



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Autonomous Navigation for an Agricultural Unmanned Airboat in Paddy Field [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	劉, 羽飛
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第12719号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/66101
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Liu_Yufei_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学）

氏 名 劉 羽飛

審査担当者

主 査 教 授	野口 伸
副 査 教 授	柴田 洋一
副 査 准教授	石井 一暢
副 査 准教授	岡本 博史

学位論文題名

Autonomous Navigation for an Agricultural Unmanned Airboat
in Paddy Field
(水田用無人ボートの自律航法に関する研究)

本論文は、全 6 章からなる総頁数 130 ページの英文論文である。論文には図 65、表 14、引用文献 84 が含まれ、別に参考論文 3 編が添えられている。

本研究は主に水田除草剤散布に使用される無人ボートを自律化できる方法論を提案することが目的である。日本の農地面積は 460 万 ha、そのうち 54%が水田である。農林水産省では平成 35 年までに担い手が利用する面積が全農地面積の 8 割を占める農業構造を目指しており、大規模経営体が急増する見込みである。また、水田の大区画化も進んでおり、ロボットに代表される革新的な省力・省人技術の開発が強く望まれている。本研究で対象にする無人ボートは水稻生育初期の除草剤散布作業を効率的に行うことができるもので、北海道、東北、北陸などの大区画水田で使用されている。しかし、現状では人によるリモートコントロールのため操縦技術の習熟が要求され、また圃場端における旋回では目測を誤るとボートを畦畔に衝突・破損させてしまう恐れがある。このような背景から本研究では水田用無人ボートの有効性を高めるためにボートの自律化手法の開発を目指した。供試無人ボート(ヤンマー製)は農業用エアボートで、機体上部に外置きされたプロペラの回転による空気の流れを利用して推進力を得る。まず、本研究では速度調整のためのエンジンスロットル、操舵のためのラダー、そしてブレーキのためのプロペラピッチ角が制御できるようサーボモータを装着し、これらを 3 項目をコンピュータ制御できるよう電子コントロールユニットを試作した。また、エアボートのロール方向とピッチ方向の姿勢情報を取得するために小型・軽量・低コストな慣性航法装置(IMU)を開発した。試作 IMU と高精度光ファイバジャイロスコープ(FOG)との比較において角度計測の誤差 RMS は、ロール方向 0.3° 、ピッチ方向 0.4° であり、エアボートの走行制御に十分使用

できる計測精度を実現した。次にエアボートの運動特性を把握するために運動のモデル化を行った。ラダー角とエアボートヨー角速度の関係を一次遅れ系で記述した Nomoto モデルを利用して記述した。実際の走行時のラダー角とエアボートヨー角速度を IMU によって測定し、システム同定を行った。定常円旋回試験と正弦波角度時系列をラダーに入力した走行試験を行い、モデル精度を評価した。水田においてラダー角 15° 、 25° 、 35° において定常円旋回を行った結果、実機とモデルの旋回半径の差は 0.25m、0.44m、0.04m であり、構築した運動モデルは満足できる精度を有していた。また、本研究ではボートの経路生成問題にも取り組んだ。ボートを用いて除草剤散布作業を自律的に行わせるためには事前に水田区画全面をカバーする経路計画が必要である。本研究では2種類の経路生成手法を提案した。まず1つ目の経路生成アルゴリズムは一般的なもので、決められたピッチのもと水田長辺と平行な経路を生成するものである。しかし、供試ボートは風速 7m/s 以上の横風があると大きな横滑りが発生し操舵制御が不能になる。したがって、2つ目の経路生成アルゴリズムは風向を考慮した。平均風向に平行な経路を作成することで横風の影響を除去し、ボートの走行精度を維持させるアイディアである。圃場隅に風向風速計を設置することで走行経路が自動生成できる。最後に以上の個別要素技術を統合してエアボートの自律航行システムを開発した。あらかじめ作成した経路をエアボートに走行させる技術であるが、本研究では3種類の航法センサを開発・実装した。1つ目はディフレンシャル GPS と地磁気方位センサの使用である。自律航行法として視線誘導法を採用した。目標経路に対する横方向 RMS 誤差は 0.24m であった。2つ目はマルチコプターに広角カメラを搭載し、上空からボートを監視して測位するものである。水田周辺の防風林や建物などで GPS が使えない環境での利用を想定している。マルチコプターからの測位データは上空から無線でボートに伝送される。目標経路に対する横方向 RMS 誤差は 0.17m であった。3つ目はボート前方にレーザースキャナーを搭載して水田畦畔を検出してエアボートと畦畔の位置関係から走行制御するものである。前の2法と比較して低コストなシステムである。しかし、3,000m²程度の小区画の圃場に使用が限定される。目標経路に対する横方向 RMS 誤差は 0.18m であった。結果的に3航法センサとも水田における除草剤散布に十分使用できる走行精度であることを確認した。

以上のように、本研究では農業用エアボートの完全無人化に成功した。農業用ボートの自律化は過去に研究例がなく、高いオリジナリティがある。また本研究の成果は我が国の水田農業の労働力不足を補う革新的技術であり、社会貢献の点でも評価できる。よって審査員一同は、劉 羽飛が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。