

応用研究論文

日本における水田用ロボット除草機の開発状況

保田謙太郎¹, 山本聡史², 露崎浩²¹ 秋田県立大学アグリイノベーション教育研究センター² 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科

日本国内では水田用ロボット除草機が開発が行われている。本稿では4機種の水田用ロボット除草機の仕様や機能を報告し、それら特徴や有用性について考察した。除草方法は4機種すべてで物理的防除であり、その方法は3種類にわけられた。第一は車輪やクローラーによる踏みつけ除草であった。第二はブラシローラーを用いての除草であった。第三は田面水を濁らせることによって遮光して雑草の発生を抑制する除草であった。機体サイズはすべてで小型軽量であった。水田内での移動方法は走行もしくは航行であった。走行型ではカメラを用いた画像認識や稲株センサーを自律走行に、航行型ではGPSを自律走行に用いていた。本稿で紹介した水田用除草ロボット除草機は一年生雑草の初期除草や発生抑制にある程度有効であると推察された。今後は、多年生雑草を除草できるような除草機構を備えた水田用ロボット除草機が必要になると考えられた。

キーワード: 自律走行, 走行型, 航行型, 有機農業, 物理的防除, 一年生雑草

ロボット除草機とは、自動で除草する農業機械であり、用途にあわせて水田用や畑地用、畦畔用などの様々なタイプがある。省力的かつ高精度な雑草管理への貢献が期待されている。第1著者は、雑草学の教科書に2機種の水田用ロボット除草機を紹介した(保田, 2018)。そこから4年ほど経過して、あらたに2機種が登場した。秋田県大潟村は有機農業でのコメ作りの盛んな地域である。当地域の有機農業では手取り除草と他の除草方法とを組み合わせる雑草を除草しているが、人手不足によって手取り除草に従事できる作業員の確保は年々難しくなっている。手取り除草の代わりとなる高精度な除草手段の開発が求められており、水田用ロボット除草機もその候補である。水田用ロボット除草機についての情報を整理することは、今後の開発を進めるだけでなく、大潟村への導入促進にも役に立つと考えられる。そこで本稿ではそれら4種類の水田用ロボット除草機を紹介するとともに、除草方法や機体の特徴、

自律走行の方法などについて考察する。なお、本稿では第1著者が開発に関わった秋田式水田ロボット除草機についてのみ写真を掲載した。他の機体の写真や動画はインターネットにあげられているので検索で見つけていただきたい。表1には機体名を挙げているが、それらは開発者が命名した機体名である。また、開発中ということもあり、論文として情報が発表されていない場合もある。その場合には学会の講演要旨に掲載された情報を引用した。

1) 水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)

岐阜県産業技術総合センター(旧:岐阜県生産情報技術研究所)によって開発された水田用ロボット除草機である(藤井, 2015, 藤井ら, 2015)。このロボット除草機に関する論文は2003年には発表されており(光井ら, 2003)、日本で最初に開発と基礎研究が始められた水田用除草ロボット除草機であると考

えられる。岐阜県産業技術総合センターのホームページには水田用小型除草ロボットについての論文が多く掲載されている。機体サイズは、50×45×50 cm（縦、幅、高さ）であり、重さは9.2 kgであり、小型軽量である（表1）。水田内での走行は、クローラー（無限軌道）であり、走行型である。動力は電気であり、バッテリーが機体に内蔵されている。除草方法は、走行用のクローラーによる踏みつけ除草であり、走行との兼用である。ただ、踏みつけ除草では株元や株間の雑草を除草できないので、開発途中からは機体にチェーンを装着し、株元や株間の雑草を除草するようにした。除草機構からは、一年生雑草の実生を対象にしていると考えられる。除草期間は、移植直後から1ヶ月半程度とされている。水田内での自律走行には、機体に取り付けられたカメラによる画像識別が利用される。稲列や畦畔を認識し、イネを踏みつけないように走行し、枕地で旋回する。

2) 秋田式水田ロボット除草機

秋田テクノデザイン（株）と秋田県立大学によって開発された水田用ロボット除草機である（図1）。機体サイズは、190×180×63 cm（縦、幅、高さ）であり、重量は70 kgであり、今回紹介する水田用ロボット除草機では最大、最重量である（表1、保田ら,2015, 2016）。機体はホバークラフトであり、航行型である。ブローから吸い込んだ空気を機体下面のスカートから排出して、田面に浮遊する。水田内での移動には、ブラシローラーを用いる。動力は電気であり、機体前面に設置された発電機によって発電する。除草にもブラシローラーを用いており、



図1 秋田式ロボット除草機の走行テストの様子

航行との兼用である。ブラシの先端で土壌をわずかに動かして、出芽直後で十分に活着していない一年生雑草の実生の根を土壌から外し、実生を浮かせて除草する。稲株をすり抜けられるような間隔でブラシが配置されているので、条間だけでなく、株元や株間の雑草も除草できる。除草効果は高く、一週間に2回の使用によって除草効果が得られることが報告されている（保田ら, 2017）。ただ、ブラシが稲株をすり抜けられるといっても、稲株には接触しており、茎数の減少としてイネ個体へのダメージが認められる。運用する上では苗の植え付け本数を多くするなどの工夫が必要である。除草期間は、イネの活着後から1ヶ月程度であり、イネの葉身が長くなるとブラシローラーに絡まるようになる。水田内での自律走行は、GPSであり、事前にプログラミングされたルートを航行する。1日あたり2haの除草が可能である。

3) 自動抑草ロボット(アイガモロボ)

日産自動車（株）で開発が始まった水田用ロボット除草機である。現在では、有機米デザイン（株）が主体となって開発・研究を進めるとともに、販売に向けて日本全国で実証試験を実施している（中村, 2021）。機体サイズは、新聞記事では90×120×25 cm（縦、幅、高さ）であり、重量は約12 kgであり、小型軽量である（表1）。機体は、田面に浮くように発泡スチロールのような軽量素材で構成されており、航行型である。水田内の移動には、機体下部に取り付けられたスクリューを用いる。動力は電気であり、機体上部にある太陽電池によって発電し、内蔵バッテリーに蓄電する。除草方法は、機体下部に取り付けられたスクリューの回転による田面水の攪拌であり、航行との兼用である。田面水を濁らせることによって遮光して雑草の生育や発芽を抑制する。そのためやや深水にして運用する。現段階では、除草効果についての論文報告はないが、学会の発表要旨等では自動抑制ロボットの導入によってノビエの発生が抑制されたことや機械除草の回数が半減したことなどの成果が得られていることが記述されている（中村ら, 2022）。ただし、濁水という除草機構から

は除草対象は一年生雑草であると考えられる。除草期間は、イネの活着後から草丈 30 cm くらいである。水田内での自律走行には GPS が用いられ、水田内を走行するように事前に設定する。1 ha を越えるような面積の水田でも 1 機で田面水を濁らせ続けられる。

4) 水田除草ロボット

津山工業高等専門学校と IKOMA ロボテック(株)によって開発された水田用ロボット除草機である。機体サイズは、約 43×56×47 cm (縦、幅、高さ)であり、重量は約 7.5 kg であり、小型軽量である。機体は、走行型であり、1 条の稲株をまたいで走行する(曾利ら, 2017, Sori *et al.*, 2018)。初期型は 2 輪であったが、現在では 4 輪となっている。動力は電気であり、バッテリーが機体に内蔵されている。除草方法は、車輪による踏みつけ除草であり、走行と兼用である。除草機構からは出芽直後の一年生雑草を対象にしたものであると考えられる。また、田面水の濁りによっても雑草の発生を抑制できることが指摘されている。機体の構造からは、稲株の際を車輪が通るようになっているので株元の除草も可能である。除草期間は、イネの活着後から稲株をまたげる期間であると推察される。水田内での自律走行は未達成であり、携帯端末による遠隔操作によって水田内を走行させる。方位センサーによって目的方位に走行できるようになっているとともに、機体前方に稲株センサーが取り付けられており、稲株の踏

みつけを回避する直進アシストが装備されている。

考察

除草方法

水田用ロボット除草機の除草方法はすべての機種で物理的防除であり、大別すると 3 種類であった。第一は車輪やクローラーによる踏みつけ除草であった。第二はブラシローラーを用いての除草であった。第三は田面水を濁らせることによって遮光して雑草の発生を抑制するであった。いずれの方法でも一年生雑草に対してある程度の除草効果はあると考えられる。しかし、3 種類の除草方法とも一年生雑草を対象としたものであり、塊茎などから萌芽し、旺盛な初期生育を示す多年生雑草はすばやく根を土壤に活着させ、濁水や深水条件下でも茎葉を田面に到達させることができるため、それらに対しては除草効果が低いと考えられる。また、畑地用のロボット除草機では物理的防除であっても画像認識によって識別した雑草をピンポイントで除草する機能が備わっていた(保田ら, 2020)が、水田用ロボット除草機ではそのような除草方法を採用した機体はなかった。

機体サイズ

水田用ロボット除草機の機体のサイズは、軽量小型であり、もっとも大きく重い機体で 70 kg であった。農業先進国で開発が進められている畑地用ロボット除草機の重さは 275~800 kg であり、大きく異

表1 水田用ロボット除草機の性能

| 機体名 | 1)水田用小型除草ロボット (アイガモロボット) | 2)秋田式水田ロボット除草機 | 3)自動抑草ロボット (アイガモロボ) | 4)水田除草ロボット |
|------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 開発主体 | 岐阜県産業技術総合センター | 秋田テクノデザイン(株) 秋田県立大学 | 有機米デザイン(株) | 津山工業高等専門学校 IKOMAロボテック(株) |
| 縦×幅×高さ(cm) | 50×45×50 | 190×180×63 | 90×120×25 | 42×56×47 |
| 重量(kg) | 9.2 | 70(発電機を含む) | 12 | 7.5 |
| 作業幅 | 2条 | 6条 | - | 1条 |
| 作業量 | 10a/1hour | 2ha/day | 1ha/day | 不明 |
| 自律走行 | カメラによる画像認識 | GPS | GPS | 稲株や方位センサー |
| 除草方法 | クローラーによる踏みつけ、 チェーン、田面水の濁り | ブラシローラー | 田面水の濁り | 車輪による踏みつけ、 田面水の濁り |
| 除草期間 | 移植直後から1か月半程度 | イネ活着後から35cm | イネ活着後から30cm | 不明 |
| 動力 | 電気エネルギー バッテリー | 電気エネルギー 発電機 | 電気エネルギー 太陽電池&バッテリー | 電気エネルギー バッテリー |
| 駆動部位 | クローラー | ブラシローラー | スクリュー | 車輪 |
| 走行・航行 | 走行型 | 航行型(ホバークラフト) | 航行型 | 走行型 |

なった。軽量小型の理由としては、普及を考えた場合に小型にした方が販売価格を抑えられることが挙げられる。また、水田は1筆ごとに畦畔で囲まれており、水田用ロボット除草機を水田間で移動させる場合には畦畔を乗り越えさせたり、農道を移動させたりする必要がある。大きくて重い機体では水田間の移動が難しくなる。機体の小型軽量化にはこれらが関係していると考えられる。

移動方法

水田内で機体を移動させる方法には2種類あった。一つはクローラーや車輪を用いた走行型であった。もう一つは機体を田面水に浮かせて移動させる航行型であった。航行型は、畑地用のロボット除草機にはなく、水田用ロボット除草機のみである。自律走行の方法にも大きく分けて2種類あった。走行型では画像認識や稲株を検知するセンサーを用いて自律走行（直進アシスト走行）をしていた。これは稲株の踏みつけを回避するためであると考えられる。一方、航行型ではGPSによる自律走行が採用されていた。航行型ではイネ個体の上部を通ることになるが、草丈30 cm くらいまでのイネの茎葉は柔らかいので、植物体を傷めることはあまりない。稲株を避ける必要はないので稲株を画像によって識別する必要がなく、GPSのみで自律走行を行っていると考えられる。

動力

水田用ロボット除草機の動力はすべての機体で電気エネルギーであり、これは畑地用ロボット除草機と同じであった。動力を要するのは、走行（航行）と除草部位の動作である。除草部位の動作は、走行や航行用の推力と兼用されており、また、小型モータと減速機で対応できる範疇であるので、いずれも機体でも制御しやすく、そして軽量化しやすい電動を採用したと考えられる。

おわりに

ロボット機能を走行（航行）のみに使用するロボット除草機は第一世代型であり、ロボット機能を走行と除草の両方に使用するロボット除草機は第二世

代型である（保田 2018）。本稿で紹介した4機種は走行（航行）のみにロボット機能を用いていたので第一世代型となる。ただし、すべての機種は、一年生雑草の初期除草や発生抑制にある程度有効であると推察された。また、それらの機体サイズや自律走行の方法、動力についても日本国内での運用を考えた場合には適していると考えられた。2022年度段階で市販されている機体はないが、このまま開発・改善を続ければこれらの中から販売される機体が出てきてもおかしくない状況である。一年生雑草の初期除草や抑制を目的とすれば、第一世代型でも特に問題はないと考えられる。

しかし、水田には一年生雑草だけでなく、オモダカやクログワイ、コウキヤガラのような多年生雑草も生育している。いずれの水田用ロボット除草機も多年生雑草を効果的に除草できるような機構は備えていなかった。また、初期除草をかいぐって、大きく成長した一年生雑草に対しての除草効果も低いように考えられる。現段階では、多年生雑草や大きく成長した一年生雑草に対して有効と考えられる除草手段（例：乗用除草機）との組み合わせで利用する必要があると考えられる。そのような意味では、今後は、多年生雑草や大きく成長した一年生雑草を除草できるような除草機構を備えた水田用ロボット除草機の開発が期待されることになると考えられる。その場合には、雑草を認識して除草するという第二世代型の技術が必要になってくることが予想される。

引用文献

- 藤井勝敏 (2015). 「水田用小型除草ロボット (アイガモロボット) の研究開発」『関東雑研会報』26, 3-6.
- 藤井勝敏, 田畑克彦, 横山哲也, 久富茂樹, 遠藤善道 (2015). 「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)」『岐阜県情報技術研究所研究報告』17, 48-51.
- 曾利仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏 (2017). 「水田除草ロボットによる水稻栽培への影響」『産業応用工学会全国大会 2017 講演要旨集』, 53-54.
- Sori, H., Inoue, H., Hatta, H., & Ando Y. (2018). Effect

for a paddy weeding robot in wet rice culture.

Journal of Robotics and Mechatronics 30, 198-204.

中村哲也 (2021). 「-自動抑制ロボットの開発状況と普及- 「アイガモロボ (仮称)」の社会実装に向けて」『機械化農業』10, 8-12.

中村哲也, 大峽広智, 大川泰一郎, 磐佐まりな, 藤井義晴 (2022). 「アイガモロボ (仮称) を用いた有機米栽培圃場の雑草発生量と水稻収量の2021年度調査」『日本雑草学会第61回大会講演要旨』68.

光井輝彰, 小林孝浩, 鍵谷俊樹, 浅野雄二, 坂東直行 (2003). 「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—」『岐阜県生産情報技術研究所研究報告』5, 33-36.

保田謙太郎 (2018). 「除草ロボットの開発」, 山口裕文 (監修), 宮浦理恵, 松嶋賢一, 下野嘉子編集『雑草学入門』(pp.212-222). 講談社.

保田謙太郎, 高階史章, 金田吉弘, 今井淳容 (2017). 「ブラシローラー型水田除草ロボットの除草能力と水稻生育への影響」『雑草研究』62, 139-148.

保田謙太郎, 高階史章, 佐藤孝, 石井雅樹, 山本聡史, 露崎浩 (2020). 「農業先進国での畑地用ロボット除草機の開発状況」『秋田県立大学ウェブジャーナル』A8, 91-96.

保田謙太郎, 高階史章, 金田吉弘, 今井淳容 (2016). 「特集 除草のための最新技術動向 秋田式水田ロボット除草機を開発 イネ株の上も自由に走行する」『機械化農業』5月号, 12-16.

保田謙太郎, 高階史章, 金田吉弘, 今井淳容 (2015). 「秋田式水田ロボット除草機の実用化への取り組みと除草能力」『関東雑草研究会報』26, 7-13.

〔 令和 4 年 6 月 29 日受付 〕
〔 令和 4 年 8 月 22 日受理 〕

Paddy Weeding Robots in Japan

Kentaro Yasuda¹, Satoshi Yamamoto², Hiroshi Tsuyuzaki²

¹ *Agri-Innovation Education and Research Center, Akita Prefectural University*

² *Department of Agribusiness, Faculty of Bioresource Science, Akita Prefectural University*

Paddy weeding robots are well established in Japan. In this study, we report the specifications and functions of four paddy weeding robots and discussed their features and usefulness. Three different physical weeding techniques were adopted to eradicate or suppress weeds in the four weeding robots. These methods are as follows: controlling the seedlings of annual weeds by trampling using wheels or crawlers; controlling the seedlings of annual weeds by scratching using brush rollers; and suppressing their emergence and growth by making the paddy water muddy and reducing sunlight. Additionally, their size and weight were compacted and light, respectively. Furthermore, two of the robots were vehicle-type, and the other two were boat-type. The autonomous navigation system of the vehicle-type was based on camera vision or rice straw contact sensor, whereas that of the boat-type was GPS-based. Results showed that the four paddy weeding robots were well suited to the paddy conditions in Japan and are expected to be effective for controlling and suppressing seedlings of annual weeds. Therefore, it is expected that a paddy weeding robot equipped with a weeding mechanism that can control perennial weeds would be required for the next step.

Keywords: autonomous navigation, vehicle type, boat type, organic agriculture, physical weed control, annual weeds