

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

光井 輝彰 田畑 克彦 平湯 秀和 田中 等幸 稲葉 昭夫

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

- Development of Autonomous Moving Robot -

Teruaki MITSUI Katsuhiko TABATA Hidekazu HIRAYU Tomoyuki TANAKA Akio INABA

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。これまでに、我々はロボット技術を応用した新たな除草手法を考案し、水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の研究開発を進めてきた。本ロボットは小型軽量で様々なほ場へ適用可能であり、水田内を走行するだけのシンプルな機構であるが、高い除草効果が期待できる。平成20年度からは経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」の委託を受け、実用化を目指したロボットの開発を開始した。ここでは、ロボットが自律して水田内を走行(除草作業)するために、一定の条件を設定した水田を対象に、画像処理を利用した自律走行機能の開発を行っている。ほ場実験の結果、開発したロボットが稲列に沿った走行と稲列終端での折り返しを繰り返し、水田全体を自律して除草作業できることを確認した。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、慣行農業において多用されている化学農薬の削減が望まれている。行政でも、環境保全型農業^[1]やぎふクリーン農業^[2]のように、それらの農業を推進する動きを進めており、水稻栽培では有機栽培や減農薬栽培などの安全で環境負荷の少ないクリーンな農業が行われつつある。ここでは、最も多用される農薬である除草剤の使用を控えるために様々な手法が試みられているが、有効な手段は無く、雑草対策が大きな課題となっている。

本研究では除草剤に代わる新たな除草手段として、水田用除草ロボットの開発を進めてきた^[3-5]。また、平成20年度からは経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」の委託を受け、ロボットの実用化を目指した開発を開始した。ここでは作業の省力化を考慮して、ロボットの自律走行機能の開発も行っている。ただし、あらゆるほ場条件にロボットを対応させる事を考えると、ロボットに要求されるスペックが膨らむばかりで、現実的でない。そこで、実用化を考慮した時に機能的にも價格的にもバランスの良いロボットとなるように、農業者が許容可能な範囲で条件を設定したほ場を対象にして開発を行った。実験は実際の稲の栽培と時期がずれるため、ひこばえや移植直後の稚苗(冬季に田植えを敢行)を対象として行った。

2. アイガモ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手段として機械による除草があり、この主流は乗用大型機械である。しかし、高価な大型機械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。国内では、特に岐阜県のように中山間地の多い地域では、比較的小規模な農地が多く、ほ場の改良整備による農地の集約にも限界がある。そのため、機械の大型化とは別の方法により、除草作業の集約化や効率化を考える必要がある。さらに農業者の意見等を踏まえた上で、ロボットの基本仕様を次のように定めた。

- 1) 安価(目標価格: 30万円)
- 2) 除草作業に手間がかからない
- 3) 運搬が容易
- 4) 環境にやさしい

1) は、様々な農業者がロボットを導入できるようにするための必須条件として定める。1台のロボットでカバーできる作業面積としては1ha(1000m²)以上を目標とする。2) は、水田にロボットを持ち込んでスイッチさえ入れれば、ロボットが1枚の水田の除草作業を自律して行う機能であり、大規模に除草作業を行うときには必要となる。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である。現状では除草効果の検証実験を週2回で7週間程度の作業

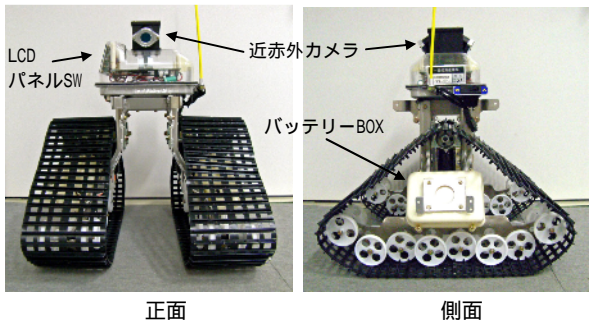


図1 開発したロボット (H21開発機)

項目	仕様
全長	500mm
全幅	450mm
高さ (クリアランス高)	500mm (300mm)
クローラ幅	150mm
全備重量	9200g
モーター	7.2Kg・cm 18.5W x2
バッテリー	Li-ion 24V-7.0Ah
走行時間	3時間以上
作業効率	10a/h

(ラジコン操作による走行)で行っているが、作業頻度と作業期間を軽減させる方向で検討を進めている。

3)は、ロボットを中山間地の小規模な水田など、既存の農村環境に持ち込んで、そのまま利用するための仕様である。大型で重いロボットでは取り回しが悪く、田植え後の水田では水持ちを悪くする危険性もある。小型・軽量のロボットなら、水田へ導入する際の稲や水田内環境への影響を比較的軽微に抑えることが可能である。また、発生初期の雑草を対象として除草作業を行うので、大きな力は必要なく、小型ロボットでも十分に除草効果を上げることが可能である。4)は駆動源にバッテリーを使用することで、エンジン使用時の排オイルや排気ガスの排出を無くすとともに、太陽電池の併用も視野に入れている。

3. ロボットの開発

今年度開発したロボットを図1に、諸元を表1に示す。ロボットの基本的な性能として、水田内の走行速度が約0.5m/s、1回の充電で3時間以上作業(走行)することを目標とする。この場合、作業効率は1時間当たり約10a(1反:100m²)となり、1日1回充電する場合、週2回の除草作業ならば1台で1ha(10反:1000m²)以上のほ場を作業することができる。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、作業面積を増やすことも可能である。この基本性能を実現するために、小型のロボットで利用可能なモーターとバッテリーを選定した。クローラベルトについては、形状と表面パターンを検討し、除草効果と走行性能の両立できるものを独自に開発した。ロボットのボディ全般については、屋外で長期間(5年以上)使用可能な耐久性を備え、泥や夾雑物が堆積しにくく、

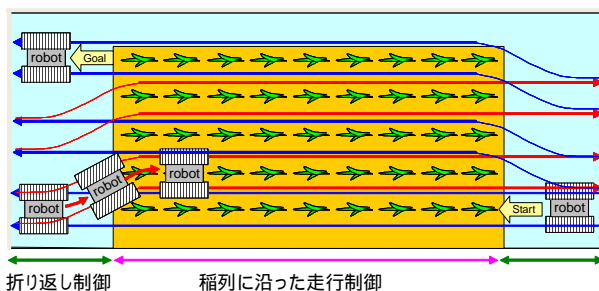


図2 水田内走行アルゴリズム

く、容易にメンテナンスを行えることを考慮して開発を行った。

また、ロボットの自律走行には、稲の検出に有利な近赤外帯域の画像処理情報を利用することとし、そのために必要となる画像処理及びロボットの制御を行う基板を新たに開発した。カメラには安価で近赤外帯域にも感度を持つ小型カメラを選定し、ロボットの前後方向に2個搭載した。カメラの設置位置は視野角と耐環境性の面から検討し、ロボット最上部の中央寄りから斜め下向きに設置することにした。この位置は、泥の跳ね返りを受けにくく、稲が成長した時にも葉がレンズに干渉しにくいという利点がある。カメラの視野範囲はクローラベルト先端のロボットが跨ごうとする直近の稲から、約2.5m先までである。その他、旋回制御や異常検出のためにジャイロと加速度センサを搭載した。

4. 自律走行実験

ロボットの水田内走行アルゴリズムは、

- ・稲列に沿った走行制御
- ・稲列末端での折り返し走行制御

の機能を備え、これらを組み合わせながら図2のように水田内全体の除草作業を行う。対象とするほ場には、農業者が許容可能な条件として、下記の2つを設定する。

- 条件1: 土壌表面は軽微な凹凸(田植機の轍等)のみで足跡などの大きな凹凸が無い。
- 条件2: 水田の外周部(あぜ際)への稲の植え込みを制限する(減反面積へ計上可能)。

4.1 自律走行アルゴリズム

稲列検出のための画像処理手法について、当初はロボット外部のPCを用いて動作検証を行った。それを基に、

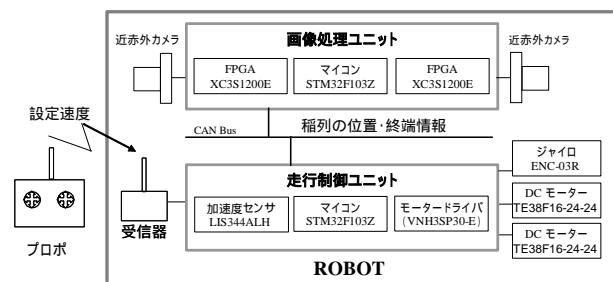


図3 システム構成

画像処理のプログラムを簡略化するとともに、処理自体をロボットに搭載した画像処理ユニットのハードウェアで行うことで、搭載カメラを利用した場合の最短時間(フレームレート, 1/30秒)以下で稲列の位置情報を取得可能になった。ロボットのシステム構成を図3に示す。画像処理ユニットでは前後カメラの画像処理を行い、検出した稲列の位置情報と稲列の末端情報を制御ユニットへ送る。走行制御ユニットでは受信した画像処理ユニットからの情報と自身のセンサ情報(加速度, ジャイロ)を基に動作を決定し、左右モーターの制御を行う。

図4に稲列末端での制御手順を示す。稲列に沿った走行制御では、ロボットの中心線上に稲の位置を保つように進行方向を修正して走行する。この際、画像処理による稲列の末端情報が欠株等による誤判別でないか判定を行う。稲列末端に到達したと判定した時点で停止し、スイッチバック方式を用いた折り返し制御に切り換える。停止後は約60度旋回し、次に目標とする稲列付近まで直進し、さきほどとは逆に旋回して目標とする稲列に沿

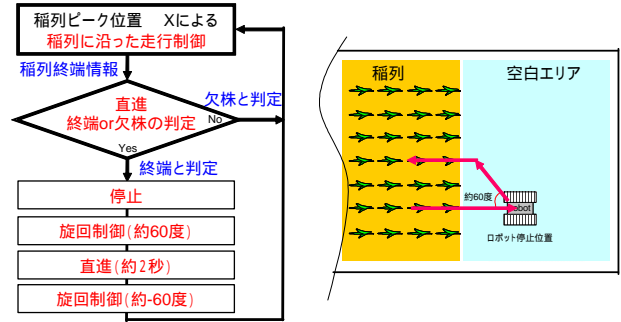


図4 稲列末端での走行制御

ように方向を変える。ここでの制御はジャイロとタイムによるシーケンシャルな制御で行う。

4.2 自律走行実験

実用的な面積のほ場(30m x 50m)において、自律走行実験を行ったところ、稲列に沿った走行制御と稲列末端での折り返し走行制御を繰り返す(図5), 自律して水田内を走行できることを確認した。さらに、同様な実験を、天候の異なる環境や移植直後のほ場など、条件の異

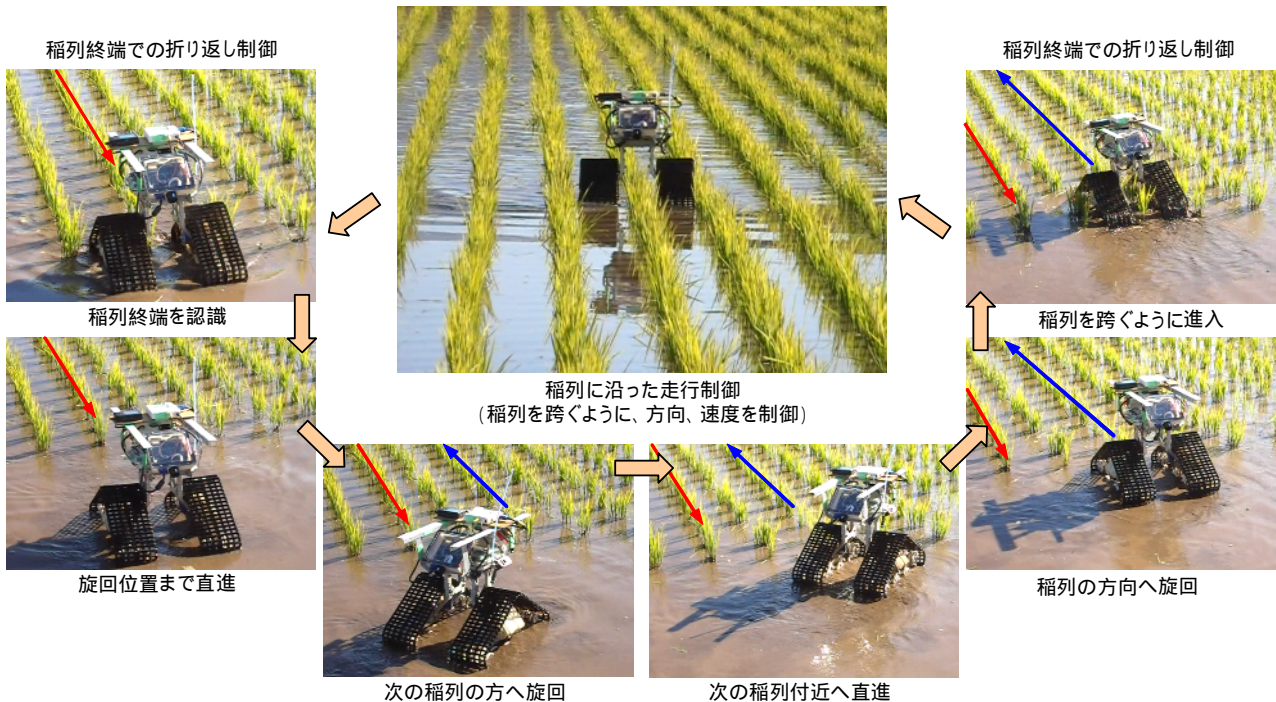


図5 自律走行制御(H20開発機)

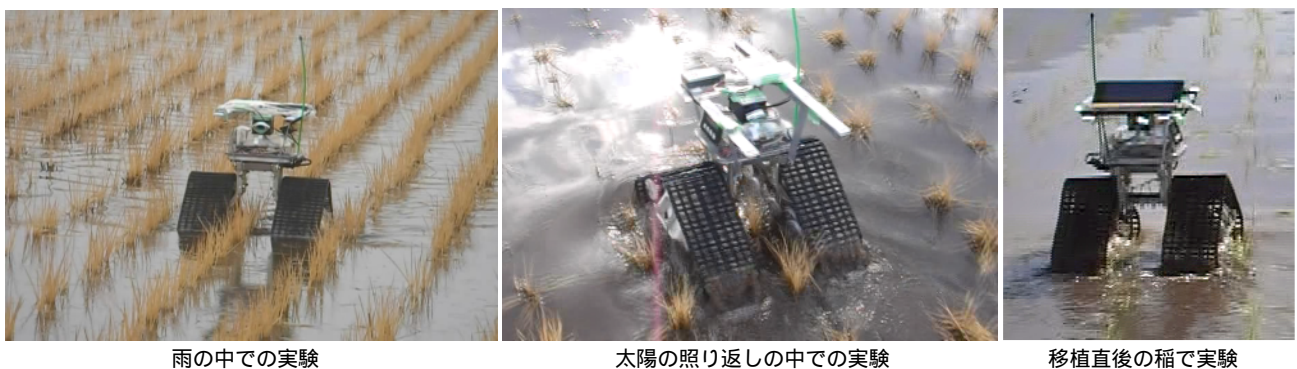


図6 様々な環境での自律走行実験(H21開発機)

なる環境で行い(図6),自律走行の安定性を調べた。これらの実験を通し,これまでに下記の場面において誤動作を確認している。

- 1) 終端の空白エリアの土壤に,硬く固まった大きな凹凸がある場面
 - 2) 目標とする稲列の終端が欠如している場面
 - 3) 移植直後の稲があまりにも小さい場面
 - 4) 移植直後の稲が活着せずに浮いてしまっている場面
- 1) 2) では,隣の稲列に進入するなど,終端での折り返し制御に失敗する可能性があり,3) 4) では稲列追従に失敗する可能性がある。今後はこれら想定外のほ場条件への対応を含め,様々な条件に適応できるよう自律走行のロバスト性を向上させる予定である。

5. まとめ

水田での自律走行機能を備えたロボットを開発し,実用規模のほ場での実験を通して,ロボットが自律走行を行えることを確認した。ただし実験はロボット開発後の冬季に行ったものであるため,今後は実際の稲の栽培時期にロボットを現場へ持ち込み,想定する作業期間を通して自律走行実験を行う必要がある。この際,自律走行のためにほ場に設定する条件の緩和も考慮しながら,自律走行機能のロバスト性の向上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。

さらにロボットの実用化に向けては,ロボットの運用を支援するための機能が必要である。これについては,高齢の農業者でもロボットを使用できるような操作インタフェースや,ロボットの転倒や盗難など予期せぬ事態が発生した際に現場にいない農業者へ異常事態を知らせる機能などについて開発を進める予定である。

謝辞

本研究は,岐阜県中山間農業研究所,岐阜大学,みのる産業株式会社,株式会社常盤電機の協力の下,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] 農林水産省 環境保全型農業関連情報
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/
- [2] “ぎふクリーン農業”
<http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11435/clean/index.html>
- [3] 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.
- [4] 平湯秀和,田中等幸“水田用小型除草ロボット(ア

イガモロボット)の開発 水田除草用自律走行ロボットののための稲列検出手法の開発”,岐阜県情報技術研究所研究報告,第10号,pp27-32,2009.

- [5] 田畑克彦,光井輝彰,稲葉昭夫,平湯秀和,田中等幸“水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発-自律走行のためのハードウェア検討-”,岐阜県情報技術研究所研究報告,第10号,pp35-39,2009.