

# 非接触給電磁気浮上リニアスライダーにおける 3 相リニアアクチュエータ

## 3phase Linear Actuator in Magnetically Levitated Linear Slider with Non-Contact Power Supply

知能機械システム工学コース

機械・航空システム制御研究室 1215020 富田 将広

### 1. 緒言

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工程が増加している。機械的接触のない磁気浮上スライダーシステムは、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。このような搬送システムを構築する際にはスライダー部に浮上および駆動制御を行う機構を持つほうが設備の面から有利である。このためには、非接触浮上しているスライダー部に対し電力供給を行う必要があり、現在浮上スライダー部へのバッテリーの搭載や電力供給を行うスペースの設置が行なわれている。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、スライダー稼働時に外部からの非接触給電が可能になれば磁気浮上リニアスライダーの連続的な運用が可能になる。そのようなリニアスライダーを駆動させるためのリニアアクチュエータ機構の製作・走行実験、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ーシステムの設計

#### 2.1 磁気浮上リニアスライダー

図 1 に磁気浮上リニアスライダーの全体像を示す。スライダーシステムは磁気浮上機構、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。構造としては浮上スライダーと浮上スライダーを支持するステータの 2 つに分割することができる。

#### 2.2 ステータ

ステータはアルミフレームと SS400 の板で作成した骨組みに浮上用ガイドレール、給電用のローターとモーター、リニアアクチュエータ用の固定子を設置している。浮上用ガイドレールはスライダーの移動経路と平行になるように取り付けている。非接触給電機構のローターはベルトによってモーターとつながっており、互いにステータに固定されている。リニアアクチュエータ用の固定子はステータ上部に固定した。

#### 2.3 浮上スライダー

浮上スライダーには磁気浮上機構用のハイブリッド電磁石（以下 HEM）、レーザー距離センサ、非接触給電用のオープンエンド型発電機とリニアアクチュエータ用の電磁石を搭載している。浮上スライダーはオープンエンド型発電機を 2 枚のプレートで上下から挟むような構造をしており、上部プレートにはアルミニウムを、底板には SUS304 を使用した。浮上スライダー上部プレートにリニアアクチュエータ用の電磁石を、底板の四隅には HEM と距離センサを取り付けている。距離センサは磁気浮上ガイドレールと HEM の空隙距離を計測できるように固定している。

#### 2.4 磁気浮上機構

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。電磁石を用いて永久磁石による磁力のみで浮上可能な空隙距離にすることを目的としたゼロパワー制御を可能にする役割を担っている。ゼロパワー制御は定常状態での電磁石の消費電力がゼロに近いという利点がある。HEM はネオジウム磁石と軟磁性鋼を鉄心に用いた電磁石で構成されており、直列に接続した 2 つのコイルは  $\phi 0.6\text{mm}$  銅線の 360 回巻きである。図 2 は HEM とガイドレールの形状を示し、図中の矢印は磁束経路を表している。ガイドレールには亜鉛めっき加工をした SS400 を用いた。

#### 2.5 非接触給電機構

図 3 に非接触給電機構に用いたオープンエンド型発電機とローターを示す。図 3 における x 軸方向の発電機のコアの長さは 100mm であり  $\phi 0.5\text{mm}$  銅線の 120 回巻きのコイルを 12 個組み合わせている。ローターには永久磁石を配列しており、ローターが回転するとコイルに電磁誘導による電圧が発生し、スライダー側に対し非接触給電を行う。また発電機のコアに磁性体を用いれば発電量は増加するが、ローターと磁性体の間で働く吸引力が浮上力に影響を及ぼすため、コアの材質として ABS を用いた。

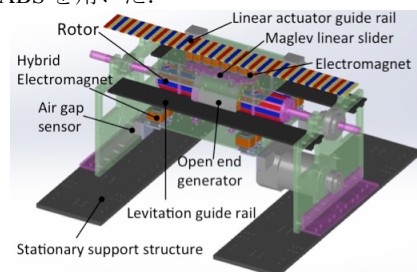


Fig. 1 Overall image of magnetic levitation linear slider

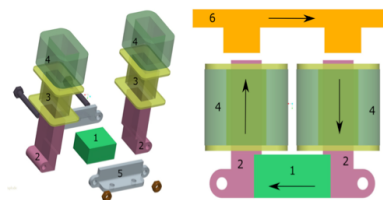


Fig. 2 Guide rail for levitation and HEM  
(1. N50 permanent magnet, 2. 23ZH100 soft magnetic steel core, 3. Plastic bobbin, 4. Copper coil, 5. Mounting plate, 6. Guide rail)

### 3. リニアアクチュエータの製作

図 4 にリニアアクチュエータ機構に用いる固定子と電磁石を示す。リニアアクチュエータは、浮上スライダーの上部プレートに設置した 3 組の電磁石とステータに設置した固定子で構成されている。コイルを 2 個ずつ直列つなぎにしたものを 1 つの電磁石とし、コイルは  $\phi 0.5\text{mm}$  銅線の 160 回巻き、抵抗は  $1.6\Omega$  であった。電磁石のコアには SS400 を用いた。固定子は永久磁石と SS400 の配列からなる。永久磁石の磁極

を交互に並べ、その間に SS400 を配置した。永久磁石は寸法  $3\text{mm} \times 10\text{mm} \times 60\text{mm}$  の N35 ネオジム磁石であり  $3\text{mm}$  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。固定子の全長は  $600\text{mm}$ 、幅は  $60\text{mm}$  である。図 5 に示す  $I_u \sim I_w$  を図 4 中の電磁石 U $\sim$ W に入力した際、電流の位相を  $360^\circ$  分変化させると  $40\text{mm}$  移動するように設計した。

#### 4. SS400 コアを用いた走行実験

リニアアクチュエータ機構とアルミフレームを用いて走行実験を行なった。図 5 に示される電流値を PWM 変換したものを各コイルに入力し、電流の位相を  $0^\circ$  から  $720^\circ$  まで  $10^\circ$  おきに变化させリニアアクチュエータが安定して静止する位置を計測した。ガイドレールと電磁石間には  $3\text{mm}$  の空隙距離を設けた。測定結果を図 7 に示す。理想値と測定値が近い値を取っているが、電流周期に対して線形的に変化していない部分があることがわかる。これは電磁石のコア材 SS400 とガイドレールの間に働く吸引力によるものだと考察した。

#### 5. シミュレーション

スライダをより滑らかに動かすために、FEM 磁場解析ソフトウェア JMAG を用いてシミュレーションを行った。電磁石のコアの材料として SS400 と ABS を使用したモデルを用い電流の位相と推進力の関係を調べた。図 5 に示す電流を各コイルに流したときの解析結果を図 7、8 に示す。推進力はスライダの進行方向と同方向に働くものをプラスとし、逆方向をマイナスとした。推進力がプラスからマイナスに変化する点を安定点と呼び、安定点の位置でスライダは停止する。各位相時の安定点の位置を赤線で示す。SS400 を用いた場合、電流の位相と安定点の位置が線形的に変化していないことが分かった。ABS を用いた場合は線形的に変化していることから、鉄心に用いた SS400 とガイドレール間に働く吸引力が安定点の位置変化に影響していると考えられる。

#### 6. ABS コアを用いた浮上走行実験

コア材に ABS を用いた電磁石を浮上スライダ上部に設置し、浮上走行実験を行った。電流の位相を  $0^\circ$  から  $360^\circ$  まで  $10^\circ$  おきに变化させて位置変化を計測した。ガイドレールと電磁石の空隙距離は  $1.5\text{mm}$  とした。測定結果を図 9 に示す。実測値が電流周期に対して線形的に変化しており、理想値と一致していることがわかる。

#### 7. 結言

電磁石のコア材に SS400 と ABS を使用したリニアアクチュエータ機構の製作・走行実験とシミュレーションを行なった。電磁石のコア材に SS400 を用いた場合は SS400 と永久磁石間に吸引力が発生するためスライダが滑らかに走行しないが、コア材を ABS に変更すれば吸引力が発生しないためスライダが滑らかに浮上走行することがわかった。

#### 文献

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

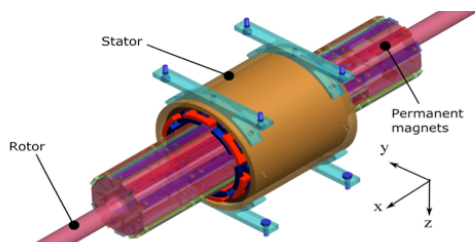


Fig. 3 Open-end generator

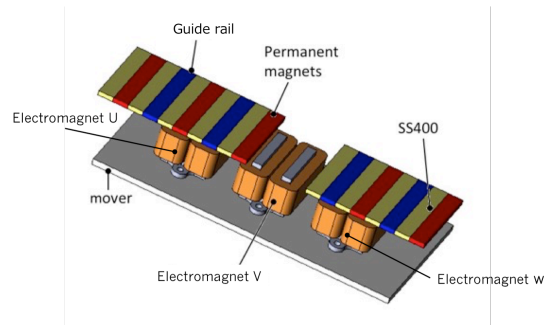


Fig. 4 Linear actuator

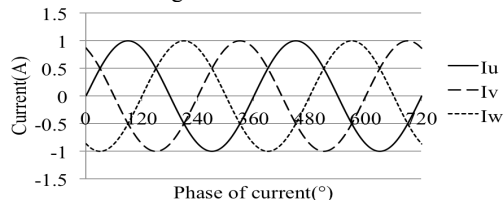


Fig. 5 Each current of the electromagnet

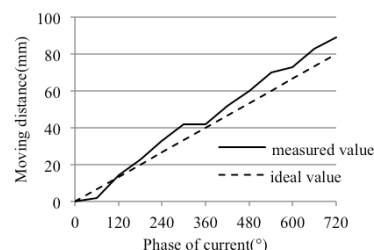


Fig. 6 Result of the running experiment (Core:SS400)

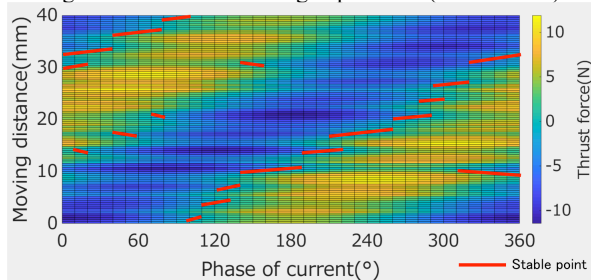


Fig. 7 Relationship of between stable point and phase of current (Core:SS400)

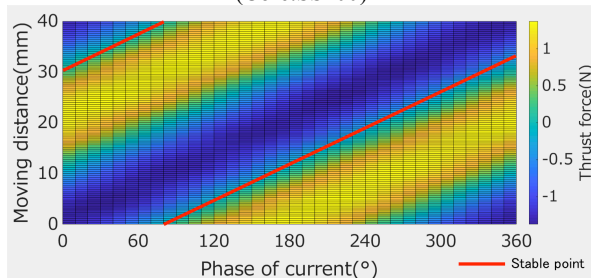


Fig. 8 Relationship of between stable point and phase of current (Core:ABS)

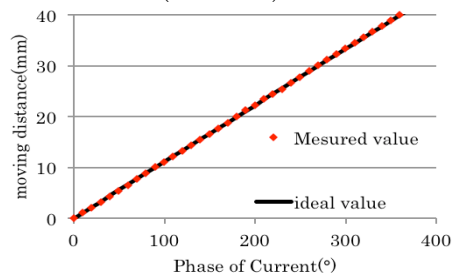


Fig. 9 Result of the levitation running experiment (Core:ABS)