

氏 名	にし いけ よし のぶ 西 池 義 延
学 位 の 種 類	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1361 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 15 年 5 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	規 範 モデル追従制御による農用車両の前後輪自動操舵

論文調査委員 (主 査) 教 授 梅 田 幹 雄 教 授 笈 田 昭 教 授 池 田 善 郎

論 文 内 容 の 要 旨

農作業の効率化のために、農用車両の圃場内でのより一層の高速化が求められている。農用車両の高速化を図るためには、エンジン出力の増加及びタイヤの走破性能の向上などに加えて、操縦安定性を向上することが必要である。このためには、運転者の操舵特性と車両運動性能のマッチングが重要で、この技術の1つとして、前後輪アクティブ操舵（ステアバイワイア）が考えられる。

本研究は、ステアバイワイア車両の前後輪舵角の決定を、計算機の中に数式で記述されたモデル車両（規範モデル）の横運動に、現実の車両の横運動を追従・適合させる規範モデル追従制御により、制御性能の向上を図ることを目的としたものであり、以下の8章からなっている。

第1章では、農業機械及び自動車分野における研究と、ロバスト制御理論の動向について概観し、本研究の目的について述べている。

第2、3章では、乱数による変動項を設けたラグなしタイヤモデルと等価二輪車モデルで構成されるシミュレーションモデルを用いてモデリングとコントローラ設計法を検討している。

第2章では、ロバスト制御のシステム同定法に基づいて、コーナリングフォースの非線形性と特性変動を、有界時変な不確かさをもつ変動パラメータとしたコーナリングパワーの摂動とみなし、車両横運動特性のモデリングを行い、その実現可能性を示唆している。

第3章では、第2章の同定手法で得られた状態空間モデル集合を対象とした規範モデル追従制御系の設計問題を、定数スケールド H_∞ 制御状態フィードバック問題として解き、規範モデル追従制御により操縦安定性の向上が図れることを明らかにしている。

第4章以下では、改造した水田管理ビークルを供試車両として検討を行った。

第4章では、制御系のマイナーループに使用する電気-油圧駆動の前後輪舵角位置サーボ系のフィードバックコントローラを H_∞ 制御理論により設計している。この手法を用いることによりロバスト安定性を備えた制御系が設計できることを示唆している。

第5章においては、計測が困難な横速度を、カルマンフィルタを用いた横速度観測器（Observer）により推定する手法を検討している。さらに、その過程において、拡張カルマンフィルタに基づくコーナリングパワー推定手法を構築し、車両横運動特性を解析する上で必要なコーナリングパワーを、コンクリート路面、耕うん後と代かき後圃場における走行実験により推定し数値を明らかにしている。

第6章は、考案した規範モデル追従制御系の設計手法について述べている。事前情報及びコーナリングパワー推定値に基づく車両モデルを公称モデルとし、走行実験で得られる計測データから横運動特性変化を検出して、それを考慮した制御系設計を試みている。制御系設計は、第3章同様、定数スケールド H_∞ 制御状態フィードバック問題の解法を利用している。

さらにコンクリート路面での走行実験にて、規範モデルの横運動に対して供試車両の横運動を追従させることは可能であることを明らかにしている。

第7章では、耕うん後及び代かき後の圃場において走行実験を行い、路面特性及び路面外乱の影響に対する抑制性能は不十分ではあるものの、コンクリート路面と同様に、追従制御が可能であることを示唆した。さらに、代かき後圃場における直進走行実験により、横速度推定値及びヨー角速度検出値を本手法によりフィードバックすることで、農用車両の方向安定性が向上することを明らかにしている。

第8章は、結言として、本研究で明らかになったことをまとめている。また、今後の課題として追従性能のより一層の向上を図るため、運転者-モデル車両間の検討、今後の研究展開について述べている。

論文審査の結果の要旨

農作業の効率化のために、農用車両の圃場内でのより一層の高速化が求められている。高速化のためには車両の操縦安定性向上を図ることが必要である。

本研究は、前後輪を電気-油圧装置にて、独立に操舵する車両を試作して、適切な前後輪の操舵を実施し、車両の横運動の制御することで、操縦安定性の向上を図ることを目的とした。このような車両の操舵を行うことは困難であるため、車両の横運動を、計算機の中に数式で記述されたモデル車両（規範モデル）の横運動に追従・適合させる制御系を試作し、試作機の圃場実験により確認した。評価すべき点は以下のとおりである。

- (1) ラグなしタイヤモデルと等価二輪車モデルで構成されるシミュレーションにより、ロバスト制御のための同定法を応用したモデリング手法を提案し、その妥当性を検討した。定数スケールド H_∞ 制御理論を適用して設計した規範モデル追従制御系により、農用車両の操縦安定性向上が可能であることを明らかにした。
- (2) 車輪舵角を制御する自動操舵系は、機械構造及び油圧アクチュエータの非線形性から、従来の制御理論による設計では困難と考えられる。これに近年制御分野にて発達した H_∞ 制御理論の適用を行い、より優れた制御性能が得られることを示唆した。
- (3) 技術的に計測が困難とされる車両横速度について、カルマンフィルタを応用した推定法を提案した。さらに、拡張カルマンフィルタを応用することで、車両横運動特性の重要なパラメータであるコーナリングパワーが推定できることを導き、その推定法の有効性を示唆した。
- (4) 車両の横運動特性を、コーナリングパワーが一定とした等価二輪車モデルで表現する問題に対し、評価指標として、車両の横運動を定義するシステムパラメータの摂動を、スペクトルノルムによる重み付き距離にて評価する手法を提案した。この指標は、ロバスト制御理論によるフィードバック設計にも有効であることを圃場実験結果により示し、モデリングの妥当性を考察する手法の一つとして、将来的に有効活用される可能性があることを示した。
- (5) ロバスト理論の一つである定数スケールド H_∞ 制御理論を供試車両に適用し、車両の横運動特性変化を考慮して、横運動を独立かつ自由に制御可能であることを実験にて明らかにした。また、代かき後圃場において、路面特性変化及び路面凹凸の車両横運動に対する影響を緩和し、農作業において重要視される直進走行における直進性の向上を実現している。

以上のように、本論文は、農用車両の高速化のために、規範モデル追従制御を用いた制御系を設計・製作し、圃場実験によりその有用性を実証したもので、フィールドロボティクス、及び農業システム工学の発展、並びに農用車両の操縦安定性向上による農作業の高速化に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成15年3月11日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。