

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	電磁力駆動系における感温磁性体の応用と省エネルギー化
Title(English)	
著者(和文)	浜維志
Author(English)	Tadashi Hama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10866号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:進士 忠彦,初澤 毅,吉田 和弘,吉岡 勇人,只野 耕太郎,佐藤 海二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10866号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	メカノマイクロ工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	浜 維志		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	進士 忠彦 教授	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	佐藤 海二 教授	

### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「電磁力駆動系における感温磁性体の応用と省エネルギー化」と題し、全 6 章により構成されている。

第 1 章「緒論」では、様々なアクチュエータの特性について述べた上で、電磁アクチュエータが多くの点において優れた特性を有するために応用範囲が広く、アクチュエータを含む電磁力駆動系に対して求められる要求性能は近年益々厳しくなっており、その向上が必要であることを指摘している。本論文の目的は、電磁力駆動系において高加速・高速性能と高い運動精度を両立するための方法と、小さな消費エネルギーでの静的推力発生と高応答性を両立するための方法を提案し、特に後者においては、永久磁石と感温磁性体を利用した新しいアクチュエータを実現し、有効性を検証することである、と述べている。

第 2 章「高加速・高速電磁力駆動系の高精度制御」では、電磁力駆動系で高加速・高速性能と高い運動精度を両立する上で障害となる、機構の顕著な非線形性の問題を解決する方法について検討している。まず、強い非線形性を有する超高加速・高速リニアモータに、非線形性を個別に補償できる基本的な運動制御系を適用し、その制御性能を明らかにした結果、運動の加速度・速度が増大するとともに追従誤差が増加する一方、その誤差が高い再現性を有することを確認している。次に、その結果を踏まえ、学習機能を有するフィードフォワード制御器を適用し、複雑なモデルを用いない運動制御系を構成して、その性能を評価している。結果として、周波数 20 Hz、振幅 10 mm の正弦波運動において、追従誤差の最大値が 1.62  $\mu\text{m}$  となり、当初の運動制御系を使用した場合の約 1/4 と、大幅に低減できている。

一方で、高推力時には消費電力が大きく、特に静的な推力発生時の消費電力を制御系の改良により低減することは不可能である。この問題は、広く電磁力駆動系の課題であるとし、高推力時の消費電力低減を実現できる新しいアクチュエータの必要性を指摘している。

第 3 章「感温磁性体を用いた小型省エネルギーアクチュエータ」では、一定の高推力を連続的かつ小さな消費電力で供給できる小型アクチュエータの実現について検討している。まず、低消費電力での高推力の発生と高応答性の両立のためには、一定の推力を小さな消費電力で発生できる可変バイアス要素と、高応答な運動を生成できる高応答要素を融合したハイブリッドアクチュエータを実現すべきであると述べている。次に、可変バイアス要素として、永久磁石と感温磁性体の組み合わせを用いた、可動子の位置によらず一定の推力を発生できるアクチュエータの提案・設計を行っている。そして、アクチュエータの特性を実験的に調べ、連続定格推力と連続推力発生時の消費電力の両者において、従来の電磁リニアモータに対する優位性を明らかにしている。また、温度応答特性を実験的に明らかにし、これをモデル化するとともに、このモデルを利用した位置制御系を構成し、安定性向上のためにばねを設置した状態で、位置決め時の定常偏差を 20  $\mu\text{m}$  以下にしている。

第 4 章「静的推力発生時の省エネルギー化と高応答を両立するハイブリッドアクチュエータとその基本特性」では、可変バイアス要素に高応答運動を生成できる電磁駆動要素を融合したハイブリッドアクチュエータを提案し、その性能を評価している。本アクチュエータでは、両要素間で磁気回路構成要素を共有し、高応答要素のコイルの発熱を可変バイアス要素に転換する構造を採用することにより、構造の小型化・簡素化を可能としている。試作アクチュエータは、可動子変位によらずほぼ一定の推力特性を示し、可変バイアス力を一定に保つための消費電力は、真空環境下において 26.3 N 発生時に 1.9 W で、大気中の場合と比較し約 1/10 となり、封止構造を簡略化できる常温のキセノンを使用した場合においては、大気中の場合の 1/3 以下に低減できることを確認している。さらに、同じ大きさの電磁アクチュエータに対して、定格推力、消費電力共に優位性を示すことを確認している。

第 5 章「ハイブリッドアクチュエータの制御性能」では、ハイブリッドアクチュエータの応用を想定し、位置・制振制御系を構成して、制御性能を実験的に明らかにしている。まず、位置制御系を構成し、1 kg の質量を搭載し荷重を加えた場合において、サブミクロンオーダーの位置決め精度を実現している。次に、ハイブリッドアクチュエータの鉛直制振メカニズムへの応用を想定し、スカイフック制御系を構成した結果、高周波領域で振動減衰性能が低周波領域に比べて低いものの、アクティブ制振メカニズムとして有効に機能することを確認している。

第 6 章「結論」では、本研究を総括するとともに、今後の課題について述べている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	メカノマイクロ工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 工学 )
学生氏名 : Student's Name	浜 維志		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	進士 忠彦 教授	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	佐藤 海二 教授	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

In chapter 1, the background and the purpose of this study were described. Electromagnetic actuators are widely used due to their many excellent characteristics compared to other types of actuators, and they are desired to improve their performance increasingly. The purpose of this thesis is to clarify a method of realizing high motion accuracy in high-acceleration and high-speed motions, and a method of realizing high-response motion to be achieved in combination with a large continuous force with low energy consumption. For realizing the latter characteristics, a novel actuator with the combination of permanent magnets (PMs) and temperature sensitive magnetic materials (TSMMs) is proposed.

In chapter 2, a method of realizing the precision motion control in high-acceleration and high-speed motion was clarified. The linear motor designed for high-acceleration and high-speed motion has a prominent nonlinearity due to use of cored electromagnets and saturation characteristic, and the nonlinearity strongly tends to increase tracking error in high-acceleration and high-speed motions. In order to solve this problem, the learning controller was used, which made the tracking error largely reduced.

In chapter 3, an actuator for generating a large constant force with low energy consumption was proposed. The actuator includes TSMMs and PMs, and the characteristics were investigated experimentally.

In chapter 4, a hybrid actuator that provides high-response motion to be achieved in combination with a large continuous force with low energy consumption was proposed. The element for generating a high-response electromagnetic force was fused with the element based on the actuator proposed in chapter 3. The characteristics of the hybrid actuator were examined experimentally, and advantages were indicated compared to a cored electromagnetic linear motor in terms of its rated thrust force and power consumption in a vacuum atmosphere.

In chapter 5, control performances of the prototype hybrid actuator were investigated experimentally. With basic control systems, a positioning control and an active vibration control were successfully conducted.

In chapter 6, summary and future works were described.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).