

平成31年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「画像認識を用いた高効率な自律走行無人草刈りロボットの研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 東北経済産業局  
補助事業者 公益財団法人いわて産業振興センター

# 目 次

第1章 研究開発の概要 .....	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 .....	1
1-2 研究体制 .....	5
1-3 成果概要 .....	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口 .....	9
第2章 本論 .....	10
【1】並行走行による高効率作業の実現 .....	10
【1-1】刈跡認識の研究開発 .....	10
【1-2】高精度自己位置測位技術の開発及び実装 .....	13
【1-3】自己位置推定技術の開発及び実装 .....	13
【1-4】試作機的设计・試作 .....	18
【2】作業エリア設定のワイヤレス化 .....	19
【2-1】作業エリア設定 .....	19
【2-2】充電ステーション最短帰還 .....	20
【2-3】画像認識による充電ステーションとのドッキング .....	21
【3】スマートフォンを経由したICTの活用 .....	21
【3-1】スマートフォンによる内部データの見える化 .....	22
【3-2】スマートフォンによるデータ収集 .....	23
【3-3】スマートフォンによるプログラムアップデート .....	24
第3章 全体総括 .....	25
3-1 研究開発成果 .....	25
3-2 今後の課題 .....	25
3-3 事業化の考え方 .....	25

# 第1章 研究開発の概要

## 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発は主に果樹園地並びにメガソーラー設置場所のように果樹・ポールの様な立体的な障害が多数存在するほか斜度、凹凸が激しい土地の草刈を無人で自律走行しつつ幹回りを含め草刈りを行える小型電動ロボットの研究開発である。本機の特徴は搭載されたカメラから得られた画像を高速に処理することで障害物を認識し、障害物までの距離を高精度で推測し、際まで刈り込みを効率よく行うことを可能としたものである。更に、同技術をもって草の刈跡を認識することで、未了のエリアを検出し重複を最小限に抑えて無駄のない草刈りを行い、高効率作業を実現する。

### 1) 研究開発の背景

果樹園での草刈り作業は、害虫予防や農作業の効率化、除草剤による環境負荷の低減等を図るために欠かせない作業である。一方で、重労働であること且つ、作業中の飛び石による危険が伴う場合もある。近年では農業従事者の高齢化や担い手不足が加速している現状において、作業の安全性向上や省力化が望まれており、機械化、自動化へのニーズが高い。しかしながら、果樹園では、管理・収穫をしやすいうように果樹の低木化が進んでおり、従来の高さの草刈り機では対応が困難である。

これに鑑み、農林水産省では農業機械緊急開発事業（緊プロ事業）において開発すべき農業機械機種について方針を示し、樹園地用小型幹周草刈機の開発を促進している。

本開発では上記“緊プロ事業”で目指す草刈機よりさらに一歩進め、かつ、最近の農業のICT化に対する要求も踏まえた草刈り機の商品化を目指す。

本開発では、“無人化が可能”で且つ果樹の枝等で作業者が屈まなくても作業が可能な“作業高が低い空間でも安全かつ果樹を傷めない草刈りが可能”な草刈機の開発を行う。また同機は、果樹園に限らず、休耕地等の管理や、大規模ソーラーパネルの下部や周辺の草刈りにも活用できる。ソーラーパネルは、発電への障害が問題となることから、下草刈りが必要となるが、発電パネル下部は、作業スペースが低く、かつポール等が多く立ち並ぶ場所で作業効率が悪い他、既存の草刈り機では、石飛びによるソーラーパネルへのダメージも発生する等、改善が求められている。

芝刈り領域では欧米を中心に、家庭の芝刈りロボットが商品化されているが、いずれも平坦で開かれた広いスペースを対象とし、刈るエリアに凹凸、傾斜、障害物が林立している

ことは想定しておらず、本開発機が目指すような過酷な作業条件下での安全性と高作業効率を目指した草刈りロボットはまだ実用化されていない。

和同産業株式会社は創業 80 年の除雪機、農機具メーカーであり、少子高齢化、Co2 削減が求められる中、培ってきた技術ノウハウを活用して岩手大学の協力の下、次世代の自律走行無人草刈りロボットを開発する。

## 2) 従来技術での課題及び新技術による課題解決

前記背景で述べた通り、市場での困りごとが多く存在する。しかし、従来の技術でこれらの困りごとを解決することは困難であり、下記のような課題がある。

### ①非効率な作業を画像処理技術により解決

欧米では家庭の庭の芝刈りロボットが多数商品化されているが、現状の芝刈りロボットは障害物回避や不整地での走行ができず、雑草の草刈り作業に対応できず、芝刈り作業に限定される。また、刈取り済み部の 多重走行が多いなど効率性に問題がある。

また、幹回りの草刈りは従来の草刈り機では困難であり、幹回りは除草剤散布で対応している。そのような 除草剤散布は農薬被曝の問題も生じている。

そこで、人工知能を用いた画像処理技術及び画像認識技術、高精度測位、慣性センサによる自己位置推定を図ることにより、進路誘導の技術を確立し、多重走行が少ない自立並行走行を実現し、2倍以上（弊社試作機比）の効率的な作業を可能とする。（図1）

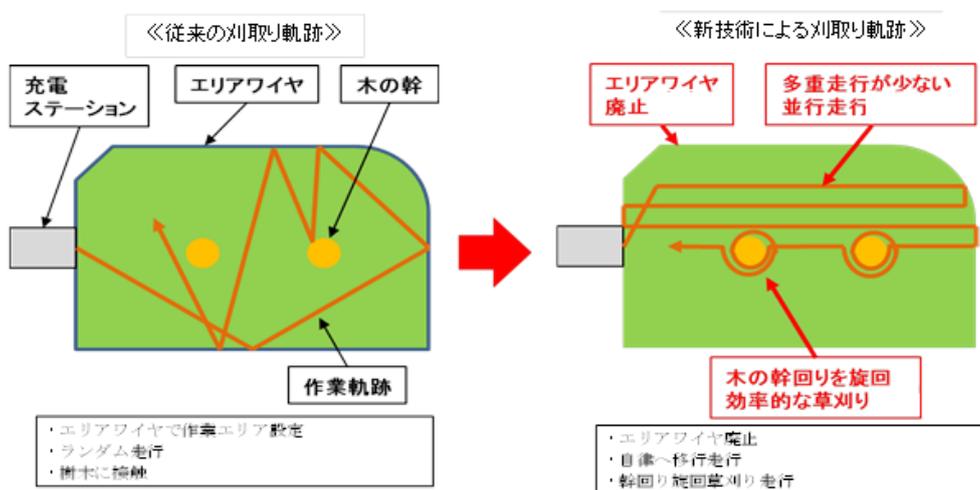


図1 刈取り軌跡の新旧比較

## ②エリアワイヤによる作業エリアの制限

従来技術ではエリアワイヤによる作業エリアの設定が一般的だが、それには最小でも約260mのワイヤの敷設作業が必要になり、多くの労力とコストが必要となるため作業エリアが限定され、複数の圃場で草刈り作業ができない。

そこで、本研究では、高精度測位(RTK-GNSS)と慣性センサ(9軸センサ)によりエリア設定、画像認識による充電ステーションとの位置合わせを行うことで、エリアワイヤ敷設作業を廃止することが可能となる。(図2)

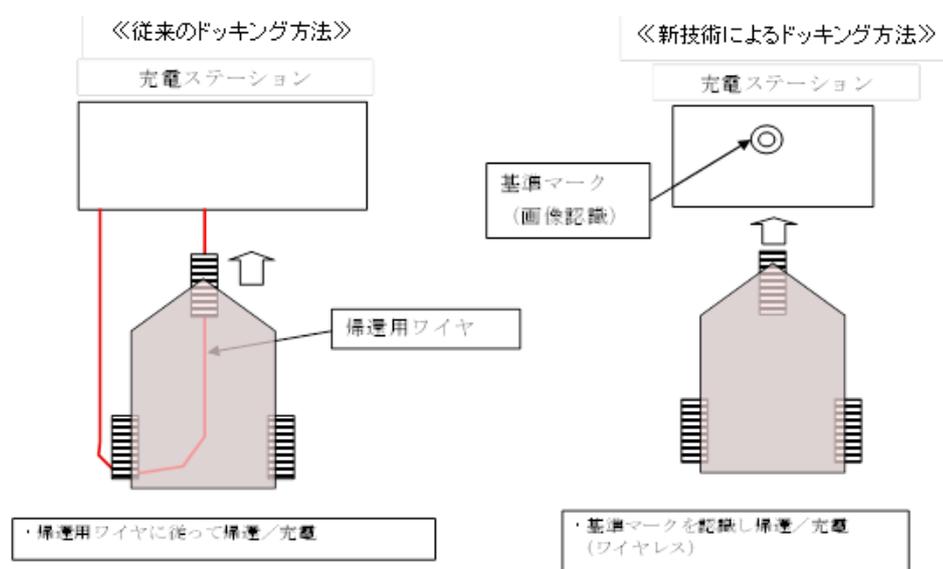


図2 ドッキング方法の新旧比較

## ③多様な年代に向けたサービス性の向上

担い手の高齢化が進む中で、過酷な条件（夏の高温下、エンジン騒音・振動、飛び石、急傾斜、土埃等）の下で行われる草刈り作業は作業者の大きな負担になっており、作業負担軽減及び無人化による安全で安心な作業が強く望まれている。

後継者不足も深刻な問題であり、スマートフォンを含む ICT の活用による農作業のスマート化を図ることにより、若い世代の農業参入が期待できる。

本研究開発では、草刈りロボットとスマートフォンとの連携（故障診断結果表示）、ICTを活用したメンテナンス情報の表示、アップデートプログラムの配信を行う。

これら①～③の課題及び新技術を表1に示す。また、これらの新技術により開発する製品の仕様を表2に示す。

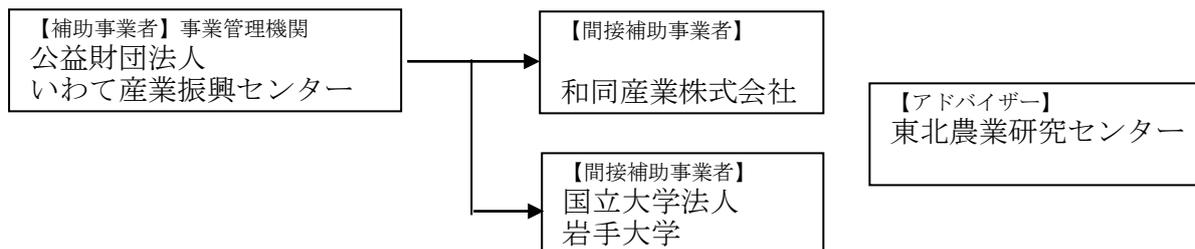
表1 新旧比較表

課題	従来技術	新技術
①刈取り効率の向上	ランダム走行（多重走行）による作業効率の低下	下記技術を統合した並行走行による高効率作業の実現 <ul style="list-style-type: none"> <li>・人工知能を用いた画像認識（刈跡認識）</li> <li>・高精度測位（RTK-GNSS）、</li> <li>・慣性センサ（9軸センサ）による自己位置推定</li> </ul>
②エリア設定労力軽減	エリアワイヤの敷設作業が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高精度測位（RTK-GNSS）と慣性センサ（9軸センサ）によるエリア設定</li> <li>・人工知能を用いた画像認識による充電ステーションとの位置合わせ</li> </ul>
③サービス性向上	故障情報の共有化が困難 診断用PCが必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スマートフォンへ故障診断結果表示</li> <li>・ICTを活用したメンテナンス情報の表示</li> <li>・アップデートプログラム配信</li> </ul>

表2 目標仕様

項目	目標性能
車体寸法	800×500×300（mm）
車体重量	16kg
バッテリー形式	リチウムイオン電池
最大作業領域	3,000 m <sup>2</sup>
充電1回当たりの作業時間	1時間
標準充電時間	1時間
刈幅	300mm
車速	1 km/h
誘導方式	無人自律走行
自己位置測位	GNSS-RTK
自己位置推定	9軸センサ
画像認識	刈跡認識、充電ステーション認識等

## 1-2 研究体制



### 研究員等

和同産業株式会社	常務取締役	三國 卓郎 (PL)
	取締役 グローバルCS統括本部長	矢内 伸幸
	取締役 バック統括本部長	安保 昭彦
	商品開発部顧問	花房 実美
	商品開発課課長代理	嶋 大輔
	商品開発担当	千葉 充
	商品開発担当	根子 貴太
	商品開発担当	佐々木 隼人
	商品開発担当	藤原 正寛
	商品開発担当	高橋 努
	商品開発係長	佐藤 修悦
	東日本スターワークス株式会社 (派遣社員)	山口 弘貴
国立大学法人岩手大学	理事・副学長	小川 智
	理工学部・准教授	明石 卓也 (SL)
	理工学部・教授	永田 仁史
	理工学部・特任研究員	金城 翔太
	理工学部・特任研究員	Ganbold Uuganbayar
	理工学部・特任研究員	夏 家順
	理工学部・特任研究員	遠藤 良峻
	理工学部・特任研究員	齋藤 冬樹
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター	生産基盤研究領域 作業技術グループ長	長坂 善禎 (アドバイザー)
公益財団法人 いわて産業振興センター	ものづくり振興部長	熊谷 郁夫
	ものづくり振興部 産学連携室長	田澤 潤
	ものづくり振興部 主任主査	佐々木 守衛
	ものづくり振興部 研究開発支援員	小笠原 勇司

### 1-3 成果概要

#### 【1】並行走行による高効率作業の実現

##### 【1-1】刈跡認識の研究開発

刈跡の認識を超音波センサ、赤外線センサ等のみを用いて行うことは、草の密度が一定せず困難である。また、草刈後の地面には刈られた草が散乱し、他の部分との色調も酷似している等、従来の画像認識技術で草刈前後の境界線を検出するのは非常に困難である。

よって、本研究開発では、人工知能を用いた画像処理手法による新規刈跡認識アルゴリズムを開発した。

またこれを実装し、従来の超音波センサ、赤外線センサ等の技術や下記【1-2】、【1-3】の項目の技術との統合により、刈跡に沿って正確に本機を誘導し、並行走行による高効率な草刈り作業を実現した。

刈跡認識アルゴリズム開発にあたっては、膨大な草や刈跡といった画像データ（画像センサ、超音波センサ、赤外線センサなどから得られたデータを画像化したデータのこと。以下、データ）の加工処理（認識しやすく画像を加工すること）・分析・アルゴリズムの性能評価等を正確に行う必要があることから、草刈動画像データ評価装置（※1）を製作し検討した。また、実装評価の際には、開発したアルゴリズムの組み込み用に高速化等の効率化を実施しつつ、組み込みソフトウェアライブラリ（※2）を製作した。

※1 草刈動画像データ評価装置は、動画像データの保存、正解参照データの作成、正解参照データの記録、データベース構築、自動精度評価などの機能を有する。なお、この装置は、ハードおよびソフトともに既製品はなく、特注品である。

※2 組み込みソフトウェアライブラリについて、【1-1】で開発するアルゴリズムは組み込み用ではないため、実用性を考慮し、高効率化および高速化のためには洗練化されたライブラリが必要不可欠である。このライブラリは、【1-1】で検討するアルゴリズムに基づいており、既存品は存在せず特注品である。

##### 【1-2】高精度自己位置測位技術の開発及び実装

RTK-GNSS測位（高精度測位）の汎用モジュールの採用と、オープンソフトウェアの活用により、低コスト化を実現し、本開発機へ搭載した。

これによって自己位置を正確に測位し、障害物の状況を記憶することで、障害物の

回避をスムーズに行い、刈跡の重複を最小限に抑えた進路の決定と、【2-2】による充電ステーションへの帰還及び圃場への復帰を最短ルートで行うことで効率的な草刈作業を実現させた。

評価結果により、以下のような概略仕様とした。

#### <概略仕様>

- ▶ 【2-1】による作業エリアの座標データを利用し、走行範囲を決定する。
- ▶ 上記データから走行パターンを算出する。
- ▶ 走行パターンは直線の組み合わせとし、それぞれの直線の座標で表現する。
- ▶ 機体の測位値から走行パターンデータからのずれを算出し、ずれを少なくする方向に向けた操舵指令を走行制御系のCPUに送信する。
- ▶ 作業状況の管理は作業範囲内を微細ブロックに分割し、ブロック毎に作業状況を管理し、未走行部を把握する。

#### 【1-3】自己位置推定技術の開発及び実装

慣性センサ（9軸センサ）を搭載し、RTK-GNSSによる測位が不可となる場所における自己位置推定機能を実装した。これによってRTK-GNSSを補完し、樹木やソーラパネル下部での誘導を可能とすることで、果樹園やメガソーラー発電所での草刈作業を自動で行えるようにした。

#### <概略仕様>

- ▶ 加速度センサ、角速度センサ、地磁気(方位)センサのそれぞれの3軸について測定可能なセンサ（9軸センサ）を走行部制御CPU基板上に搭載する。
- ▶ 上記センサの情報と走行制御系のCPUから通知される機体の速度、操舵角度から機体の傾き、走行方向、車速を計算し、座標データに変換し、【1-2】の測位データとの照合を行う。
- ▶ 【1-2】のGNSS測位データの精度が低下した場合に、9軸センサから算出した座標による制御に切り替え、走行制御を継続する。
- ▶ 【1-2】のGNSS測位データの精度が復活した場合、GNSS測位データによる走行制御に戻し、制御を継続する。
- ▶ このとき、9軸センサによる推定座標をGNSS測位による座標で更新する。

## 【1-4】試作機的设计・試作

【1-1】、【1-2】、【1-3】の機能確認を行うためには試作機が必要となるため、試作機的设计と試作を行った。

## 【2】作業エリア設定のワイヤレス化

### 【2-1】作業エリア設定

作業エリアの設定は、高精度測位を実行しながら本機をエリア境界に沿って移動させ、得られた軌跡の座標を記憶することにより行った。

<概略仕様>

- ▶ 試作機に【1-2】、【1-3】のプログラムを実装する。
- ▶ 試作機を充電ステーションに設置する。
- ▶ 試作機を作業エリア記憶モードに設定する。
- ▶ 試作機を移動させながら測位座標を連続でメモリに記憶する。
- ▶ 作業エリア境界に沿って一周し記憶が完了したら記憶モードを解除する。

### 【2-2】充電ステーション最短帰還

充電ステーションの座標位置をあらかじめ初期設定により記憶させ、充電時には障害物を回避しながら最短距離で充電ステーションに帰還することを可能にした。

### 【2-3】画像認識による充電ステーションとのドッキング

充電ステーションの基準マークを人工知能を用いて画像認識し、高精度なドッキングを実現させた。

## 【3】スマートフォンを経由したICTの活用

### 【3-1】スマートフォンによる内部データの見える化

故障診断及びメンテナンス情報をスマートフォンで表示しユーザーインターフェース向上を図った。以下のような概略仕様とする。

<概略仕様>

- ▶ 本機が保有している情報をBLE通信によりスマートフォンに表示する機能であり、以下の内容についてデータの収集及び表示を行う。

- ・作業状況(走行ルート)のマップ表示 (刈取り回数の密度表示)
- ・エラー情報の表示 (過去に発生したエラー内容と回数)

### 【3-2】スマートフォンによるデータ収集

スマートフォンを経由し、稼働状況等の統計データをクラウドサーバに収集できるシステムを構築し、メンテナンス情報として活用可能にした。

<概略仕様>

- 【3-1】で収集したデータ等をクラウドサーバー等のインターネットに接続されたサーバーに送信する。
- 上記で収集したデータから作業状況、エラー状況等の傾向を分析し、メンテナンスデータ (メンテナンスや部品交換の時期を推定) として活用する。
- メンテナンスデータをユーザーのスマートフォンに配信する。

### 【3-3】スマートフォンによるプログラムアップデート

スマートフォンを使用して更新プログラムを配信しアップデートできるアプリを製作し、プログラムの改善を容易に対応できる手段を構築した。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

<連絡担当者>

所 属 : 和同産業株式会社 商品開発部

役 職 : 課長

氏 名 : 嶋 大輔 (シマ ダイスケ)

電話 / F a x : 0198-24-2338 / 0198-22-6574

E-mail : d\_shima@wadosng.jp

## 第2章 本論

### 【1】並行走行による高効率作業の実現

#### 【1-1】刈跡認識の研究開発

##### ① 圃場映像の蓄積と刈取認識アルゴリズムの評価精度向上

悪条件（雨・夕暮れ・夜など）の映像も含め、様々な圃場映像を継続して800以上収集し評価用データベースに取り入れた（図3、一部抜粋）。これを基に草刈跡と草刈前の堺（エッジ）の正解データを蓄積することで、画像認識アルゴリズム評価システムの精度を向上させた。これにより、認識率とロバスト性（様々な外部の影響に対して変化することを阻止しようとする性質）を向上させた。



人工物映り込み



悪条件



ポール・ワイヤ



刈跡（境界）

図3 収集画像（抜粋）

## ②刈取認識アルゴリズムの認識率向上

上記①の評価精度を向上することで、悪条件（雨・夕暮れ・夜など）も含め、多くの事前学習を必要としない人工知能を用い、画像の認識率を80%まで向上させた。これにより、草刈ロボットが走行しながら草刈跡を十分認識できることようにした。（図4）

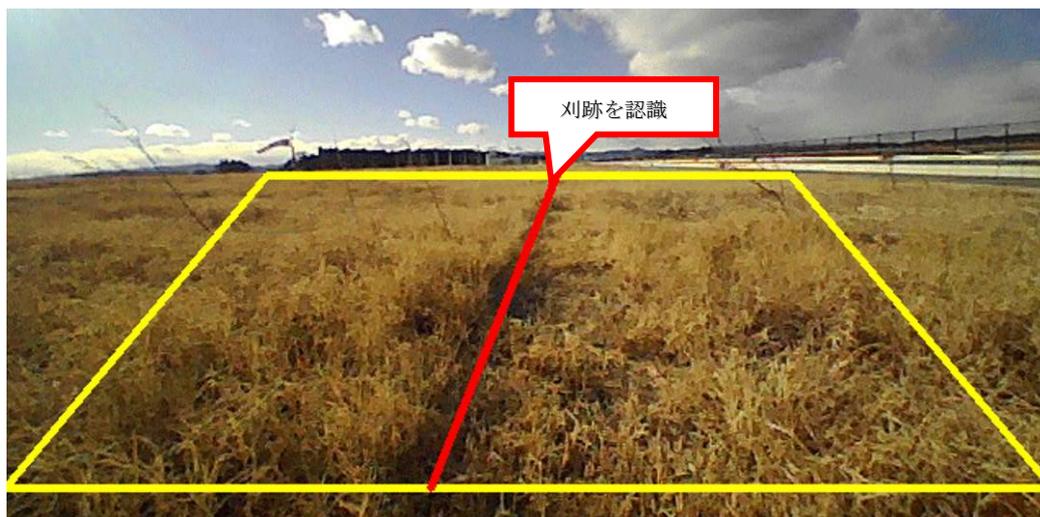


図4 画像認識（エッジ設定）

## ③画像認識アルゴリズムの移植

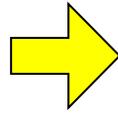
画像認識アルゴリズムを組み込み用高機能CPU基板に移植を行い、Windows PCのソースコードとライブラリがLinuxの環境で動作することを可能とした。

## ④超音波センサを使用した樹木の旋回と障害物回避による高効率作業の実現

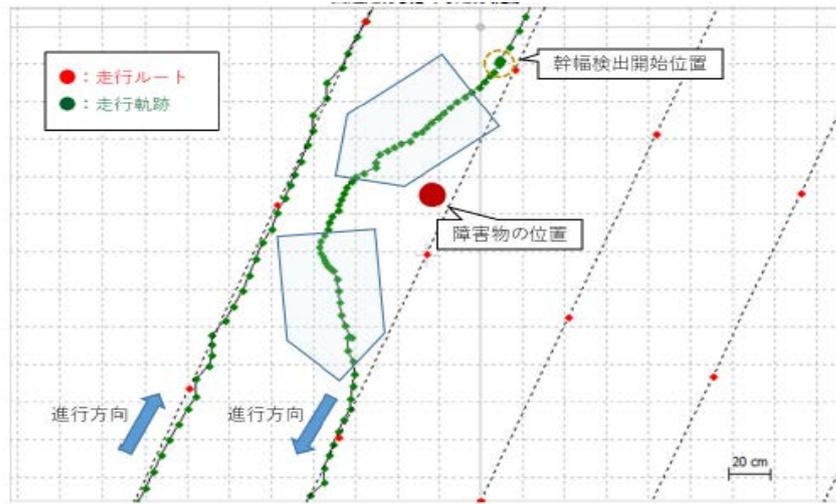
草刈ロボットが樹木やポールなどの障害物を旋回できるようにするため、画像認識アルゴリズムと超音波センサとの協調制御プログラムを開発した。樹木やポールなどの障害物までの距離とそれらの幅から旋回ルートを計算し、旋回後も刈跡に沿って並行走行することで、高効率な草刈作業を行えるようにした。（図5）



障害物の回避前



障害物の回避後



障害物回避の軌跡

図5 障害物回避動作

## 【1－2】高精度自己位置測位技術の開発及び実装

### ①サブギガ無線の評価

F9P（L1、L2の2系統でFIXする方式）の補正データの送信（充電ステーション側からロボット側）に920MHz帯のサブギガ無線通信を採用した。サブギガ無線の通信距離がおよそ150m程度であることを評価して無線モジュールを決定した。同時に外部アンテナの必要性についても検証を行った。エリア条件（段差・障害物など）によっては外部アンテナの使用でより安定した送受信を行えることが判明した。これにより外部アンテナの必要性が確認できた。

### ②走行部制御CPU基板と拡張基板の製作

ロボット側（移動局）には、市販の高機能基板を搭載する走行部制御CPU基板を設計・試作し搭載した。高機能基板に使用するOSは、Win10IoTCoreとLinuxの比較によりLinuxを採用した。

RTK-GNSS測位は衛星の位置（時間帯）によって大きくズレが生じることからRTKLIBの補正の活用を検討したが、FIXするまでに時間がかかり実用性が無いことが判明したため、RTKLIBの活用を中止しF9Pを採用した。

充電ステーション側（固定局）は、F9Pを採用したことに伴い、市販の高機能基板が不要となったため廃止した。

### ③プログラムの実装

RTK-GNSS測位（高精度測位）に対するロボットの走行パターンのずれを少なくするために、高機能基板に搭載する高機能CPUと走行部制御CPU基板に搭載する走行部CPUは、USB通信回線を経由して高速に通信を行った。これを行うために、それぞれの搭載基板に合わせた専用の通信プログラムを作成し実装した。

## 【1－3】自己位置推定技術の開発及び実装

### ①9軸センサの選定とデータ解析

本ロボットに最適な9軸センサを選定し、測定器上での評価を行った。但しロボットへの実装では地磁気(方位)センサがモーターなどの影響を受けてしまうこ

とを想定し、地磁気(方位)センサのみ別に配置できるよう、6軸センサと地磁気センサの2個モジュールに分割し、柔軟な配置が可能な方式とした。

センサのデータ解析は直線加速器とターンテーブルにより行い、選定したセンサについてオフセット、ドリフト等の影響について確認した。その結果、加速度センサについては、オフセットの影響は除去できるレベルであり、かつドリフトについてはほぼ無関係なことが分かり、問題の無いことを確認した。(図6、表3)

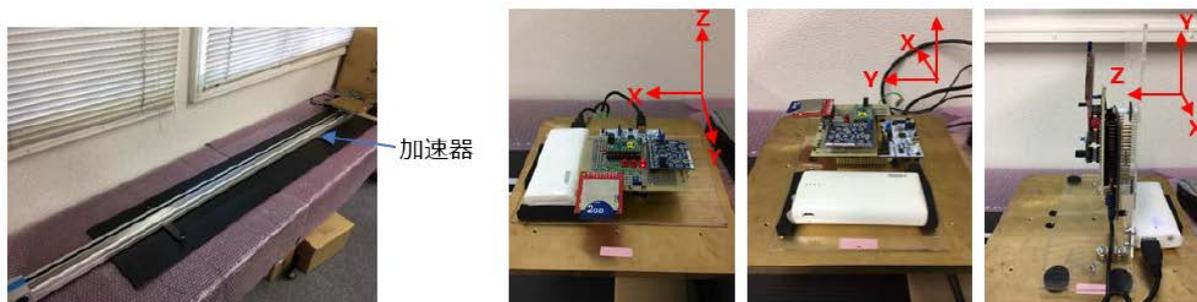


図6 加速度センサ評価

表3 加速度センサ評価データ (抜粋)

Table 1 加速度センサ評価\_X軸往路方向\_±8g 設定

設定加速度(g)	ICM20648		ICM20948	
	加速(g)	減速(g)	加速(g)	減速(g)
0.09	0.07	-0.07	0.07	-0.07
0.12	0.10	-0.09	0.12	-0.12
0.18	0.13	-0.12	0.13	-0.13
0.50	0.32	-0.27	0.30	-0.31

Table 2 加速度センサ評価\_Y軸往路方向\_±8g 設定

設定加速度(g)	ICM20648		ICM20948	
	加速(g)	減速(g)	加速(g)	減速(g)
0.09	0.07	-0.07	0.07	-0.06
0.12	0.09	-0.09	0.08	-0.08
0.18	0.12	-0.11	0.13	-0.11
0.50	0.25	-0.28	0.24	-0.30

Table 3 加速度センサ評価\_Z軸往路方向\_±8g 設定

設定加速度(g)	ICM20648		ICM20948	
	加速(g)	減速(g)	加速(g)	減速(g)
0.09	0.07	-0.07	0.07	-0.08
0.12	0.10	-0.09	0.09	-0.10
0.18	0.14	-0.12	0.13	-0.13
0.50	0.32	-0.34	0.32	0.33

また角速度センサについては静止時のドリフトはほとんど発生せず良好な特性であることを確認し、オフセットについてもほぼ無関係なことが分かった。(図7、表4)

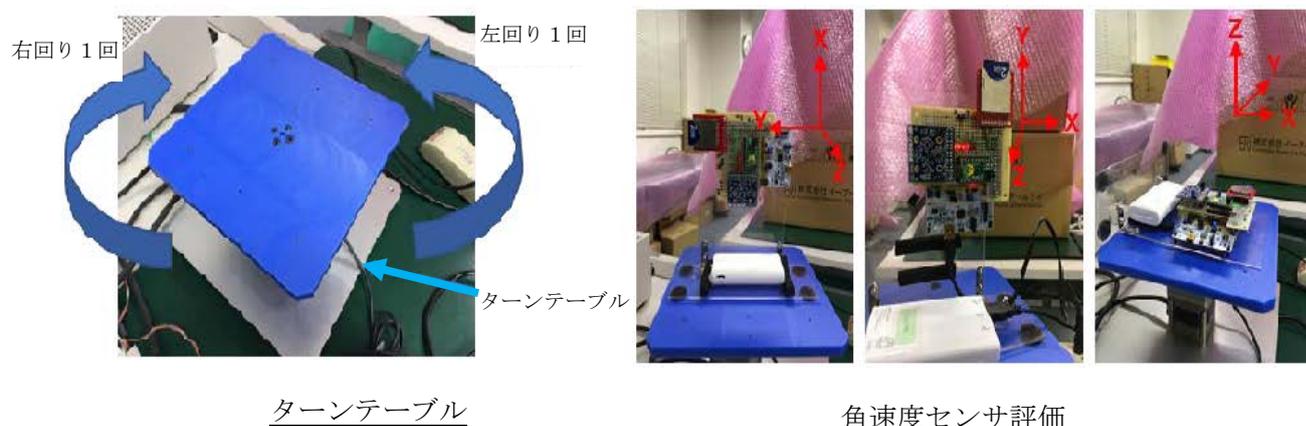


図7 角速度センサ評価

表4 角速度センサ評価データ (抜粋)

Table 7 ジャイロセンサ評価\_X軸回転方向\_1000dps

設定角速度(dps)	ICM20648		ICM20948	
	正方向(dps)	負方向(dps)	正方向(dps)	負方向(dps)
5.40	5.58	-5.60	5.67	-5.53
9.90	10.07	-10.22	9.94	-10.36
15.30	15.55	-15.58	15.54	-15.15
19.80	20.04	-20.12	20.16	-20.04
26.10	26.37	-26.23	26.29	-26.34

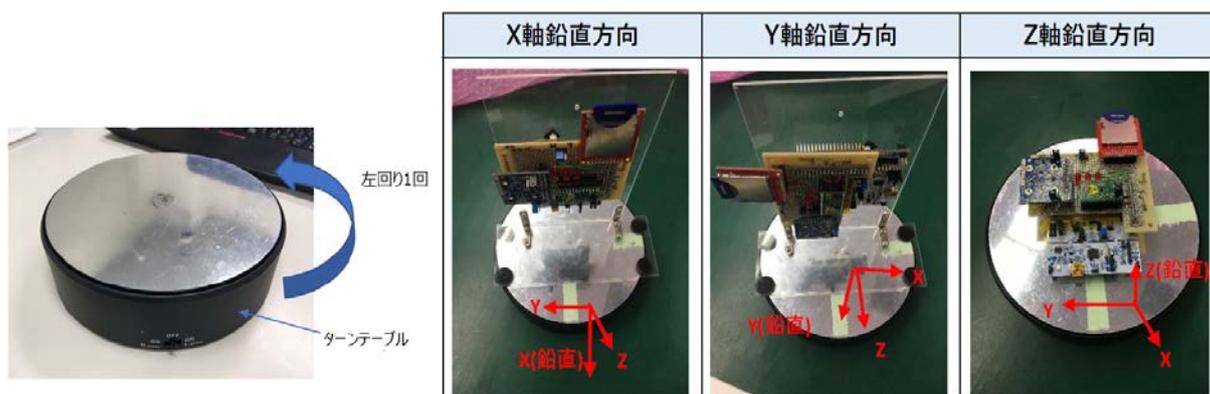
Table 8 ジャイロセンサ評価\_Y軸回転方向\_1000dps

設定角速度(dps)	ICM20648		ICM20948	
	正方向(dps)	負方向(dps)	正方向(dps)	負方向(dps)
5.40	5.61	-5.55	5.60	-5.70
9.90	10.25	-10.16	10.19	-10.38
15.30	15.63	-15.67	15.65	-15.67
19.80	20.20	-20.16	20.15	-20.70
26.10	26.40	-26.47	26.70	-26.60

Table 9 ジャイロセンサ評価\_Z軸回転方向\_1000dps

設定角速度(dps)	ICM20648		ICM20948	
	正方向(dps)	負方向(dps)	正方向(dps)	負方向(dps)
5.40	5.61	-5.60	5.64	-5.64
9.90	10.26	-10.20	10.30	-10.30
15.30	15.67	-15.70	15.70	-15.70
19.80	19.90	-20.50	20.25	-20.26
26.10	26.40	-26.40	26.52	-26.50

さらに地磁気(方位)センサについては、基板からの電磁破の影響がほとんど無いことが分かった。(図8、表5)



ターンテーブル

地磁気センサ評価

図8 地磁気センサ評価

表5 地磁気センサ評価データ(抜粋)

Table 13 地磁気センサ評価\_X軸鉛直方向\_Y軸基準

Y軸方位	LSM303AGR			ICM20948		
	X軸[ $\mu T$ ]	Y軸[ $\mu T$ ]	Z軸[ $\mu T$ ]	X軸[ $\mu T$ ]	Y軸[ $\mu T$ ]	Z軸[ $\mu T$ ]
北	32.19	24.80	0.59	27.84	22.58	0.97
西	32.35	-1.87	-25.17	29.16	-0.69	23.67
南	32.84	-25.17	-1.08	28.37	-21.83	0.26
東	33.00	1.76	25.21	31.10	0.92	-23.68

Table 14 地磁気センサ評価\_Y軸鉛直方向\_X軸基準

X磁方位	LSM303AGR			ICM20948		
	X軸[ $\mu T$ ]	Y軸[ $\mu T$ ]	Z軸[ $\mu T$ ]	X軸[ $\mu T$ ]	Y軸[ $\mu T$ ]	Z軸[ $\mu T$ ]
北	26.33	21.69	-1.30	21.11	-24.72	-1.11
西	-0.64	22.41	24.93	-0.70	-25.15	21.93
南	-26.33	23.06	1.28	-21.11	-25.68	1.66
東	1.82	22.44	-24.93	-0.17	-25.68	-21.93

Table 15 地磁気センサ評価\_Z軸鉛直方向\_X軸基準

X磁方位	LSM303AGR			ICM20948		
	X軸[ $\mu T$ ]	Y軸[ $\mu T$ ]	Z軸[ $\mu T$ ]	X軸[ $\mu T$ ]	Y軸[ $\mu T$ ]	Z軸[ $\mu T$ ]
北	35.30	1.81	-69.53	28.96	-14.36	-116.15
西	-4.39	35.22	-68.99	-10.26	17.39	-134.79
南	-35.30	0.68	-71.13	-40.36	-6.00	-137.59
東	1.06	-35.30	-69.53	-0.72	-40.36	-123.72

## ② 自己位置推定

9軸センサからの情報と走行部CPUからの情報により自己位置の推定を行う技術を確立し、試験機に搭載しての実走行データの評価を行った。

自己位置推定は【1-2】の高精度測位のピッチ（1回/秒程度）で更新を行い、常に高精度測位結果と自己位置推定結果に基づいて自己位置の推定ができるようにした。

### <概略仕様>

- 走行部制御CPU基板に9センサを搭載し、9軸センサからの加速度データ・角速度データ・地磁気データの各データを高機能CPUへ送信。
- 自己位置推定プログラムを実装。
- RTK-GNSSによる測位データと上記各データを基に、自己位置推定プログラムによって自己位置を算出する。

## ③ 座標指定による移動

【1-2】の高精度測位データと上記②の自己位置推定による測位データを利用し、協調制御による座標間の移動を実現した。平坦地での走行試験において、GNSS測位ありの場合には平坦地を10m移動して4cm以内の精度での移動を行えるようにし、GNSS測位なしの場合には10m移動して5%以内（50cm）の精度まで向上させた。



図9 テスト風景

## 【1-4】試作機的设计・试作

### ① 试作机设计（草刈ロボ・充电ステーション）

试作机は、自社開発している草刈ロボ（ランダム走行）をベースとして新規に作成のうえ、【1-1】、【1-2】、【1-3】のプログラムや基板などを実装し、その機能確認を行った。（図10）



図10 試作機（2台）

### ② ハーネス设计

フレームの外にあるハーネスは防水性が求められるため、防水性を考慮したハーネスの図面・作成および製作を行った。機体フレームとフレーム蓋に覆われた防水区域とその外側でハーネスを分離できる構造にする必要があるため、中継ハーネスを使用する方式とし、中継ハーネス中央部にゴム製グロメットを取り付けることにより、ハーネスを通しての浸水を防ぐことを可能とした。

## 【2】作業エリア設定のワイヤレス化

### 【2-1】作業エリア設定

#### ①作業エリアの設定

台車などで草刈ロボットを移動させながらエリアを設定する方式を採用した。  
(図11)



図 11 台車移動方式

#### ②走行パターン生成

設定した作業エリア情報を基に並行走行用の一連の座標データを計算して自動生成できるようにした。(図12)

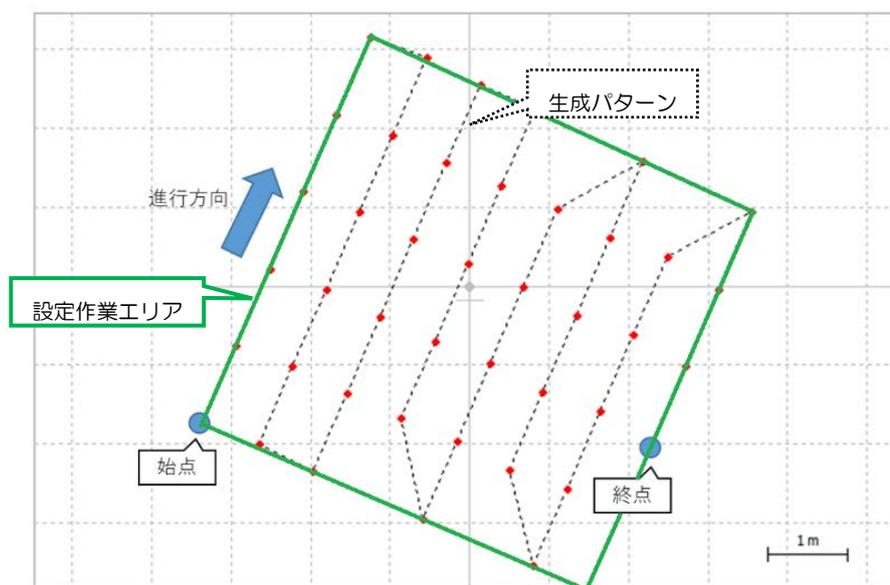


図 12 並行走行用の座標データ生成

## 【2-2】充電ステーション最短帰還

### ① 充電ステーションの座標設定

初期設定として充電ステーションの座標を記憶するモードを開発した。ロボットを最初に電源ONする時、一定の座標位置精度を確認できた状態でその座標を充電ステーションの座標として自動的に記憶する。

### ② 充電ステーションへの帰還と圃場への復帰

作業中に充電ステーションへの帰還モード（バッテリー残量が一定値を下回った状態）になった場合、作業エリア内の任意の位置から充電ステーションの帰還位置まで最短ルートでの帰還を行うよう、上記充電ステーションの座標設定と【2-1】で行った作業エリア設定および作業禁止エリアのマップに基づき、帰還ルートを直線の座標で表現し帰還するプログラムを作成した。

また圃場への復帰は、帰還直前の作業位置での草刈ロボットの向きと充電ステーションへの帰還ルートを記憶させておき、そのルートを辿って作業位置まで戻ったら向きを作業進行方向に向けて圃場に復帰するプログラムを作成した。これにより、作業エリア内の任意の位置からの効率的な帰還と復帰を可能とした。

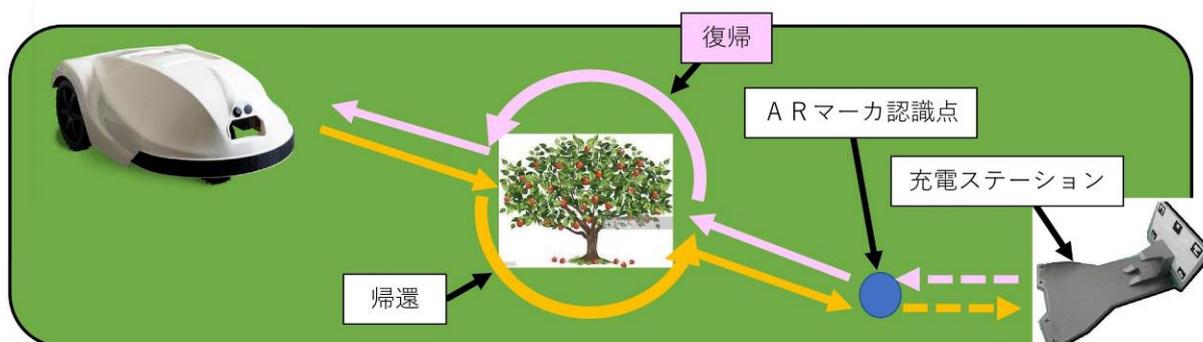


図 13 充電ステーション帰還・圃場復帰 イメージ図

### ③ 障害物回避モードの作成

【1-1】の画像認識アルゴリズムと超音波センサとの協調制御をベースに障害物の回避プログラムを開発した。これにより、充電ステーションへの帰還と復帰の途中にある障害物の回避は画像認識によりロボットが自動で行えるようにした。

### 【2-3】画像認識による充電ステーションとのドッキング

#### ① マークの認識アルゴリズムの開発

マークまでの距離、マークへの進入角度の情報の取得を目的とし、人工知能を用いた画像認識アルゴリズムを開発した。ドッキング時にマークに対して精度を高くして正対するために、充電ステーションの約3m手前にARマーカ認識点を設け、帰還時はそこに移動しARマーカを認識することで、ドッキングの精度を高めた。

#### ② 充電ステーションとのドッキング評価

上記【1-2】で作成の基板にARマーカ認識アルゴリズムを実装し、充電ステーションへのドッキングが蛇行することなくスムーズに行われることを確認した。またドッキングに失敗しても一旦後退してマークを再認識させ、再度ドッキングするようプログラムすることで、ドッキングできることを確認した。これにより、確実性の高いマーク認識によるドッキングを実現した。(図14)

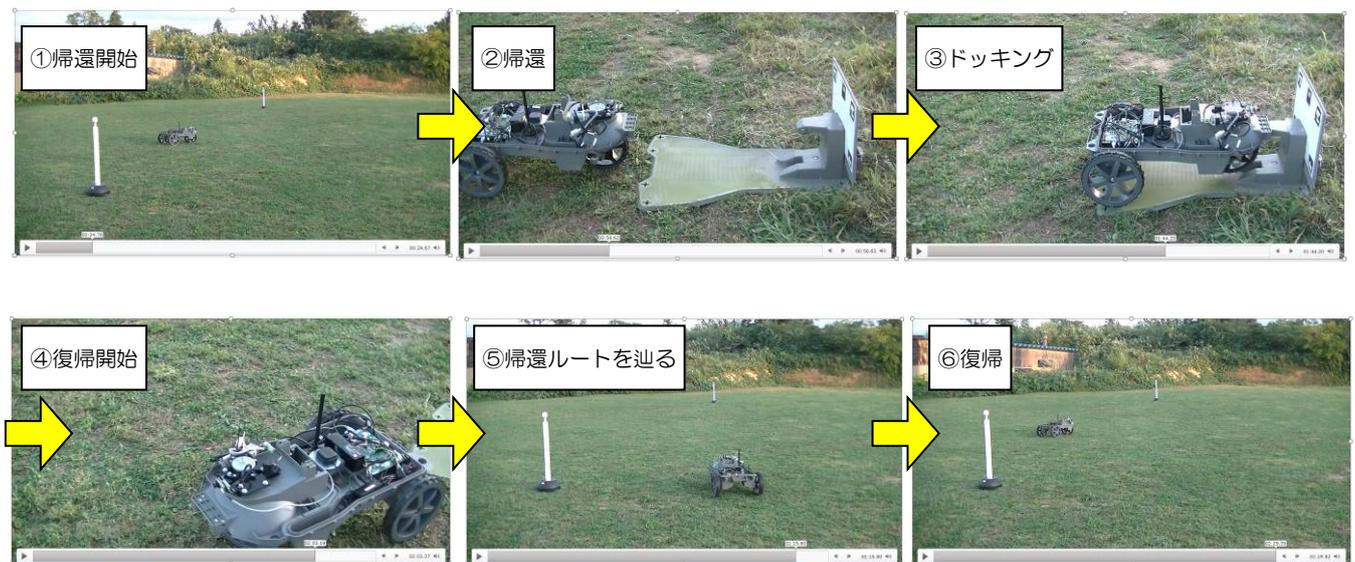


図14 スターション帰還～圃場復帰 動作テスト風景

### 【3】スマートフォンを経由した ICT の活用

#### 【3-1】スマートフォンによる内部データの見える化

##### ①アプリケーション開発

スマートフォンによりロボットの内部データを確認できるようにするため、スマートフォン用アプリケーションの開発を行った。このアプリケーションを用いてロボット側から表6にある実際のデータ項目を送信し、スマートフォンで表示・記録できるようにした。なお、収集データはSDカード、PC等に保存が可能である。

表6 収集データ表

項目	内容
時刻	ログ取得年月日時間
緯度	緯度
経度	経度
標高	高さ(標高)
移動速度	ロボット草刈機の移動スピード
座標X	平面としてみた場合の充電ステーションからロボット草刈機までの座標(X軸値)
座標Y	平面としてみた場合の充電ステーションからロボット草刈機までの座標(Y軸値)
距離	充電ステーションからロボット草刈機までの直線距離
測位状態	RTKの測位状態
衛星数	測位できている衛星の数 (GPS:32, GLONASS:24, Galileo:4, BeiDou:16, QZSS:4 ※2017/12/19現在)
GPS電波強度1~32	測位できている衛星 (GPS/1~32) の電波強度
GLONASS電波強度1~24	測位できている衛星 (GLONASS/1~24) の電波強度
Galileo電波強度1~4	測位できている衛星 (Galileo/1~4) の電波強度
BeiDou電波強度1~16	測位できている衛星 (BeiDou/1~16) の電波強度
QZSS電波強度1~4	測位できている衛星 (QZSS/1~4) の電波強度
時刻	ログ取得年月日時間
ジャイロX軸	ジャイロセンサのX軸
ジャイロY軸	ジャイロセンサのY軸
ジャイロZ軸	ジャイロセンサのZ軸
加速度X軸	加速度センサのX軸
加速度Y軸	加速度センサのY軸
加速度Z軸	加速度センサのZ軸
地磁気X軸	地磁気センサのX軸
地磁気Y軸	地磁気センサのY軸
地磁気Z軸	地磁気センサのZ軸
時刻	ログ取得年月日時間
バッテリー電圧	バッテリー電圧 (V)
方角	ロボットのヘッディング情報
回転数	モータの回転数
温度	モータの温度
電流値	負荷時の電流値

## ② ロボットの内部状態のモニタリング

上記①のスマートフォン用アプリケーションを用いて、草刈ロボットからスマートフォンへのデータ送信、及びスマートフォン（Android版・iOS版）での受信・表示の仕組みを構築した。これにより、スマートフォン上で草刈ロボットの内部データをモニタリング（図15）できるようにした。



図 15 スマホアプリ（メイン画面）

## 【3-2】スマートフォンによるデータ収集

### ① データベースと送受信プログラムの設計

自社開発している草刈ロボ（ランダム走行）をベースとして、サーバーに構築するデータベースの設計と、スマートフォンとデータベースとでデータを送受信するためのプログラムをそれぞれ設計した。

### ② 更新プログラムの通知と書き込み

データベースからスマートフォンへ自動でデータ送信するプログラムを作成した。またテスト用の更新プログラムを用いて、データベースからPCへダウンロードし、そこからUSBメモリを介してロボットCPUへのアップデートを実証した。これにより、サーバーからロボットで更新プログラムをアップデートできる基礎を構築した。

### ③ クラウドサーバー立ち上げとデータ収集

クラウドサーバーを立ち上げデータベースを構築した。またスマートフォン内に収集した草刈ロボットの情報を、ユーザーの操作により上記クラウドサーバーにアップロードするアプリケーションプログラムを製作し、クラウドサーバー内の

データベースにデータを収集した。

### 【3-3】スマートフォンによるプログラムアップデート

#### ①更新プログラムの通知

データベースからスマートフォンへ自動でデータ送信するプログラムを作成した。

#### ②更新プログラムの書き込み

Bluetoothでスマートフォンから草刈ロボットへ送信すると、ファイルのデータ量の問題でかなり時間がかかることが判明した。そこで、テスト用の更新プログラムを用いて、データベースからPCへダウンロードし、そこからUSBメモリを介してロボットCPUへのアップデートを実証した。一般的な手段として広く使用でき、また書き込みの待ち時間もないため採用とした。将来的にはIoTを視野に、自動アップデートも検討する。

## 第3章 全体総括

### 3-1 研究開発成果

画像認識アルゴリズムの開発により、刈跡や障害物、充電ステーションを認識できるようにした。またGNSSでの自己位置認識とエリア設定・走行経路設定を行えるようにした。これにより従来の草刈ロボットに比べ、エリアワイヤの撤廃により敷設工数を大幅に削減し、かつ草刈ロボットの作業効率向上を図ることができた。

管理・サービス体制に関する内容では、クラウドサーバーやスマートフォン用アプリを開発したことで、草刈ロボットの稼働情報からサービス・メンテナンス情報の提供など、ユーザーに有益な情報を提供する基礎を作り上げることができた。

### 3-2 今後の課題

事業化に向けて制御などの更なる精度向上やデバッグ作業が必要である。また草刈ロボットの精度のみならず、市場にある様々なエリア条件に対して適合させる必要もある。ゆえに今後は、これまでのテストフィールドとは別のエリアでの実証評価を多数行い、草刈ロボットの精度向上と様々な条件への適合性向上を図る。具体的には、令和2年7月から12月にかけて、果樹園や緑地管理地・メガソーラー発電所を中心に実証試験を継続して実施する。

さらに、既存の草刈ロボットの課題として、エリアワイヤ設置の多大な工数やエリア面積の制限、獣害などによるエリアワイヤ切断などの改善が求められている。ゆえに、エリアワイヤ撤廃が画像認識による高効率作業より優先度が高いことから、RTK-GNSS測位技術の事業化を最優先課題と位置付け、GNSSマップを作成して「ランダム走行で高効率な草刈作業」の実現を第1ステップとして事業化に取り組む。

その他、収集した草刈ロボットの各種情報をユーザーメリットへつなげることが重要である。そのためにも草刈ロボットの使用が想定される果樹園農家、メガソーラー管理者などの困りごとなどを実証試験に合わせて調査し、今後の事業化・サービスにつなげる。

### 3-3 事業化の考え方

#### 1) 本ロボットの位置づけ

- ▶ 中長期的に見て電動化・自動化の市場は拡大しており、本ロボットはその中核モデルであり、先駆けとして市場投入し事業基盤の改善を図る。
- ▶ 変革する市場の中で先進的な「ワドブランド」構築の戦略モデル

## 2) 販売の在り方

電動化・自動化は今後の市場動向の中で成功のカギとなる。電動化により草刈機は耐久消費財から一般消費財（コモディティ）化すると考えられ、それに応じた新たな販売手法、サービスのあり方を確立する。

## 3) 販売手法

- ▶ 従来の販売店流通ネットワーク (B to B)に加え、通信販売・ネット販売 (B to C)の導入
- ▶ 新たな販売手法としてリース、シェアリング、サブスクリプションの検討

## 4) サービス手法

- ▶ トップレベルの顧客満足度を実現しながら、ブランドロイヤリティを向上させ再購入顧客を作る。
- ▶ 従来の販売店でのサービス補修に加え、和同産業本社及び支店、営業所での一括サービス及び新たなサービス網(代行店)の導入
- ▶ クラウドサーバーを活用し顧客情報管理と、使用状況を把握した提案型サービスの実現
- ▶ 「お客様相談」及び補修部品含めた新体制の要員・業務内容の構築

## 5) ブランド施策及び海外展開

- ▶ 本ロボットを皮切りに「ワドーブランド」を本格的に訴求し、ブランドに対しての付加価値を高めていく (OEM メーカーから独自ブランドホルダーとしてのメーカーへ)
- ▶ 全国レベルの農業機械展示会への参加、及び販売店を活用した実演会の開催
- ▶ 海外市場開拓の先兵として海外展示会 (USA、欧州、ロシア)への参加しワドーブランドを訴求。市場性の把握と海外代理店 (Distributor)の発掘、および自然条件や使われ方など海外市場の特性を精査

6) 事業化時期と期待される波及効果

①想定される市場と販売台数

表7 各市場規模と予想販売台数

市場	果樹園農家	メガソーラー市場 (1000KW以上)	中規模ソーラー市場 (10~1000KW)
規模 特徴	約40万戸(農家件数は減少) 60歳以上が5割超	2,276件	882,479件
年間予想 販売台数	1,000台/年(0.25%獲得)	300台/年 (4%獲得)	200台/年 (0.025%獲得)

販売予定価格 : 550,000円

草刈りロボット : 5,000台/3年

売上高 : 27.5億円

販売開始時期 : 令和3年度初頭より

※令和4年度末より欧米向け輸出開始

②波及効果

- ・他商品への水平展開(商品力強化)により季節商品型の企業体質の強化を図る。
- ・夏季の主力製品育成により除雪機に依拠した季節型事業から通年型事業(「White + Green」)を実現し、経営基盤の安定化を図る。
- ・除雪機に加え海外事業展開の主力製品として世界に向けた事業展開を図る。
- ・画像認識技術とICTを組み合わせた栽培支援機能の付加(色、サイズ、密度情報等から栽培支援の提供)
- ・画像処理技術を応用したセキュリティ機能の付加(作物盗難、害獣対策)
- ・草刈り機以外の作業機である除雪機、管理機等へ水平展開し、自律走行型の商品及び電動化により作業の省力化、効率化に貢献する。
- ・AI、IoT活用のロボット化による「ワクワク農業」を実現し、後継者不足の解消に貢献する。

7) 補助事業の成果に係る知的財産権等について

画像処理とGNSSを利用した自律走行技術に関する特許を出願予定(海外展開を前提しているため、海外も含めた特許申請を予定)。