

水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発

— 自律走行ロボットの開発(第2報) —

光井 輝彰 平湯 秀和 田畑 克彦 飯田 佳弘 陶山 純* 葛谷 和己**

Development of a Small Weeding Robot "AIGAMO ROBOT" for Paddy Fields

— Development of an Autonomous Moving Robot (2nd Report) —

Teruaki MITSUI Hidekazu HIRAYU Katsuhiko TABATA Yoshihiro IIDA
Jyun SUYAMA* Kazumi KUZUYA**

あらまし 化学農薬の使用量を低減し、環境に優しい農作業を推進する現場では、雑草対策が最大の課題であり、除草剤に代わる有効な除草手段が求められている。そこで、ロボット技術を応用した新たな除草手法として水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の研究開発を進め、自律走行機能を備えたプロトタイプロボットを開発した。しかし、実際の現場では安定して自律走行が行えない場面が確認されており、改良開発を行った。

キーワード ロボット, 自律走行, 画像処理, 水田, 除草

1. はじめに

食の安全や環境に関する意識の高まりの中で、化学農薬の使用を減らした安全で環境負荷の小さい農業が望まれている。行政でもこれを推進する動きを進めている^[1]が、手間のかかることが普及の障害であり、特に除草剤を使用しない場合の除草作業が最大の課題となっている。そこで我々は、水田除草剤に代わる新たな除草手段として水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)を提案し^[2]、平成20～21年度には経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」の委託研究において自律走行機能を備えたロボットを開発した。これをベースに、2010年度からは農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託を受け、稲の栽培体系まで含めたロボットによる除草技術の実用化研究を開始した。本報では、開発中のロボットの概要と、自律走行実験について報告する。

2. ロボットの開発コンセプト

除草剤に代わる雑草対策として有力な機械除草は乗用大型機械が主流であるが、これを導入できるのは大規模農業を実施している一部地域に限られている。そこで、農業者の意見を取り入れながら、ロボットを新たな除草手段として開発するため、以下の基本開発方針を定めた。

* みのる産業株式会社

** 株式会社常盤電機

1) 環境にやさしい

除草剤を使用しないだけでなく、バッテリー駆動とし、エンジン使用時の排オイルや排気ガスの排出を無くす。

2) 手間がかからない

水田に設置したロボットが1枚の水田内の除草作業を自動で行う。除草作業は、雑草を物理的に抜くのではなく、クローラ走行により雑草の生長を抑制する手法を用いる。検証実験では、週2回の除草作業を7週間程度行うことで除草効果を確認している^[3]。

3) 取り扱いが容易

水田に持ち込んで利用するため、小型軽量で運搬や取り回しを容易にする。大型で重いロボットでは取り回しが悪く、水田の水持ちを悪くする危険性もある。

4) 安価(目標価格: 30万円)

導入しやすい価格設定ができるように、ロボットに必要な機能と対象水田への要求条件について検討を進める。

3. ロボットの開発

開発したロボットを図1に、諸元を表1に示す。ロボットは稲を跨いで水田内を約0.5m/sの速度で走行し、1回の充電で3時間の作業(走行)が可能である。この場合、作業効率は1時間当たり約10a(1反: 1000m²)となり、1日1回の充電で、除草作業(2回/週)を毎日行くとすると1台で1ha(10反: 10000m²)以上の水田を除草することができる。バッテリーを交換するか、1日の充電回数を増やすことにより、作業面積を倍増することも可能である。

3. 1 基本機能の改良開発

ロボットの機構は水田で使用することを考慮して、防水性と耐久性を備えるとともに、泥や夾雑物が堆積しにくく、メンテナンスを容易に行うための改良を行った。具体的には、電装部品を格納するケースやフレーム機構、プーリーの形状などの改良を行った。

バッテリーは直列接続可能なリチウムイオンバッテリーを左右のクローラ内部の低い位置に防水ケースに収納して搭載しているが、充電はそれぞれ左右のパッケージ毎に独立して行う必要がある。従来は充電の度にこのケースからバッテリーを取り出して、個々のバッテリーをそれぞれ充電していたが、バッテリーを取り外さずに充電器のプラグを差し込むだけで充電できるように改良を行い（図2）、ロボットの取り扱い性を向上させた。

ロボットの操作インターフェースには、入力のための4つのボタン(LEDランプ付き)と16文字×2行のLCDキャラクタディスプレイを備え、自律走行に必要なパラメータの設定や作業の指示は、LCDに表示された情報を見ながらボタンを操作して行う。これまで、LEDランプはそれぞれのボタン操作に連動させて使用していたが、独立した表示装置として有効に活用することにした。そのため、専用のスイッチパネルシートを作成して、機構的には1体となっているボタンとLEDランプを独立した入力装置と表示装置（パイロットランプ）として使用できるよう改良した（図3）。



図1 開発したロボット

表1 諸元

Length	500mm
Width	450mm
Hight (Clearance)	500mm (300mm)
Width of Crawler Belt	150mm
Weight	9.2Kg
Motor	7.2Kgf-cm 18.5W
Battery	Li-ion 25.6V-7.0Ah
Running Time	3 Hours
Working Capacity	1000㎡/h



図2 プラグインで容易な充電（左）

3. 2 自律走行システムの開発

ロボットの制御には、画像処理用のFPGA、制御用のマイコン、姿勢検出のための加速度センサとジャイロ等を備えた基板を利用した。カメラには稲の検出に有利な近赤外帯域に感度を有するものに、光学フィルタを組み合わせ利用した。カメラの設置位置は、泥の跳ね返りや成長した稲の葉との干渉を避けるため、ロボット最上部の中央付近とした。この位置から前後方向それぞれ斜め下向きに合計2台のカメラ（画角：水平79°，垂直58°）を設置し、クローラベルト先端付近から約2.5m先までの視野範囲を確保した。システム構成を図4に示す。

4. 自律走行機能の開発

様々な水田のあらゆる条件に対応できるようにロボットのスペックを膨らますのではなく、実用時のロボットの機能と価格とのバランスを考慮した上で対象とする水田に条件を設定し、自律走行機能の開発を行った。

条件1：稲の列が交わらずに終端まで続いている。

条件2：稲列終端部（あぜ際）への稲の植え込みを制限し（減反面積へ計上可能）、波板を設置する。

4. 1 自律走行アルゴリズム

ロボットは(1)稲列追従走行、(2)稲列終端判別・停止、(3)次の稲列への進入の各動作を繰り返し行い、水田全体の除草作業を進める（図5）。



LED
ボタン

図3 操作パネルの改良（上：改良前，下：改良後）

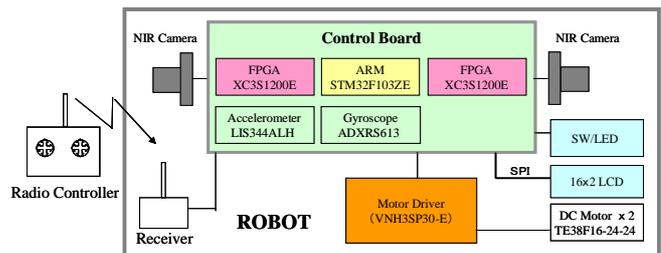


図4 システム構成

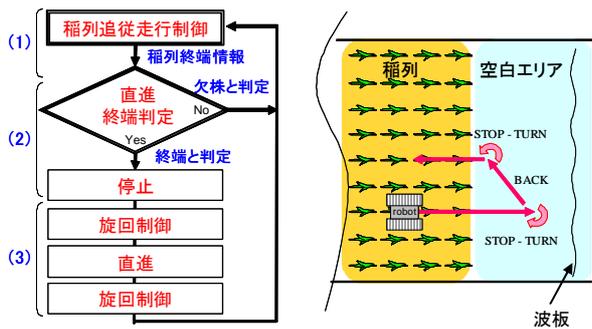


図5 自律走行アルゴリズム

稲列追従走行では、搭載カメラによる近赤外領域の映像を画像処理し、フレーム毎に目標とする稲列を認識してロボットの進行方向の制御を行う。ここでは太陽の写りこみや欠株（稲が無い部分）等の外乱に対して、画像処理上の対策を行うとともに、ロボットの姿勢に応じた速度制御を行うことで、追従性能の向上を図った。

稲列終端判別・停止は、終端部分に設置した波板を画像処理で認識し終端部分の走行速度を落とし、波板との相対位置で停止位置を決定することで停止位置の安定を図った。これにより、従来2m程必要であった稲列終端の空白エリアを1m程度に縮めることが可能となった。

停止後は、旋回 → 直進（後進） → 逆旋回とスイッチバック方式で、次に目標とする稲列の追従走行ができる位置まで移動する（図5）。ここでの制御はジャイロと加速度センサ、マイコンのタイマ機能を用いてシーケンシャルに行うが、今回、各動作の間に設定していた一定間



図6 自律走行実験の様子（上：刈跡水田，下：ハウス内）

隔の停止状態を無くし、姿勢の安定判別後に直ちに次の動作に移ることで、各動作間の無駄時間を無くすとともに、各動作を確実に安定した状態から行う改良を行った。

4. 2 自律走行実験

冬季の実験となるため、屋外では刈跡水田のヒコバエを対象に、ビニルハウス内では田植え直後の擬似水田で実験を行った。刈跡水田では、ほ場の端にロボットを設置してスタートさせると、自動で指定範囲の作業を行い、終了位置に戻るという、通常の使用状況を想定した実験を行った。作業面積は稲列9条の範囲（約20m×3m）で、稲列の終端には1.6mの稲を植えない空白エリアを設けた。様々な天候状況で実験を行い、太陽光の反射が強い状況でも一連の除草作業を自動で行えることを確認した。ハウス内の模擬水田では、低温のため一部の苗が水面に寝てしまうなど、稲列の認識が非常に難しい状態であった。ここでは、ロボットの走行速度を一割ほど落とすことで自律走行が可能であった。また、稲列終端の空白エリアを1m程度に縮めてもスイッチバック出来ることを確認した。実験の様子を図6に示す。

5. まとめ

自律走行機能を備えたロボットについて、現場での実用性の向上を目指した改良開発を行った。実験では自動で除草作業を行えることを確認したが、ロボット開発後の冬季に行った実験であるため、実際の稲の栽培時期に様々な条件で検証を行う必要がある。ここでは、例外対策（想定外の状況の検出と対策）を含め自律走行機能のロバスト性を検証し、さらに改良を進める予定である。同時に、実用的な除草効果が得られる効率的なロボットの運用方法について検討を進める予定である。

謝 辞

本研究は、みのる産業株式会社、株式会社常盤電機、岐阜大学、岐阜県中山間農業研究所、農政部農業技術課、東濃農林事務所の協力の下、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託を受けて実施しました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- [1] 例えば“ぎふクリーン農業研究センター”
<http://www.gifu-cal.or.jp/>
- [2] 光井輝彰, 小林孝浩, 鍵谷俊樹, 稲葉昭夫, 大場伸也, “アイガモロボットの開発”, 日本ロボット工業会機関誌, ロボット177号, pp.20-25, 2007
- [3] 光井輝彰, 広瀬貴士, 岩澤賢治, 久田浩志, 大場伸也, 稲葉昭夫, “水田用小型除草ロボット（アイガモロボット）の開発—水稲とマコモ栽培ほ場での除草実験—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, 第11号, pp.49-52, 2010