

水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発(第7報)

藤井 勝敏 田畑 克彦 横山 哲也 久富 茂樹 遠藤 善道

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

Katsutoshi FUJII Katsuhiko TABATA Tetsuya YOKOYAMA Shigeki KUDOMI Yoshimichi ENDO

あらまし 水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)を有機水稲栽培の農家等へ一定期間貸し出し試用してもらい試みを行った。今年初めてアイガモロボットを使用する農家に対しては、移植シーズン前に機械の取り扱いおよび移植の留意事項について説明し、移植後の初回運転時にも操作実演を行ったが、日々の運用については技術者が立ち会わず農家に任せることとした。今年度、県内外の複数の圃場で同時に実証実験を行ったところ、機械の操作方法に関する問い合わせや故障の修理対応などでの課題が明らかになった。また、本除草機械の発売を望む農家が増えてきていることを踏まえ、アイガモロボット研究の完成状況について、本開発事業のまとめの意味を込めて整理する。

キーワード 水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)、実証実験、故障対応

1. はじめに

水田用小型除草ロボット(以下、ロボット:図1)は、平成15年から研究開発を進めてきた、土壌攪拌を主原理とする水田雑草の生育抑制を目的とした自律移動型ロボットである^[1]。平成20年度からは農業機械メーカーのみの産業株式会社(岡山県赤磐市)と共同で実用型試作機を開発し、現地実証圃での走行実験を重ねながら、機械系、制御系の技術開発を行ってきた。平成24年度には製品型に最も近い最終形を完成させ^[2]、平成25年度からは農業研究機関や農業法人を対象とした実証実験を行う一方で、メーカーでは量産化に向けた部品選択、設計変更、コストダウンを、当研究所では実証実験の実施と不具合および現地要望の洗い出し、制御ソフトウェアの改良を行ってきた^[3]。

特に最近3年間の実証実験は、ロボットを初めて使用する農業者が、設計意図どおりに扱うことができ、期待される除草効果が得られるかを評価するため、平成25年



図1 水田用小型除草ロボット『アイガモロボット』

度と26年度は郡上市、下呂市、恵那市の農業法人と埼玉県の研究機関を対象に、平成27年度は高山市および新潟県十日町市、福島県福島市、岡山県備前市、島根県大田市の農業法人、研究機関、大学校へ機械を貸し出して実施した。これらの新規実証圃に加え、平成22年度から実施している羽島市、岐阜市柳津町、中津川市での実証実験も継続している。

ロボットは、水稲の移植直後から1か月半程度の期間、具体的には5月下旬から7月中旬を中心に一斉に稼働する。このように全国複数個所で実証実験を行うことで、将来、ロボットが製品化されたとき、開発者が立ち会わない状況でユーザがロボットをどのように扱い、もし不具合が発生した場合、どのように対応するのかどうかを確認する意図があった。本報では、多くの実証実験を通じて現地で発生した不具合や問い合わせへの対応について報告する。

また、雑誌や新聞等、様々なメディアでロボットが取り上げられる機会が増えた結果、全国の農業者からロボットに関する問い合わせが増えてきている。こうした期待に応えるため、製品化に向けて取り組んでいる所であるが、ロボットの機能や使い方、除草効果について、誤った期待をされていないか懸念している。

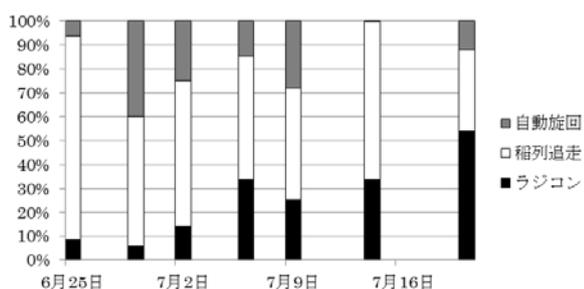
そこで、本年度を持ってロボットの開発は一旦、節目となることから、本書では改めてロボットの機能と技術開発状況についてまとめ、今後の予定について述べる。

2. 現地実証実験

本年度の実証実験の実施状況を表1に示す。いずれの圃場についても、今年度はロボットと十数ページの取り

実証圃所在地	新潟県	福島県	島根県	岡山県	岐阜羽島	岐阜柳津	岐阜高山	岐阜中津川
実施区分	新規	新規	新規	新規	継続	継続	新規	継続
取扱説明	5/20	5/28	6/8	6/23	-	-	5/8	-
使用開始	6/9	5/27	6/8	6/22	6/14	6/25	6/4	5/20
使用終了	7/13	7/21	7/9	7/22	7/20	7/20	6/30	7/23
延運転日数	24	13	9	8	12	8	11	22
総走行時間	54:00	5:08	10:09	14:39	15:34	7:19	19:56	16:58
うちラジコン時間	12:18	2:36	7:42	6:52	4:05	1:14	9:04	7:42

表1 本年度のロボット実証圃と実施スケジュール等



※ドライブレコーダの不調によりデータ欠落日がある

図2 継続実証圃のロボット運転状況推移

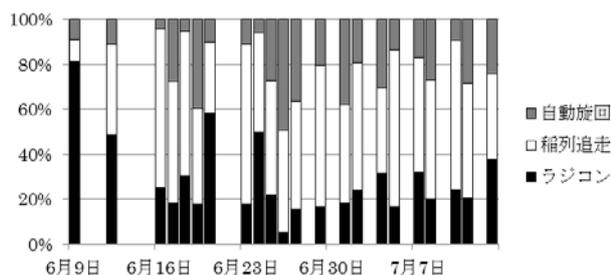


図3 新規実証圃のロボット運転状況推移

扱い説明書の引き渡しに合わせて操作説明を行っただけで、どのような広さでいつからいつまで作業を行うかについては、現地の農家の判断に委ねた。

その結果、従前から実証実験に参加している農家では全くトラブルなくロボットを使いこなしており、自動運転についても順調であったと報告を受けている。実際、この実証圃でのロボットの操作状況を解析したところ、図2のように初回はラジコン操作時間が極めて少なく、徐々に増え、自動運転が難しくなった頃にロボットの仕様を終了する傾向が見られた。運用ごとに自動運転が難しくなる原因には、活着しなかった苗による欠株の増加や成長した苗にロボットが引っかかり始めることなどが現地の観察により推定される。

これに対し、今年度初めてロボットを使うところでは、当初からマニュアル通りの自動運転が成功せず、ラジコン操作を行う時間比率が高くなる傾向が見られる。これは圃場に苗を移植するとき、枕地の開け方や稲列終端の揃え方などがロボット運転用に十分配慮されていなかったことが原因と推察され、初回使用後に補植等や枕の地均しによる改善を指導したところ、ラジコン運転比率が大幅に低下している(図3)。

2. 1 使用法の問合せと故障対応

新規実証圃に関しては、まだロボットの取り扱いに慣れていないこともあり、使用開始期には充電の仕方やプロポの操作方法など基本的事項の他、実証圃で運転したところ苗列に沿って走らない場合の対応策などの問い合わせに電話やメールで対応した。その後は徐々にロボットの運転に慣れたのか、使用方法に関する問合せは無くなったが、1, 2週間目ごろに、ギアの損壊1件とフレーム破断2件の故障連絡があった。ギア損壊については研究所に部品があったため、故障機を返送してもらい、交換後、即時送付で対応した。破断については、修理に時間がかかる見込みで、その時期はロボット除草が最も効果的な時期でもあり、修理のために除草作業を休むことを避けるため、故障連絡を受けた即日代替機を発送すると同時に、故障機を直接返送してもらう対応を取った。代替機は旧型で使い方や走行性能が実証機と異なり、除草作業への影響を抑えるために、故障機を修繕し現場に送り返すことを優先し、予備機の返却については繁忙期を過ぎてから依頼した(図4)。

この結果、実証実験は滞りなく継続できたが、今年度は8か所のうち2か所で同時に発生しており、仮にロボットが商品化され全国で販売された場合、この方法では十分な数の予備機を準備していなければ、すぐに対応不能になる恐れがある。現実的には故障の際にユーザもしくは販売店等で容易に部品交換できるような設計にするなどの対策を検討すべきであるが、従来の農業機械とは性質が異なる精密機械であることから、実用化へ向けての大きな課題の一つとして残している。

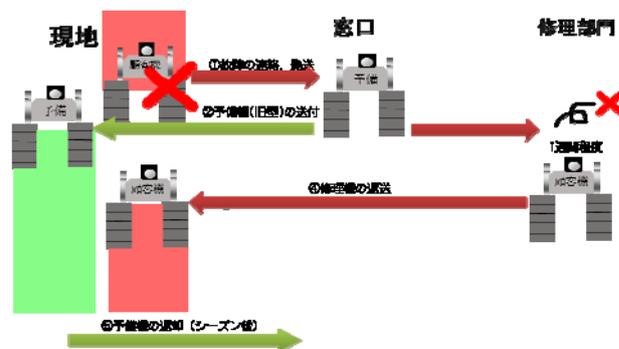


図4 故障時のロボットの移送

3. ロボットの使用方法

これまでの研究開発および実証実験を通じて、ロボットを使った水田除草方法については一定の目的が立った。本章では、この機械の想定ユーザである稲作農家の目線でのロボットの標準的な使用方法を示すとともに、実証圃での独自の工夫についても言及する。

3. 1 自動運転および調整

既報のとおり、ロボットは搭載するカメラで撮影した圃場内の画像を認識し、稲列に沿って走行し、枕地で自動的に旋回する機能を有している。操作者は、手持ちまたはラジコン誘導により除草作業を開始する最初の列にロボットを配置し、本体パネルボタン(図5)またはラジコンの特殊操作(ステアリングを回しながら電源スイッチON)で「最初に旋回する左右の方向」を指令するだけで、ロボットは自動運転を開始する。

枕地および稲列が適正に整備された圃場であれば、旋回後に苗が見えなくなるまで操作者の介入なしに自動運転が継続できることを実証実験で確認している。しかし、移植直後から無調整で終始全自動運転できることは稀で、大抵の場合、作業を期待する条から外れたロボットをラジコンで復帰する操作と、その間に潰してしまった苗の補植作業が発生する。

このとき、ロボットが自動運転を失敗するに至った原因が推定できれば、微調整により次回走行以降の成功する可能性があるが、微調整にはロボット本体の調整と圃場の調整の2つの方法がある。ロボットを調整するために、パソコンまたはタブレットPCと無線通信して操作するソフトやアプリ(図6)も開発したが、その性質上、機械技術者向けで、一般ユーザに使わせることは想定し難い。

一方で、圃場の調整とは苗の補植または移植のことを言い、長靴を履いた圃場作業者ならば日常的に行っている作業のバリエーションである。ロボットには、直近の運転中に行った判定結果をもとに、条の長さや条間移動量、終端の判定基準等を変動させて、走行中の圃場に適



図5 本体パネルボタン(最新型機)

応する機能がプログラミングされており、この性質を利用すると、枕地から1メートル程度の範囲内で条間隔を揃えるか、微増または微減するように苗を移動させて調整するとともに、この範囲を若干密植気味にすることで苗が小さい時期にも終端判定と再進入動作の成功可能性を向上させることができる(図7)。

このほかにも、植え替えによる調整には圃場条件に応じて様々な可能性が考えられる。ロボットを長く使い続けければ利用者が独自ノウハウを開発できることも、このロボットを一度使うと繰り返し使いたくなる魅力の要因になっているのではないかと考えている。

3. 2 株間の除草効果

ロボットの走行痕はクローラベルトにより田面を削っていることにより除草効果は高く、その反面、濁水効果のみに頼る条列の株間については残草量が多いことが指摘されている。この点については、チェーン式の株間除草機構を取り付けて走行することで、一般的なチェーン除草法と同様な効果が得られる。

ただし、チェーンを付けて走行する場合、藻類や浮草が絡まるとモータに過負荷がかかるだけでなく、苗を倒伏させた上に藻類が載って枯死させることがある。広い圃場の一部で藻が発生し始めた初期には気づきにくいた

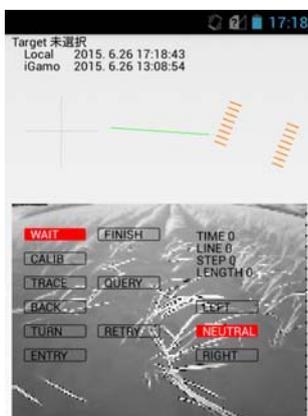


図6 ロボット調整用アプリ画面

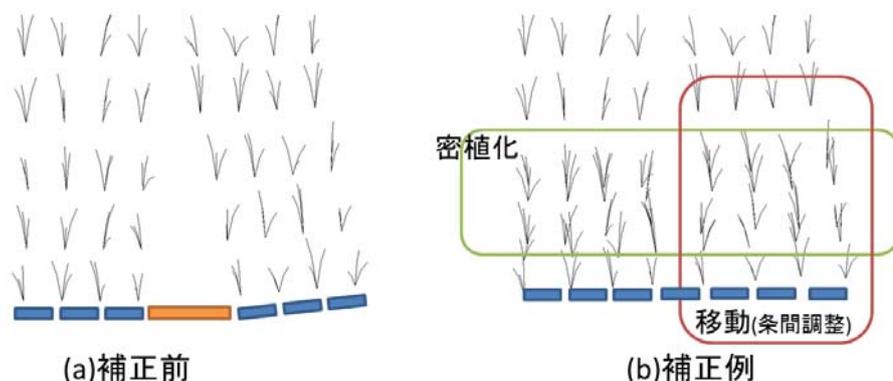


図7 移植と補植による圃場の調整例

め、運転中は、よく圃場を観察する必要がある。

藻類が発生した場合でも株間の除草効果を落とさたくない場合には、藻類を集めにくいチェーンを使うこともできる^[3]。このチェーンを使う場合、自動運転モードでの旋回動作では機構部と干渉しないように制御しているが、ラジコンで超信地旋回(その場旋回)を行うとクローラベルトに巻き込まれる恐れがあるため注意を要する。

なお、株間の除草効果については、有機水稲栽培では一般的な成苗移植、深水管理の条件で、定期的にロボットで濁水していれば、収穫時期の段階でほとんど雑草が残らないことが実証実験で確認されている。また、株間に活着し成長したヒエは、ロボットが列ごとに走行する様子を見ていれば遠方からも容易に見つけられるため、泥が軟らかく、ヒエの本数が少ないうちに圃場に立ち入って手取り除去するのが確実である。ロボットの開発初期には、圃場内に足跡や土塊があると転覆や斜行の原因となるため立ち入りを制限していたが、最新型のロボットでは足跡程度の穴ならば走行に支障ないように改良してあるので、雑草が目立ってきたら翌年に種を残さないように圃場に立ち入って手で抜くことを推奨している。

4. ロボットの今後について

昨年度から今年度に掛けて、バッテリーの大容量化、ラジコンプロボのデジタル化、メンテナンス通信ポートの無線化等の改良を行い、実証実験を通じて寄せられた要望に対応する一方で、現在のシステム構成、制御方式で製品化に向けたコスト試算をメーカー内で進めている段階にある。現時点では、ある程度まとまった数を生産すると仮定しても、農家向けに行ったアンケート調査で購入を検討するとされる製品価格30万円前後での製造、販売は実現困難と試算される。今後はさらなるコストカットを検討する一方で、除草ロボットの新たな付加価値を発信していく必要性を感じている。

たとえば、一般的な田植え機や稲刈り機が毎年1度しか使われないのに対し、除草ロボットは1つの圃場で10回以上稼働させる機械である。小型で軽量である特徴から、軽トラックへの積み下ろしが容易で、乗用型機械の積み下ろしと比べて安全であり、圃場内走行中は勿論、圃場への進入、退出の際、転覆、転落などの重大事故の心配もない。乗用でないことに加え、低出力・低作用であることから、子供にも安心して作業を任せることができ、農作業体験を通じて、そこで稲作を続ける将来を想像す

るきっかけにもなる。

そして最も重要な意義は、食の安全、安心を得るとともに、圃場内外の魚や水生昆虫等の生物多様性を取り戻すことを目的に、除草剤を使わないという選択を取った場合に、雑草対策として前時代的な肉体労働に頼る方法ではなく、クリーンで作業的にも安全な方法を実現したことである。

除草ロボットの目指してきた方向性は「肉体的に辛くなく、精神的に快い雑草防除の実践」であり、将来的には革新的で現代的な除草方法を普及することによって、農業を魅力的な職業として次世代に伝えることが最終目標である。当研究所では12年間にわたる研究開発を通じて多くの技術課題を解決し、残る課題はメーカーによる事業化、製品化となったが、近い将来、全国の水田をロボットが走行し、そこに子供たちが集まり、そこに自然に世代間のコミュニケーションが生まれることを期待したい。

謝 辞

本研究は、農林水産省農林水産業・食品産業科学研究推進事業「機械除草技術を中核とした水稲有機栽培システムの確立と実用化」の一分担として実施しました。

本年度の実証実験にご協力下さった水稲生産者並びに研究員、普及指導員の皆様に深く感謝いたします。

文 献

- [1] 光井輝彰,小林孝浩,鍵谷俊樹,浅野雄二,坂東直行,“有機栽培技術の高度化に関する研究”,岐阜県生産情報技術研究所研究報告第5号, pp.33-36, 2004.
- [2] 光井輝彰,田畑克彦,藤井勝敏,横山哲也,遠藤善道,陶山純,葛谷和己,“水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発(第4報)”,岐阜県情報技術研究所研究報告第14号, pp.11-12, 2013.
- [3] 藤井勝敏,田畑克彦,横山哲也,久富茂樹,遠藤善道,“水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発(第6報)”,岐阜県情報技術研究所研究報告第16号, pp.54-56, 2015.