

2017 年 11 月 30 日

2016 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関 名 (大学、大学院、研究所 名)	大阪大学
職位または役職	助教
氏 名	仲田 佳弘

1. 研究題目

一体構造空電ハイブリッドアクチュエータの作動流体を用いたコイル冷却機構の研究開発

2. 研究目的

本研究では、申請者が提案した一体構造空電ハイブリッド直動アクチュエータ(一体構造空電 HLA)の作動流体を利用することでコイルを強制空冷する機構を開発する。作動流体をコイルの冷却にも用いることで、追加の冷却システムを導入すること無しに励磁可能電流を増大させ、アクチュエータの初動の応答性を改善する。

空電ハイブリッドアクチュエータは、空気の圧力と電磁気力の両方を動力源とするアクチュエータであり、空圧駆動による高比出力と電磁力駆動による高応答・高精度位置決めを両立でき、細やかな力制御によりしなやかに動作させることが可能である。減速機付電気モータで駆動される大きくて硬いロボット関節とは異なり、外力に対して柔軟に応答できる関節が実現できるため、外骨格型アシストロボットや、人と同じ環境で協働作業を行う産業用ロボットの安全性の高い駆動源としての利用が可能である。従来型の空電ハイブリッドアクチュエータでは、空気圧と電磁のアクチュエータで別々に発生した力をギアやリンクなどの機構部品を用いて合成して出力していたため、大型で堅牢性が低かった。これに対し、一体構造空電 HLA は、流体圧力と電磁気力を出力軸へ伝達する要素(ピストンと可動子)と空間(空気室と可動域)を一体化することで、従来型と比較して小型・高堅牢に製作できるため実用性が高い。作動流体の供給源が別途必要になるが、同体積の高効率の電磁アクチュエータに比べて約 10 倍の推力を確保できる。

本研究では、作動流体としてのみ利用してきた空気をコイルの冷却にも利用できる構造の試作を行う。給気用流路を工夫し、作動流体を、コイルの周囲を通してシリンダ内に流れ込むようにすることで、コイルを強制空冷し、励磁可能電流を増加させることを目指す。空気だけでは十分な応答性を得られない初動時において大電流を励磁することによる応答性の向上が期待される。

3. 研究内容及び成果

一体構造空電 HLA (右図上)を用いて力制御を行う場合、主たる力の発生源として空気圧を用い、電磁力は、高応答で正確な制御性を活かし、摩擦や外乱に対する補償に用いる(右図下)。摩擦や小さな外乱の補償であれば、空気圧による発生力の 1/10 程度の力に対応できる(定常状態では、発生力のほとんどが空圧で実現され、コイルの発熱は抑えられる)。しかし、初動時の応答の遅れを補償するためには、コイルに大電流を励磁する必要がある。

本研究では、作動流体(空気)をコイルの周囲に通すことで強制空冷が可能な一体構造空電 HLA を試作し、実験によってその効果を評価した。

【予備実験:作動流体がコイルの周囲を通過する効果】

空気をコイルの冷却に利用できる一体構造空電 HLA の試作の準備として、コイル周囲に作動流体を流す実験を行った。コイルの空間(バックヨークとシリンダの間)の前後(軸方向)にチューブを固定し、空気を流した(ここでは従来型のアクチュエータにチューブをエポキシ樹脂で固定し空気を流した。駆動はできたものの両端で空気漏れが生じた。)。3 相コイルを並列に接続した状態で、3A の電流を 10 分間励磁し、以下の 3 条件で、コイル周囲にあるバックヨーク表面の温度上昇を比較した。

条件:1-①空気を流さない、1-②コイル空間に 1 方向に空気を流す。

通過後は大気に開放、1-③コイル空間を通過後、外部シリンダに給気。1 秒ごとに給排気切り替え(上図)

1-①では、21.3℃から 44.6℃まで、1-②では、21.5℃から 22.8℃まで、1-③では、21.1℃から 38.9℃まで温度が上昇した。1-②と 1-③の結果から、作動流体によるコイルの冷却効果が期待されるが、熱を持った空気を十分に排出できない場合、冷却効果が小さくなることが分かった。

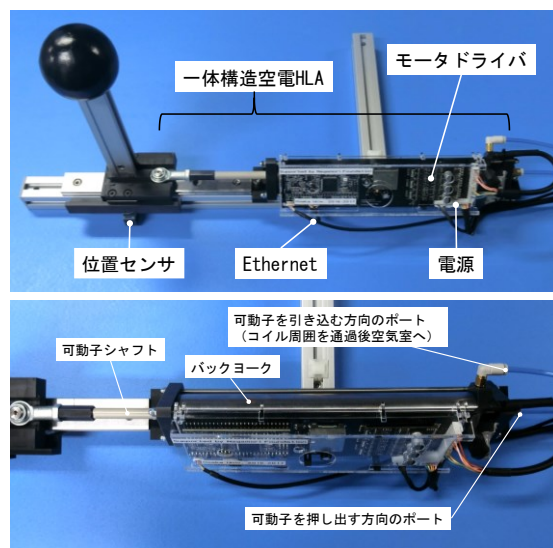
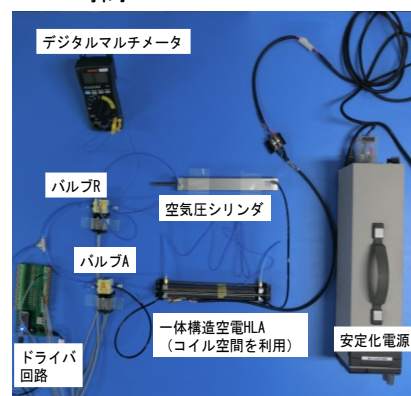
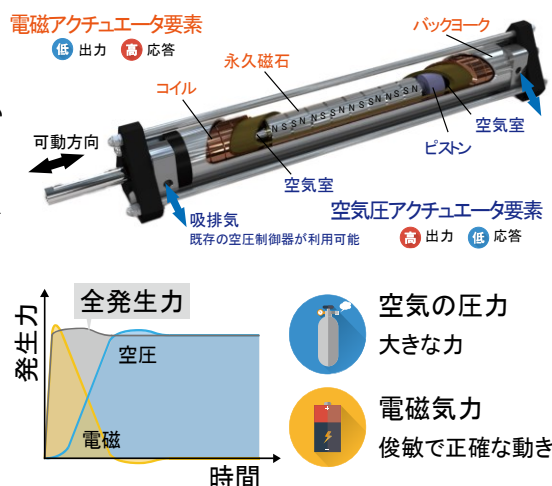
【作動流体を用いたコイル冷却機構を有する一体構造空電ハイブリッド直動アクチュエータの開発と評価】

下図に開発したアクチュエータを示す。給排気用のポートがアクチュエータ後端にあり、一方はコイルの周囲を通過して空気室に繋がっている。2 つのポートに交互に給気することで、これまでと同様に駆動できる。設計したシール構造および、コイル周辺の隙間に対する液体ガスケットを用いた封止により空気漏れを防止した。

予備実験と同様に、温度上昇を比較した。条件:2-①給排気なし、2-②1 秒ごとに給排気を切り替え、可動子を往復運動、2-③0.25 秒ごとの場合、2-④4 秒ごとの場合

いずれも初期温度は 25.4℃で、2-①では 47.7℃、2-②では 47.1℃、2-③では 48.9℃、2-④は 46.7℃まで上昇した。2-④では 2-①よりも 1℃低かったものの、提案構造での大きな冷却効果は見られず、高速駆動時(2-②)では、2-①よりも温度が高くなった。

1-③の結果と同様、開発したアクチュエータの構造では十分に排気ができず、熱が内部にこもっていることが考えられる。1-②ではコイルが冷却されたことから、コイルを冷却し、可動子駆動に作用した空気を給気時と別経路で排気する構造とすることで、給気時にコイルに対し一方向に空気を通過させ、作動流体での冷却を実現できる可能性がある。



4. 今後の研究の見通し

本研究では、一体構造空電 HLA において作動流体(空気)をコイルの周囲に流す構造を提案し、試作と冷却効果の評価を行った。

コイルの周囲に一方向に空気を流す場合にはコイルを冷却することが可能である。しかし、バックヨークとシリンドラに挟まれたコイル空間を空気の経路とし、給気・排気の両方に用いる場合は、熱を外部に排出することが難しく、冷却効果が得られなかった(実験からアクチュエータの駆動条件によっては、冷却が実現される可能性が示唆されたが、効果は小さい。)。

本研究で開発したアクチュエータでは作動流体による冷却が難しいことが分かった。一方で比較実験の結果より、給気時にコイル空間を通過することで冷却を行う低温の空気を、駆動に使用した後排気する際には、コイル空間を再び通過させるのではなく、別経路で外部に排気することによって冷却効果を得られる可能性がある。

今後は、一体構造空電 HLA の作動流体によるコイル冷却の実現に向けて、給排気時の経路を見直す。給気時にはコイル空間を通り、排気時には給気時とは別経路で直ちに外部へ空気を排出できるように構造の修正を行う。本研究で行った実験と同様の条件で冷却効果の検証を行った後、より実用的な場面を想定し、ハイブリッド駆動で可動子の位置制御や力制御を実行している際の冷却効果を評価する予定である。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

冷却に用いた作動流体の排気経路を見直して再実験を行い、作動流体を用いたコイル冷却機構を搭載した一体構造空電ハイブリッドアクチュエータの開発と、コイルの冷却効果、動作特性に関する学術論文を海外の学術雑誌に投稿予定である。