

氏名	張 林煥		
学位の種類	博 士 (農学)		
学位記番号	博 甲 第 7502 号		
学位授与年月日	平成 27年 5月 31日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Development of Stable Leader-Follower Tracking System for Agricultural Vehicles (安定したリーダーとフォロワーで構成された農業用追従システムの開発)		
主査	筑波大学教授	農学博士	瀧川 具弘
副査	筑波大学教授	博士(農学)	石井 敦
副査	筑波大学准教授	博士(農学)	野口 良造
副査	筑波大学准教授	博士(農学)	トファエル アハメド (Tofael Ahamed)

論 文 の 要 旨

日本の農業人口の減少は顕著であり、後継者の確保も難しい状況にある。こうした危機的な状況を解決し、生産性が高い農業を継続するためには、農作業を支援するための従来とは異なる技術が必要である。世界では様々な農業ロボットの開発研究が行われている。また、農業ロボットの移動機能の目的は様々であり、ユーザーが期待する機能、価格、安全性などのニーズに対応できる柔軟性の高い制御プログラムが求められている。屋外の農業現場において無人で農作業を行うためには、インテリジェントかつ安全で拡張性に優れた農業機械を開発しなければならない。近年では、準天頂衛星(みちびき)の導入によって、農業機械の高精度な位置決めが可能となり、無人での農作業が可能となった。こうした先端的な技術によって、農作業効率が向上する事例が海外では報告されている。一方で、北海道を除く日本の農業は中小規模農業が中心であり、農作業効率が高い大型機械の導入は、コストや圃場面積の点から難しいだけでなく、圃場の締固めなどを引き起こす恐れがある。そこで、本研究では、中小規模の圃場を対象とした、複数のロボットトラクタによる協調かつ安定した農作業の可能性を、シミュレーションと圃場実験を通じて証明した。

また、複数台の車両が安全に協調走行する技術は、これまでも様々な分野において研究が行われ、例えば、大型車両が隊列をなして道路を高速で走行する実験などによって、その可能性が確認されてきた。しかし、農業機械の場合には、車両が様々な環境状態で走行するケースが多く、例えば、2台のトラクタのうち1台が収穫作業を行い、他1台のトラクタが収穫物を受け取り、トレーラーで運搬する農作業が行われている。このように、2台のトラクタの連携は可能ではあるが、接触や衝突の可能性が残されている。そこで、本研究では2台の車両の相互の位置を確認し、安全性を担保し、農作業効率を向上することができる走行制御の確立を、シミュレーションと実験を通じて行った。

まず、小型車両2台を対象とし、1台目の車両をリーダー車両(以下、リーダー)、2台目の車両をフォロワー車両(以下、フォロワー)とした。リーダーとフォロワーの隊列の追従と、リーダーが走行した軌跡をフォロワーが追跡することをシミュレータで確認し、追従に必要な精度が十分であることを明らかにした。なかでも、拡張カルマンフィルタ(EKF)によって、レーザーレンジファインダ(LMS211)の観測精度とセンサーのデータを統合することにより、局所センシングシステムによる観測をシミュレータで確認した。EKFを利用しなかった場合では、 $y=0.5\sin(0.25x)$ の経路を走行速度1.2 m/s(以下、大きいカーブ)で追従すると、センシングエラーのRMSEは横方向0.181 m、縦方向0.166 m、ヘディング角度4.373°となった。 $y=1.5\sin(0.3x)$ の経路を走行速度0.8 m/s(以下、小さいカーブ)で追従すると横方向0.191 m、縦方向0.173 m、ヘディング

角度 4.672° となった。EKF を利用した場合には、大きいカーブでは横方向 0.173 m 、縦方向 0.053 m 、ヘディング角度 1.807° 、小さいカーブでは横方向 0.126 m 、縦方向 0.045 m 、ヘディング角度 1.718° となった。これらの結果から、本研究で開発したシミュレータによって、センサーなどから生じたノイズを抑制し、多くの部分的ノイズの耐性を向上させることができた。

つぎに、単眼カメラ (Logitech Pro9000) を実機のフォロワーに、矩形マーカを実機のリーダーにそれぞれ装着し、センシングと追跡の可能性を確認した。続いて、リーダーとフォロワーの相対位置をカメラとマーカから計算し、精度の向上を確認した。また、車両ロール角を補正することによって、リーダーとフォロワーの相対位置を動的に観測し、さらに、カメラによって観測精度を向上させ、リーダーとフォロワーの相対位置を観測するうえで十分なシステム精度を担保できた。さらに、縦 0.60 m 、横 0.49 m の車両を用いて、筑波大学農林技術センターのコンクリート路面において、リーダーの走行速度 0.25 m/s として走行実験を実施した。追跡エラーの RMSE は、半径 5.5 m の巡回経路で尾行追従したときは 0.092 m 、並行追従したときは 0.158 m となった。これらの実験の結果から、フォロワーは安定して追従走行でき、開発したシステムの精度は十分に高いことが確認できた。その結果、2台の小型車両が安定して協調走行することが確認され、リーダーに対してフォロワーは良い追従性機能を示した。

以上の研究成果により、小型の車両が間隔を保って圃場内を低コストかつ安全に走行できる可能性が示唆された。本研究の成果は、複数の車両が協調して、安全で効率的に走行できる技術に寄与するものであり、精密農業や中山間地域での小型車両への活用が期待される。

審 査 の 要 旨

本研究の目的は、複数台の小型車両を用いて、安全で効率的な農作業を実現することにある。従来の研究では、道路走行において複数の車両が隊列を組んで走行し、多くの資材を効率的に運搬する実験が行われてきた。しかしながら、このような実験は整備された道路などにおいてのみ利用できるものである。一方で、圃場での農作業は様々な環境条件により影響を受けるため、車両を安定して制御するためには、未だ多くの課題がある。

本研究は、小型センサーなどを搭載した複数の車両が、連携して様々な農作業を行い、圃場内を安全に走行すること目指したものである。本研究の成果は、農業用追従システムのシミュレーションを行うとともに、そのシミュレーション結果を、開発した2台の小型車両による圃場実験によって、農作業現場での実用性を実証したことにある。特に、拡張カルマンフィルタを適応して車両間の相対位置の観測精度を向上させた点、車両間の相対位置の観測精度を向上させる新たなマーカの開発を行った点、制御点の最適化を図りフォロワー車両の追跡制御の精度を向上させた点が評価される。本研究の成果は、今後様々な現場への応用によって農作業効率を高めることができるとともに、複数の小型の農業機械を基幹とする農作業体系の構築に大きく寄与できるものと評価しうる。

平成27年4月7日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。