

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

光井 輝彰 広瀬 貴士* 岩澤 賢治** 久田 浩志* 大場 伸也*** 稲葉 昭夫

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

- Weeding Experiments in Rice and Manchurian Wild Rice Fields -

Teruaki MITSUI Takashi HIROSE* Kenji IWASAWA**
Hiroshi HISADA* Shinya Ooba*** Akio INABA

あらまし これまでに、農業分野におけるロボット技術の応用として水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発を行ってきた。また、平成20年度からは経済産業省の委託を受け、実用化を目指した開発も開始した。これらロボットの開発の中で、試作機を用いた実際のほ場での除草実験により、ロボットを利用した水田除草の有効性を検証してきた。本年度は、昨年度に引き続き県内の水稲栽培ほ場3箇所とマコモ(水田の転作作物、健康野菜として注目されつつあり、県内では瑞浪市が特産化を図っている)栽培ほ場における除草実験を行い、除草効果の有効性を確認した。

キーワード ロボット、除草、クリーン農業、水稲、マコモ

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、水稲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]。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。これら一連のロボット開発の中で、平成18年度より試作機を用いて実際のほ場での検証実験を行ってきた。今年度は昨年度に引き続き^[4]、平野部(岐阜市)、中山間地(中津川市)、高冷地(飛騨市)の環境の異なる県内3箇所の水稲ほ場と、昨年度より開始したマコモの栽培ほ場において除草実験を行い、その有効性について検討した。

2. ロボットによる水田内除草作業

ロボットによる除草作業は、ロボットが水田内を走行するだけであり、ロボットが走行する際の以下の要素により除草(抑草)効果を発揮する。

- ・クローラによる雑草の踏み潰し
- ・クローラによる表層土壌の攪拌、雑草の掻き出し
- ・土壌攪拌による水中照度の低下の他、濁水中に浮遊する粘土粒子の土壌表面と幼雑草への堆積^[5]

除草効果を高めるためには、雑草が成長する前に除草作業を開始し、水田の濁りを維持できる頻度で除草作業を繰り返す必要がある。よって、除草作業は代掻きの約1週間後から開始し、その後週2回程度の頻度で繰り返し行い、稲が生長して雑草害が問題にならなくなる移植後約7週間後まで行う。

また、今年度は新たに株間除草機構を導入した。水稲ほ場での除草作業は、図1のように稲を跨いで稲の条の中央をクローラで走行するが、株間(稲際)はクローラ

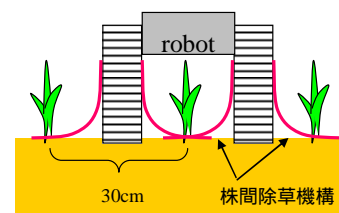


図1 ロボットによる除草作業イメージ

* 岐阜県中山間農業研究所

** 岐阜県東濃地域土岐農業改良普及センター

*** 岐阜大学

が直接作用できないため雑草が残りやすい。株間除草機構はロボットが走行する際に、稲を傷めずに株間の土壌表面に直接作用する機構で、これにより株間の除草効果を向上させることが期待できる。

3. 水稲ほ場での除草実験

昨年度に引き続き、標高、気候、土質や雑草種など各種条件の異なる県内3箇所のほ場において除草実験を行った。表1に各試験ほ場の特徴と実験のスケジュールを示す。

3.1 実験方法

今年度の実験では新たに開発した試作機を使用した。図2に実験で使用したロボットを、表2に緒元を示す。このロボットは昨年度の試作機と比較して走行性能と耐久性を改良しているが、除草実験に関わる条件の違いとしては、クローラベルト幅（昨年度は90mm）と重量（昨年度は4500g）及び株間除草機構の装着が挙げられる。

株間除草機構は複数のティン（土壌を掻く除草機構の先端部）を備え、ロボットの走行により株間の土壌表面を稲に損傷を与えないで軽く掻く機構である。これまでに数種類の機構を試作し模擬ほ場での予備実験を通して効果を確認してきた。これを基に今回新たにほ場実験用の機構を開発した（図3）。ティンには棒状の樹脂の先端に棒状の樹脂をそのまま広げたタイプ（図3(a)）と、ねじりブラシを取り付けたタイプ（図3(b)）で、それぞれで柔軟性の異なる数種類を準備した。柔らかいティンは稲が損傷しにくいが除草効果が低く、硬いティンは稲が損傷しやすいが除草効果が高いと言える。株間除草機構はティンの部分が交換可能であり、状況に合わせてティンの種類や取り付け個数を変更することができる。今回の実験では、この株間除草機構をクローラベルトの左右に（合計4個）装着して、稲の移植直後は柔らかいティンを使用し、稲の成長と雑草の状態を見て強度の高い（硬い）ティンに交換した。

除草作業はラジコン操作で行い、各ほ場に共通する試験条件として、週2回の片道走行による除草作業を設定した。また、ロボットも株間除草機構も初めての利用であったため、実験当初は移植直後の苗に損傷を与えないか、代掻き後間もない軟弱土壌で問題なく走行できるか等に注意しながら実験を行った。

3.2 実験結果と考察

ロボットの除草作業による苗の損傷については、クローラ幅が広がっても苗を踏まない限り何ら問題なく、踏んだとしても苗の上で旋回しない限り欠株になることは無かった。株間除草機構についてもティンが接触しても苗が揺れる程度で特に問題は無かった。図4に初期（移植7日後）のほ場における除草作業後の様子を示す。ロボットの走行による稲の損傷や欠株は無く、ほ場内で直進、旋回を行っても株間除草機構に異常は無かった。

昨年までの試作機では初期の軟弱な土壌で進行方向前

表1 試験圃場と実験スケジュール

場所	岐阜市	中津川市	飛騨市	
圃場標高	10m	390m	493m	
平均気温	16.2	13.9	11.3	
土壌	灰色低地土	多湿黒ボク土	灰色低地土	
供試品種	ハツシモ	コシヒカリ	コシヒカリ	
施肥	無施用	慣行	無施用	
日程	代かき	6/8	5/8	5/22
	移植	6/10	5/12	5/26
	除草作業期間	6/15 - 7/29	5/15 - 6/30	5/29 - 7/14
	残草調査日	7/29	7/1	7/15



図2 水稲ほ場用の試作機

表2 緒元

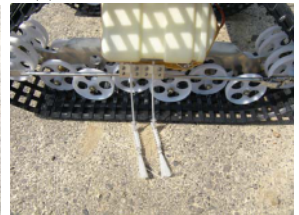
全長	500mm
全幅	450mm
高さ (クリアランス高)	500mm (300mm)
クローラ幅	150mm
全備重量	8600g
モーター	7.2Kgf-cm 18.5W x2
バッテリー	Ni-MH 24V-4.3Ah



(a)樹脂棒のティン



(b)ねじりブラシのティン



株間除草機構の装着状態（ワンタッチで着脱可能）

図3 株間除草機構の例



苗の損傷、欠株無し



機構に異常なし

図4 株間除草機構を装着した除草作業後の様子



図5 代掻き7日後（移植3日後）の除草作業

方が持ち上がり走行に苦勞する場面が見られたが、新たな試作機ではそのようなことは無く安定して除草作業が行えることを確認した(図5)。

図6, 7に中津川市試験区の除草作業終了時点でのほ場の様子を示す。無処理区は水面が見えないほど雑草が繁茂しており、ロボット除草区は、無処理区と比較して明らかに雑草が少ないことが分かる。図8に各試験ほ場の残草調査結果を示す。グラフは優先雑草(コナギ, イヌホタルイ, ノビエ)の風乾重の無処理区に対する割合を示す。ばらつきはあるものの3か所の試験ほ場ともに無処理区と比較して明らかに雑草が減少していることを確認できた。また、昨年度の除草作業と比較すると、今年度は除草作業の頻度を週3回から週2回に減らし、走行方法を往復走行から片道走行に簡略化したが、除草効果は昨年度と同程度であることから、これらの要素は除草効果にそれほど影響しないと考えられる(ただし、飛騨市の試験区は昨年度とほ場が異なる)。

株間除草機構に関しては、株間除草機構を装着しないで除草作業を行う試験区を準備して比較したが、除草効果は同程度であった。さらに、残草のほとんどは株間に残っていることから、今回利用した株間除草機構は

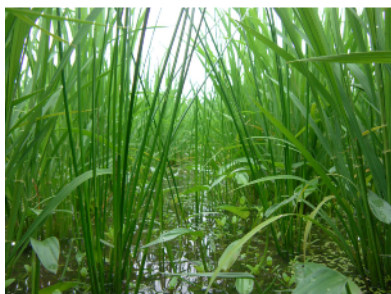


図6 無処理区(7月3日 中津川)



図7 ロボット除草区(7月3日 中津川)

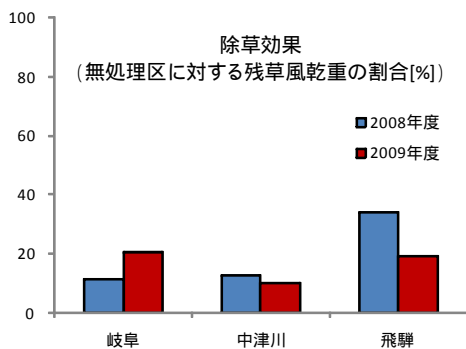


図8 各試験ほ場の残草調査結果

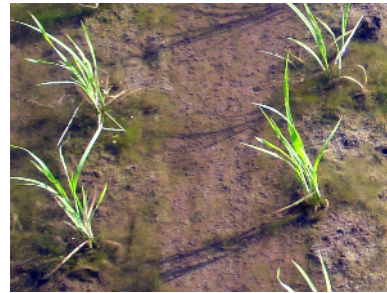


図9 実験後の土壌表面の状態

効果がなかったと考えられる。この事は、除草実験後のほ場の土壌表面の状態(図9)を見ても明らかである。株間の土壌に表面剥離や糸状の藻が存在しており、株間除草機構が株間の土壌に有効に作用していなかったことが伺える。その原因としては、欠株や稲の損傷が生じないことを最優先に考え、タインの交換(強度アップ)が遅れ、十分に土壌表面を掻き出すことが出来なかったことと、一部が変形するなど株間除草機構の耐久性が不足していたことが考えられる。実際のは場では長期間、広範囲の除草作業をこなす必要があることから、株間除草機構自体の耐久性を上げるとともに、当初から強度の高いタインで稲に損傷を与えずに株間に作用するような機構が必要と考えられる。

4. マコモほ場での除草実験

マコモはイネ科の大型多年草で、春に株分けした30cm程度の苗が秋には2メートル以上に育ち、肥大化した株元の新芽(マコモタケ)は食用や薬用として利用されている。ただし、マコモには登録農薬が無く除草剤が使用できないため、現状では手取り除草が基本であり、雑草対策はマコモ栽培における大きな課題となっている。

4.1 マコモほ場での実験方法

マコモは大型化するので疎に植えるが、今年度は条間1.5m, 株間0.8m(昨年度は条間1.8m, 株間1m)に設定した。水稲栽培のように苗を跨ぐ必要が無いため、ロボッ

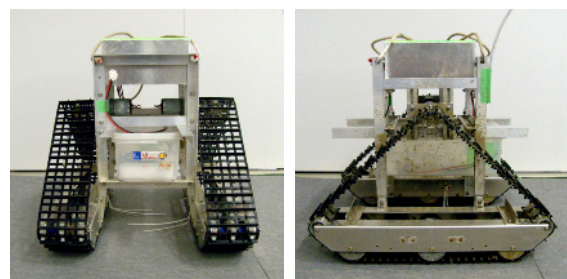


図10 マコモほ場用の試作機

全長	460mm
全幅	400mm
高さ	420mm
クローラ幅	90mm
全備重量	5500g
モーター	7.2Kgf-cm 18.5W x2
バッテリー	Li-ion 26V-3.0Ah



図11 除草作業の様子

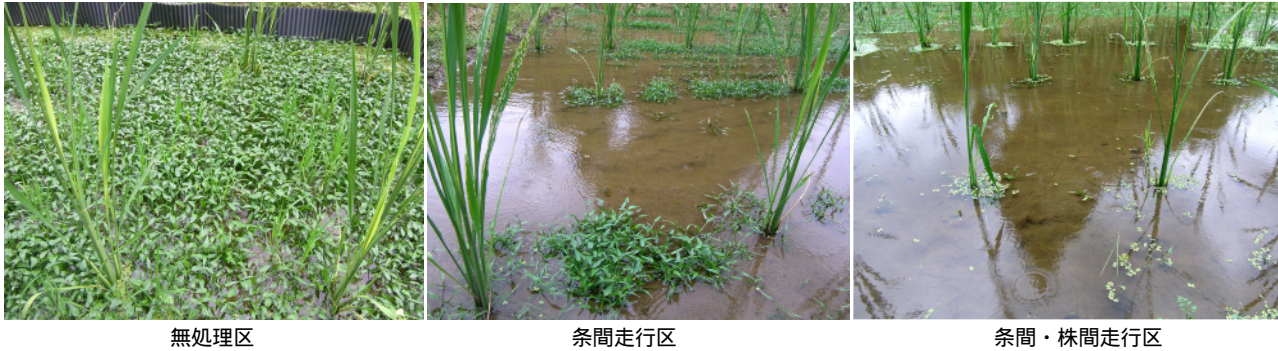


図12 除草作業終了後のほ場用の状態 (7月10日)

トのクローラ間には大型のバッテリーを搭載するとともに、土壌表面を掻く樹脂性のティン装着して除草効果の向上を図った。図10にマコモほ場用に開発した試作機を、表2に緒元を示す。ロボットはマコモの条間と株間の両方向を自由に走行することができる(図11)ので、除草作業は条間だけを走行する区域と、条間と株間の両方向を走行する区域に分けて行った。両区域は仕切りを設けていないため、土壌攪拌の効果は拡散することになる。除草作業を行わない無処理区のみは波板で区切った。除草作業は5月22日から7月8日までの7週間行い、その間に週1回のペースで合計8回の除草作業を行い、残草サンプリングを7月10日に行った。

4.2 マコモほ場での実験結果

図12に除草作業終了時点のほ場の様子を示す。条間走行区の株間には雑草が茂っているが、条間と株間の両方向を走行した区域ではほとんど雑草が生えていない。ロボットの走行跡は明らかに雑草が減っており、雑草が非常に多い無処理区とは対照的である。残草調査結果からも非常に高い除草効果が得られたことが確認できる(図13)。今年度は除草作業の頻度を昨年度の週2回から週1回に減らしたが、十分な除草効果が得られた。その反面、実験中にモータドライバが焼損したり、ギアが破損したりするなど、トラブルも多かった。大きく強力なティンを取り付けたため、ロボットに大きな負荷が掛っていたことが予想される。今後はロボットの耐久性の向上と、より効率の良い作業手法の検討が課題となる。

5. まとめ

水稻栽培ほ場での実験では、開発したロボットがこれまでの試作機以上に水田内を安定して走行(除草作業)できることを確認した。除草効果についてはロボットの除草作業による雑草量の減少を確認したが、開発した株間除草機構の効果が出ていないため、機構の改良を進める必要がある。マコモ栽培ほ場においては、昨年度に引き続き非常に良好な除草効果が得られた。条間・株間走行区は見た目にも残草が少なく、作業の効率化を進めることで非常に有効な除草手段となり得ると考えられる。

今後は、水稻栽培圃場の実験で開発したロボットをベースとして研究を進め、除草効果の向上とロボットの効

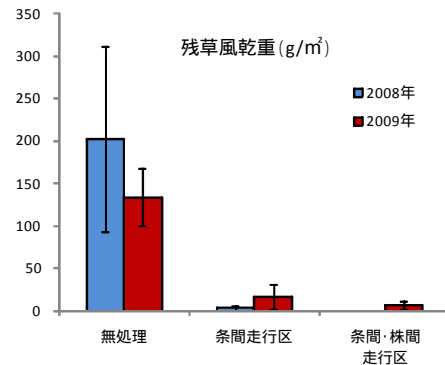


図13 まこもほ場の残草調査結果

率的な運用方法について検討を進める予定である。同時に実用規模のほ場において、ロボットの自律機能による除草作業について検証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、岐阜県東濃地域土岐農業改良普及センター、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で実施しました。なお、水稻栽培に関する部分は、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/kanky/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] 光井輝彰, 広瀬貴士, 遠藤彰将, 鍵谷俊樹, 大場伸也, 稲葉昭夫, “クリーン農業を支援するロボット(アイガモロボット)の応用技術に関する研究”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, 第10号, pp23-26, 2009.
- [5] 福島和敏, 保田謙太郎, 芝山秀次郎 “田面水の攪拌が雑草の発生に及ぼす影響”, 雑草研究, Vol.48(別), pp224-225, 2003.