

|          |  |
|----------|--|
| 氏名（本籍）   | 山田博行（岐阜県）  |
| 学位の種類    | 博士（工学）   |
| 学位授与番号   | 甲第 266 号   |
| 学位授与日付   | 平成 17 年 9 月 14 日   |
| 専攻       | 生産開発システム工学専攻   |
| 学位論文題目   | セルフセンシングアクチュエータとその情報機器制御への応用に関する研究<br>(Self-sensing actuators and its application to information equipments control) |
| 学位論文審査委員 | (主査) 教授 佐々木 実<br>(副査) 教授 川崎 晴久 教授 谷 和男<br>助教授 伊藤 聡   |

## 論文内容の要旨

来るべき本格的なマルチメディア時代の到来を見据えて、今や情報機器の中心となっているハードディスクドライブの高速化・高密度化を実現する研究開発が盛んに行われている。なかでも、マクロ・マイクロな2つのアクチュエータを用いた2ステージサーボ機構系は、総合的に超高速・超高精度なヘッド位置決め制御が行えることで、ハードディスクドライブの性能向上に大きく貢献するものと考えられ注目を浴びている。しかしながら、2ステージ化による広帯域化に伴い発生する振動モードや外乱も広帯域化となり、これらをセンシングするためにはさらに広いセンシング帯域や高いサンプリング周波数が必要となる。また、PES(Position Error Signal)をサーボデータに利用した追従制御の場合にもこれらの理由で限界であると思われる。

次世代ハードディスクドライブ用マイクロアクチュエータとして注目されている圧電材料は、外部から力を加えられ歪むことによりその電極間に電圧を発生する圧電効果という特性を持ち、逆に電圧を加えることによって歪みを発生する逆圧電効果という特性も併せ持つ。また近年、圧電材料の圧電・逆圧電特性のアクチュエーションとセンシングメカニズムを同時に行うセルフセンシングアクチュエーション法が提案され様々な研究がなされてきている。セルフセンシングを用いた共配置制御は構造の閉ループ系の安定に対して多くの有利な点を持っており、同時に単一のセンサと比べ多くの優れた特性を持ち、外部センサが不要なため、システムの簡素化・コスト削減などが実現できるものと期待されている。

圧電素子(PZT)を微動用アクチュエータとしてサスペンション内部に搭載した2ステージサーボシステムによるハードディスクドライブ高性能化に関する国内外の研究状況としては、1対のPZTマイクロアクチュエータの一方をアクチュエータとして使い、もう一方を振動センサとして用いる方法が提案されているが、セルフセンシングの応用研究は

皆無である。また、マイクロアクチュエータのセルフセンシングに基づく2ステージハードディスクドライブ制御系の研究を行うことにより、マスタ・スレーブ型など直接マイクロアクチュエータのセンシング信号を必要とする2ステージ制御系の実現が容易に可能となる。

以上のような背景に鑑み、本論文では、従来の情報機器に圧電素子という機能性材料を融合した高速・高精度な情報機器の実現に必要な基礎的技術の確立とその応用を示す事を目的とし、圧電素子の有するセンサ/アクチュエータ機能を同時に満足するセルフセンシングアクチュエータに着目し、情報機器への適用法について検討する。始めに、セルフセンシングに関する検討として「圧電アクチュエータの力制御」を考え、得られた知見を情報機器制御へ応用した例を示す。具体的には「ハードディスクドライブ用マイクロアクチュエータの制御」について検討する。また、圧電素子の特性変化や非線形性を適応的に補償する目的で、「ニューラルネットワーク制御系の情報機器への適用」を試みる。

本論文において、得られた結果を要約すると以下のようなになる。

#### 1. 圧電アクチュエータの力制御

リアプノフの安定性理論に着目し、対象物を考慮したシステム全体を漸近安定化する制御則をリアプノフの直接法を用いて導いた。この結果より導出される制御則を、ブリッジ回路を用いたセルフセンシングアクチュエータを構成することで実現した。次に、逆システムを含むフィードフォワードとセルフセンシングフィードバックを組み合わせた2自由度制御系を設計し、圧電アクチュエータの力制御を行い、制御系の有効性について数値シミュレーションおよび実験より検証した。

#### 2. ハードディスクドライブ用マイクロアクチュエータの制御

スライダ駆動型、サスペンション駆動型それぞれ搭載位置の違うマイクロアクチュエータをセルフセンシングとして機能させ、サスペンション振動モードの一部を観測する事ができるひずみ速度、ひずみに関する2種類のセンサ出力を得ることが出来た。次に、追従性および安定性を向上させるために、逆システムによるフィードフォワードとCC/RCブリッジ回路によるセルフセンシングフィードバックを組み合わせた2自由度制御系を構成し、数値シミュレーションおよび実験による検証を行い、モデル化誤差に対するロバスト性を確保しつつ、安定性と追従性を向上させることが出来た。

#### 3. ニューラルネットワーク制御系の情報機器への適用

セルフセンシングマイクロアクチュエータによるセンサ出力を利用することで、外部センサを必要としないニューラルネットワークを設計することができた。

以上、セルフセンシングシステムが情報機器の制御に十分利用可能であることを「ハードディスクドライブ2ステージサーボシステム用マイクロアクチュエータの制御」を例に具体的に示したことで、セルフセンシングアクチュエータの有用性は大きいと思われる。マイクロアクチュエータをセルフセンシングシステムとして機能させることで、マイクロアクチュエータ部のサンプリング問題とセンシング問題を解決できる可能性があり、これらの問題が解決できれば2ステージアクセスサーボ機構系を容易に実現でき、その他の精

密位置決めが必要な情報機器への応用範囲も広がるものと考えられる。

ニューラルネットワークは、非線形写像能力による非線形制御の実現、学習・汎化能力により制御対象の事前情報なしで制御系を構成できる点が特徴で、本論文でもこれらを積極的に利用し、情報機器の制御に応用した。さらにセルフセンシングアクチュエータをニューラルネットワーク学習に利用した制御系を構築出来る見通しを得た。また、本論文のようにオンライン・リアルタイム制御が可能になれば、製品の個体差への対応、環境による変化や経時変化への対応も可能であるものと考えられる。

## 論文審査結果の要旨

本論文では、従来の情報機器に圧電素子という機能性材料を融合した高速・高精度な情報機器の実現に必要な基礎的技術の確立とその応用を示す事を目的とし、圧電素子の有するセンサ/アクチュエータ機能を同時に満足するセルフセンシングアクチュエータに着目し、情報機器への適用法について検討する。始めに、セルフセンシングに関する検討として「圧電アクチュエータの力制御」を考え、得られた知見を情報機器制御へ応用した例を示す。具体的には「ハードディスクドライブ用マイクロアクチュエータの制御」について検討する。また、圧電素子の特性変化や非線形性を適応的に補償する目的で、「ニューラルネットワーク制御系の情報機器への適用」を試みる。

本論文において、得られた結果を要約すると以下ようになる。

### 1. 圧電アクチュエータの力制御

リアプノフの安定性理論に着目し、対象物を考慮したシステム全体を漸近安定化する制御則をリアプノフの直接法を用いて導いた。この結果より導出される制御則を、ブリッジ回路を用いたセルフセンシングアクチュエータを構成することで実現した。次に、逆システムを含むフィードフォワードとセルフセンシングフィードバックを組み合わせた2自由度制御系を設計し、圧電アクチュエータの力制御を行い、制御系の有効性について数値シミュレーションおよび実験より検証した。

### 2. ハードディスクドライブ用マイクロアクチュエータの制御

スライダ駆動型、サスペンション駆動型それぞれ搭載位置の違うマイクロアクチュエータをセルフセンシングとして機能させ、サスペンション振動モードの一部を観測する事ができるひずみ速度、ひずみに関する2種類のセンサ出力を得ることが出来た。次に、追従性および安定性を向上させるために、逆システムによるフィードフォワードとCC/RCブリッジ回路によるセルフセンシングフィードバックを組み合わせた2自由度制御系を構成し、数値シミュレーションおよび実験による検証を行い、モデル化誤差に対するロバスト性を確保しつつ、安定性と追従性を向上させることが出来た。

### 3. ニューラルネットワーク制御系の情報機器への適用

セルフセンシングマイクロアクチュエータによるセンサ出力を利用することで、外部

センサを必要としないニューラルネットワークを設計することができた。

以上、セルフセンシングシステムが情報機器の制御に十分利用可能であることを「ハードディスクドライブ 2 ステージサーボシステム用マイクロアクチュエータの制御」を例に具体的に示したことで、セルフセンシングアクチュエータの有用性は大きいと思われる。マイクロアクチュエータをセルフセンシングシステムとして機能させることで、マイクロアクチュエータ部のサンプリング問題とセンシング問題を解決できる可能性があり、これらの問題が解決できれば 2 ステージアクセスサーボ機構系を容易に実現でき、その他の精密位置決めが必要な情報機器への応用範囲も広がるものと考えられる。

ニューラルネットワークは、非線形写像能力による非線形制御の実現、学習・汎化能力により制御対象の事前情報なしで制御系を構成できる点が特徴で、本論文でもこれらを積極的に利用し、情報機器の制御に応用した。さらにセルフセンシングアクチュエータをニューラルネットワーク学習に利用した制御系を構築出来る見通しを得た。また、本論文のようにオンライン・リアルタイム制御が可能になれば、製品の個体差への対応、環境による変化や経時変化への対応も可能であるものと考えられる。

本研究成果が実用化されれば、さらに様々な分野に応用拡張が可能であり、その社会的貢献度は少なくない。よって、本論文は学位論文に値するものであると判定した。

## 最終試験結果の要旨

平成 17 年 8 月 24 日に学位論文の内容を中心として、またこれに関する事項について諮問を行った結果、合格と認めた。