシオンカップ構造体（ギャップ高さ）、外部磁場強度、MRE材料特性（膜厚）視点より、明

確化できたので報告する。

2. サクシオンカップ(吸盤)機構の概念

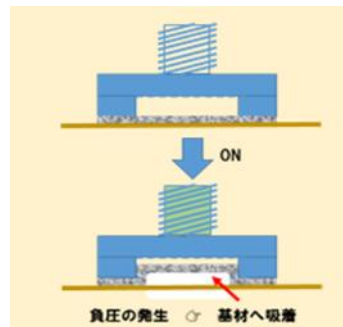


図1 MRE吸盤機構概念図

図1に本吸盤機構の概念的モデルを示す。構成は上部より磁場発生機構（磁石）、支持体、MREシート、吸着対称面となっている。磁場発生機構は本モデルでは電磁石をイメージしているが、永久磁石であっても構わない。電磁石に電流を印加すると磁界が発生し、下部に設置したMREシートを吸引する。吸盤の周囲は支持体により拘束されているため、中心部分のみが上方に引き寄せられ、負圧（真空）層を形成し、下部の対象面に強力に吸着することができる。

3. 吸着力測定装置の設計

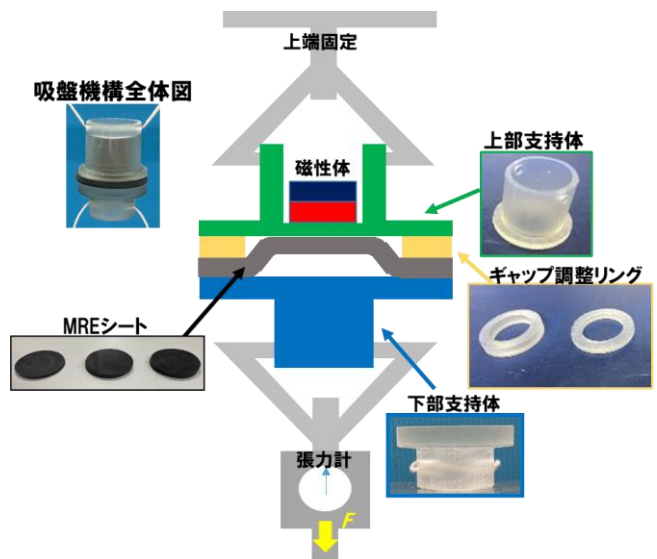


図2 吸引力測定装置

図 2 に製作した吸着力測定装置を示す。装置は上方から①上部支持体、②磁性体（ネオジウム磁石）③ギャップ調整リング、④MREシート、⑤下部支持体、⑥張力計から構成されており、上部支持体に磁性体を設置することで吸盤機構を再現している。上部支持体、ギャップ調整リング、下部支持体は3Dプリンターで作製した。本検討において、吸着力の定義は「下部支持体の下からの牽引力に抗しきれず MRE から脱離した時の張力計の表示値」とした。なお、上部支持体に磁性体を設置した際の開口部（磁性体が MRE シートを吸引する部分）の径は $\Phi 17\text{mm}$ である。

4. 各種パラメータが吸着力に及ぼす影響

4.1. 支持体（上部構造体）

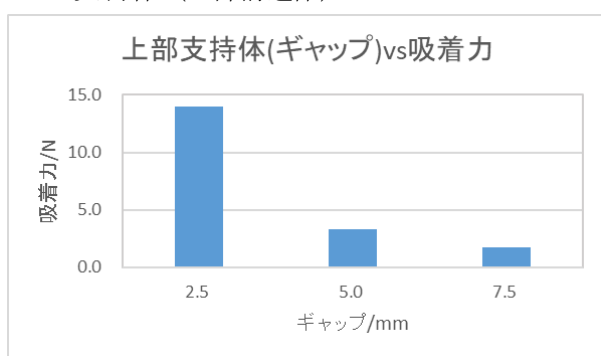


図 3 支持体が吸着力に及ぼす影響

まず初めに上部支持体の作る空間（ギャップ）が吸着力に及ぼす影響を確認した。上部支持体（磁性体）と MRE シート間のギャップを調整するためにギャップ調整リングを用いて検討を行った。ギャップを 2.5mm・5.0mm・7.5mm に調整し、それぞれの吸着力を測定した結果を図 3 に示す。上部支持体（磁性体）と MRE シート間のギャップが大きくなるほど吸着力は小さくなることがわかった。これはクーロン則により、磁力の低下が吸着力の低下につながっていると考えてよい。2.5mm から 5mm と距離が二倍になることで吸着力はほぼ 1/4 となることが確認できた。

4.2. 磁性体強度(磁力)

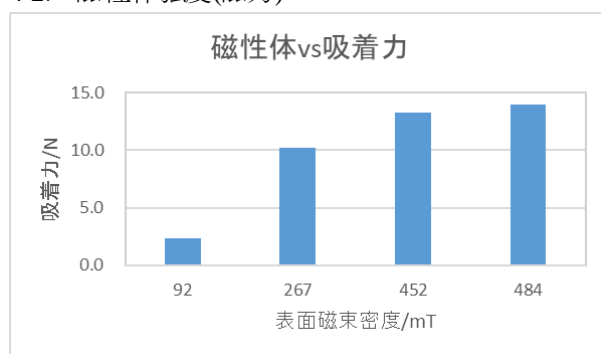


図 4 磁性体強度が吸着力に及ぼす影響

次に外部磁場強度(磁性体強度)が吸着力に及ぼす影響を確認するために、磁性体の表面磁束密度を変化させて検討を行った。表面中心の磁束密度の実測値 92mT・267mT・452mT・484mT の 4 種類の吸着力を測定した結果を図 4 に示す。表面磁束密度が大きくなるにつれて吸着力が大きくなった。これは表面磁束密度が大きくなることで MRE シートを吸引する力が大きくなったためである。また、表面中心の磁束密度 484mT を持つ磁石の空間距離による磁束密度変化をガウスメータ（EMIC 社製 型番 GM-5015）により測定した。図 5 にその測定結果を示す。磁石からの空間距離が短いほど磁束密度が高くなるのが分かるが、負圧を作る磁性シートの伸縮の兼ね合いから、適切な距離を求める必要がある。

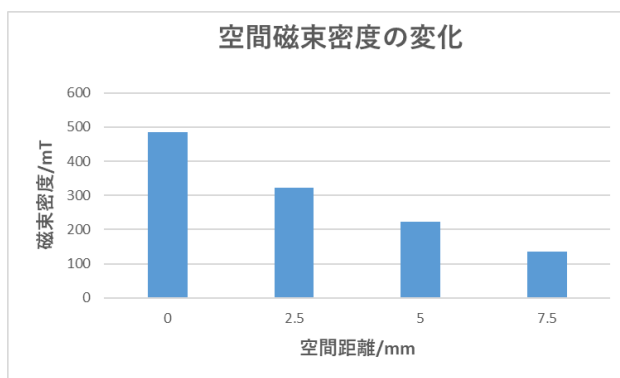


図 5 空間磁束密度の変化の様子

4.3. MRE シート

4.3.1. 厚み

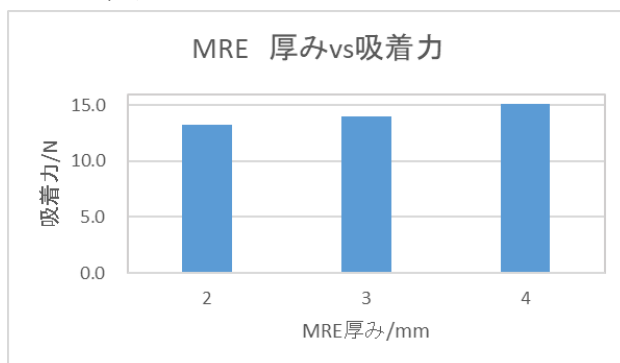


図 6 MRE シート(厚み)が吸着力に及ぼす影響

MRE シートの厚みが吸着力に与える影響を確認するために、厚み 2mm・3mm・4mm の MRE シートを作製し検討を行った。結果を図 6 に示す。MRE シートの厚みが 1mm 厚くなると吸着力が約 1N 上昇していることが確認できた。これは MRE の厚みが厚くなるにつれて MRE シート一枚に含まれる鉄粉量が多くなるため、磁性体(ネオジウム磁石)により強く吸引されたためであると考えている。

5. 結論

MREシートを使用した吸盤機構において、吸着力に影響を与えるパラメータ(サクシオンカップ構造体、外部磁場強度、MRE材料特性)について明確化することができた。サクシオンカップ構造体とMREシートのギャップ・外部磁場強度・MR材用特性それぞれが吸着力に大きく影響しているとわかった。また本検討水準ではMREシートの厚みよりもギャップと磁性体強度が吸着力に大きく寄与しているとわかった。今後、この結果をロボット機構へ適用していくとともに、応用先の拡大を図っていきたい。

6. 結言

本報はMREの吸着機構における出力特性を叙述したものである。口頭発表では、MRE材料特性について追加検討を行った結果も報告する予定である。加えて、MREシートをPME(永久磁石エラストマ)シートに変更した機構等についても追加報告する予定としている。

7. 謝辞

本研究推進にあたり貴重な見解を頂戴し、装置作製においてご支援いただいた防衛大学校辻田哲平准教授にこころより感謝するものである。

参 考 文 献

- [1] Y. Q. Nguye nand R. V. Ramanujan. “Novel Coiling Behavior in Magnet-Polymer Composites, ” in Macromol. Chem. Phys. Vol. 211, No. 6 pp. 618-626, 2010
- [2] S. Kashima, F. Miyasaka and K. Hirata, “Novel Soft Actuator Using Magnetorheological Elastomer. ” IEEE Trans. Mag. , Vol. 48, No. 4 pp. 1649-1652, 2012
- [3] L. C. Davis, “Model of magnetorheological elastomers,” in J. Appl. Phys. , Vol. 85, I. 6, pp. 3348-3351, 1999
- [4] Yang Zhou, “Performance comparison between an MRF damper and an MRE isolator incorporated with a building structure”, ICEDO 2010, 28-30 Oct 2010, Ningbo. 37-38 862-865
- [5] G. Y. Zhou, “Share properties of a magnetorheological elastomer,” Smart Mater. Struct. , Vol. 12, No. 1 pp. 139-146, 2003.
- [6] M. Khoo, Ch. Liu, “Micro magnetic silicone elastomer membrane actuator, ” Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 89, No. 3 pp. 259-266, 2001