



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of positioning systems for an automatic combine harvester [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Udompant, Kannapat
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第14658号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/83199
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	kannapat_udompant_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	Kannapat Udompant
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	助教	オスピナ アラルコン リカルド

学位論文題名

**Development of positioning systems for an automatic combine harvester
(コンバインハーベスタ自動化のための測位システムに関する研究)**

本論文は英文 103 頁，図 42，表 14，6 章からなり，参考論文 1 編が付されている。

世界的に人口の増加とともに地球温暖化，干ばつ，砂漠化など地球環境の過酷化が進行する中で，農業の持続性を確保する上で，国際的に人に代わるロボットが必要不可欠との認識である．現在ロボット農機は米国・欧州・中国・韓国・ブラジルなどで研究開発中である．日本では完全自動化されたトラクタ，田植え機が世界に先駆けて社会実装されているが，いまだ収穫機であるコンバインハーベスタ（以下，コンバイン）の無人化は実用化していない．これは作業経路が作物の刈跡によって決定され，コンバインの自動化に適した測位システムが確立されていないことが一因である．このような現状から本研究はコンバイン自動化に有効な測位システムを明らかにすることを目的とし，ローカルセンサとグローバルセンサの 2 種類について検討した．ローカルセンサはレーザースキャナとビジョンセンサを統合して作物の既刈と未刈の境界線検出システムである．また，グローバルセンサは，アジア諸国で利用できる日本版 GNSS である準天頂衛星システム (QZSS) の利用である．QZSS については 2 種類の測位信号をコンバインに適用して有効性を考察した．

1) ローカルセンサを用いた刈取境界線検出システムの開発

ビジョンとレーザのセンサーフュージョンを適用することで，作物の既刈と未刈の境界線を検出できるシステムを開発した．ビジョンセンサの画像処理により既刈領域と未刈領域を分割することでその境界線を検出した．さらにパン・チルトユニットに取り付けられたレーザ距離計でコンバイン前方の 2 次元フィールド情報を収集し，作物高さ情報を利用することで，画像同様，既刈領域と未刈領域を同定し，最小二乗法を適用して境界線を検出した．この 2 センサーから得られた境界線を Dempster-Shafer 理論を適用して融合した．基礎実験の結果から 2 センサーの統合化されたデータは，境界線検出に有効であることを明らかにしたが，コンバインを高精度に誘導するには計測精度の点で十分でないことも判明した．

2) コンバイン自動化に対する準天頂衛星システムの評価

QZSS によって配信されているセンチメートル級補強信号 (CLAS) とマルチ測位衛星システムの軌道情報および時計情報の解析による補強信号 (MADOCA) がコンバイン自動化に適用可能かどうか評価した。QZSS は全球をカバーする米国の衛星測位システムである GPS, ロシアの GLONASS, EU の Galileo, 中国の BeiDou と異なり, アジア・オセアニア領域をカバーする測位システムであり, タイ王国においても使用可能である。本研究では CLAS と MADOCA について, リアルタイムキネマティック測位 (RTK-GNSS) と比較することで静的および動的条件下で測位精度を評価した。静的条件下で測位精度, 初期化時間, 再接続時間などを測定した。約 95% の確率で距離値以下の精度に収まる 2DRMS 値は CLAS と MADOCA それぞれ 0.04m と 0.10m, 平均誤差半径 (Circular Error Probability; CEP) は 0.03 m と 0.08 m といずれも高い精度であり, コンバインを自動走行させることができる可能性が示された。

3) 準天頂衛星システムを航法センサーとした自律走行コンバインの性能評価

QZSS 受信機をコンバインに搭載して自動走行できるよう改造し, 実験圃場において走行試験を行った。走行試験の結果は横方向偏差の RMSE は安定した環境下では MADOCA は 0.04m, CLAS は 0.03m であった。しかし, MADOCA は測位の収束に時間を要することと, 50cm 程度のバイアスが長周期変動することからコンバインの自律走行用の測位システムとして利用することは, 2 時間おきのバイアス補正を行うなどの対応が必要であることが判明した。他方, CLAS は走行制御系の調整が必要であるが, 動的特性を考慮して制御系設計を行えば, そのままコンバインの自律走行に使用できる可能性があることを明らかにした。

本研究ではコンバイン自動化のためのローカルセンシングよりもグローバルセンシングである QZSS の CLAS および MADOCA は, コンバインの航法センサーとして使用できる可能性を認めた。測位精度と可用性の観点から MADOCA よりも CLAS が優れていた。補強信号の生成法から CLAS は日本国内での使用に限定されるので, 海外では MADOCA 利用になる。MADOCA については, 日本政府が QZSS を 7 機体制に整備し, コンバインの走行制御系において MADOCA の収束特性を考慮することで, コンバイン自動化に利用できる可能性が示唆された。

以上, 本研究ではコンバインの自動化において問題になっている測位システムの技術開発を進めた。ローカルとグローバルの 2 種類の測位システムについて評価し, 実用に耐えられる測位システムとその適切な使用法を提案した。これらの成果は本人の母国であるタイ王国でも使用できる可能性があり, 人手不足が顕在化してきているアジア諸国の稲作に対して多大に貢献するものである。

よって審査員一同は, Kannapat Udompant 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。