

審査の結果の要旨

氏名 皆木 亮

本論文は、「電気自動車の人間親和型モーションコントロール」と題し、電気モータの優れた制御性を利用して、運転者と電気自動車の親和性を向上させるモーションコントロール法を開発した結果をまとめた全7章と付録よりなる。

電気自動車は電気モータによって駆動されるため、エンジン車と比較して以下の点で優位にある。(1) トルク応答が2桁以上速い、(2) モータ電流から発生トルクが精確にわかる。この二つの特長を用い、路面状態推定にもとづく優れた運動制御が可能となる。また、(3) 電気モータは小型化して各輪に分散配置できる、という特長を利用したさらに高度な車両運動を実現することができる。

本研究では、電気モータを電動パワーステアリングと車体駆動に用い、運転者の操作ミス軽減の操舵支援や路面状態推定にもとづく車両運動の安定化制御を実現する。とくに人間の感覚特性にもとづく電動パワーステアリング制御に、車両および路面状態の推定法を取り入れ、運転者と一体感のある制御法を実現している。

第1章は「序論」であって、研究背景と目的、自動車安全技術に関する先行研究について述べている。近年、交通事故による死亡者数や重傷者数は減少しているが、事故発生件数は減少しておらず、事故の大半は、安全不確認や運転操作ミス等のヒューマンエラーに起因していることを示している。その結果、今後自動車の安全性を高めるには、人間の操作ミスを的確に検出し、能動的に危険回避をアシストする手法の開発が必要であるとしている。

第2章「自動車の運動力学」では、タイヤ力学と車両運動力学に関する基礎理論を展開し、アクティブ前輪操舵 (AFS) の有効性をシミュレーションによって示している。AFSの運動力学上の効果は容易に示せるが、運転者の操作と干渉があるため親和性の低下は避けられない。この操舵干渉を解決する制御法の開発については第4章で提案するとしている。

第3章「電気自動車によるタイヤグリップマージンと車両運動制御の提案」では、車両運動を安定化するために、タイヤと路面間のグリップマージン (TGM) を推定し、TGMにもとづいてインホイールモータの制駆動力を制御する手法を提案している。従来の研究ではタイヤと路面の摩擦係数 μ の推定に固執してきたが、 μ は無次元量で運動制御に直接用いるには不便であった。本論文では、タイヤの力学モデルを拡張し、タイヤと路面間の反力推定によって TGM の推定を可能にした。なお、路面反力推定にはステアリング機構の正確なモデルが必要であるが、ステアリングホイールを操作しながら実験を行い、最尤推定法にもとづくモデル同定によりこれを実現している。

第4章「人間親和型操舵制御の提案」では、まず、ステアリング機構の運動方程式を導出し、運転者と電気自動車の親和性を向上させる操舵制御を三つ提案している。すなわち、(1) 操舵感度線形化制御、(2) ヨーレート応答線形化制御、(3) 操舵干渉非干渉化制御、である。

与えられた刺激強度に対する人間の感度は一般に非線形となるが、操舵感度線形化制御では運転者の入力トルクに対して感じる操舵反力を線形化するフィードフォワード (FF) 制御を行う。操舵感度の線形化により重ね合わせの理が成り立ち、車両運動と一体感のある操作が可能となる。

運転者はステアリングホイールによって車両のヨーレートを制御している。そこで、操舵角からヨーレートへの応答を線形化させる二自由度制御を提案する。フィードバック (FB) 制御は外乱に対するロバスト性の向上に用い、ヨーレート応答の線形化は FF 制御によって行っている。

最後に、運転操作と AFS に生じる操舵干渉の非干渉化法を提案している。AFS による修正操舵が介入する際には前輪の路面反力が変化し、予期できない反力が伝達されて運転操作を妨げる。そこで、前輪舵角に応じてアシスト量を変化させる可変アシスト制御や、路面反力推定にもとづく操舵反力制御を提案し、操舵干渉を低減している。

第5章「ステアリング実験装置」は、これまで提案してきた制御手法を1組の遊星歯車と二つの電気モータを備えたステアリング機構によって実現したものである。遊星歯車の角度とトルクの関係式によると、前輪舵角と運転者の反力を同時に制御するには電気モータは二つ必要である。各モータの制御則を導き、ドライビングシミュレータ (DS) を製作している。DS は車両運動のみソフトウェアにより模擬し、モニタへ出力する。車両や路面状態に応じた路面反力は電気モータを介して運転者へ伝達される。

第6章「シミュレーション及び実験検証」は、これまで提案してきた制御手法の有効性を、シミュレーションや自作した DS による実験によって検証した結果を述べている。

第7章は結論であり、本研究の成果と今後の展望をまとめている。

最後に付録として、提案手法の有効性を実験によって検証するために開発した DS の詳細を記している。

以上これを要するに、本論文は、電気モータの優れた制御性を利用した、路面反力推定やタイヤグリップマージンにもとづく車両運動制御、操舵感度線形化・ヨーレート応答線形化・操舵干渉非干渉化などの操舵制御を提案し、シミュレーションとドライビングシミュレータによる実験によって、車両運動の安定化や操作ミスの軽減に効果があることを実証したものであって、電気工学、制御工学、自動車工学への貢献が少なくない。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。