

2021年2月19日

機械工学専攻	学籍番号	第 179105 号	指導教員	内山 直樹
氏名	配島 拓司			佐藤 海二

## 論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	自動車用ワイパシステムの振動抑制制御と最適動作生成
---------	---------------------------

(要旨 1,200字程度)

自動車用ワイパシステムにおいて、自励振動であるびびり振動と、往復運動における反転位置の超過及び未達（以下、共にオーバーラン）は、視界不良や騒音、さらには最悪の場合では製品の破損に繋がります。しばしば市場で問題となる。従来はハードウェアの工夫により低減してきたが、昨今のフロントガラスの拡大化といった車両の変化に対応しつつ、これらの現象を抑えることは限界となりつつある。そのため、本研究では新しい方法として制御による低減を提案した。ここで、2つの現象は発生タイミングや要因が異なるため、各々に適切な制御を適用している。

フロントガラスとラバー間の摩擦の変動で生じるびびり振動の発生タイミングを予測することは困難であるため、発生源の状態を計測し制御する必要がある。発生源であるワイパアームへのセンサの搭載は信頼性やコストの観点から現実的ではないため、現状のワイパが持つセンサと、動特性モデルから推定した、非線形かつ、不連続となる摩擦特性を、速度に依存する項と、依存しない項に分離する方法を提案し、拡張カルマンフィルタを設計した。その結果、モデルの特性を変えることなく、びびり振動を含む状態の推定が可能となった。次に、往復運動のためのサーボ性と振動低減を両立する状態フィードバック制御系を設計するため、モード解析によりびびり振動となる1次モードとサーボ性を阻害する剛体モードを抽出した。これらのモードのみを制御するゲインを極配置法で算出した結果、安定性の低下に繋がるゲインの増大化を抑え、サーボ性と振動低減を両立する状態フィードバックゲインが得られた。さらに、状態フィードバック制御の構成を状態偏差系とすることで、サーボ性が大幅に改善した。

次に、オーバーランの低減に関して検討を行った。オーバーランの発生原因はびびり振動のように明確ではなく、モデル化が困難である。そのため、制御を用いずに最適な目標動作により低減する方法を適用した。目標動作において、設計者が最適動作を視覚的に理解でき、製品設計への活用を容易とするため、2つの変数で表現可能な方法を提案した。ここで、ワイパの目標動作は、車両からの要求や法規により定められる払拭周期と払拭範囲を守る必要がある。このために、正弦波を基本系とし、速度のピーク位置を調整可能な変数と、停止前の減速度合いを調整可能な変数の2つの変数で表現可能な方法を確立した。次に、最適動作の探索方法として、応答曲面法を適用した。応答曲面法による探索において、はじめに、マルチボディダイナミクスを用いて構築したワイパの動特性モデルを用いて、2変数を各21分割した441点のデータから、2次の応答曲面法により、最適値の探索が可能であることを確認した。さらに、計算効率を考慮し、最小限のデータ数について検討した結果、25点のデータで探索可能であることを確認した。最後に実験により、25点のデータと2次式では最適動作の探索精度が不十分だが、4次式とすることで精度が向上し、探索可能となることを確認した。

Date of Submission (month day, year) : February 19, 2021

Department of Mechanical Engineering	Student ID Number D179105	Supervisors Naoki Uchiyama Kaiji Sato
Applicant's name Takuji Haijima		

**Abstract (Doctor)**

Title of Thesis	Vibration Suppression Control and Optimal Motion Trajectory Generation for Automotive Windshield Wiper Systems
-----------------	--

Approx. 800 words

Vibration and over-run cause unclear view, noise and, in the worst case, a wiper system is broken. Conventionally, these phenomena are reduced by tuning of mechanical design in a trial and error manner. However, a new approach is expected due to the recent vehicle design requirements. Therefore, this study considers the control technology to reduce vibration and over-run by servo motor control. Because important factors such as occurred timing, causes are different, it is necessary to develop individual control technology for reducing them.

Vibration of wiper system is self-excited oscillation that is caused by the property of friction between rubber and windshield. Because the expectation in a timing to occur is difficult, measurement of vibration is necessary for to reduce it by control. However, installation of a new sensor is difficult for the reason that increase of cost, securement of reliability and so on. Therefore, estimation is suggested. Here, the dynamic model that replicates self-existed vibration is necessary. However, the property of friction is non-linear and discontinuous. For this issue, the equation of friction is divided into two portions depending on or independent of velocity. By the above method, it becomes possible that the Extended Kalman Filter is able to be applied without changing characteristics on the wiper model. After that, the state feed back control gain is designed for vibration reduction and reciprocal movement. Here, to design the controller efficiently and easily, two method of design are suggested. The first method focuses on the mode of the system for reducing movement of primary vibration mode. The second is using the pole-placement method to focus on the eigenvector. Finally, vibration reduction becomes possible by using the estimated value and the designed controller.

Next, this study considers the optimization of wiper's periodic motion to reduce over-run by servo motor control. Because the frictional property of a windshield surface is complicated and difficult to be modeled mathematically, this study applies the response surface method to minimize the magnitude of over-run including undershoot (Hereafter, only the term "over-run" is used). In order to visually understand the property of over-run, the motion trajectory should be described by two parameters so that the property of over-run can be illustrated graphically in a three-dimensional space versus these two parameters. Hence, this study presents a method to describe the motion trajectory of a wiper by two parameters, by which the peak velocity position and the velocity reduction ratio around the reversal position of motion can be explicitly adjusted. The effectiveness of the proposed approach is confirmed by simulation and experiment, in which the approximated response surface can be generated with practical number of experimental data.