



Title	高速移動通信技術を活用したロボット農機の遠隔監視・遠隔操作に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	森田, 豪
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第15761号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/92042">https://hdl.handle.net/2115/92042</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	MORITA_Tsuyoshi_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	森田 豪
審査担当者	主査	教授	野口 伸
	副査	教授	岩淵和則
	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

## 高速移動通信技術を活用したロボット農機の 遠隔監視・遠隔操作に関する研究

本論文は和文 86 頁，図 37，表 12，5 章からなり，参考論文 4 編が付されている。現在農業ロボットのさらなる発展に向けた取り組みが国内外の農機メーカーや公的研究機関において行われている。その中で農業機械の自動化の進展に伴って，農林水産省は農業機械の自動化の高さを数値で整理している。「レベル 1」はオペレータが手放し運転できる自動化技術，「レベル 2」は無人農機であるが，その作業を人が目視で監視することが要求される。現在，実用化しているロボット農機はこの「レベル 2」までである。次の「レベル 3」は複数のロボット農機を遠隔にある監視室からモニターするシステムである。本研究では，この自動化「レベル 3」の開発を目標とした。さらに監視中のロボット農機を人が遠隔で操作できるシステムの開発も行った。

### 1) サイバー・フィジカルシステムによるロボットトラクタの走行制御系の開発

ロボットトラクタの自動走行を遠隔の監視室から制御する手法を検討した。ロボット農機は，砂塵や高温といった過酷な使用環境にあるため，自動走行のような高負荷な計算をやり続けることは非常に難しく，過酷な環境における可用性の確保は課題である。これを解決するために，遠隔に存在するクラウド基盤に走行制御系を配置し，使用環境の制約に拘束されないシステムを目指した。しかし，遠隔に存在する制御系によってロボット農機を制御する場合，ロボット農機と監視室間の通信によって生じる伝送遅延が制御に悪影響を与える。そのため，この遅延の影響を解消するために，車両運動モデルから遅延時間中の横方向移動距離を推定して，遅延を補償する手法を考案した。車両運動モデルによる横方向距離の推定精度は 0.04m であり，十分な補償精度であった。また，高負荷な計算を行うマシンビジョンによる走行制御システムをクラウド基盤上に配置して，ロボットトラクタの走行試験により遅延補償の効果を調べた。伝送遅延補償によって，走行誤差を最大 76%改善することに成功した。

### 2) ロボット農機におけるローカル 5G を用いた低遅延な安全システム

自動化「レベル 3」では，遠隔地にあるロボット農機から車載カメラ映像が短い

更新周期で監視室に送信される。本研究ではクラウド側でロボット農機からの映像を高速に画像処理してロボットトラクタを制御する安全システムが必要となる。しかし、こうした通信を要するシステム構成では、ロボット農機—監視室間の通信遅延が安全性に悪影響を及ぼす。そこで通信回線規格である LTE (Long Term Evolution) を用いたロボット農機—監視室間の通信試験を行い、ロボット農機の停止距離を計測して、遠隔ロボット農機の安全性を評価した。さらに、超低遅延かつ大容量な通信が可能なローカル 5G を採用した場合についても通信遅延の影響を走行試験により調べた。結果として、ローカル 5G を利用することで LTE と比較して 27% の停止距離の低減が確認された。安全性確保にはローカル 5G ネットワークにおけるアップロード速度の増加が効果的であることも判明した。

### 3) ロボット農機における遠隔操作システム

自動化「レベル 3」では、複数のロボット農機がそれぞれ離れた場所で同時に作業することが想定される。高度に自動化されたロボット農機においても、常に正確な意思決定をさせることは難しい。この問題解決のために人とロボットの協業が必要と考え、人間による遠隔操作機能を開発した。遠隔地にいるオペレータは、送られてくるリアルタイムな車載カメラの映像を基に、監視室に設置されたハンドルコントローラによって、ロボット農機を直接運転する。本研究では遠隔監視システムの開発とともに操作遅延の最小化を目指した。加えて、このシステムにローカル 5G を利用して、最小 100msec を下回る超低遅延な遠隔操作システムを試作した。また、伝送遅延が発生する原因究明と区間ごとの遅延時間分布を計測した。ローカル 5G と LTE を比較した結果、ローカル 5G の方が伝送速度は速いことに加え、ジッタも LTE よりも小さいことが明らかになった。遠隔操作による走行においてもローカル 5G を利用することで走行精度が向上し、ローカル 5G の遠隔操作に対する有効性が確認された。

以上、本研究では複数のロボット農機の遠隔監視を可能にする自動化「レベル 3」の技術開発を行った。ロボット農機制御系を遠隔監視室にあるクラウド基盤に配置する試み、また遠隔監視に重要な伝送遅延を LTE およびローカル 5G について安全性の観点から調べた点、さらにロボットの使用環境が整備されていない農地において、ロボット農機の完備性を高めるために監視者による遠隔操作を可能にするシステムを開発した点は、いずれも独創性と有用性の高い研究成果である。以上のように本研究は国内外で現在活発に行われている自動化「レベル 3」の実現に向けた先駆的な研究であり、遠隔監視型ロボット農機の性能向上に多大に貢献するものである。

よって審査員一同は、森田 豪が博士（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。