

別記様式第 10 号（第 8 関係）

博士論文の要旨及び審査結果の要旨	
氏名	佐藤 馨
学位	博士（工学）
学位記番号	新大院博（工）第 539 号
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名	MLD モデルに対する予見制御理論の構築とセミアクティブ振動制御問題への応用
論文審査委員	主査 教授・平元 和彦 副査 教授・安部 隆 副査 教授・松原 幸治 副査 准教授・横山 誠
<p>博士論文の要旨</p> <p>構造物や自動車のサスペンション系などの機械系の振動制御法として、パッシブ型、アクティブ型、セミアクティブ型がある。パッシブ型は、固定のばねやダンパを適切に調整して系全体が所望の振動特性を達成するように設計するものであるが、対象の経年変化やモデル化誤差による性能低下の問題がある。アクティブ型は、外部からエネルギーを供給して制御対象に対し制御力を与えることで能動的に制振を行うが、アクチュエータのエネルギー消費が大きいことが問題である。セミアクティブ型は、剛性・減衰特性が外部指令により可変であるデバイスを用いることで、系の状態や外乱に応じて系全体を所望の特性に変化させる。系自体がもつエネルギーを積極的に利用・散逸させるなどしてアクティブ型制振装置のような効果を実現し、パッシブ型の問題を解決する。動作に必要な外部エネルギーはアクティブ型に比べ非常に小さいことに加えて、外部からエネルギー供給しないという原理上、エネルギーは散逸するのみであり、制御によって不安定化することはない。しかし、系が持つエネルギーを利用することから、セミアクティブ制御デバイスの発生力に関する制約は時々刻々と変化する。このため、アクティブ型では制御対象を時不変モデルとして記述できるのに対し、セミアクティブ型においての制御対象は時変モデルとしての側面を持つため、数学的記述が複雑となる。</p> <p>一方、振動制御の展開として予見制御の応用がある。予見制御とは、将来の外乱や目標値情報を既知として扱う制御理論である。アクティブ振動制御において予見制御理論が有効であることは多く報告されているが、セミアクティブ型制御系での予見制御理論の適用例は比較的少ない。</p> <p>本研究では、時変系であるセミアクティブ振動制御において制約を考慮した予見制御理論の提案を主目的とする。その有効性を示すため、構造系とサスペンション系に対してそれぞれ実装例を示す。予見制御理論の構築は、将来の外乱を考慮した形式で混合論理的動的（MLD）モデル向けの制御理論を拡張することで行う。また、計算時間の抑制のため、実装時には提案制御手法の解計算をニューラルネットワーク近似することで計算負荷の抑制を行う。</p> <p>第一章では、セミアクティブ振動制御を中心に振動制御問題の現状とその課題について</p>	

述べた。

第二章では、本研究で取り扱うモデル表現手法、制御理論について説明し、実装において用いる人工ニューラルネットワークの基礎理論について述べた。

第三章では、本研究で提案する混合論理的モデル表現に基づく予見制御を地震動発生時の構造系における振動制御問題へ適用し、その有効性を示している。このとき、地震波形の推定と計算時間の抑制のため、提案手法である混合論理的モデル表現に基づく予見制御を近似するニューラルネットワークを用い、その性能を従来手法と比較することで実装可能かつ高性能な制御系が実現できることを示した。

第四章では、本研究で提案する混合論理的モデル表現に基づく予見制御を、走行時車両のサスペンション系における振動制御問題へ適用した事例を示し、その有効性を示した。このとき、計算時間の抑制のため、提案手法である混合論理的モデル表現に基づく予見制御を近似するニューラルネットワークを用い、その性能を従来手法と比較することで実装可能かつ高性能な制御系が実現できることを示した。

第五章では、本研究における成果をまとめるとともに、今後の課題を述べている。

以上で示された **MLD** モデルに基づく予見動作を含むセミアクティブ制御系の系統的な設計手法とそのニューラルネットワークによる近似によって、高度な制御性能を達成するセミアクティブ制御器の比較的低速・低容量のコンピュータへの実装が可能になり、工学的に有用な結果が得られたと言える。

審査結果の要旨

本研究は、力学的制約から制御系設計が困難になるセミアクティブ振動制御問題において、**MLD** 表現に基づくモデル化とそれに基づく予見動作を導入した制御系設計手法を扱っており、機械力学や制御工学に関する研究に位置づけられる。

セミアクティブ振動制御デバイスを含む制御対象の **MLD** モデル表現により、複雑な制約を持つセミアクティブ制御問題を有限時間で数値解が得られかつ汎用ソルバも存在する **MIQP** (混合二次計画) 問題に帰着することが可能になった。さらに、予見動作の導入により、外乱の未来情報を利用した振動制御系が可能になり、制御性能の向上が達成されている。また、制御器の入出力関係をニューラルネットワークで近似することにより、制御器の実装の困難性を克服し、車載可能な程度の速度・容量を持つコンピュータへの実装を可能としている。

これらの結果は、車両や構造系のセミアクティブ振動制御系設計において、高い制御性能と実装の容易さを同時に達成する手法を提案したものである。振動制御の分野において、大きな進歩を達成しており、今後当該分野に大きく貢献することが期待される。

よって、本論文は博士 (工学) の博士論文として十分であると認定した。