

審査の結果の要旨

氏名 北吉 良平

本論文は、「システム同定と数理最適化に基づいた制御器自動設計と精密位置決め装置への応用に関する研究」と題し、機械の線形・非線形特性を機械の駆動データから同時に解析し、その解析結果を用いて所望の制御性能を実現できる制御器を自動的に設計する技術を提案したものであり、全7章の構成となっている。

近年、産業界では工場自動化のニーズの高まりに伴って、自動化装置の主要部品の1つであるサーボモータのニーズが非常に高まっている。サーボモータは半導体製造装置や産業用ロボットなど高速高精度な位置決め動作を実現する装置に用いられるため、環境の変化や外乱へのロバスト性や目標位置に到達するまでに要する時間(整定時間)が性能指標として重視される。これらの性能は、サーボモータを装置に取り付けた際の制御パラメータの調整の巧拙に大きく左右されるため、調整は非常に重要な工程である。特に精度が必要な装置においては、熟練の作業員が経験に基づいて調整工程を実施しているが、人手による調整作業は時間を要するため、自動的に制御器の調整が可能となる、使いやすい(Easy to Use)機能の開発も行われている。しかし、自動調整機能を用いて全ての機械を調整できるまでには至っておらず、より実用的かつ高性能な制御器の自動調整手法が求められている、としている。

第1章「背景：システム同定・制御器の自動調整の歴史とその意義」では、サーボモータが必要とされる原因である工場自動化のニーズの高まりについての社会的な要因や、ICT技術の発展による大量の駆動データの利活用の広がりについて説明している。そして、自動調整技術およびシステム同定技術がどのような発展を遂げてきたかを述べている。

第2章「産業界における自動調整の課題」では、現状のサーボモータに実装されている自動調整機能を紹介しつつ、駆動データの利活用が限定的になっていることを示している。

そして、第3章「時系列データと周波数データの両方を用いたハイブリッド同定」では研究で調整対象とする産業機器・実験装置の構成を説明した上で、サーボモータを用いて加振し、得られた駆動データから制御対象の線形・非線形特性を分離・解析している。本来、機械の非線形特性を解析するには、非線形特性に合った別の実験を行う必要があるが、本研究では複数の非線形性のモデルを解析時に陽に考慮し、周波数解析と時系列解析を共に行う「ハイブリッド同定」を行うことで加振指令から線形性と非線形性の分離・解析を可能としている。本章で得られた解析結果は、第4章・第5章における制御器の自動設計に活用されている。

第4章「FB制御器のデータ駆動型自動調整」では、制御対象の線形特性を基に、Structured H_{∞} 制御と呼ばれる固定構造の制御システムに対して、所望の制御特性を与えるパラメータを設計する手法を用いることで、FB(FeedBack)制御器の自動調整を実現した内容を説明している。従来、Structured H_{∞} 制御の適用は、制御器の構造が固定された場合に限定されていたが、基底フィルタ(Basis filter)という筆者が提案したフィルタ群を導入することで、構造の最適化とより実用的な制御器設計を可能とし、制御性能を向上させた結果を示している。

第5章「FF制御器のデータ駆動型自動設計」では、解析から得られた線形特性と非線形特

性の両方を用いて、FF (FeedForward) 制御器を設計し目標値応答性の向上と非線形特性により発生する誤差の抑制を実現している。具体的には、ハーモニック減速機を制御対象として、その線形特性と摩擦モデルを利用した、FF 制御器を設計し実験にて目標値応答性の大幅な向上と位置決め誤差の低減を確認した。

第6章では、解析した線形特性と実際の機械の特性が異なっていた場合に、駆動データを周波数解析することで特性が異なっている周波数帯域を特定し、最も特性が異なっていると思われる周波数周辺に対して再同定を実施し、伝達関数モデルを更新し制御器を自動調整することで、制御性能を劣化させることなく再調整することを可能とした。

最後に、第7章では、本研究のまとめを述べるとともに、今後の課題について述べることで、本論文のまとめとしている。

以上これを要するに、本論文は、サーボモータの制御器のパラメータおよび制御器構造の自動調整を実現するために、制御対象のシステム同定手法の理論構築と数値最適化を用いた自動調整手法を確立させ、様々な線形・非線形特性を持つ制御対象に対して、駆動データの取得と線形・非線形特性の解析を実施し、解析結果から制御器の自動調整が可能であることを実験結果により示すことで、その有効性を明確化したもので、先端エネルギー工学、制御工学、情報工学、電気電子工学などの分野への貢献が少なくない。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 2021 字