

アイガモロボットの開発と動作アルゴリズムの構築

†坪井克裕, †一ノ瀬元喜, †福田耕治

†阿南工業高等専門学校

1. はじめに

近年、日本では有機農法や無農薬農法が注目されており、そのひとつにアイガモ農法がある。この農法はアイガモを水田に放ち、虫や雑草を食べさせることで害虫・雑草などから作物を守るものである。また、除草効果のみに着目すると、摂食による雑草駆除よりも、アイガモが動き回ることにより、水田内の泥を攪拌させて水を濁らす結果、太陽光の水田底部への到達度を減少させ、雑草の成長を抑制させる効果が高いといわれている。しかしながら、アイガモの購入・飼育などの多くの費用や手間を必要とする面がある。さらに、アイガモの活動範囲を制限しなければ、十分な効果が期待できないといった問題もある。そこで、アイガモに近い効果を発揮するロボットがあれば、安定して広範囲にわたり活動させることができ、ロボットのメンテナンスを除けば全体として手間が軽減されると考えられる。

本研究では、この効果を備えたロボット（アイガモロボット）を開発することが目的である。これまでに水に浮き、進みながら泥を攪拌させる為に、推進力と土壌攪拌の機能を兼ねた上下駆動機構と走行機構を製作した。また長時間にわたって泥の攪拌状態を保つために、どのようなロボットの動きが最適化についてのシミュレーションも同時に行っている。なお今回使用するシミュレータはフリーソフトである ODE¹⁾ (Open Dynamics Engine) を用いる。

2. ロボットの設計・製作

光井ら²⁾は、「アイガモロボット」を開発し、ロボットによる土壌攪拌での除草効果を確認した。しかし軟弱土壌での走行時に転倒するなどのいくつかの問題点がある。その問題点を改善すれば、より実用性の高いロボットになると推測できる。そこで本研究ではロボットの要件を以下のように定めた。

- I 水底の泥を攪拌する機能を有する。
- II 消費電力を小さくする。
- III 電池交換や手動による手間を軽減する。
- IV 自律的に動作する。

これらの要件を満たすための、設計方針を以下に示す。

i) キャタピラを用いて外輪船のように、水上を推進させる。これにより、走行時と比較して

消費電力が低減されると推測できる。

- ii) キャタピラにより水底の泥を攪拌できる。
- iii) 太陽電池を搭載し、充電可能にする。
- iv) GPSを搭載し、およその位置を確認することで、自律的に動作する機能を実現する。

特に、キャタピラは推進と泥の攪拌を兼ねるため、水底付近にキャタピラ底部を制御することが必要となる。そこで、Fig.1に示すように、ロボット本体（フロート部）に対しキャタピラ部を上下させる機構を設けることにした。キャタピラの駆動電流を一定に保つように上下を制御すれば、水深によらず水底付近にキャタピラを位置決めできると推測できる。

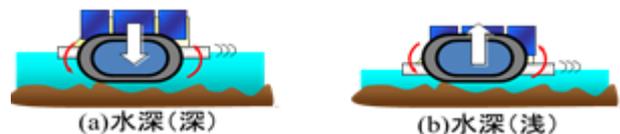


Fig.1 水深によるキャタピラの上下制御

Fig.2には、方針に基づいて設計したロボットの構造を示す。各部品はSolidWorksを用いて設計している。ロボットは、最終的には軽量化しなければならないが、まず構造の妥当性を検討するため簡易に構成できるアルミのフレームを用いている。また、キャタピラの駆動には減速機構がついた水中モータを利用している。なお、この図には上下駆動機構は示していない。さらに設計したロボットの動作確認を行う為に、上下駆動機構と走行機構を製作した。Fig.3とFig.4にそれぞれ示す。

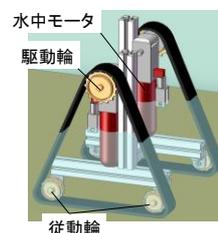


Fig.2 設計した駆動機構



Fig.3 上下駆動機構



Fig.4 駆動機構

3. シミュレーション

雑草の成長には水温など様々な要因があり、その中でも一番大きな要因は太陽光である。アイガモロボットを用いて、水田内の泥を攪拌させることによって、水中照度を低下させる。その為には、ロボットが水田内を隈無く動き回ることが重要である。そこでその動作アルゴリズムを検討するために、シミュレーションプログラムを作成する必要がある。以下に方針を示す。

1) 水田を水色の長方形と見立て作成し、長方形はメッシュに区切り、メッシュの交点に稲を配置する。

2) 水田内を動くロボットは水田を動作アルゴリズムに従って動き回り、ロボットが動くときメッシュの色が水色から黄土色へと変化する。これを攪拌状態とする。攪拌状態は10段階存在し、最も濁った状態を1とする。時間(t)の経過に伴い、徐々に攪拌状態が解除され再び水色へと戻る。式で表すと

$$1 - 0.1t = M \tag{1}$$

である。Mは泥の攪拌状態を表している。

3) 雑草は以下の式に従って成長に依存する。

$$X(t+1) = X(t) + N - M(t) \quad X(t) \leq 20 \tag{2}$$

$$X(t+1) = X(t) \quad X(t) > 20 \tag{3}$$

X(t) : 時間 t での雑草の高さ

N - M(t) : 単位時間当たりの雑草の成長率

N は日照量, M は泥の攪拌状態を表す。今回のシミュレーションでは日照量(N)は定数である。また、今後はさらに水温などのパラメータを追加する予定である。以下の Fig.5 に方針に従い作成したシミュレーションを示す。

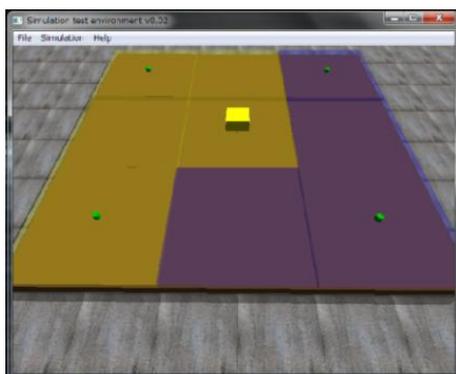


Fig.5 シミュレーション風景

今回使用した動作アルゴリズムを Fig.6 にシミュレーション内の水田の座標を示し説明する。

まずロボットが水田内のスタート地点の 1 から 3 に向かい前進する。3 まで来ると右に曲がり。次に 4 から 6 に動く。6 まで来ると左に曲がり、7 から 9 に進む。9 まで進むと左に曲がり 4 に移動し、4 から 6 に動く。6 まで進むと右に曲がり 1 に戻る。これを繰り返す。

3	4	9
2	5	8
1	6	7

Fig.6 シミュレーションの座標

前述の雑草の高さの式(2), (3)より、雑草の成長について評価することができる。以下の Fig.7 にロボットによる雑草抑制効果ありの場合と、雑草抑制効果なしの場合の高さについてグラフで示す。なお今回は、雑草の高さの最大値を設定している為、最大値までは式(2)で成長し、最大値以上は式(3)により成長しない。

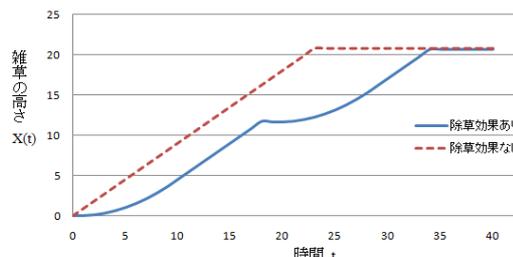


Fig.7 ある区画(座標 1)の雑草の高さ

4. 実験結果と考察

シミュレーション結果である Fig.7 を考察すると、実線の方の X(t)は始め土壌攪拌されて雑草の成長速度が緩やかになった。しかし一定時刻たつとまた成長速度が上がった。再びロボットが土壌攪拌しにきたので、また成長速度が遅くなった。そのことからロボットに土壌攪拌をさせた方の雑草の成長速度が、土壌攪拌しなかった雑草に比べ遅くなり、X(t)の最大値への到達が遅くなった。今後は違う動作アルゴリズムで雑草の成長速度をシミュレーションする予定である。またロボット複数台でのシミュレーションも検討中である。

参考文献

[1]出村公成：Open Dynamics Engine によるロボットシミュレーション：森北出版株式会社
 [2] 光井輝彰，他：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(岐阜県情報技術研究所研究報告書 第10号 平成20年度)

Development of the "AIGAMO" Robots and Design Motion Algorithm

†Katsuhiko Tsuboi, †Genki Ichinose, †Koji Fukuda
 †Anan National College of Technology