

論文審査の結果の要旨

氏名 遠藤 修司

本論文は、「電動パワーステアリングを用いた操舵運転負荷軽減による安全向上の研究」と題し、操舵運転負荷軽減を運転者の身体的な負荷のみならず操舵運転行為全体で論じることによって、安全向上に貢献する電動パワーステアリング（以下、EPS）機能とその設計体系を提案したものである。提案する EPS 機能のいくつかは市場での採用実績があり、電動パワーステアリングの普及に大きく貢献してきた。この市場実績にもとづき、新たに操舵運転の安全においてステアリングが果たすべき機能の考え方と設計体系を提案し、将来の自動車運転の安全に貢献することを目的としている。

操舵運転負荷の低減は、事故回避技術とともに操舵運転の安全に貢献する重要な技術と位置付けられる。操舵運転負荷低減に向けた取組みは、自動車開発においては操舵感開発と呼ばれ、長く取り組まれてきた。操舵感は、運転者特性、道路特性および車両特性が相互に影響しあう複雑な問題であるため主観的な評価が重視され、かつその実現においては、車両の基本特性、サスペンションおよびステアリングの相互作用を考慮する必要があるため、設計がきわめて困難であった。その結果、現在加速している自動車技術の電動化においても、ステアリング技術の進化は遅れている。

そこで、本論文では、次に示す 3 つのブレークスルーを行い、操舵運転負荷を軽減することにより安全性の向上に貢献する EPS 機能を提案している。1 つ目は、運転者の操舵運転特性として、とくに操舵トルク情報のもつ意味を、手腕の運動制御とのアナロジーを用いて明らかにし、操舵運転負荷軽減をもたらす目標操舵特性を導いたことである。2 つ目は、車両、サスペンションおよびステアリング系との干渉問題を EPS 機能によって補償することで単純化し、その相互作用の影響を明らかにしこれを外乱オブザーバによって非干渉化して、目標の操舵特性を正確に実現する設計方法を導いたことである。3 つ目は、EPS 自体がもたらすステアリング機能の動特性を補償し、提案する EPS 機能を実現する EPS 設計技術を導いたことである。

第 1 章は緒論であり、上述した本研究の背景、目的、論文構成などを述べている。

第 2 章では、操舵運転負荷低減が操舵運転の安全に果たす意味を事故回避技術との関係で明らかにし、操舵運転負荷低減による操舵運転安全の向上を目標軌道に対する追従制御設計問題とするフレームワークを提示し、数学モデルを用いて評価できる検討環境を提示している。

第 3 章では、運転者の操舵運転特性を明らかにし操舵運転負荷軽減の条件を導いている。良い操舵感は、「一体感がある」、「リニアな特性」と評されることから、人の手腕の運動制御と同じような制御則で操舵運転できれば操舵運転負荷を低減できるという仮説を立て、運転者の操舵運転特性を解析した。その結果、操舵トルク情報で車両挙動が予測できれば、目標軌道に対する追従制御のロバスト性が向上し操舵運転負荷が軽減できることを解析で示し、それを EPS で実現する条件を導き、実車両を用いた走行実験でその妥当性を実証している。

第 4 章では、操舵運転負荷に対する車両特性の影響を解析し、それを EPS によって補償する方法を提案した。運転者の操舵運転行為である認知、判断、行動のうち、認知と判断に対する負荷を低減することを目的に、操舵トルク情報で車両挙動を予測しやすい条件と車両挙動予測から操舵量を決めやすい条件に対する車両主要諸元の影響を解析により明らかにした。次に車両諸元の動的な影響を補償

し、外乱オブザーバの応用による非干渉化によって操舵運転負荷を低減する EPS 機能を導き、実車両実験によって効果の妥当性を実証している。

第 5 章では、操舵運転負荷に対するステアリング特性の影響を解析し、それを EPS によって補償する方法を提案している。操舵運転負荷は、操舵場面によって求められる特性が異なるため、操舵場面に対する操舵運転負荷をこれまでの EPS 調整の市場経験を基に整理し、行動を含めた操舵運転負荷を軽減するステアリング系の摩擦特性と剛性の条件を明らかにして、それを実現する EPS 機能を導いている。

第 6 章では、操舵運転負荷に対する前輪タイヤに働く操舵運転を阻害する外乱の影響を整理し、EPS によって補償する方法を提案した。この外乱は、運転者の過信による運転を防止するために適切に伝達すべき情報である。そこで、主観的な評価結果から伝達すべき外乱量を求め、外乱オブザーバを応用した外乱感度調整を行う EPS 機能の設計方法を導き、その効果をシミュレーションと実車両実験で示している。

第 7 章では、これまで論じてきた操舵運転負荷軽減に貢献する EPS 機能を実現するための EPS アクチュエータ設計技術を提案している。まず、操舵運転負荷低減のための EPS 機能を実現する EPS 機構特性の問題を明らかにし、それを補償する EPS 制御設計法を導き、EPS 制御系の構造設計を提案した。また、トルクアクチュエータである高出力、極低トルクリップルかつ低コストが求められる EPS 用モータ固有の設計課題を示し、解決する設計技術を提案した。さらに、操舵運転負荷を低減する EPS 機能に必要な絶対舵角情報を検出する技術を提案している。

第 8 章では、本論文で提案する操舵運転負荷を軽減する EPS 機能の操舵運転安全に対する効果を実車両実験及びシミュレーションで示し、さらに、本論文の将来の自動車に対する応用例を示すべく、本論文のこれまでの結果を用いて、EV 車のバッテリー配置がもたらす車両特性が操舵運転負荷に与える影響を解析し、これを補償する EPS 機能を提案している。

第 9 章は結論であり、本論文の成果をまとめるとともに、本論文で示した操舵運転負荷軽減による安全向上の検討方法が、将来のステアリング技術や自動車技術の変化に対しても有効であることを述べている。

以上、これを要するに、本論文は、著者が長年取り組んできた EPS の開発経験をもとに、操舵運転安全に対するステアリングの重要性を明らかにし、それを検討するフレームワークの構築および設計法の一般化に取り組んだものであり、提案する手法は、電動パワーステアリングを採用している現在の自動車の安全向上はもとより、次世代のステアリング技術や将来の自動車技術に対しても応用可能なものであって、自動車工学、制御工学および安全工学などの分野への貢献が少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認められる。