



Title	醸造用ブドウ栽培におけるせん定ロボットシステムに関する研究
Author(s)	膝舘, 智明
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16764号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16764
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99609
Type	doctoral thesis
File Information	HIZATATE_Tomoaki_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



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 膝舘 智明

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	楊 亮亮
	副査	准教授	石井一暢（大学院国際食資源学院）

学位論文題名

醸造用ブドウ栽培におけるせん定ロボットシステムに関する研究

本論文は邦文 98 頁，図 44，表 15，6 章からなり，参考論文 3 編が付されている．果樹生産では稲作，畑作などと比較して，依然として労働集約的な作業に依存している．特に，果樹の余分な枝を切断して樹形を整えるせん定作業は果樹の収量や品質に影響する基幹工程であり，残す枝を適切に選びながら一本ずつ作業する必要があることから，省力化が困難な作業であり，人力に大きく依存している．こうした労働集約的な作業は果樹産業の持続性に大きな影響を及ぼしており，自動化・ロボット化による生産性の向上が必要である．本研究では垣根式ブドウ栽培に適用可能なせん定ロボットシステムの開発を目的とした．ビジョンセンサを用いた樹体構造の推定，ロボットアームによるせん定動作，さらに実用化を見据えた電力消費や充電を考慮したロボット作業計画の最適化を統合的に検討し，効率的かつ高精度なせん定作業の自動化を目指した．

1. RGB-D カメラを用いた樹体構造推定システムの開発

せん定ロボットシステムの一環として，ブドウ樹の三次元構造を推定する手法を提案した．提案手法は RGB-D カメラから得られた深度情報のみを用いて構造推定を行う．得られた深度情報を処理して生成した点群データから最小全域木（Minimum Spanning Tree: MST）を構築することで，ブドウ樹の位相構造をデータ化した．MST のコスト関数は，ノード間距離，重力屈性，ノード間接続の滑らかさを考慮して設計した．さらに，植物学的特徴と圃場データに基づく統計解析から，三次元骨格情報のみを用いて結果母枝，結果枝，芽といった構造要素を分類する手法も開発した．

実験はブドウ園における 10 本の樹木を対象に行い，手動で構築した位相構造との高い整合性を確認した．特に，コスト関数に含まれるパラメータの最適化によって，枝の重なりによるオクルージョンがある条件下でも高精度な推定が可能であった．処理速度も従来手法を上回り，ブドウ樹 1 本あたり平均 0.6s で構造推定を完了した．これらの結果から，開発した手法はせん定ロボットシステムにおけるリアルタイム利用が可能と判断した．

2. 果樹の三次元構造情報を用いたロボットアーム動作計画手法の開発

推定された果樹の大域的な三次元構造情報とエンドエフェクタに搭載したカメラを用いたロボットセン定システムを開発した。開発システムは、移動プラットフォームに搭載した RGB-D カメラで取得した点群データから樹体構造を推定し、セン定位置を決定した後、6 自由度ロボットアームの動作計画を行う。セン定直前にエンドエフェクタ搭載カメラで取得した局所視覚情報を用いて、YOLO ベースの枝・芽認識と Dynamic Time Warping による大域視覚情報とのマッチングによりエンドエフェクタの位置補正を行った。経路計画には、直交座標系における直線補間とランダムサンプリング手法である RRT-Connect を組み合わせたハイブリッド手法を採用し、計算効率と成功率の両立を図った。

圃場試験ではセン定成功率 83%、芽数制御精度 91%を達成し、局所視点情報を用いたエンドエフェクタ位置補正機構の有効性が確認された。一方、複雑な枝分岐を有する場合、セン定成功率・芽数制御精度が低下した。樹体構造を簡素化することは容易でないので、樹形構造推定手法はさらなる性能向上が要求される。

3. 果樹園用電動ロボットのための作業計画最適化

本研究で供試したロボットは電動車両であることから航続距離や作業機駆動出力に制約があり、特に傾斜地ではエネルギー消費が大きくなる。このため、電動車両の性能を最大化するには走行経路や充電を含む作業計画の最適化が必要である。ここでは問題を一般化し、走行中に質量変化を伴う複数台の農薬散布ロボットのための最適作業計画生成アルゴリズムを開発した。最適化手法として階層型遺伝的アルゴリズム (Layered Genetic Algorithm: LGA) を用いた。LGA によって生成された作業計画と総当たり法や焼きなまし法によるスケジュールを比較した結果、LGA は最適あるいは準最適な作業計画を構築できることが確認された。さらに、複数台のロボットに対する作業計画を作成し、本手法が総作業時間やロボット仕様といった制約条件下における必要台数の決定など、ロボット運用問題にも適用できることを示した。

本論文はいまだ世界的に実用化していないブドウ樹のセン定ロボットの開発を行った。ビジョンセンサを用いた樹体構造の推定、ロボットアームによるセン定動作、さらに実用化を見据えた電力消費や充電を考慮したロボット作業計画の最適化まで統合的に取り扱った。自然環境下の複雑なブドウ樹からセン定位置を決定し、正確に枝切りするという高度な技術開発に成功し、果樹栽培のスマート化に多大に貢献する研究成果である。よって審査員一同は、膝舘智明が博士（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。