

審査の結果の要旨

氏名 南 康 鉉

本論文は、「Advanced Motion Control for Electric Vehicles Using Lateral Tire Force Sensors (タイヤ横力センサを利用した電気自動車のモーションコントロール)」と題し、車両の安定性や操作性を改善することを目的に、新しく開発されたタイヤ横力センサを用いた、ロバストなタイヤ横力制御 (LTFC) にもとづく新しい運動制御法を提案し、シミュレーションや、インホイールモータによって駆動される電気自動車による走行実験によってその有効性を実証したもので、英文で記述された8章より構成されている。

第1章「Introduction (序章)」では、本研究の背景、動機、論文構成の概要を示している。すなわち、電気自動車には、従来のガソリン車にはない運動制御上の優位性があるが、新しく入手可能となったタイヤ横力センサを応用することによって、今までにない新しい可能性が開けることなどを述べている。

第2章「Vehicle and Tire Modeling (車両とタイヤのモデリング)」では、車両運動のフルモデルを示し、つづいて車両制御系の設計で広く使われている、シングルトラックモデルを説明している。力とモーメントを生み出すタイヤは車両運動に大きな影響を及ぼすため、このような、タイヤ・路面間の相互作用を記述するタイヤのモデリングは、きわめて重要である。いくつかの既存のタイヤモデルを紹介し、本論文に適用した実用的なモデルについて議論している。

第3章「Vehicle Attitude Estimation Using Lateral Tire Force Sensors (タイヤ横力センサを用いた車両姿勢の推定)」では、車両横すべり角とロール角を推定する新しい方法を提案している。車両やタイヤまわりのパラメータに存在する非線形性 (コーナリングスティフネス、車両速度、荷重移動など) によって、この推定問題は、たいへん困難かつ魅力的な研究テーマとなっている。本章では、最近、日本精工 (株) によって開発された、タイヤ横力センサを用いた実際的な車両制御系への適用可能性を議論し、最小自乗 (RLS) アルゴリズムと拡張カルマンフィルタを用いる提案法によって、推定精度の大幅な改善を行ったことを述べている。

第4章「Tire-Road Condition Estimation (タイヤ・路面状態の推定)」では、車両の状態変数や、タイヤ・路面状態に関わる変数のリアルタイム情報が、車両の運動制御性能の改善に非常に寄与することを説明し、タイヤの垂直力の推定値と横力の測定値にもとづいて、瞬時的な横力の限界を推定するアルゴリズムを開発したことを述べている。また、コーナリングの際、タイヤ力の飽和を避けるためには、タイヤ・路面状態の正確なリアルタイム推定が非常に重要であるが、ここでも最小自乗 (RLS) アルゴリズムを用いて推定を行い、実験用電気自動車に実装してその有効性を実証している。

第5章「Advanced Motion Control Based on Robust Sideslip Angle Estimation (without Tire Force Control) (ロバストな横すべり角推定にもとづく先進的運動制御、タイヤ横力制御を用いない場合)」では、コーナリングスティフネスのリアルタイム推定によって実現

される、適応フィードフォワード制御を用いた先進的な運動制御法を提案している。従来の1自由度コントローラ（例えばPID制御器）では、1個の固定の制御器を使うことになり、車両モデルのパラメータ変化が非常に大きいときには、閉ループ系の制御性能を保守的に設計せざるを得ない。本章では、そのような条件下でも良好な目標値追従特性を得るために、適応フィードフォワード制御器を設計している。提案した運動制御系の効果は、コンピュータシミュレーションと実車を用いたフィールド試験によって実証されている。

第6章「Advanced Motion Control Based on Lateral Tire Force Control（タイヤ横力制御にもとづく先進的運動制御）」では、車両の安定性と操作性を改善するために、ロバストなタイヤ横力制御（LTFC）にもとづく先進的運動制御法を提案している。コーナリングにおいては、車両運動はタイヤに作用する横力によって決定されるため、タイヤ力に関するリアルタイム情報は、車両運動制御に大きな利点をもたらす。近年、日本精工（株）が開発したMS Hubユニットを用いてタイヤ横力を測定できるようになったため、アクティブフロントステアリングによって、タイヤ横力の直接制御が実現可能となった。制御系の設計には、ロバストな制御法（例えば、外乱オブザーバによる2自由度制御）を用いて、目標値追従特性の改善にも成功している。さらに、提案した制御系の安定性を、スモールゲイン定理を用いて議論している。提案の運動制御系は、インホイールモータによって駆動される実験用電気自動車に実装され、その性能と有効性はフィールド試験によって確かめられている。最後に、車両運動制御系へのタイヤ横力センサの実際的な適用可能性について、議論を行っている。

第7章「Robust Yaw Stability Control Based on Longitudinal Tire Force Control（進行方向のタイヤ力制御にもとづくロバストなヨー安定化制御）」では、非線形的な運動制御法でもあるスライディングモード制御にもとづく、ロバストなヨー運動の安定化制御法を提案し、インホイールモータによって駆動される実験用電気自動車に実装したことを述べている。提案する制御系は、目標値発生器、フィードバック制御器（すなわち、スライディングモード制御器）とパラメータ適応則から成る。スライディングモード制御は、モデルの不確実性と外乱がある場合にも、ロバスト安定性を保証するもので、車両のヨー運動を安定化するために用いている。実験的な電気自動車を使った走行試験を行い、その効果を議論している。

第8章「Conclusions and Future Works」は結論であり、本論文の成果をまとめるとともに、将来の課題を示している。

以上これを要するに、本論文は、車両の安定性や操作性を改善するために、ロバストなタイヤ横力制御（LTFC）による運動制御法を提案し、インホイールモータによって駆動される電気自動車による走行実験によってその有効性を実証して、タイヤ横力センサの大きな可能性を示すと同時に、車両の運動制御に新しい展開をもたらしたものであって、制御工学、自動車工学、モーションコントロール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）の学位請求論文として合格と認められる。