

2023年 2月22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 佐藤 海二 

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	小杉 信彦		学籍番号	第209102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	非線形摩擦を有する自動車用ワイパシステムの安定性解析と制御系設計 (Stability Analysis and Control System Design of Automotive Wiper Systems with Nonlinear Friction)			
論文審査の 期間	2023年1月12日 ～ 2023年2月22日			
公開審査会 の日	2023年2月22日	最終試験の 実施日	2023年2月22日	
論文審査の 結果※	合格		最終試験の 結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条) 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。 委員長 高山 弘太郎  委員 高橋 淳二  内山 直樹  印 印 印				

※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

ワイパは自動車の安全な走行に関わる保安部品の一つであり、ガラス面積に対する払拭面積の比率や、往復運動の周期が法規により定められ、風雨の厳しい状況や高速走行時にも安定した動作を求められるなど、高い設計技術が必要である。近年のフロントガラス拡大に伴うワイパの長尺化や軽量化により、機械設計での対応が困難になりつつあり、制御技術の応用が期待されている。本論文は、自動車用ワイパの目標反転位置からの超過動作（オーバーラン）、ならびに非線形摩擦により発生するびびり振動と動き出し遅れを低減する制御技術に関する研究をまとめたものである。また、近年の電動化に対応し、省エネルギー化に関する検討も行っている。

本論文は全6章から構成される。第1章では、本研究の背景、関連研究の概要、研究目的、論文構成を述べている。第2章では、リンク式およびリンクレスワイパについて説明し、本研究での制御系設計および解析に用いるリンクレスワイパの動特性モデルを示している。またワイパの制御において重要となる非線形摩擦特性についても述べている。第3章では、ワイパ動作のオーバーランと制御電流の低減を目的とした最適動作軌道生成法を提案している。ワイパ動作軌道を2つの調整変数により表現し、応答曲面法を用いて多目的最適化する手法を考案している。結果として、動作方向に応じて軌道を変更することにより双方の十分な低減に成功している。第4章では、ワイパのびびり制振制御について検討を行い、ラバー劣化に伴う摩擦変動と状態推定誤差に対するロバスト安定性の解析手法を提案している。さらに、状態フィードバック制御系の安定条件を示し、シミュレーションにより有効性を確認している。第5章では、製品への実装を想定した摩擦補償技術について検討を行い、非線形摩擦補償法のワイパへの応用法を示している。ワイパラバーに作用する摩擦は、駆動モータとは離れた箇所作用しているが、このような場合でも応用可能であることを示し、実験により有効性を確認している。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

自動車用ワイパは運転者の視界を確保するための重要な保安部品であるが、目標反転位置からの超過動作（オーバーラン）、非線形摩擦により発生するびびり振動、反転後の動き出しの遅れなどは、視界不良や騒音、ワイパ破損の原因となり、対策のための研究が行われている。近年のフロントガラスの拡大傾向など多様な形状に対応するために、制御技術の応用が期待されている。また、自動車の電動化に伴い省エネルギー化技術も求められている。本論文ではワイパの最適動作軌道生成と制御系設計に関する新たな方法を提案しており、高い新規性を有する。シミュレーションと実験により有効性を確認しており、実用性も高い。

本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。1) ワイパのオーバーランと制御電流の双方を低減する応答曲面法に基づく多目的最適軌道生成法を提案した。ワイパの動作方向に応じて、速度ピーク時刻と反転位置付近の減速特性を変えることにより、多目的な最適化が可能なることを実験的に示した。2) ワイパのラバー劣化に伴う摩擦変動を摂動として定義し、摩擦の不連続性を除外した動特性に着目することで、状態フィードバック制御系のロバスト安定性を解析する手法を提案した。さらに、状態推定器の推定誤差を摂動として扱う手法に拡張した。シミュレーションにより、安定条件が解析結果と整合することを確認した。3) ワイパ動作反転時の動き出しの遅れを抑制するために、PI制御の積分値の符号反転を利用した非線形摩擦補償法が、摩擦と駆動力の作用箇所が異なるワイパにも応用可能なことを数学的に証明した。また、制御実験により動作反転後の追従性が大幅に向上することを確認した。積分値の符号反転に基づく同方法の計算量は小さく、実際の製品への応用に適している。

自動車ワイパの最適動作軌道生成と制御による性能向上のための方法の提案は、システム工学分野での学術的独創性が高く、シミュレーションと実験により有効性を示しており産業界への寄与も大きい。以上より、本論文を博士（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)