

水稲のクリーン農業を支援するロボット(アイガモロボット)の実証研究

光井 輝彰 鍵谷 俊樹* 大場 伸也** 広瀬 貴士* 小林 孝浩*** 稲葉 昭夫

Experimental Study of a Weeding Robot “AIGAMO ROBOT” for Clean Agriculture of Paddy Fields

Teruaki MITSUI Toshiki KAGIYA* Shinya Ooba** Takashi HIROSE*
Takahiro KOBAYASHI*** Akio INABA

あらまし これまでに、農業分野でロボット技術を活用するための要素技術として、小型ロボットの移動機構について開発を行ってきた。また、これを利用した水田内除草作業について、圃場実験を通してその有効性を確認してきた。本研究では、県内の3箇所の試験圃場でアイガモロボットを利用した除草実験を行ない、環境の異なる圃場での除草効果や、長期経年的な除草効果について調べる。また、実用的な除草効果を得るためのロボットの運用方法や稲の栽培体系について検討を行い、除草効果向上のためのロボットの改良や、自動走行機能などのロボットの高性能化について検討を行う。

キーワード ロボット, 除草, クリーン農業, 水稲, クローラ

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、ぎふクリーン農業^[1]のように、それらの農業を推進する動きを進めており、水稲栽培でも有機農業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おり^[2]、2006年には飛騨市古川町の中山間農業研究所で試作ロボットを用いた圃場実験を行い、その除草効果を確認した。2007年は高



図2 ロボットによる除草作業

冷地（飛騨市）以外に平野部（岐阜市）と中山間地（中津川市）を加え、環境の異なる県内3箇所の圃場でロボットの除草効果を調べた。

2. ロボットによる除草作業

図1に実験で利用した試作ロボットを、表1に緒元を示す。フレーム部品の改良とバッテリーの搭載位置の見直しにより、軽量化と低重心化を図った。除草作業は、ロボットが稲を跨いで走行するだけであり(図2)、除草(抑草)効果は水田内をロボットが走行する際の、

- ・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^[3]

等により得られる。作業期間は田植後の苗が活着する約1週間後から、成長して雑草害がほとんど問題にならなくなる約7週間までの期間とする。

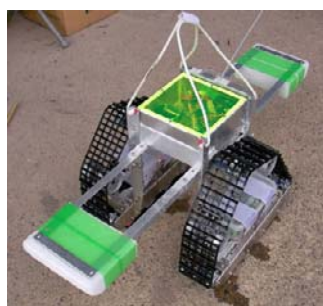


図1 試作ロボット

表1 緒元

Length	400mm
Width	400mm
Hight	370mm
Width of Crawler Belt	90mm
Weight	4500g
Motor	380motor
Gear Ratio	59.77
Battery	Ni-HM3300mAh 7.2V

* 岐阜県中山間農業研究所

** 岐阜大学

*** 情報科学芸術大学院大学 (IAMAS)

3. ロボットによる除草実験

除草実験は、標高、気候、土質や雑草種など各種条件の異なる県内3箇所の圃場で行い、これらの違いが除草効果に影響するかを調査した。稲の作型はそれぞれ地域慣行に従い、表2に示す日程で実験を行った。各試験圃場は面積や形状などの諸条件が異なるため、ロボットの除草作業の条件は圃場毎に設定した。残草調査は各試験区から3箇所のサンプリングを行い、平米あたりの雑草本数と風乾重を計算した。収量調査では刈刈りの結果をアールあたりの収量に換算した。

3.1 平野部（岐阜市）の除草実験

平野部の実験では、除草作業を週1回、2回、3回の頻度で行う試験区を準備した。除草作業はロボットを単純に直進（前進、後進の往復）させるのではなく、細かく蛇行（往復）させることで、除草効果の向上を図った。

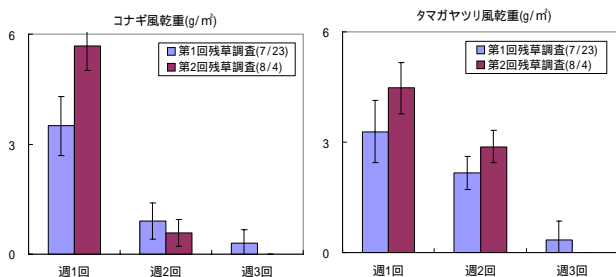


図3 残草調査結果（風乾重の平均値と標準誤差，岐阜市）



図4 良好な除草効果（週3回除草区 2007.7.18 岐阜市）

表3 収量調査結果（岐阜市）

試験区	稈長 [cm]	穂数 [本/株]	玄米収量 [kg/a]	千粒重 [g]
週1回	80.5	9.6	36.9	24.8
週2回	82.6	9.7	42.2	25.5
週3回	91.8	11.2	56.5	25.5
慣行区	93.6	11.7	50.3	26.0

表2 試験圃場と実験スケジュール

場所	実験圃場			スケジュール			
	圃場標高	平均気温	土壌	供試品種	代かき	除草作業期間	残草調査日
岐阜市	10m	16.4 °	灰色低地土	ハツシモ	6/7	6/19 - 8/3	7/23, 8/4
中津川市	390m	14.3 °	多湿黒ボク土	コシヒカリ	5/18	5/29 - 7/10	6/28, 7/9
飛騨市	493m	11 °	灰色低地土	コシヒカリ	5/16	5/31 - 7/12	6/29, 7/13

残草調査の結果を図3に示す。優占雑草はコナギとタマガヤツリであり、残草量はロボットの走行回数が多いほど減少する傾向がある。特に週3回除草作業を行った試験区では残草が少なく（図4）、第2回残草調査のサンプリング時点で残草が確認されなかった。収量は、ロボットの走行回数が多いほど増収している（表3）。週3回除草作業を行った試験区の収量は、除草剤を使用した慣行区にも劣っておらず、十分な除草効果が得られた。

3.2 中山間地（中津川市）の除草実験

中山間地の実験では、除草作業を週0.5回、1回、2回、3回、4回行う試験区を準備した。除草作業はロボットの直進（前進、後進の往復）のみに限定して行った。第2回残草調査の結果を図5に示す。優占雑草はコナギ、ホタルイであり、除草作業を行った試験区は無処理区と比較して残草が減少する傾向がある。ただし、全体的に雑草数が少なく、ロボットの走行回数による除草効果の違いはほとんど認められない。残草はクローラ走行跡にはほとんど残らず、クローラ走行跡以外に残っている。収量はこれらの残草を放置しても十分に得られた（表4）。

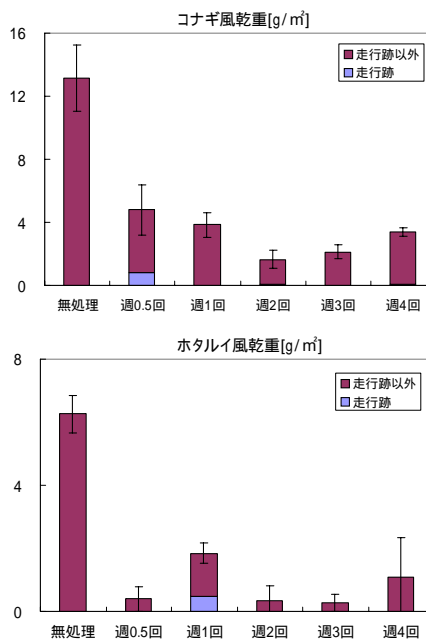


図5 残草調査結果（風乾重の平均値と標準誤差，中津川市）

表4 収量調査結果（中津川市）

試験区	稈長 [cm]	穂数 [本/株]	玄米収量 [kg/a]	千粒重 [g]
無処理	78.0	12.2	43.8	22.3
週0.5回	81.6	14.4	53.8	22.3
週2回	78.0	14.8	52.1	22.4
週4回	79.2	15.3	52.1	22.6
慣行区	78.7	11.4	53.7	22.4



図6 中耕除草機械(手動)

表5 収量調査結果(飛騨市)

試験区	稈長 [cm]	穂数 [本/株]	玄米収量 [kg/a]	千粒重 [g]
無処理	59.1	8.3	32.1	20.2
機械除草	59.7	9.9	43.7	20.2
ロボット除草	63.5	10.7	46.0	20.3

3.3 高冷地(飛騨市)の除草実験

2006年に引き続き、同試験区とその周辺で除草実験を行った。ロボットの除草作業は週1回と2回の片道走行および往復走行の4種類として、比較のため手動の除草機械(図6)を利用した機械除草区も準備した。

ロボットの除草区は、無処理区と比較すれば残草量が少ない傾向にあるが、最も作業頻度の高い試験区(週2回往復)でも残草の多い結果となった。他の試験圃場と比較して、元々雑草量が格段に多い圃場であるが、2006年の除草結果と比較しても明らかに残草量が多い。機械除草区に関しては、一般的な機械除草の方法に合わせて期間中に3回作業を行ったが、ここでも残草が多く、ロボット除草区(週2回往復)との間にほとんど差がなかった(図7)。米の収量に関しては、無処理区と比較すると増収しているものの、雑草が多いため稲の生育は悪く、収量も少なめであった(表5)。

3.4 除草実験考察

各試験区により雑草の絶対量に違いがあるが、全試験区でロボットの除草作業による残草量の減少が認められた。各種条件の違いによる影響は明らかではないが、平野部から高冷地まで環境の異なる3つの圃場において、ロボットの除草効果の有効性が示されたと言える。ただし、今年度の実験では走行跡以外に残草が目立ち、これを如何に減らすかが課題といえる。特に、飛騨市の実験ではロボットの走行跡以外に残草が目立ち(図8)、同じ週2回のロボットによる除草作業の結果に、2006年との間で大きな開きが生じた(図9)。この原因には、除草開始時期の遅れが考えられ、代かきから除草作業開始までの日数が、2006年の7日に対し2007年は15日であり、その間に雑草は葉齢2~3程度にまで生長していた(図10)。クローラ走行跡以外は土壌攪拌により雑草の生長を抑制するが、土壌攪拌は雑草の発生初期から行い、幼雑草を大きく成長させないことが重要である。雑草がある程度大きくなるとその成長を抑えることは難しいと考えられる。飛騨市の実験は2年目であり、ロボットの除草作業を重ねることによる経年的な影響が生じるのかについては不明であるが、今後も継続して調査する予定である。

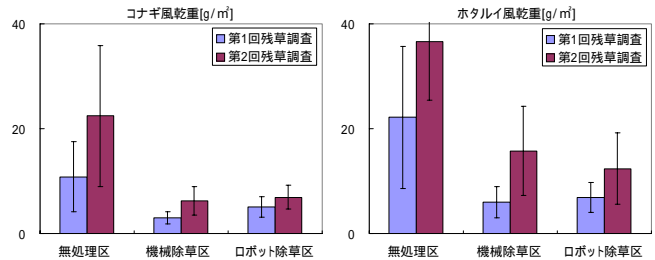


図7 残草調査結果(風乾重の平均値と標準誤差, 飛騨市)



図8 クローラ走行跡以外の残草(2007.6.21 飛騨市)

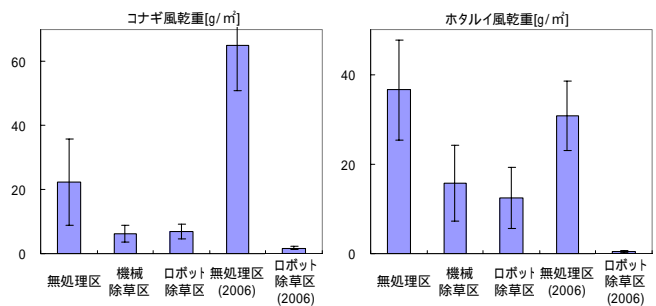


図9 2006年との残草量の比較(風乾重の平均値と標準誤差)



図10 除草作業開始時の雑草サイズ(2007.5.31 飛騨市)

4. ロボットの高機能化

水田内除草作業を自動化するためには、ロボットは直線状に植えられた稲の列に沿い、クローラでその間を走行する必要がある。除草剤の代替になるためには、安価なシステムでこれを実現する必要がある。今年度は、研究室に模擬稲を準備し、稲列の簡易な計測手法とロボットの走行制御について検討した。

4.1 稲列計測システム

検出対象となる模擬稲を図11に示す。実物の圃場条件に近づけるために、各稲はサイズや葉の広がり具合に個体差を持たせた。センサには、入手が容易で安価な測距センサ(SHARP GP2D12)を利用した。これを左右対

称に取り付け、斜め上の2箇所から稲を挟み込むように計測を行う(図12)。稲列の計測結果を図13に示す。出力波形の大きな5つの山は検出した稲に対応しており、その高さは稲までの距離と反比例の関係にある。クローラの中心を稲列が移動する場合は2つのセンサの計測波形がほぼ同じ形状なのに対し、クローラの中心からずれて稲列が移動する場合には、山の高さと位置が違うことが確認できる。

4.2 走行制御

ロボットの制御は、水田内稲列の若干の曲がりや、外乱等によるロボット自身の位置姿勢変化など、比較的緩やかで軽微な変化に対応して、ロボットが稲列の間から外れないように進行方向の修正を行えば良い。そこで、稲列計測システムの2つのセンサの計測値を平滑化して差分した値を最小にする(ロボットの中心と稲列を合わせる)ように制御を行う。制御周期は20msとして、5ms毎に取り込んだセンサの計測値20点を平滑化して用いた。図14にシステムの構成を示す。

走行実験は模擬稲を並べた約4mの稲列を用いて行った。ロボットの走行速度は除草作業で想定している速度(約0.5m/s)に設定した。走行中のロボットが稲列に沿ったコースを維持できるか確認するために、稲列を中間地点で曲げたところ、10°程度の曲がりには安定して対応可能であった(図15)。実際の圃場における稲列の曲がりはこれほど大きくないので、実際の圃場においてもこの制御手法は利用可能であると考えられる。

4.3 今後の予定

室内で模擬稲を利用した実験により、ロボットの稲列に沿った走行制御を行ったが、実際の圃場では諸条件に様々な違いが考えられる。稲列検出システムは、刻々と変化する気象条件や、水や泥や塵などの飛散に対する耐環境性が必要である。また、計測対象の稲自体の生長によるサイズやボリュームの変化にも対応する必要がある。圃場での利用に向けて、使用するセンサの種類や数、センサの取り付け位置や計測手法等の検討が必要である。

5. まとめ

岐阜県県土の標高差を反映した3箇所の圃場で実験を行い、ロボットの除草作業による雑草量の減少を確認した。2箇所の圃場では、除草剤を使用した慣行区に劣らない十分な収量が得られた。しかし、ロボットの走行跡以外に残草が目立ち、出来るだけ早期に除草作業を開始する事の重要性が示唆された。今後は施肥体系や水管理についても合わせて検討する予定である。

ロボットの高機能化については、室内の稲列に沿った走行制御を行い良好な結果を得た。これを元に、できるだけ簡易なシステムで実圃場での自動走行の実現を目指す予定である。同時に、除草効果を向上させるロボットの機構改良や走行制御について開発を進める予定である。

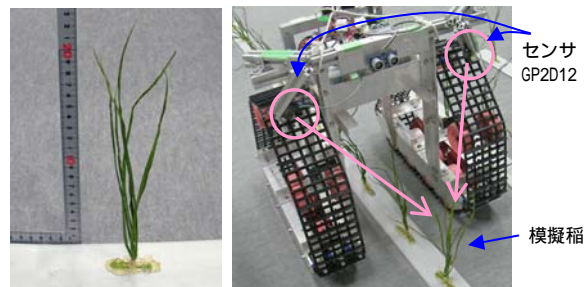
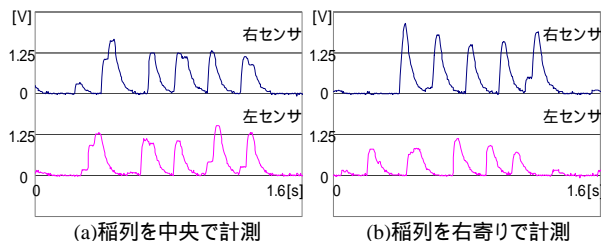


図11 模擬稲

図12 稲の計測



(a)稲列を中央で計測

(b)稲列を右寄りで計測

図13 稲列の計測例

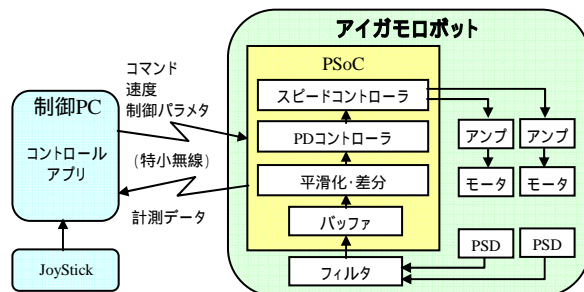


図14 システム構成

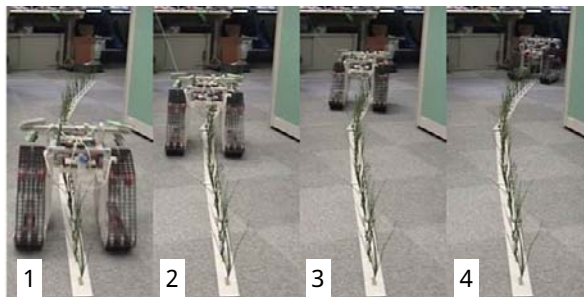


図15 稲列に沿った走行制御

謝辞

稲列計測システムの開発は、インターンシップ事業の一環として行いました。岐阜工業高等専門学校の齋場君、谷口君のご協力に感謝します。

文献

[1] “ぎふクリーン農業”
<http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11435/clean/index.html>
 [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] 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), pp.224-225, 2003.