

## 自律走行する木の際刈り可能なクローラ型ロボットの開発 Development of an autonomous crawler-type robot capable of trimming tree limbs

渡邊 悠人<sup>†</sup>  
Yuuto Watanabe

千葉 慎二<sup>†</sup>  
Shinji Chiba

### 1. はじめに

近年,ロボットは農業やインフラ,災害対応などの幅広い分野での活躍が期待されており,中でも農業従事者の減少,高齢化,1人当たりの耕地面積増加により高齢な農業従事者がより広い耕地での農作業を強いられる恐れがある日本の農業分野においては,自動で作付けを行うロボットトラクターや農薬散布を行うドローンなど様々な環境下で多様な農作業を自動で行うロボットの開発は重要である<sup>[1]</sup>.特に草刈り作業は重労働であり,時にその作業負担は離農の要因ともなっている<sup>[2]</sup>.この現状に対し,自動草刈りロボット等の農業ロボットの開発による農業支援が行われている.しかし,作物付近の際刈り等の繊細な動作を要する箇所については人間による操縦を必要としており,完全な農業支援の実現には至っていない.本研究では IoT やロボットを活用したスマート農業システムの構築を地元農家と連携して行っている.中でもワイン用のブドウを生産するワイナリーでは,広大な敷地内で手作業による草刈りや農薬散布,収穫,作物の発育,健康状態の確認,有害鳥獣被害の対策など,問題を多く抱えており,中でも作物付近の雑草の際刈りが大変大きな労働負担となっていることをヒアリングにより知りえた.

本研究ではこれらの問題に対し,まずは草刈りに焦点を当て,自律走行する木の際刈り可能なクローラ型ロボットの研究,開発を行うことで人の手による作業の負担軽減を図る.また,人工知能を搭載することで作物の成長度合いに応じた自律走行,草刈りや,草刈りに限らない幅広い農業分野で運用を可能にする汎用性を備えることを図る.

本件では作物を傷つけることのない木の際刈りを自律走行しながら行うこと目的とし,ロボット,及び草刈り機構の設計,製作を行い,GNSS,IMU,LIDAR センサをもとに自己位置を推定し,カメラを用いて人工知能により作物の状態に応じてロボット動作の補正をする自律走行システムの構築を行い,実証実験によりシステムの有効性を示すことを目指す.

### 2. クローラ型ロボットシステム構成

設計,製作したクローラ型ロボットのプロトタイプの外観とロボットスペックを図 1,表 1 に示す.ロボットはアルミフレーム,クローラモジュール,草刈り機構,各種センサ,制御回路,電源ボードで構成されている.現ロボットに至るまで複数のプロトタイプ機の製作を行ったため,機体サイズや重量,センサ配置の最適化,保守性,汎用性の向上が実現した.草刈り機構は作物を傷つけることなく木の際刈りを実現するため,草刈り刃をカバーで覆ったモジュールを引っ張りばねにより受動的に動かすことができる機構を設計,製作した.草刈りはナイロンカッターをモータにより高速回転させるこ

表 1. ロボットスペック

IMU	GNSS	GNSS	アンテナ	全長	800mm
カメラ	LIDAR	草刈り機構	電源ボード	幅	1000mm
クローラモジュール				高さ	550mm
				重量	23.30kg
				最高速度	0.83m/s
				バッテリー	Lipo 6s
					5000mAh×2
				緯度方向:	63.79cm RMS
				経度方向:	75.94cm RMS
				高さ方向:	148.92cm RMS
				加速度:±16g	
				角速度:	±2000deg/s
				地磁気:4800μT	
				LIDAR	測定距離:0.12~10m
				カメラ	解像度:1280×720px

図 1. クローラ型ロボット

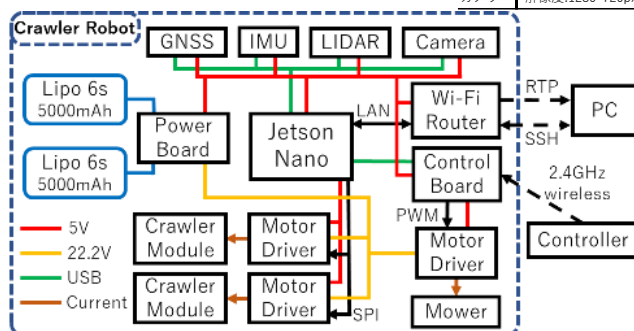


図 2. システム構成図

とで実現する.図 2 にシステムの構成図を示す.画像処理を行うため GPU を搭載した Jetson Nano を中心として自律走行に必要な GNSS,IMU,LIDAR センサ,カメラ,またコントローラの信号取得やアクチュエータ制御,動作モードの変更を行うマイコンボードを搭載したコントローラボードをそれぞれ USB により接続している. GNSS センサは単独で高精度測位が可能なマルチ GNSS 受信機(QZNEO)を用いた.搭載センサの増設により Jetson の給電能力では不十分となったため,自作した電源ボードから 5V 電源をセルフパワー USB ハブにより各種センサへ供給する仕様とした.これにより,電源系の保守性,安全性を高めた.クローラモジュール駆動のためのモータドライバは SPI 通信,草刈り機構のモータはコントローラボードより制御を行う.Jetson は搭載した Wi-Fi ルータより構築されたネットワークを介して SSH 接続, RTP を用いることで PC から開発を行う.ロボットは ROS を用いて開発を行う.ROS を用いることで円滑な開発,システムの保守性,拡張性が得られると考える.

### 3. 自律走行際刈りシステム

本件は,垣根仕立ての栽培方法を取り入れたブドウ園における作業を対象としている.ロボットは垣根の間を自律走行して垣根の根元部分の草刈りを行う.自律走行を行う際は GNSS,IMU センサから推定したロボットの緯度,経度,並進速度,回転角度を用いて大まかな自己位置推定を行い現在

<sup>†</sup> 仙台高等専門学校

National Institute of Technology, Sendai College

座標から目標座標までを一直線に結ぶ経路を追従する制御を行う。PI 制御によりロボットの角速度、並進速度を制御する。垣根の根元の際刈りには垣根の横を精度よく走行することが求められる。しかし、GNSS、IMU センサは電波や周囲環境の変化、長時間の動作により誤差が蓄積するため、ロボットの正確な自己位置推定が困難であり、自律走行中に目標軌道からそれたり、垣根へ衝突したりする恐れがある。また図 3 に示す際刈り概略図に示すように、際刈りは対象の作物に受動的に動くことができる草刈り機構を押し当てることで作物の根元部分の雑草の草刈りを実現する。よって対象とする作物はある程度成長しており根元が丈夫であることを前提としているため、植えたばかりの苗木等の一定以上の成長に満たない作物は草刈り機構により傷つけられる恐れがある。

これらの問題に対し新たに LIDAR センサ、カメラ等を追加し、周囲環境の計測により動作補正を行う。LIDAR センサにより推定したロボットに対する垣根位置をもとに動作を補正する。カメラを用いて対象となる作物を撮影し、人工知能により作物の成熟度合いを識別し、能動的に動くことができるよう改良した草刈り機構を作物の成長度合いに応じて収納することで作物を傷つけることを防ぐ。

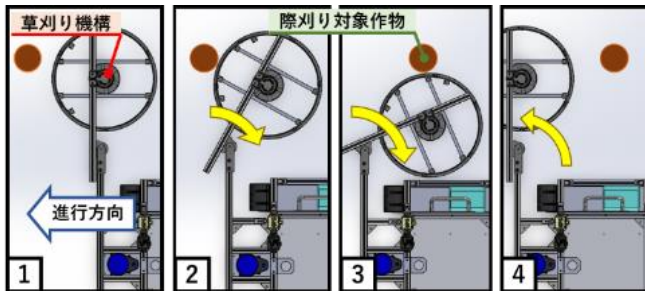


図 3. 際刈り概略図

## 4. 実験と評価

### 4.1 草刈り実験

手動操作による草刈り実験を学内で行った。図 4 に草刈り前と後の実験環境を示す。草地は平面であり、草刈り刃は地面から 50mm の高さに設定した。図 4 から草刈り機構のある程度の有効性を確認できる。一方で草刈り機構と地面との過度な接触による走破性の低下や、防水防塵性確保のためのカバーによるモータの放熱性の低下等、課題点も見つかった。

### 4.2 自律制御実験

GNSS、IMU センサによる自律制御を行うプログラムを ROS により実装し、自律制御実験を学内にて行った。図 5 に自律走行時の移動軌跡と実験環境を示す。実験に協力頂いている秋保ワイナリーのブドウ園では草の生えた道と、舗装された道の 2 環境を走行すると想定されるため、実際の走行環境に近い草地と舗装された道の 2 環境上を走行するよう環境を選定した。A~D の点はあらかじめ設定した目標座標であり、A から時計回りに目標座標を通過するよう自律走行させた。図 5 に示すようにおおむね目標座標に沿って自律走行できていることがわかる。目標座標、軌道との誤差はセンサの精度や目標座標の有効桁、角速度 PI 制御のオーバーシ



図 4. 草刈り前(左) 草刈り後(右)

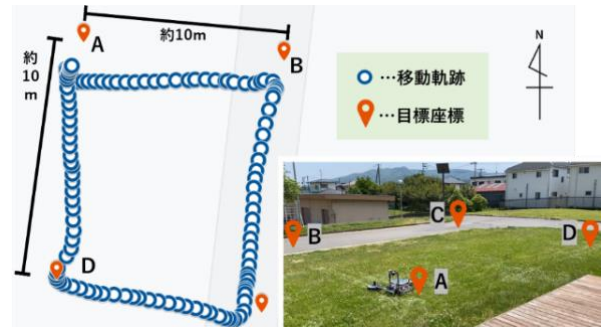


図 5. 自律走行軌跡(左) 実験環境(右)

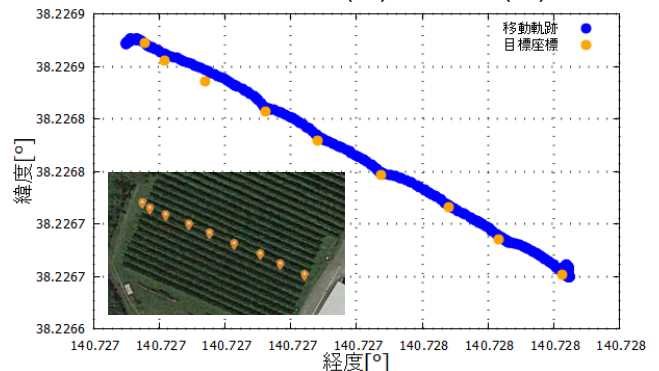


図 6. ワイナリーにおける自律走行軌跡

ュート等が原因と考えられる。

### 4.3 秋保ワイナリーにおける実証実験

実験にご協力いただいている秋保ワイナリーにて垣根間の自律走行実験と作物の際刈り実験を行った幅 2.5m の垣根間の中心を走行するようあらかじめ設定した座標をもとに自律制御実験を行った。図 6 に実験結果を示す。ロボットはおおむね目標座標に沿って自律走行を行ったが、走行中に垣根へ衝突する場面があった。草刈り実験に関しては際刈り対象作物付近に起伏のある地面が存在し、草地が平面であることを想定している現行の草刈り機構では、カバーが地面と接触しロボットがスタックしてしまう場面が多々発生した。また、走行中の垣根画像の収集を搭載カメラにより行った。

## 5. まとめと今後

草刈り機構を有したクローラ型ロボットを設計製作し、秋保ワイナリーにて手動操作による草刈り実験、GNSS、IMU センサによる自律制御実験を行い、システムの課題点を見つけるとともに有効性を示した。今後は自律制御の精度の向上や、能動的な収納動作や地面の起伏によらず機能するよう草刈り機構の改良、LIDAR センサによる際刈り対象作物の位置推定実験、カメラ画像による作物の成長度判定実験を行い、自律動作補正システムを構築し、実証実験よりシステムの有効性を検証する。

### 謝辞

本件の研究活動にご協力いただきました、秋保ワイナリー様、並びに議論、アドバイスを賜りました千葉教授、研究室メンバーにこの場をお借りして深く御礼申し上げます。

### 参考文献

- [1] 笈田昭, 田野信博: “トラクタの自動走行”, 農業機械学会誌, 第 38 巻, 第 3 号 pp.438-440, 1976
- [2] 木原奈穂子, 中塚雅也: “集落における畦畔管理請負の組織づくりと展望”, 農業問題研究, 第 56 巻, 第 2 号, pp.70-75, 2020-6