

有機栽培技術の高度化に関する研究

—水田除草ロボット(アイガモロボット)移動機構の開発—

光井 輝彰 小林 孝浩* 鍵谷 俊樹** 浅野 雄二** 坂東 直行***

Research on the Advanced Technology for Organic Agriculture

—Development of Rice Field Rover for Weeding Out—

Teruaki MITSUI Takahiro KOBAYASHI* Toshiki KAGIYA** Yuuji ASANO** Naoyuki BANDO***

あらまし 食品の品質に対する社会的ニーズが高まる中、国民の主食となる米を生産する水稻の有機栽培技術への要望が大きくなっている。米の有機栽培において最大の障害は雑草対策であり、アイガモや紙マルチ等を利用した栽培技術も開発されているが、除草効果やコストについて課題が残されている。本研究では、中山間地におけるレンゲを緑肥とした有機栽培において、ロボットを用いて効率良く安定して除草を行うことを目的として、水田内を自由に移動するロボットのための移動機構の開発を行った。移動機構はクローラ式で、移動する際に土壌表面を軽く掻き、濁りを発生させることで除草効果を生成する。また、水田内での自律走行に必要なロボットのセンサーについて検討し、基礎的な計測実験を行った。

キーワード 有機栽培, 除草, ロボット, クローラ, PSD, ジャイロ, RTK-GPS

1. はじめに

昨今の各種規制緩和や物流の発達により、農産物の生産現場では従来以上の生産の効率化、低コスト化が必要とされている。一方、消費者の健康志向や高品質嗜好からは、食品に対する安全性や品質に対する関心が高まっており、農薬の使用を減らしたり、まったく使わない農法が望まれている。特に日本人の主食である米に対しては、これらの要求が強く、各種の有機栽培技術が試みられている。これら有機栽培の最大の課題は雑草対策であり、除草機械を用いる方法、アイガモやコイに雑草を食べさせる方法、紙マルチを用いて雑草の繁殖を阻害する方法^[1]等が提案されている。これらの方法は一部実践されてはいるものの、手間やコスト、除草効果等に課題を抱えている。

本県では中山間農業技術研究所においてレンゲを緑肥とした有機栽培技術の研究を進めている。ここでは、レンゲ由来の窒素により、ある程度の米収穫量を確保しつつ、レンゲの土壌混和により雑草種子の発生を抑制する効果について検討を行っている^[2]。そして、この雑草種子の発生抑制効果と、中山間という地理的気候的な特色により、土壌攪拌のみで雑草の繁殖を抑制できることが確認され

ている。本研究ではこの土壌攪拌を主体として除草効果を効率的に安定して生成するために、ロボット(アイガモロボット)を用いることを検討する。本年度は水田内を自由に移動しながら除草効果を生成するためのロボットの移動機構を試作するとともに、水田内を自律走行するために必要なセンサーとしてPSD距離センサーとジャイロセンサーを選定して計測実験を行った。

2. ロボットによる除草作業

中山間地におけるレンゲ緑肥を用いた有機栽培においては、稲がある程度成長してしまえば、その後は稲の陰で日光が遮断されるため雑草害はあまり問題にならない。よってロボットによる除草作業は稲が生長して30cmほどの高さになる、田植え後約4週間の期間に行うことを想定し、その期間ロボットは水田内を動き回り除草効果を生成する。しかし、水田内は水と泥でできた不整地であり、その中を移動することは非常に困難である。そこで当初は図1に示すようなホイールタイプやボートタイプ等いくつかの移動機構について検討を行った。その結果、安定して高い走破力をもつことから、クローラタイプを採用することにした。また、クローラタイプはクローラベルト表面のパターンにより走行中に効率よく濁りを発生させることが出来る。この土壌攪拌による濁りと拡散した土壌の雑草上への堆積は、光合成を阻害し雑草を枯死に至らす事が予備

* 情報科学芸術大学院大学(IAMAS)

** 中山間農業技術研究所

***生活技術研究所

実験により確認されている。そしてこの土壌の攪拌効果は濁りを発生させた場所からある程度広がりを見せることから、ロボットが稲の条間を移動するだけでも水田内全体に除草効果を生成できると考える。その他、ロボットによる除草作業では、水田内を走行中に稲の葉に付着した水滴や害虫を払いおとすことで病気や害虫の発生を抑制する効果が期待できる。

3. 移動機構の試作

クローラタイプの移動機構は高い走破性と除草効果を期待できる半面、稲を踏みつけた場合に稲が受けるダメージが無視できない。そこで、水田内の稲を痛めることなく移動するために、クローラで稲を跨いでロボット本体を高い位置に置く構造を考えた。これにより電装系が水面から離れ防水加工も容易になる。この構造でロボットの移動機構を試作して、実際に水田内で走行実験を行いながら、安定した走行が行えるように改良を繰り返した。

3. 1 試作1号機

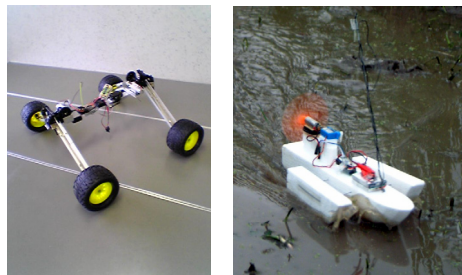
水田内の稲を跨いで走行するためのクローラの形状として、当初は正方形や平行四辺形で検討を重ね、最終的に走破性が高く前後のバランスを失っても回復できることから逆台形を採用した。走行実験では土壌の攪拌効果は確認されたが、クローラベルトが長いためベルトの取り回しが難しく、泥が噛んでくるとベルトの動きが悪くなるため、改良を要した。走行実験の様子を図2に示す。

3. 2 試作2号機

クローラベルトを短くするとともに、プーリー等の位置を調整可能にして、ベルトの取り回しの改良を図った。サイズは図3に示すように1号機と比較して一回り小さくなり、旋回スペースも小さくなった。水田での走行実験ではクローラベルトの動きは良好で、効率良く駆動力が伝達できることを確認した。しかし、直進は安定して行えるものの、旋回時にクローラベルトが外れる場面が見られたため、改良を要した。

3. 3 試作3号機

クローラベルトの外れ対策として、ベルトにねじれが発生しないようにプーリーの数を18個から40個に増やし、旋回時に泥の巻き込みを減らすためにカバーを取り付けた。クローラの形状については2号機で動作確認した形状を基本として、障害物を乗り越えやすいように若干の改良を行っている。そして、このクローラ形状を固定して調節機構を外すと同時に、アルミフレーム材を薄肉化することにより、軽量化と低重心化を行った。走行実験では、はかなりの負荷をかけて旋回を行った場合でもベルトが外れることが無いことを確認した。また、代掻き直後の泥が非常に軟らかいところからある程度の硬さのあるところまで、水田内の泥の状態に関わらず高い走破性と安定した旋回性を持つことを確認した。走行実験の様子を図4に、各諸元を表1に示す。

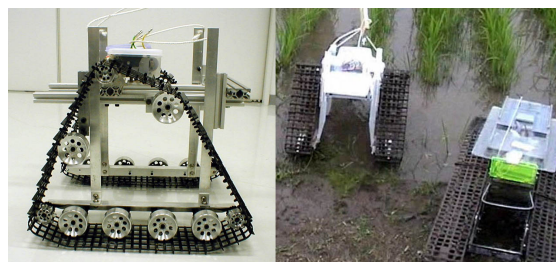


ホイールタイプ ボートタイプ

図1 移動機構の検討

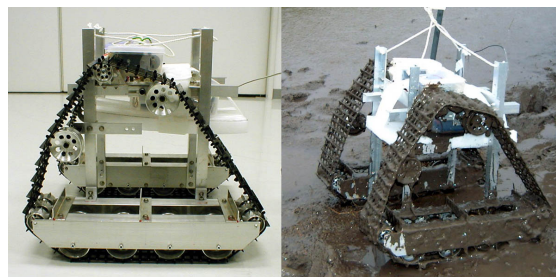


図2 試作1号機の走行実験



クローラ形状 1号機とのサイズ比較

図3 試作2号機



クローラ形状 泥濘地での走行実験

図4 試作3号機

表1 ロボット諸元

全長	400mm
全幅	400mm (クローラ間200mm)
全高	370mm (クローラ間280mm)
全備重量	3,800g
モーター	380モーター
ギヤ比	36.98:1
バッテリー	NI-MH 3300mAh
クローラベルト プーリー, スプロケット	KYOSHOブリザード プラスチックパーツ

4. センサーとロボットの制御

ロボットの水田内での移動は、稲を跨いで稲の条に沿って走行することを基本とする。試作機の走行実験は人がマニュアル操作で行っているが、最終的にはロボットが自律して走行する必要がある。そのためにはロボットが自身の状態や周辺の状況を把握するための、何らかのセンサーが必要となる。ここで、有効なセンサーを選定するために、市販されているセンサーを表2に示すように分類して整理した。

最終的なロボットの運用形態として、ロボット以外の水田周辺環境に設備が不要で、ロボット単独で利用できるようにするために、ロボットに搭載可能なセンサーに絞って検討することにした。また利用者が一人で容易に取り回しができるような、小型軽量のロボットを目指すことから、センサーのサイズと重量は小さいほど都合が良い。さらに、ロボットの制御システムへデータの取り込みが可能で、取り込んだデータの処理も容易であるセンサーが望ましい。このような条件を考慮すると、有効に利用できるセンサーは限られてくる。現在までに、ロボットの姿勢変化を計測するためのジャイロセンサーと、稲の位置検出のためのPSD距離センサーを選定し予備実験を行った。各センサーユニットの仕様を表3に示す。

4. 1 ジャイロセンサーによる姿勢変化計測

水田内は水と泥の不整地であり、その状態によりクローラ接地面の滑り具合も変化する。そのため、何らかの方法でロボットの姿勢変化を知ることが必要となる。ここでは、ジャイロセンサーで計測した角速度情報からロボットの姿勢変化を検出することを試みた。図5に設置したジャイロセンサーとA/D変換器とモーター用のPWMコントローラ、PCとの通信に用いるUSBインターフェースを備えた試作基板を示す。ジャイロセンサーはクローラの駆動軸の間に取り付け、この取り付け面の垂直軸周りの角速度を計測する。実験は試作3号機にジャイロセンサーを搭載して外部PCからの制御で行い、研究室内の整地走行のほか図6に示すような障害物の乗り越え等の不整地走行を行った。図7は直進したときのジャイロセンサーの出力例を示すが、始動や停止時の姿勢変化とクローラベルトのパターンに起因すると考えられる走行中の振動を確認することができる。また、このセンサー出力にFFTをかけてみると、これらの姿勢変化が約20Hzまでの成分であることが分かる。今回は実験室内の固い床の上で実験を行ったが、実際に水田を走行する場合には柔らかい泥の上での計測となることから、クローラベルトのパターンが泥の中に食い込み、ロボットの振動は減り、今回の計測結果よりもセンサーの出力変化は緩やかになると考えられる。今後は水田内でも計測実験を行い、今回の実験結果と照らし合わせながら、センサー出力のサンプリング周期やフィルターの検討を行い、水田内でのロボットの姿勢制御に役立てていきたい。

表2 センサー分類

設置位置	検出分類	センサ	検出対象
ローカル: ロボットに搭載するセンサ	内界センサ: ロボットのシステム内の状態を検出	エンコーダ	クローラの回転
		電流センサ	電流、トルク
		傾斜(重力)センサ	姿勢
		加速度センサ	位置、姿勢
	外界センサ: 外界とロボットとの関係を検出	ジャイロ	位置、姿勢
		カメラ	稲、土手、その他
		接触スイッチ	稲、土手
		接触光センサ	稲、土手
		超音波距離センサ	稲、土手
		光距離センサ	稲、土手
		静電容量センサ	稲、土手
		地磁気	姿勢(方位)
		力センサ	稲、土手、外力
		GPS	絶対位置
グローバル: 外部環境に設置したセンサ	カメラ	ロボットの相対位	
	レーザ&検出装置	ロボットの相対位	
	ビーコン(超音波/画像)	ロボットの相対位	
	RF-ID	ICタグ情報	

表3 センサー仕様

ユニット	仕様
ジャイロ センサー	Silicon Sensing Systems CRS 03-02 29x29x18.4mm, 20mV/(deg/sec) +100deg
PSD距離 センサー	SHARP GP2D12 29.5x13.5x13mm 測長範囲約100~800mm

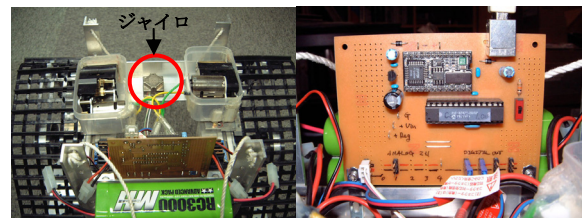


図5 ジャイロセンサーと試作基板 (A/D, PWM, USB)

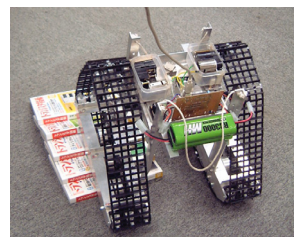


図6 不整地を模した計測実験

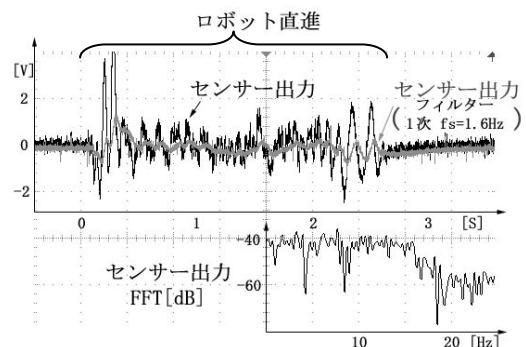


図7 ジャイロセンサーの出力 (オシロスコープで計測)

4. 2 PSD距離センサーによる稲の位置検出

田植え後の稲は図8に示すように1週間後に草丈約13cmで4週間後には30cm以上に成長する。これらは約1~4本で一株として植えられるが、茎の部分は図9に示すようなサイズの楕円形であり、1週から4週の間で約3倍の茎径に成長する。計測実験では図10に示すように各成

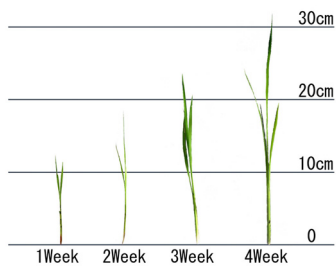


図8 田植え後の稲の丈変化

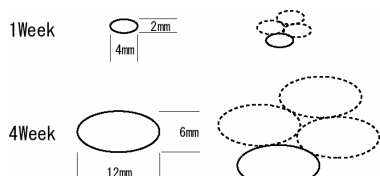


図9 田植え後の稲の茎径と株の大きさ

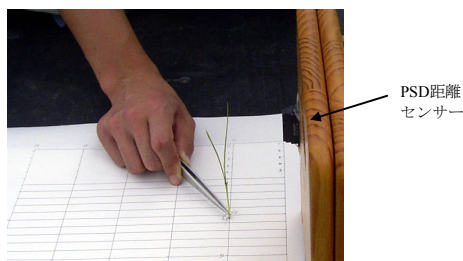


図10 実験の様子

長段階の稲を1本ずつ一定の距離に立たせ、根から10cmの高さの部分にセンサーの光軸を合わせたときのセンサー出力を計測した。また、稲が光軸からずれたときにセンサーがどこまで反応するのか、稲の検出範囲についても調べた。

図11に各距離に稲を設置したときの計測結果を示す。グラフ中の直線は予備実験から求めた計測距離とセンサー出力の関係を表す近似直線である。人の手で稲を保持していることも誤差要因となるが、おおむね100mm以上の距離において近似直線に近い値で計測できることが確認できる。稲の距離が50mmのときに一様にセンサーの出力が小さいのは、発光受光の光軸に角度がある反射式センサーの特性と考えられる。仕様上の測長範囲も100mm以上であり近距離の計測には注意が必要である。

図12はセンサーに反応が現れる範囲を示したもので、光軸からの左右方向へ検出可能な範囲を示す。人の手による稲の保持、稲のたわみや葉の広がりや影響するため、計測値には大きなバラツキが見られるが、実験を行った250mmまでの距離であれば、光軸に対して左右10mm程度を検出するようである。

今後はロボットに搭載したセンサーで実際に稲の条間を走行しながら計測を行い、稲の条に沿った走行を行うためのデータの利用方法を検討する予定である。また、田植え直後の稲は柔らかく自重によりたわむので、覆いかぶさる葉の部分を押上げて茎部分を計測するなど、何らかの工夫も必要となるであろう。

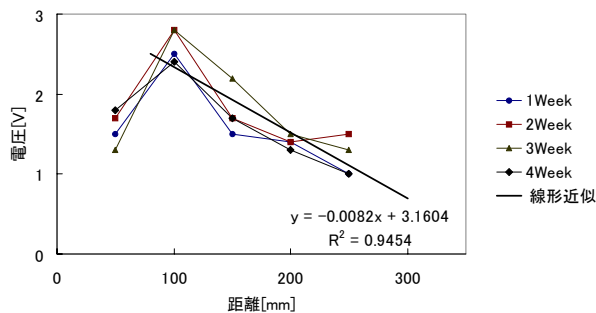


図11 PSDによる稲の距離計測

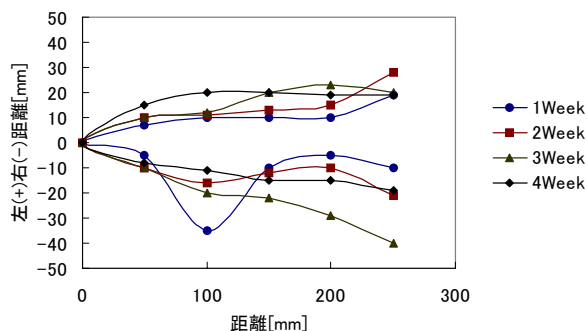


図12 PSDによる稲の検出範囲

5. まとめ

水稻の有機栽培技術高度化の一環として、水田内で除草作業を行うロボットの開発を目指して、ロボットの移動機構の試作を行った。ロボットの移動機構にはクローラタイプを採用し、走行実験を通してクローラ形状等の改良を重ね、水田内でも安定した走行、旋回が出来るように改良した。さらに、ロボットの自律走行に有用なセンサーとしてジャイロセンサーとPSDセンサーを取り上げて計測実験を行い、その有効性を確認した。

今後は試作機にセンサー類を装着し、実際の水田内を走行させたときのデータを収集し、自律走行に有効なセンサー、制御手法、行動生成手法等について検討を進めたい。ここでは動作検証用に、数センチの精度で位置計測が可能なRTK-GPS(Real Time Kinematics - GPS)を利用してロボットの軌跡情報と各センサー類の計測結果を照らし合わせながら検討を進める予定である。現在までにRTK-GPS移動局を搭載可能な試作4号機が完成している。これを用いた走行実験からロボットの自律走行機能を高めると同時に、ロボットが水田内を移動する際の土壌攪拌による除草効果について調べる予定である。

文献

- [1] “有機物施用による高冷地の良食味米生産技術-マルチ用再生紙利用による減農薬稲作の確立-”, 平成4年度岐阜県高冷地農業試験場研究年報 pp.21-22
- [2] “有機物施用による高冷地の良食味米生産技術-レンゲ利用による有機質栽培技術-”, 平成3年度岐阜県高冷地農業試験場研究年報 pp.21-22