HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of a Multi-robot Tractor System for Farm Work [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	张, 弛
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第12717号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/66040
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Zhang_Chi_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　　張　弛

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

Development of a Multi-robot Tractor System for Farm Work

（マルチロボットトラクタによる協調作業システムの開発）

本論文は、全 7 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 73、表 20、引用文献 103 が含まれ、別に参考論文 3 編が添えられている。

本研究は複数のロボットトラクタ（以下、ロボット）による協調作業システムの開発研究である。日本農業の労働力不足は深刻である。他方、農業経営改善のために 1 戸あたりの耕作面積は増加している。今後日本農業の持続性を確保するためには、農産物の格段の品質向上と生産コスト削減が不可欠であり、ICT やロボットへの期待が高まっている。他方、世界に目を転じると産業革命以降の「機械の大型化」という食料生産戦略が土壌踏圧による作物の生育環境を悪化させ、その対策として不可欠な心土破砕作業の消費エネルギが増大している。また、近年の異常気象により降水量が増加し、トラクタ作業ができない日が増え農作業に支障がでてきた。この問題はトラクタの大型化が助長しているのは言うまでもない。これら諸問題の解決には小型のロボットが群で協調しながら精密・高効率に作業を行うシステムが必要となり、EU ではその研究開発が最近始まった。圃場規模拡大に対する対応は“1 台の馬力”ではなく、ロボットの“台数”になることが特長である。このような背景から本研究では複数のロボットが協調作業を行うことを可能にするマルチロボットトラクタシステム（以下、マルチロボット）を研究対象とした。ロボット作業の安全性を高めて作業能率を格段に向上させるシステム開発が狙いである。まずマルチロボットの制御理論を考案した。台数に制限なくロボットが編隊を組んで作業走行できるシステム設計である。農作業は主に直線経路の作業走行と圃場端における枕地旋回によって構成されるが、本研究で扱うマルチロボットは各ロボットが操舵と速度を調整することで編隊を維持しながら安全かつ高精度に作業を遂行できることが要求される。そこでまず個々のロボットの挙動を数理モデルで記述

し、コンピュータシミュレーションによって、マルチロボットの協調作業アルゴリズムを提案した。特に本マルチロボットは自律分散システムであることから、個々のロボット間の情報通信内容の整理とロボットの意思決定に関するルール化が主要な研究内容である。次にマルチロボットの安全対策について検討した。安全策は内部情報利用による方法と外部情報利用による方法の２種類を考案した。内部情報利用はロボット間の安全性を確保するもので、通信で得られる他ロボットの位置・姿勢・速度などの状態量を活用している。ロボットの大きさを円形や矩形の空間として表現し、その空間を安全領域と呼び、各ロボットの安全領域間の分離・外接・交差などの相対関係を調べることで安全性を評価・確保するものである。もう一つの外部情報利用は他ロボット以外の予期できない障害物を対象としている。各ロボットにレーザースキャナーを装備して半径 8m の範囲にある物体を認識して衝突を回避するものである。本論文ではレーザースキャナーからの距離データ群をウェーブレット解析することで障害物の有無に加え、障害物の大きさも正確に認識できる方法を考案した。そのあと実機を用いた圃場試験を行った。供試マルチロボットは市販のトラクタを改造したものを４台使用し、それぞれに航法センサとして RTK-GPS、慣性計測装置(IMU)、レーザースキャナーを装備した。協調作業を実現するために各ロボットの状態を共有する通信システムを搭載した。通信にはインターネットを利用しメッセージ送受信のためのサーバアプリケーションも開発した。まず、実機によって考案した安全システムの実証試験を行った。内部情報利用による安全対策は、４台のロボットを圃場にW型に配置して作業走行させて確認した。個々のロボットが安全領域を正確に認識して枕地旋回を含め安全に作業走行できた。レーザースキャナーを使用した外部情報利用による安全対策は２台のロボットを使用して圃場において人検出試験を実施した。２台のロボットはレーザースキャナーによって人を的確に検出し、停止するまで 2.2s 要した。ロボットの作業走行速度は 2.0m/s 以内、検出エリアは上述の 8m であることから安全性に支障はないと判断した。次にマルチロボットの耕うん作業を２台協調、３台協調、４台協調で行った。ロボットの走行精度を意味する横方向偏差はすべて 0.04m 以内であり高い走行精度を実現した。作業中のロボット間最小距離はすべてのロボット台数で約 0.8m であり安全性を確保した。それぞれのロボットに干渉なく独立に作業させて場合を作業効率 100％と定義した場合、開発したマルチロボットの作業効率は長辺 100m の圃場において２台協調は 88.6％、３台協調が 80.0％、４台協調は 82.1％であり、実用上十分な作業効率と判断した。

本研究の成果は世界初のものであるとともに、現在日本政府が進めている農業のロボット化施策の代表的な技術として認められており、社会的にも高い注目を集めている。本研究のなかで開発した有人―無人トラクタによる協調作業ロボットのコンセプトは来年大手農機メーカーから商品として販売される予定である。すなわち、本研究の成果は高い学術的価値、オリジナリティとともに社会的貢献も大きいと評価できる。よって審査員一同は、張 弛が博士（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。