

## 2018 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関名	茨城大学
職位または役職	助教
氏名	北山 文矢

### 1. 研究題目

広周波数帯駆動のための 2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータの開発

### 2. 研究目的

リニア振動アクチュエータは、交流電圧を印加することで電磁力を発生させ、可動部を振動させる機械要素である。小型で任意の周波数、振幅、位相の振動を生成できることから、電気シェーバ、電動歯ブラシ、エアコンプレッサ、アクティブ制振装置で広く用いられている。また、近年ではリニア振動アクチュエータの駆動周波数の広域化によりデバイス性能を向上できることが示唆されている。

これらの要求に対して、フィードバック制御や電磁ダンパの原理を用いたばね定数、ダンパ係数、共振周波数などの固有の特性を随時変化させる手法が考案されてきた。共振周波数に着目すると、前者では 20Hz、後者では 50Hz の変化が確認されているものの、更なる駆動周波数の広域化に対して限界が生じていた。

本研究では、2 つの可動子を有する 2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータを開発する。本アクチュエータは、2 つの可動子に対して異なる質量、ばね定数、ダンパ係数を設定でき、各可動子を独立に駆動させる。それにより、各可動子の物理パラメータに依存した大きく異なる特性が 2 つ表れ、これらの特性を利用することで駆動周波数の更なる広域化を図る。

永守財団 研究助成 2016 において、磁場解析および試作機を用いた測定により 2 軸独立駆動型アクチュエータの動作原理および基本特性を明らかにした。永守財団 研究助成 2017 では、本アクチュエータに対応した制御システムを設計し、制御適用時のアクチュエータ特性を明らかにした。

本アクチュエータでは 2 つの可動子を制御する必要があるため、外部センサも多く必要となる。そのため、駆動装置が高価かつ大型となる傾向にあり、使用用途も限定される。本年度の研究では、各可動子の状態量の 1 つである加速度を推定し、推定値を用いてセンサレス制御を行い、その効果を明らかにする。また、車載制振用ハイブリッドマスダンパへの応用に向けた 2 軸独立駆動型アクチュエータの開発も進めていく。

### 3. 研究内容及び成果

最初に、可動子の加速度を制御する直接慣性力制御を 2 軸独立駆動型アクチュエータに適用した。本制御では各可動子に 1 つずつ計 2 つ加速度センサを取り付け、フィードバック制御を行う。実験結果により、複数の可動子の加速度が目標値に追従することを確認した。

次に、拡張カルマンフィルタを用いて加速度を推定することで、加速度センサを排除する。本推定手法では、非線形要素を含む電気回路方程式、運動方程式を解き、現時刻での電流、各可動子の変位・速度の予測値を求める。そして、測定電流と逐次更新されるカルマンゲインを用いて予測値を修正し、電流、各可動子の変位・速度の推定値を得る。最後に、それらを運動方程式に代入することで加速度の推定値を得る。加速度推定の効果を明らかにするために、推定値またはセンサ値を用いた直接慣性力制御により試作機の 2 つの可動子加速度を同時に制御し、加速度実測値を比較する。図 1 に示すように、推定値を用いた場合でもセンサ値を用いた場合と同様に加速度を制御できた。

次に、車載制振用ハイブリッドマスダンパのためのアクチュエータを設計する。まず、自動車の座部加速度を測定し、本実験においては 40, 80Hz が座部振動の支配的な周波数成分であることを確認した。次に、その知見を基に共振周波数を設定し、40N の慣性力を生成可能な図 2 に示す多極構造の 2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータを設計した。本アクチュエータでは、先行研究で開発した 2 軸独立駆動型アクチュエータの課題である可動子間磁気吸引力を低減するための極数が設定されている。先行研究では 3 極の可動子 1 と 2 極の可動子 2 から構成され、その間で磁気吸引力 10N が生じていた。この磁気吸引力は、可動子の位置決めを阻害するものであるため、組立精度や劣化の影響を受ける機械ばねにより相殺していた。本研究で提案したアクチュエータは 4 極の可動子 1、8 極の可動子 2、2 相 16 個のコイルを有する固定子から構成されており、磁場解析結果から本極数構成により可動子間磁気吸引力を初期位置で 0N と低減できることを確認した。また、図 2(b) に示す試作機も製作した。

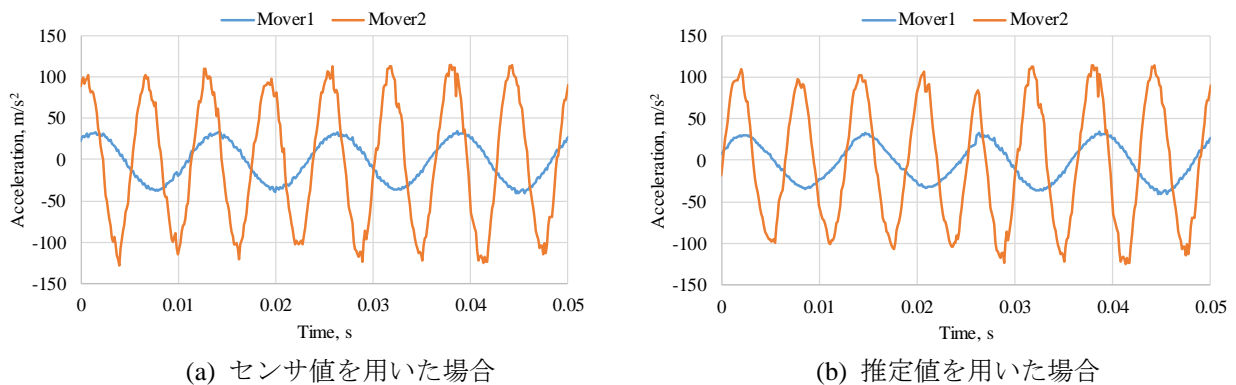


図 1. 直接慣性力制御適用時の加速度実測値

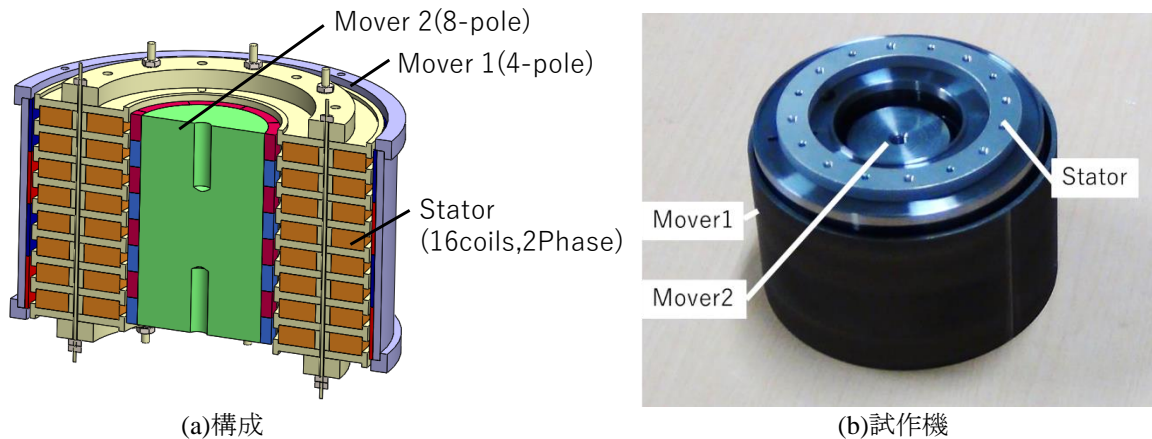


図 2. 多極構造の 2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータ

#### 4. 今後の研究の見通し

---

前章で報告した研究成果により推定値を用いた直接慣性力制御の有効性が確認された。しかし、制御システムの安定性やロバスト性は検証されておらず、推定に用いるパラメータも目標加速度や実験条件毎にチューニングする必要がある。そのため、実利用に向けた制御システムの改良および評価を行っていく。

本制御システムは拡張カルマンフィルタ内部で多数の行列計算を用いるために計算負荷が大きく、本実験の制御機器(dSPACE 社, DS1104)でサンプリング周期は 1.3ms で限界となる。そのため、アルゴリズムや演算方法の変更、非線形要素の一部線形化などによる計算負荷の低減が必要となる。

本研究では制御機器内蔵のデスクトップ PC、オペアンプ、電流プローブで駆動装置を構成していたが、応用のためには駆動装置の小型化が必要である。

本研究成果により多極構造の 2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータの特性が解析結果から検証された。そのため、試作機を用いた実機検証を今後実施していく。また、1 つの可動子しか持たない従来のアクチュエータと本研究で開発したアクチュエータに対してそれぞれ直接慣性力制御を適用し、出力および効率を比較する。

今後は将来の実用化を目指し、永守財団の研究助成により得られた成果を基に社会連携を進めていく。

#### 5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

---

学会発表予定(査読なし)

1. 北山 文矢, 近藤 良「二つの可動子を有するリニア振動アクチュエータの極数構成の検討」, 電気学会リニアドライブ研究会講, 滋賀 (2020)
2. 志賀 柁威, 北山 文矢, 近藤 良「2 つの可動子を有するリニア振動アクチュエータの加速度推定」, 電気学会リニアドライブ研究会, 滋賀 (2020)