

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	栗重正彦
論文題目	電動パワーステアリングの操舵フィーリング向上に関する研究		
（論文内容の要旨） 本論文は、従来主流であった油圧パワーステアリングに比べて、環境負荷の小さい電動パワーステアリングを広く普及させるべく、その鍵となる操舵フィーリングの向上策として、ステアリングホイールの自己復帰性とトルク勾配の改善、およびステアリングホイール振動の低減を指摘し、これらの改善と低減のために必要となる実用化レベルの成果をとりまとめたものであり、全体は8つの章から成る。 第1章は序論であり、ステアリング機構の歴史から本研究を位置づけている。 第2章では、電動パワーステアリングと制御系の構成について述べたのち、自己復帰性、トルク勾配、ステアリングホイール振動を定義し、操舵フィーリングとの関係と、現実的制約のもとでのフィーリングの向上について述べている。 第3章では、自己復帰性指標を向上させることを考え、静止限界角を解析的に導出することにより、指標向上には路面反力を強化すればよいことを明らかにしている。そして、路面反力センサの追加などハードウェアの変更を行うことなく路面反力強化を実現するために、通常の電動パワーステアリングが備えている操舵トルク信号と電流信号とから路面反力を推定し、結果をフィードバックすることにより、これらの指標を向上できる制御手法を提案し、実験的に有効性を検証している。 第4章では、前章の結果をステアリングホイール開放直前に操舵トルクが存在する場合へと拡張し、トーションバーの粘性を大きくすることの重要性を指摘している。 第5章では、トルク勾配指標の向上のために、3章と同様にして仮想的路面反力強化策を導入し、指標を約2倍向上した結果を得ている。また、自己復帰性とトルク勾配との干渉低減方式を提案し、有効性を実車試験で確認している。 第6章では、目標トルク制御に起因するステアリングホイールの振動が、操舵負荷低減のためアシストゲインを高くした結果としての位相余裕の不足によることを指摘し、振動周波数成分のピニオン軸回転速度を推定し、結果をフィードバックすることにより、ハードウェアの変更を行うことなく位相余裕を大きくする制御方式を提案し、エンジン振動レベルにまで振動を低減できるアシストゲインの限界を、3倍以上高くできることを実車試験で確認している。 第7章では、電流制御系に起因する振動をとりあげ、その要因はバッテリー劣化時の電圧変動が、外乱として作用することであることを指摘している。電圧変動に対する電流応答感度について、望ましい周波数特性の仕様を明らかにし、ステップモデル型の外乱オブザーバと、ハイパスフィルタによる振動抑制の制御方式を提案している。電圧変動に対する電流応答感度にノッチ特性を与え、ノッチ周波数と外乱周波数を一致させることにより、電流振幅を1／5程度まで低減できることならびに、外乱周波数変動に対するロバスト性を実験的に確認している。周期的な外乱に			

対して多用される正弦波モデル型の外乱オブザーバとの比較も行い、上述の感度に関する周波数特性の仕様への適合性や演算負荷低減の観点から、提案の振動抑制方式が適していることも、理論的に明らかにしている。

第 8 章では、本研究の結論を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、従来主流であった油圧パワーステアリングに比べて環境負荷の小さい電動パワーステアリングを広く普及させるべく、その鍵である操舵フィーリング向上のための要因を具体的に指摘し、それらの向上策について研究を行ったものであり、要因としてステアリングホイールの自己復帰性、トルク勾配及び、ステアリングホイール振動の低減を取り上げ、実用化レベルの下記の成果を得ている。

1. 静止限界角を解析的に導出することにより、自己復帰性指標及びトルク勾配指標の向上のためには、路面反力を強化すればよいことを明らかにした。ハードウェアの変更を行うことなく路面反力強化を実現するために、操舵トルク信号と電流信号から路面反力を推定してフィードバックすることにより、これらの指標を向上させる制御手法を提案し、その有効性を実験的に検証した。また、自己復帰性とトルク勾配との干渉低減方式も提案し、その有効性を実車試験で確認した。
2. ステアリングホイール振動低減に関しては、まず、目標トルク制御に起因する振動をとりあげ、まずその要因が位相余裕不足にあることを明らかにした。この不足は操舵トルクを低減し、運転者の操舵負荷を小さくするためにアシストゲインを高くしたことに起因する。そこで、振動周波数成分のピニオン軸回転速度を推定しフィードバックすることにより、ハードウェアの変更を行うことなく位相余裕を大きくする制御方式を提案し、エンジン振動レベルにまで振動を低減できるアシストゲインの限界を、3倍以上高くできることを実車試験により確認した。
3. 次に、電流制御系に起因するステアリングホイール振動をとりあげ、バッテリー劣化時の電圧変動が外乱として作用することが要因であることを指摘した。電圧変動に対する電流応答の感度に関する望ましい周波数特性の仕様を明らかにし、ステップモデル型の外乱オブザーバと、ハイパスフィルタにより振動抑制する制御方式を提案した。本制御方式では、電圧変動に対する電流応答の感度にノッチ特性を与えることができ、ノッチ周波数と外乱周波数を一致させることにより、電流振幅を、1/5程度まで低減できることならびに、外乱周波数変動に対するロバスト性を実験的に確認した。また、周期的な外乱に対して多用される正弦波モデル型の外乱オブザーバとの比較も行い、上述の感度に関する周波数特性の仕様への適合性や演算負荷低減の観点から、提案の振動抑制の制御方式の方が適していることも理論的に明らかにした。

以上のように本論文は、重要な人間機械系要素である電動パワーステアリングについて、その操舵フィーリングを理論的かつ実用的に詳細に究明したものであり、その成果は情報学の展開に寄与するものと認める。よって本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年12月9日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。