

卒業論文要旨

非接触給電磁気浮上リニアスライダ用リニアアクチュエータ

機械・航空システム制御研究室 1170104 富田 将広

1. 諸言

昨今では半導体の製造ラインなどクリーンルームを必須とした製造過程が増加している。機械的接触のない磁気浮上スライダシステムは、粉塵の発生リスクがないことや潤滑油を必要とせずメンテナンス面において優れているといった観点からクリーンルーム内での活躍の場が多い。搬送システムにおいて通常のスライダ部に浮上及び駆動制御を行う機構があり、非接触浮上しているスライダ部に対し電力供給を行う必要がある。そのために電力供給を行うスペースの設置や、浮上スライダ部へのバッテリーの搭載が行なわれている。バッテリーを搭載する場合は可動時間に限界があり、可動時間を伸ばすために大容量のバッテリーを用いると浮上機構の質量や体積の増加につながる。そこで、スライダ稼働時の外部からの非接触給電が可能になればクリーンルーム内での稼働に適した磁気浮上リニアスライダの半永久的な運用が可能になる。そのため非接触給電を用いた磁気浮上リニアスライダを開発することが重要であるといえる。今回はそのようなリニアスライダを駆動させるためのリニアアクチュエータ機構の製作、推力のシミュレーションを行った。

2. 磁気浮上リニアスライダ

製作している磁気浮上リニアスライダの全体像を Fig. 1 に示す。構造はその役割から磁気浮上機構、非接触給電機構、リニアアクチュエータ機構の3種類の機構を組み合わせたものとして考えることができる。構造としては Fig. 2 に示す浮上部と固定部の2つに分割することができる。

2.1 磁気浮上機構

磁気浮上機構は浮上部の下部に搭載した HEM (Hybrid Electromagnet) と空隙距離を計測するセンサ、固定部に設置した浮上用のガイドレールからなる。磁気浮上機構に使用している HEM は永久磁石と電磁石を組み合わせたものである。HEM はゼロパワー制御を可能にする役割を担っている。ゼロパワー制御とは定常状態において永久磁石の吸引力のみで浮上するように電磁石の磁力により浮上位置を制御する方法である。

2.2 非接触給電機構

磁気浮上機構とリニアアクチュエータ機構に必要な電力を供給するために円筒型発電機を浮上部側に、永久磁石を配列したローターを固定部側に取り付けた。Fig. 2 に使用した円筒型発電機を示す。ローターを回転させることによって、円筒型発電機に電力を発生させる。

3. リニアアクチュエータ機構

リニアアクチュエータ機構は浮上スライダを直線状に稼働させるための機構である。浮上スライダ部の上板に設置した電磁石と固定部に設置したガイドレールからなる。Fig. 4 にリニアアクチュエータ機構を示す。リニアアクチュエータ機構は、浮上スライダ部の上部プレートに設置した4組の電磁石と固定部に設置したガイドレールで構成されている。

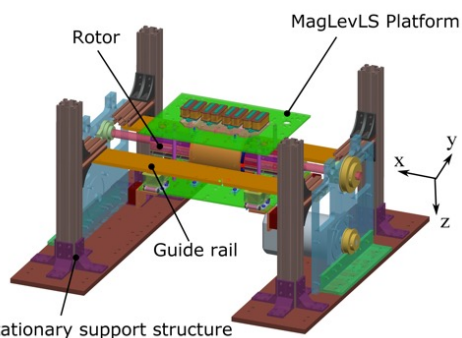


Fig. 1 Complete picture of magnetic linear slider with non-contact power supply.

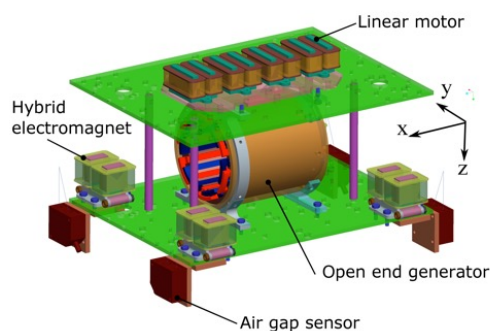


Fig. 2 Levitation part of magnetic linear slider.

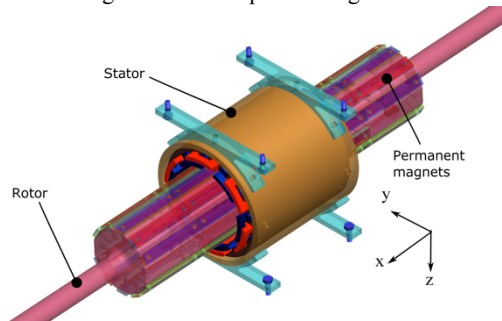


Fig. 3 open-end generator

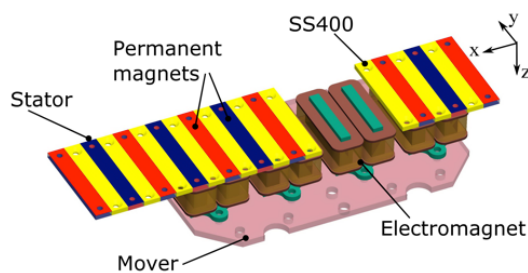


Fig. 4 linear actuator structure

3.1 駆動原理

4組の電磁石に流れる電流の向きを交互に変えることで吸引力、反発力が強く働く向きを変化させる。その吸引力と反発力を推力として浮上スライダ部を駆動させる。そのときの4組の電磁石に流す電流のパターンを Fig.5 に示す。i1 を例にすると、電流と移動距離の関係は式1のように表される。ここで I_m [A]は電流の最大値、最小値の絶対値を、 x [mm]は初期位置からの移動距離を表す。ポールピッチ τ [mm]は20[mm]である。

$$i_1 = \begin{cases} I_m - \frac{4I_m x}{\tau} & (0 \leq x < 10) \\ -I_m & (10 \leq x < 20) \\ -I_m + \frac{4I_m(\tau - x)}{\tau} & (20 \leq x < 30) \\ I_m & (30 \leq x < 40) \end{cases} \dots(1)$$

3.2 シミュレーション

磁場解析ソフト Jmag を用いて Fig.5 の電流を電磁石に流したとき、浮上スライダ部に発生する推力のシミュレーションを行った。Fig.6 に結果を示す。周期的な推力の変動であるコギングが存在し、空隙距離が狭くなると推力が大きくなるのが分かる。また三角関数を用いて推力Fを仮定すると、式2のようになる。このときAはコギングの変動の大きさを表し、Bは推力の平均値となり、ともに空隙距離に左右される。また、位相 ϕ は駆動を始める位置によって変化する。

$$F = A \sin(x + \phi) + B \dots(2)$$

3.3 電磁石・ガイドレール

Fig.7 に製作したガイドレールと電磁石を示す。コイルを2個直列つなぎにした電磁石を4組製作した。電磁石に使用した8個のコイルは巻取り機、取り付け器とABS製のボビンを使用して製作を行った。ABS製のボビンは3Dプリンタで製作した。コイルを2個ずつ直列に接続し、お互いの磁極の向きが反対になるようにしたものを1つの電磁石とした。コイルは $\phi 0.5$ mmの銅線を160回巻いたものを使用し、コイルが解けるのを防ぐためにビニールテープで固定している。

ガイドレールは永久磁石とSS400の配列からなる。永久磁石の磁極が交互になるよう並べ、その間にSS400を配置した。ガイドレールは永久磁石とSS400の配列からなる。用いた永久磁石は寸法3mm×10mm×60mmのN35ネオジム磁石であり3mmの方向に磁化されている。SS400も永久磁石と同じ形状のものを使用した。ガイドレールの全長は600mm、幅は60mmである。

3.4 電圧制御回路

開発/評価ボード(NUCLEO-F401RE)とDCモータードライバIC(TA7291P)、NAND回路IC(SN74HC00N)を使用して電磁石に流れる電圧を制御する装置を製作した。Fig.8に電磁石1組分の回路の全体像を示す。Fig.5に示すような電流を電磁石に流すには電流の向きとその値を制御する必要がある。今回は、電流の値を変化させず、PWM制御を行うことにした。mbedに各電磁石に流す電流の向きを決定する出力とPWM制御のデューティ比を決定する出力の2種類の出力を設け、NAND回路ICとモータードライバを組み合わせたものを4組分作成した。

4. 駆動実験

製作した装置を用いて駆動実験を行った。しかし、滑らかな駆動を実現することは出来なかった。

5. 結言

リニアアクチュエータ機構の製作、推力のシミュレーション、駆動実験を行った。今後はフィードバック制御を用いた駆動実験を予定している。

参考文献

- (1) A.W.B.I. Annasiwaththa "Magnetically levitated linear slider with non-contact power supply"

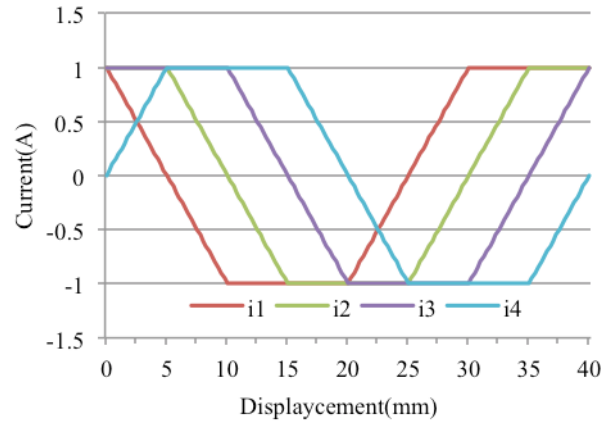


Fig. 5 current flowing in the electromagnets

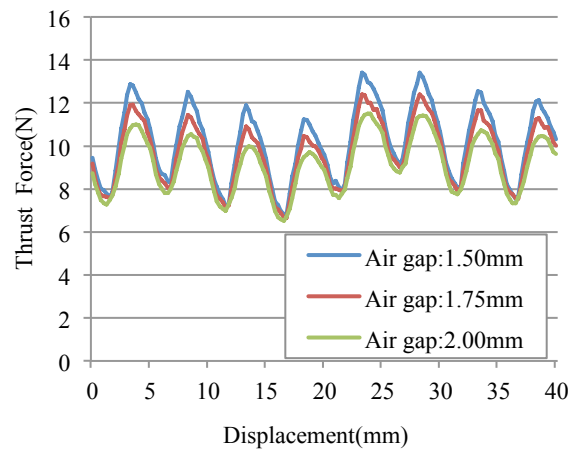


Fig. 6 Thrust power in the different gap distance

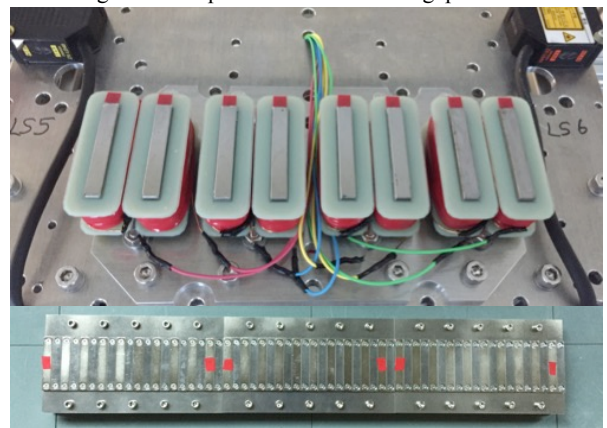


Fig. 7 Guide rail and electromagnet of linear actuator mechanism

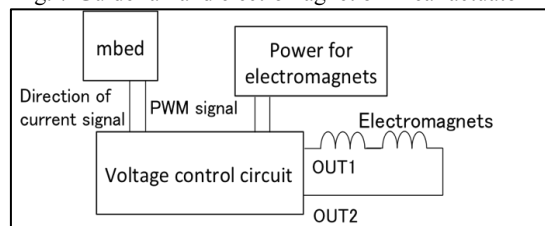


Fig. 8 Voltage control system for Electromagnets