



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of a Remote Safety System for Agricultural Robot [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	陳, 思汎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第15757号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91980
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	CHEN_Sixun_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 陳 思ジン

審査担当者	主査	教授	野口 伸
	副査	教授	岩渕和則
	副査	准教授	岡本博史
	副査	准教授	石井一暢（国際食資源学院）

学位論文題名

Development of a Remote Safety System for Agricultural Robot （ロボット農機の遠隔セーフティシステムの開発）

本論文は英文 109 頁，図 53 枚，表 23 枚，7 章からなり，参考論文 1 編が付されている。

日本農業は，農業人口の減少と高齢化による労働力不足という深刻な問題を抱えている．このような労働力不足を解決する技術としてロボット農機が期待されているが，普及のためにはロボットの安全性の確保が最も重要な課題である．農林水産省が制定した「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」では，トラクタ，コンバイン，田植え機などのロボット農機は人による監視が必要とされる．分散した圃場で作業する複数のロボット農機の場合，圃場ごとに監視員を配置するのは効率が悪い．遠隔監視システムを開発し，1 つの監視室から各圃場で作業するロボット農機を監視することができれば，人件費の削減とロボット農機の効率的利用が可能になる．そこで，本研究では稼働中の複数のロボットトラクタを遠隔で効率的に監視できるようロボット農機の遠隔セーフティシステムの開発を目標とした．

1) 遠隔監視用ロボット農機と障害物検出法

遠隔監視用ロボットトラクタを試作した．ロボット農機は，走行制御用に RTK-GPS，IMU，制御用 PC，NUC (Next Unit of Computing)，2D-Lidar とトラクタ前方・後方それぞれに単眼カメラを装備した．遠隔監視室には複数の監視モニターと回転警告灯を設置した．RTK-GPS と IMU は，ロボット位置と 3 軸姿勢角を取得するために使用される．トラクタ前後部に装備した単眼カメラはトラクタ周辺画像を取り込み，インターネット経由で遠隔監視室にある障害物検出ユニットに転送される．障害物検出は画像処理により移動障害物の有無と障害物までの距離を算出する．また 2D-Lidar は人や農機以外の障害物の検知に有効であり，さらに通信遅延の増大や障害物検出ミスにより発生する衝突の回避に効果を発揮する．

2) 障害物検出ユニットの開発

障害物検出ユニットは，複数の AI モデルの性能を比較して，最適なモデルを選

択した。当初は YOLOv3 を障害物検出モデルとして採用し、比較対象として Faster R-CNN を学習させ、その後 YOLOv5s を障害物検出モデルとした。YOLOv5s によるモデルは数多くの屋外環境試験の下で検出精度・速度の点で、他モデルよりも優れ、実環境におけるロボット農機の障害物検出センサとして十分に機能することを明らかにした。遠隔セーフティシステムとして使用する単眼カメラの幾何キャリブレーション、そして安全レベルの指標となるセーフティゾーンの考え方を考案した。また、単眼カメラによる障害物までの距離推定の高精度化を図るために、統計的手法と障害物のキーポイント検出により、障害物となる人間やトラクタの測位結果を補正し、精度向上を図った。最終的に YOLOv5s モデルを用いることで mAP 値 87.3% の障害物検出ユニットが完成した。このユニットは Quadro P4000 GPU ベースのワークステーション上で 32 fps で画像解析を実行できる。障害物検出ユニットの解析結果はロボットトラクタに送信され、障害物が検出された場合は監視者のモニターに警告を発すると同時にロボットトラクタは自動的に緊急停止を行う。単眼カメラによる障害物検出距離の誤差は平均相対誤差 2.6%、最大誤差はカメラから 15m 前方で 0.77m であった。

3) 遠隔セーフティシステムへの展開

複数のロボットトラクタを監視する際に、新たに開発した遠隔セーフティシステムの有効性を検証するために、実際の生産者の圃場において実験を数多く実施した。これらの検証実験を通して、遠隔セーフティシステムの性能を評価した。また、このフィージビリティスタディの結果に対して、リスクアセスメントを実施した。結果として、障害物検出ユニットはほぼ 100% 移動障害物を検出し、遠隔セーフティシステムの高い精度と信頼性が確認された。この成果は開発した遠隔セーフティシステムが複数のロボット農機の作業監視のワンマンオペレーションを可能にする能力を有していることを示している。

以上、本研究では遠隔監視下のロボット農機のセーフティシステムの開発を行った。複数のロボット農機を遠隔で監視するシステムは世界的に注目されているが、いまだ実現していない。実用化に向けて最も重要な点は一人のオペレータが複数のロボット農機の安全性を遠隔で確保できる技術の開発にある。本研究では 30km 以上離れた複数の圃場で計 5 台のロボット農機の遠隔監視に成功した。この成果は遠隔監視型ロボット農機の実現に対する多大な貢献であり、本研究で得られた成果は学術的にも社会的にも大きな価値があると判断できる。

よって審査員一同は、陳 思ジンが博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。