

農業先進国での畑地用ロボット除草機の開発状況

保田謙太郎¹, 高階史章², 佐藤孝², 石井雅樹³, 山本聡史⁴, 露崎浩⁴

¹ 秋田県立大学生物資源科学部フィールド教育研究センター

² 秋田県立大学生物資源科学部生物環境科学科

³ 秋田県立大学システム科学技術学部情報工学科

⁴ 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科

ヨーロッパやオーストラリアなどの農業先進国では畑地用のロボット除草機が開発が進んでいる。本稿では5種類のロボット除草機、AVO（スイス）、DINO（フランス）、ASTERIX（ノルウェー）、Agrob II（オーストラリア）、RIPPA（オーストラリア）の仕様や機能を報告し、それら特徴について考察した。畑地用ロボット除草機に採用されている除草方法は、除草剤を用いた化学的防除とハーローやホーなどを用いた物理的防除であった。自律走行にはカメラ画像とRTK-GPSを用いていた。それらロボット除草機の完成度は高く、栽培の現場で十分に使用できる能力を有していた。1日あたりの運用面積は広く、日本で使用するにはオーバスペックであると考えられた。日本の圃場環境や栽培条件に適合した畑地用ロボット除草機の開発は必要であり、農業先進国での畑地用ロボット除草機に採用されているアイデアやメカニズムは日本での開発において参考になると考えられた。

キーワード：自律走行, ロボット除草機 化学的防除, 物理的防除

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（保田，2018）。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が、現時点では日本、海外ともほとんど普及していない。一般的に、畑作物の栽培では、作物と雑草との間にサイズ差がないもしくは少ないため雑草管理は難しい。雑草管理のために、土壌処理除草剤や茎葉処理除草剤の散布、中耕除草、手取り除草などの複数の手段を用いており、その労力は大きい。例えば、日本で大豆栽培の労働時間は平均 6.91 時間/10a であり、その約 30%にあたる 2.28 時間は除草である（農林水産省，2020）。そのため、畑地用のロボット除草機を導入できれば、畑作物の栽培面積の拡大や低コスト化に繋がると考えられる。

ヨーロッパやオーストラリアなどの農業先進国では、畑地用のロボット除草機が開発が盛んである。開発

のフェーズは、自律走行機能を有した第一世代型から、自律走行機能に加えて作物と雑草とを自動で識別し、雑草を選択的に除草する第二世代型に移行し、農家圃場で使用される機体も登場してきている状況にある。そのため、それら国々で開発されているロボット除草機の情報は、日本において畑地用ロボット除草機を開発する上でも、外国産の機体を輸入し、畑作物栽培に活用していく上でも参考になると考えられる。そこで、本論文では、農業先進国で発表されている数種類の畑地用のロボット除草機について、機体の仕様や機能を報告し、それら特徴について考察する。なお、本稿には機体写真を掲載していない。代わりに開発者らのホームページの URL を載せているので機体写真や走行動画についてはそちらを参考にされたい。

畑地用ロボット除草機の種類

AVO

スイスの ecorobotix 社によって開発された第二世代型のロボット除草機であり (<https://www.ecorobotix.com/en/>), 販売に向けて生産体制が整えられている段階にある。機体サイズは、縦 3.75m×幅 2.45m×高さ 1.3m であり、車重は 750kg であり、非常に大きい (表 1)。車輪幅は、1.7m もしくは 2.0m に変更可能である。四輪駆動および四輪操舵であり、高い機動性と旋回性を有する。自律走行には、カメラ画像と RTK-GPS を用いる。登録した圃場の境界や作物の条についての情報を用いて自動に走行する。除草手段は除草剤を用いた化学的防除である。機体下部に設置されたカメラによって作物と雑草を撮影し、画像処理技術によって両者を識別し、雑草に除草剤を散布する。作業幅は 2.0m であり、作業速度は 1m/s である。時間当たり 0.6ha の作業が可能である。除草剤を雑草にだけ散布するので、散布量は従来の全面散布に比べて 10% に削減できる。動力は電気であり、機体上部にはソーラーパネルを配しており、内蔵バッテリーを充電できる。また、三点ヒッチを備えており、トラクターによる牽引が可能であり、農業現場をよく意識した構造になっている。同社では圃場観察用として姉妹機となる「ARA」も生産している。

DINO

フランスの NAÏO TECHNOLOGIES 社によって開発された第二世代型のロボット除草機であり (<https://www.naio-technologies.com/en/>), 2017 年度より販売され、約 20 台がフランスやヨーロッパの大規模野菜畑で稼働中である。機体サイズは、縦 2.5m×高さ 1.3m である。機体幅は、公表されていないが、車輪幅は 1.5~2.0m であり、調整可能である。重さは 800kg であり、前述の AVO と同様に非常に大きい。四輪駆動および四輪操舵であり、高い機動性と旋回性を有する。自律走行は、RTK-GPS で走行マップを作り、それをトレースする仕組みである。除草手段は、ハローやホーを用いた中耕除草 (物理的防除) である。それら除草機具を機体下部に取り付けられるようになっている。有機農法での野菜栽培を想定したロボット除草機である。機体下部のカメラによって画像を取得し、作物の位置を正確に把握する。除草装置を左右に動かして、作物の株元の近くまで中耕する。1 日の作業量は最大で 5ha である。動力は電気エネルギーであり、バッテリーを搭載する。姉妹機に「OZ」と「TED」がある。OZ は、DINO の小型版であり、ビニールハウスや小さな畑での使用を想定した機体である。TED はブドウ畑用であり、ブドウの木を跨げるような特殊な形状である。

表1 畑地用ロボット除草機の性能

機体名	AVO	DINO	ASTERIX	AgBot II	RIPPA
開発国	スイス	フランス	ノルウェー	オーストラリア	オーストラリア
サイズ 縦×幅×高さ	3.75×2.45×1.3m	2.5×?×1.3m	-	-	-
車輪幅	1.7mもしくは2.0m	1.5~2.0m	1.6~2.1m		1.52m
重量	750kg	800kg	300kg	600kg	約275kg
作業幅	2.04m	2.0m	1.68m	-	-
作業量	5ha	5ha	-	-	-
作業速度	1.0m/s	-	0.8m/s	-	-
自律走行	画像&RTK-GPS	画像&RTK-GPS	画像&RTK-GPS	画像&RTK-GPS	画像&RTK-GPS
雑草認識	機体下部のカメラ画像	機体下部のカメラ	機体下部のカメラ	機体下部のカメラ	機体下部のカメラ
除草方法	除草剤	ハローやホーによる 中耕	除草剤	除草剤、マイクロ波、 ホーによる中耕	除草剤
動力	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	電気エネルギー バッテリー&発電機	電気エネルギー バッテリー	電気エネルギー 太陽電池&バッテリー
駆動	4WD	4WD	2WD	2WD	4WD
旋回	4WS	4WS	三輪	4WS	4WS

ASTERIX

ノルウェーの Adigo 社とノルウェー大学によって開発中の第二世代型のロボット除草機である (<https://www.asterixproject.tech/>)。機体のサイズは公表されていないが、車輪幅は 1.6~2.1m であり、機体重量は 300kg である。AVO と DINO を大型機とすると、ASTERIX は中型機である。前輪駆動である。車輪の配置に工夫がある。後輪は左のみの三輪車であり、旋回性を良くしている。自律走行には、カメラ画像と RTK-GPS を用いる。除草手段は除草剤である。機体下部のカメラによって作物と雑草を識別し、雑草にピンポイントで非選択性除草剤を滴下する。除草剤を吹き付ける（スプレーする）のではなく、滴下する点がユニークである。この滴下システムは、Drop-on-Demand (DoD) system と名付けられており、①カメラでの雑草認識→②滴下タイミングの計算→③滴下→④雑草への除草剤の付着となる (Utstum *et al.*, 2018)。DoD システムのメリットは、作物や土壤に除草剤が飛び散らない（ドリフトしない）点とわずかな量の除草剤で雑草を枯らすことができる点である。例えば、屋内でのポット試験では雑草の個体あたり、グリホサートの場合では $7.6 \mu\text{g}$ の使用量で、ヨードスルフロンの場合では $0.15 \mu\text{g}$ の使用量で枯殺できる。そのため、除草剤の使用量を全面散布に比べて 5% に削減できる。除草剤の滴下幅は 1.68m であり、作業速度は 0.8m/s である。動力は電気エネルギーである。バッテリーと発電機を搭載したハイブリッド型である。将来的には、発電機を外して、ソーラーパネルで蓄電した電気を用いる予定である。

AgBot II

オーストラリアのクイーンズランド大学によって開発中の第二世代型のロボット除草機である (<https://research.qut.edu.au/future-farming/projects/robot-platform-design-agbot-ii-a-new-generation-tool-for-robotic-site-specific-crop-and-weed-management/>)。機体のサイズは公表されていないが、機体重量は 600kg である。二輪駆動であるが、四輪操舵であり、圃場内での旋回性は優れる。自律走行には、カメラ画像と RTK-GPS を用いる。除草手段は除草剤の散

布による化学的防除、マイクロ波による熱およびホーによる物理的防除であり、複数の手段を選択できる。機体下部に設置されたカメラによって作物と雑草を識別し、雑草のみを除草する。ユニークな機能としては、AI 技術の活用によって平均 90% の正確性で雑草や作物の種類を見分けられる点である。例えば、正解率はワタで 97.8%、カラスムギで 97.3%、一番低いノグシでも 82.0% である。これによって特定の雑草種に除草剤を散布することも可能である。動力は電気エネルギーであり、バッテリーを内蔵する。

RIPPA

オーストラリアのシドニー大学によって開発中の第二世代型のロボット除草機である (Robot for Intelligent Perception and Precision Application, <https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2015/10/21/rippa-robot-takes-farms-forward-to-the-future-.html>)。サイズは不明であるが、車輪幅が 1.52m、車重が 275kg の中型機である。四輪駆動および四輪操舵であり、高い機動性と旋回性を有する。除草方法は、除草剤を用いた化学的防除およびチゼルを用いた物理的防除である。機体下部に設置されたカメラによって作物と雑草を識別し、目標とする雑草に除草剤を散布する、もしくはチゼルによって土壤を攪拌し、防除する。除草以外にも害虫の防除機能を有しており、葉についた害虫を吸い取ることができる。動力は電気エネルギーである。機体上部にソーラーパネルを配置し、内蔵バッテリーを充電する。

畑地用ロボット除草機の特徴

除草

畑地用のロボット除草機で採用されていた除草方法は、化学的防除と物理的防除であった。両防除方法とも、機体下部に設置されたカメラの画像によって作物と雑草を識別し、その情報をもとにして除草装置を作動させており、仕組みは類似した。実際、両方の防除方法を搭載できる機体もあった。そして、化学的防除方法では、識別した雑草に対して少量の除草剤を選択的に散布もしくは滴下した。一方、物

理的防除方法では、ハローやホー、チゼルなど除草機具を雑草の根元に誘導し、表面土壌を攪拌して雑草を防除した。土壌表面の攪拌はいずれの除草機具を用いた方法でも力をあまり要しておらず、わずかな力で雑草を防除できる仕組みであった。作物や雑草の位置を正確に把握できるため、化学的防除方法では少量の薬剤で、物理的防除方法ではわずかな力で除草が行えると考えられる。

機体

いずれの機体でもサイズは大きかった。中型機であると記述した ASTERIX でも作業幅は 1.68m であり、1 日あたりの運用面積は数ヘクタールに及ぶと考えられる仕様であった。ただし、機体重量は、最重量の DINO でも 800kg である。100 馬力のホイールトラクターの重量は 4,000kg 以上であり、ロボット除草機は農業機械としてはかなり軽量である。これは、電気モーターで駆動することによって、エンジンを搭載していないことや、ロボット化によって人を乗せるための安全対策や強度、キャビンなどを不要にできていることが理由であると考えられる。そのようなこともあり、多くのロボット除草機のカタログ等では軽量化による土壌圧縮の回避が利点として記述されている。

機体の形状には傾向があった。機体下部に雑草・作物認識用のカメラと除草装置を配している点である。この位置にカメラを配置すれば直射日光や逆光を防ぎ、画像処理の精度を上げることができるためであると考えられる。また、除草装置を機体下部に配しているのは、機体の重量バランスを保つためや画像認識からのタイムラグを減らすためであると考えられる。

走行

自律走行は、多くの機体で RTK-GPS とカメラ画像の両方による誘導システムを採用していた。除草時には作物に近づくことになる。車輪によって作物を踏みつけないようにするため。さらに、作物への除草剤の飛散防止やレーキ等で傷つけたりしないようにするためには、機体の緻密な誘導が不可欠であり、RTK-GPS とカメラ画像の両方が必要であったと

考えられる。また、多くの機体は四輪駆動の採用によって走行性を高めるとともに、四輪操舵や三輪の採用によって旋回性を高めていた。

動力

すべてのロボット除草機の動力は電気エネルギーであった。パワーを必要とする動作は、走行と除草剤の散布もしくはホーやレーキ等による土壌表面の攪拌である。ロータリーによる耕耘や牽引の様な大パワーを必要とする作業は行わないため、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。また、電動であれば、機体上部のソーラーパネルによって発電した電気を使用するだけでなく、圃場周辺に配したソーラーパネルや風車などによって発電した電気も利用できる。環境保全型農業にも貢献できるという利点も大きい。

おわりに

本論文では、ヨーロッパやオーストラリアなどの農業先進国で開発されている畑地用のロボット除草機の仕様や機能を調べ、特徴について考察した。除草方法は、化学的防除と物理的防除の 2 つに大別されたが、ともに除草精度は高いと考えられる状況であった。また、自律走行に関しても精度が高いことが示されていた。自律走行をしながら自動で雑草を防除するという第二世代型のロボット除草機に関する技術的な問題は、すでに解決されており、それら開発国での栽培の現場で十分に使用できる能力を有していると考えられた。一方で、日本の畑作物の栽培現場への導入を考えた場合には、機体のサイズは大きい。運用面積が 1 日あたり数 ha になると活用できるのは北海道の畑作地帯ぐらいである。日本の場合には、畑地用では 1 日あたりの最大運用面積が 1ha くらいの小型機の需要が多いと考えられる。さらに、日本では畑地用であっても水田転換畑での使用が想定される。土壌が湿潤で柔らかいことが多く、圃場の回りには畦畔がある。四輪駆動と四輪操舵の組み合わせ、もしくは旋回性は低下するが、走破性に優れたクローラー（無限軌道）の採用が必要である。日本の圃場環境や栽培条件に適応した「日本型畑地

用ロボット除草機」の開発が必要であり、その開発にあたっては、農業先進国での畑地用ロボット除草機に採用されているアイデアやメカニズムは大いに参考になると考えられる。

文献

- 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.
- 農林水産省 (2020). 「大豆をめぐる事情」
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/attach/pdf/index-128.pdf>.
- Utstumo, T., F. Urdala, A. Brevika,, J. Døruma J., Netlandc, Ø., Overskeida,, T. W. Bergec & J. T. Gravidahlb (2018). Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture* 154, 36-45.

〔 令和 2 年 6 月 30 日 受付 〕
〔 令和 2 年 7 月 16 日 受理 〕

Weeding Robots for Upland Fields in Advanced Agricultural Countries

Kentaro Yasuda¹, Fumiaki Takakai², Takashi Sato², Masaki Ishii³, Satoshi Yamamoto⁴,
Hiroshi Tsuyuzaki⁴

¹ *Field Education and Research Center, Faculty of Bioresource Science, Akita Prefectural University*

² *Department of Biological Environment, Faculty of Bioresource Science, Akita Prefectural University*

³ *Department of Intelligent Mechatronics, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

⁴ *Department of Agribusiness, Faculty of Bioresource Science, Akita Prefectural University*

Weeding robots for upland fields are well developed in advanced agricultural countries such as European countries and Australia. In this paper, we reported the specifications and functions of five kinds of the weeding robots, AVO (Switzerland), DINO (France), ASTERIX (Norway), AgBotII (Australia), and RIPPA (Australia), and discussed their features. Their weeding methods were either chemical control or physical control. Their autonomous navigations systems were based on camera vision and RTK-GPS. They had high performance and sufficient ability to be used in upland fields in their own countries. However, their operating area per day is too large to be used in upland fields in Japan. It is necessary to develop a weeding robot for upland fields that is suited to the field conditions in Japan. The ideas and mechanisms adopted for the five weeding robots assumed to be useful for the development of the weeding robot for upland field in Japan

Keywords: autonomous navigation, weeding robot for upland field, chemical control, physical control