

2017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)	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。ギア等の変換機構が不要であり、小型で高速駆動する。更に、制御により任意の周波数、振幅、位相で振動する。このような特徴を有しているため、電気シェーバ、電動歯ブラシ、エアコンプレッサなどの振動を生成する機器および外乱振動を能動的に抑制するアクティブ制振装置で用いられる。

振動を利用する機器においては、1つの機械的共振周波数でリニア振動アクチュエータを駆動させており、共振現象を利用することにより高効率で大きな振動振幅を達成している。機器の多機能化に貢献する多様な振動の生成のためには、高効率に駆動できる周波数帯を広げることが求められる。外乱振動を能動的に抑制する装置において、リニア振動アクチュエータは外乱振動の周波数に合わせて駆動する。自動車用制振装置を一例に挙げると、装置に内蔵されるリニア振動アクチュエータは20～120 Hzの範囲で駆動する。快適性の向上や様々な外乱振動への対策のためには、駆動周波数の広帯域化が必要となる。

本研究では、2つの可動部(可動子1、可動子2)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。このアクチュエータは、2つの可動部に対して異なる質量、ばね定数、ダンパ係数を設定でき、各可動部を独立に駆動させる。それにより、各可動部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広帯域化を実現する。

永守財団 研究助成2016の助成研究において、2軸独立駆動型リニア振動アクチュエータを提案し、磁場解析および実機検証により動作原理および基本特性を明らかにした。本助成研究では、振動を利用する機器向けの振幅一定制御および外乱振動を能動的に抑制する機器向けの制振制御を提案アクチュエータに実装し、その効果を検証する。

3. 研究内容及び成果

まず、PI 制御と振幅検出器を用いた振幅一定制御を提案アクチュエータに実装した。本制御システムでは、所望の可動子を所望の周波数、振幅で駆動させる。本研究では、駆動効率を考慮して、目標駆動周波数を 120Hz 以下とするときに可動子 1 を、目標駆動周波数を 120Hz 以上とするときに可動子 2 を駆動可動子とした。本制御システムでは、駆動可動子の変位をセンサから取得し、ハイパスフィルタによりオフセット成分を除去する。その後、擬似微分により速度を算出し、速度のゼロクロス点(0 を通過する時刻)における変位から、振動振幅を検出する。検出した振動振幅と目標振幅の偏差を用いた PI 制御により制御入力を決定する。制御入力と目標駆動周波数から指令電流を生成する。無負荷時、負荷(6N のクーロン摩擦)付与時において、目標振幅 0.2mm として試作機に対して振幅一定制御を行った。無負荷時と負荷付与時における定常状態の振動振幅および電流振幅の測定結果を図 1 に示す。図 1(a)の振動振幅をみると、全ての周波数帯で概ね目標値付近に達していた。そして、図 1(b)に示す通り、無負荷時、負荷付与時の両条件において可動子の共振により 76Hz、149Hz 周辺で励磁電流が低下した。このように、2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータに振幅一定制御を適用することで、2 箇所周波数帯において低電流で振幅一定駆動できることを明らかにした。

提案アクチュエータをハイブリッドマスダンパとして扱い、制振制御を実装した。本研究では、制振対象を 2 質点系の機械とし、制振対象にインパルス加振を与えた時に生じる振動加速度を提案アクチュエータの駆動により減衰させる。本制御システムでは、可動子 1 を低周波数帯制振用、可動子 2 を高周波数帯制振用と設定し、各可動子に対して位置・速度フィードバック制御を行うことで制振に適した電磁力を発生させる。図 2 に運動・制御・電磁場の連成により構築された制振シミュレーションの結果を示す。図 2 から、制振制御によって幅広い周波数成分を含む外乱振動を抑制できることを示した。次に、2 質点系の機械、加速度センサ、位置センサで構成される図 3 のテストベンチを製作した。ハンマーによりインパルス加振を与え、制振制御を実装したアクチュエータにより機械に生じる加速度を減衰させる。制振制御適用によりわずかに加速度の低減が見られる測定結果も存在したものの、シミュレーション結果のような効果的な加速度低減は確認されなかった。

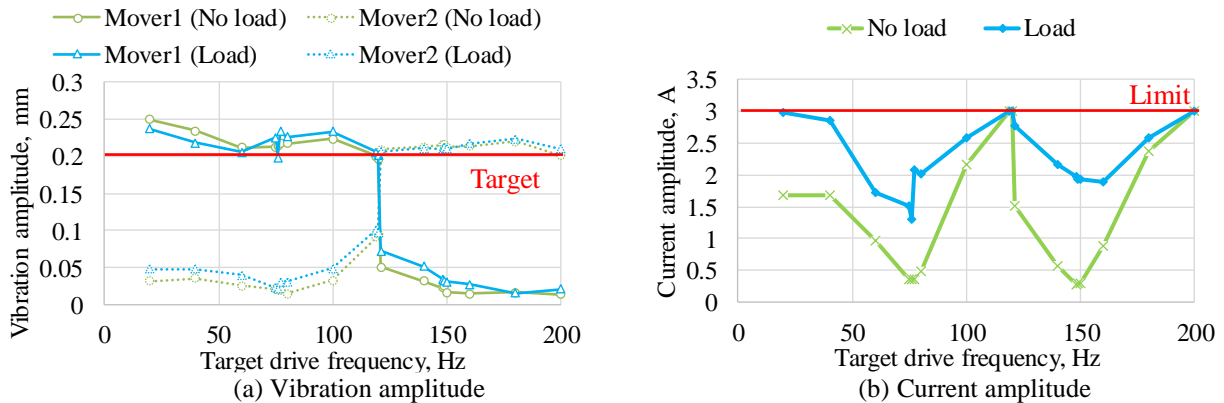


図 1. 振幅一定制御実験結果

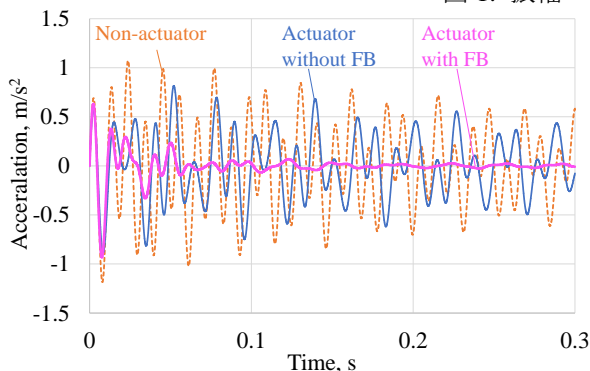


図 2. 制振シミュレーション結果

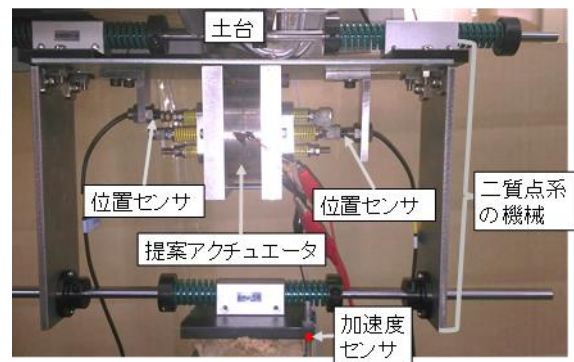


図 3. 制振実験装置

4. 今後の研究の見通し

前章で報告した研究成果により振幅一定制御適用時の提案アクチュエータの効果を明らかにした。しかし、図2に示した通り偏差は残っており、磁気漏れにより駆動可動子以外の可動子がわずかに振動した。加えて、低周波数帯で振動波形に歪みを含む。振動生成に精度が必要な用途では、磁気回路の見直し、パラメータ調整により上記の問題を改善する必要がある。

前述した通り、制振シミュレーションにより制振制御適用時の提案アクチュエータの効果は明らかにされたが、実機で検証されていない。制振実験では制振対象の物理パラメータが制振シミュレーションで設定した値と異なり、センサ値にノイズも含まれる。そのため、フィルタ係数やフィードバックゲインを再調整する必要がある。また、実験者によるハンマリングによってインパルス加振を与えているため、測定結果にばらつきが生じやすい。加振方法の変更や加振力のモニタリングによってこのばらつきを抑える必要がある。永守財団研究助成 2018 の助成研究の一部で実験装置を改良し、制振制御適用時の提案アクチュエータの効果を検証する。

2016、2017 年度の助成研究により提案アクチュエータの動作原理、基本特性、制御適用時特性は一部を除き解明された。今後は、車載制振用ハイブリッドマスダンパに適用対象を絞り、実用に向けたアクチュエータ開発、制御系設計、解析、実験を実施する。まず、自動車に加速度センサを取り付け、車両、座席、ハンドル等の主要部分の振動加速度を測定する。測定された加速度および先行研究を基に 2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータの目標仕様、設置場所を決定する。目標仕様を満たすよう、磁気回路、機械構造、制御系を設計し、試作機を製作する。自動車に 2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータを取り付け、制振性能を評価する。加えて、1 つの可動子しか持たない従来のアクチュエータと比較し、実利用における提案アクチュエータの有用性を明らかにする。

次に、2 軸独立駆動型リニア振動アクチュエータの制御システムの乱雑化を解消する。提案アクチュエータは 2 つの可動子を有しているため、制御適用時に各可動子の状態(位置、速度、加速度等)を測定するための外部センサが可動子の数分必要となる。それにより、制御システムが高価かつ大型となり、使用範囲が限られる。そこで、電圧・電流・逆起電圧を用いた各可動子の位置・速度・加速度推定を行い、外部センサを撤去する。

これまでの基礎研究の成果を基にしたこのような応用研究を遂行することで、実用化を目指す。

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

学術論文(査読あり)

1. 北山 文矢, 平田 勝弘, 近藤 良, 佐藤 駿「二つの可動子を有するリニア振動アクチュエータの実機検証」, 日本 AEM 学会誌 Vol.26, No. 2, pp.286-291 (2018)
2. 北山 文矢, 平田 勝弘, 近藤 良「三入力駆動する二つの可動子を有するリニア振動アクチュエータの提案」, 日本 AEM 学会誌 Vol.26, No. 1, pp.109-114 (2018)

学会発表(査読あり)

3. F. Kitayama, K. Hirata, R. Kondo “Linear Oscillatory Actuator with Two Independently Drivable Movers”, Proceedings of XXIIIrd International Conference on Electrical Machines (ICEM'2018), Alexandroupoli, Greece, AF-003913 (2018)

学会発表(査読なし)

4. 北山 文矢, 近藤 良, 平田 勝弘 「2 つの可動子を有するリニア振動アクチュエータの振幅一定制御」電気学会 回転機・リニアドライブ・家電・民生合同研究会資料, 大阪, LD-18-028 (2018)
5. 北山 文矢, 平田 勝弘, 近藤 良「二つの可動子と三相巻線を有するリニア振動アクチュエータの提案」, 第 29 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (SEAD29) 講演論文集, 岡山, pp. 459-464 (2017)