

2019年 8月21日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学専攻
学位審査委員会
委員長 三浦 博己 

論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、学位審査会を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Abdallah Farrage Abdelrahiem Farrage		学籍番号	第169104号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学専攻	
博士学位 論文名	Adaptive Nonlinear Control and Friction Compensation for Precision Motion and Energy Saving of Multi-Axis Industrial Systems (多軸産業機械システムの精密動作と省エネルギー化のための適応非線形制御と摩擦補償)			
論文審査の 期間	2019年 7月18日 ~ 2019年 8月21日			
公開審査会 の日	2019年 8月 21日	最終試験の 実施日	2019年 8月 21日	
論文審査の 結果※	合格		最終試験の 結果※	合格
<p>審査委員会(学位規程第6条)</p> <p>学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。</p> <p>委員長 柳田 秀記 </p> <p>委員 竹市 嘉紀  内山 直樹 </p> <p style="text-align: center;">印 印</p> <p style="text-align: center;">印 印</p>				

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、世界中で広く利用されている産業機械送り駆動装置の制御性能向上に関する研究をまとめたものである。同装置の一層の高精度化のために動作環境の変動を考慮した制御法が必要であり、また生産工場において多く利用されるため、省エネルギー化も重要な課題である。このために、動作環境の変動に対して高いロバスト性を有するスライディングモード制御法(SMC)に基づく新たな適応制御法を提案しており、全6章から構成される。第1章では、本研究の背景、研究目的、論文構成を記している。第2章では、多軸送り駆動装置の輪郭精度向上を目的とした適応SMCの設計法を提案している。位置誤差に対応するすべり変数の大きさに応じて制御器ゲインを調整することで、同誤差のみならず制御入力信号の平滑化による消費エネルギーの低減を試みており、制御系の安定性について解析している。適応SMCと摩擦の影響を除去する既存の摩擦補償法を併用することで、消費エネルギーを抑制しつつ、輪郭精度の大きな向上が可能なることを実験により確認している。第3章では、一層の省エネルギー化を目的として、新たな適応則を導入している。すべり変数が大きいときには制御器ゲインの調整速度を増加し、同変数の許容範囲においては省エネルギー化のために制御ゲインを低減する方法を示している。制御系の安定性を解析した後、実験により省エネルギー効果を確認している。第4章では、フーリエ級数を用いた非線形摩擦特性の新たな数式モデルと、これを用いた摩擦補償法を提案している。既存の数式モデルとの比較実験により、位置制御性能と省エネルギー効果の両面から有効性を確認している。第5章では、適応SMCと前章で示された非線形摩擦補償法を併用する方法を提案している。制御器ゲインをより滑らかに調整するための新たな適応則を導入し、制御系の安定性を解析している。実験により一層の省エネルギー効果と共に、位置制御性能の向上を確認している。第6章では、本研究で得られた成果をまとめると共に、今後の課題と展望を述べている。

審査結果の要旨

産業機械の基盤機構である送り駆動装置について、位置精度向上を目的とした研究が広く行われている。このために動作環境の変動を考慮することが必要であり、適応制御法等が応用されているが、実用例は多くない。この理由として、複雑な適応機構を用いた場合には想定外の動作環境変動に対して制御器パラメータが不適当な値となり、制御系が不安定化することがあげられる。送り駆動装置は生産工場で広く利用されていることから省エネルギー化も重要な課題である。適応制御法において制御器パラメータが適切に調整された場合には、制御入力信号が滑らかとなり省エネルギー効果が期待できる。また、機械的な摩擦が一般に支配的な外乱となるが、この補償を適切に行うことで省エネルギー効果を期待できることが知られている。

以上から本論文では動作環境の変動に対して高いロバスト性を有するSMCを基本構造として、複雑な適応機構を要しない適応制御法と摩擦補償法を組み合わせることで、位置制御性能の向上と省エネルギー化の双方を達成できる実用的な制御法の提案を目的としている。同制御法の提案と共に安定性を示し学術的な新規性を有する。また、提案法の有効性を実験により示し工学的にも評価できる。本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。1) 多軸送り駆動装置の輪郭精度向上を目的とした適応SMCの設計法を提案し、制御系の安定性を解析した。既存の摩擦補償法と併用することで、消費エネルギーを抑制しつつ輪郭精度も大きく向上可能なことを実験により示した。2) 一層の省エネルギー化のために位置誤差の許容範囲において制御ゲインを低減する適応則を提案し、制御系の安定性を解析した後、実験により有効性を確認した。3) 非線形摩擦特性の新たな数式モデルとこれを用いた摩擦補償法を提案し、実験において位置誤差の低減と共に省エネルギー効果を確認した。4) 制御器ゲインを滑らかに調整できる適応SMCを提案し、制御系の安定性を解析した。摩擦補償を含めた複数制御法との比較実験により最も高い省エネルギー効果と位置制御性能を確認した。適応SMCと非線形摩擦補償法の提案および理論解析は学術的に独創性が高く、実験により有効性を示し産業分野への寄与も大きい。以上より、本論文は博士(工学)の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は1ページ以上可)