

水田除草ロボットにおける 自己位置情報取得とマッピングシステムの開発

研究代表者 津山工業高等専門学校 情報工学科 曾利 仁

1 はじめに

水田の除草は、省力化と除草効果が高いことから除草剤を用いた化学的防除法が主流となっている。しかし、近年では消費者ニーズの多様化、低農薬志向、環境への負荷低減などの理由から除草剤を用いない水稲栽培が要望されている。農薬を用いない除草法として、歩行型除草機に代表される機械的除草、紙マルチによる物理的除草、アイガモ農法に代表される生物的除草法などがある。しかし、機械的除草においては作業者が水田で作業を行うために重労働であり、アイガモ農法においても飼育に手間とコストがかかるなどの問題がある。そこで、化学農薬の使用量を低減し、人による手間と労力を必要とせず、経済的な負担を軽減する新たな除草法が望まれている。我々の研究グループでは、これらの問題を解決する方法として水田除草ロボットを提案し開発を行っている。

これまでに我々は、小型で、かつ簡易な操作で動かすことができる除草ロボットを目標とし、稲苗検知センサや不整地を安定して走行できる車体の開発を行ってきた [1, 2]。除草ロボットは水田内を走行しながら除草作業を行うため、安定した除草効果を得るためには水田内をくまなく走行する必要がある。

本研究では、提案する除草ロボットの実用化に向けた必要な応用技術の検討として、バンパータッチセンサと方位センサを用いた畦検知および、次の稲苗列を目指し走行する制御アルゴリズムの開発を目的としている。これまでの研究では、実際の水田は不整地であることから、実験環境として砂場を利用して除草ロボットの走行実験を行っていた [3, 4]。しかし、年間通して水田と同様な環境を設置するために、走行フィールド実験用プールを製作した。はじめに、この走行フィールド実験用プールで除草ロボットの走行実験を実施し、畦検知後の走行制御アルゴリズムについて検討を行っている [5]。また、静電タッチセンサにより稲苗列の最後を検知し、方位センサを用いて次の稲苗列を目指し旋回する走行制御アルゴリズムも提案している [6, 7]。

将来、除草ロボットに必要な技術として、除草ロボット自身のハードウェア開発に加え、除草ロボットの移動軌跡取得と未除草エリアを推測するソフトウェア開発も必要であると考えている。これまでに、移動している除草ロボットを撮影した画像のピクセル座標から、除草ロボットが実際に移動したエリア平面上の実座標へ変換できる線形回帰モデル式を提案し、それより除草ロボットの移動軌跡を取得した。ただし、移動軌跡取得実験は屋内の環境で実施しており、除草ロボットが移動できるエリアは縦 180cm×横 180cm と狭いエリアに限定されたものであった [8, 9]。

本研究では、実験環境を屋外に移し、さらに除草ロボットの移動エリアを縦 700cm×横 800cm に拡大し、画像座標変換により除草ロボットの移動軌跡取得することを目的としている。移動軌跡取得方法として、これまでに提案した線形回帰モデル式により座標変換する手

法を用いた。しかし、移動エリアが拡大されたため、画像のピクセル座標と除草ロボットが実際に移動した平面上の実座標との関係を線形回帰モデル式で近似できないことを実験結果より確認した。さらに、画像上のピクセル座標から除草ロボットの実座標の関係を平面射影変換行列により表し、平面射影変換により除草ロボットの移動軌跡取得も行っている [10, 11]。

2 除草ロボット

除草剤およびアイガモに変わる雑草対策の有力な手段としては機械を用いた除草がある。しかし、その主流は乗用型の大型機械であるために高価であり、導入できるのは大規模農家に限られる。そのため、著者らは個人農家でも導入しやすく、かつ水田内すべての条間、株間を安定して走行できる除草ロボットの開発を目指している。

図 1 に除草ロボットの概要図を示し、諸元を表 1 に示す。除草ロボットの左右駆動部には DC モータを用いており、PWM 制御により基本的な走行制御を行っている。



図 1 除草ロボット

表 1 除草ロボットの仕様

Size (Width×Length×Height)	428mm×558mm×465mm
Weight	7500g
Maximum Speed	20m/min
Power Source	7.5V(Li-Po)×2
Continuous Running Time	3 h

また、図 2(a)に示すように、除草ロボットは稲苗をまたいで走行することで除草作業を行う。さらに、除草ロボットには、図 2(b)に示すように水田内を走行することにより、土壌を攪拌し雑草を剥離させる効果と、水を濁らせることによって日光を遮断し光合成を阻害することで雑草を枯れさせる効果がある。また、車輪で泥を掻くことによって泥内の余分なガスを排出する効果もある。除草ロボットの基本走行アルゴリズムを図 3 に示す。除草ロボットが、水田内を走行する際に車輪のすべり、走行面の凹凸、棚田のように稲苗がまっすぐ植えられていないといったことから、除草ロボットが稲苗をまたいで走行するのは容易ではない。そこで、本研究では除草ロボットの車輪前方左右に配置された静電タッチセンサで稲苗の検知を行い、マイクロコンピュータで左右の DC モータの Duty 比を制御し、車輪の回転速度を調節することで稲苗を回避して走行する。また、除草ロボットは稲苗列の終わりまで走行すると、バンパータッチセンサや方位センサを用いて旋回し、再び別の稲列に入って走行する。

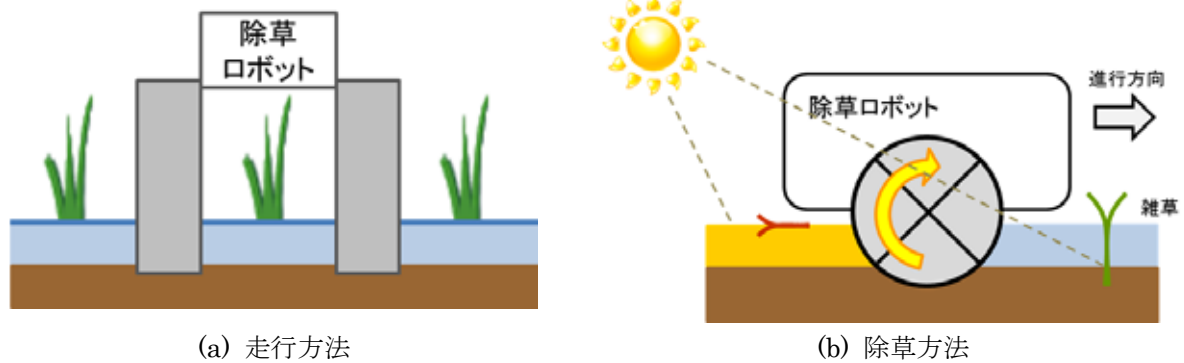


図 2 除草ロボットの走行・除草方法

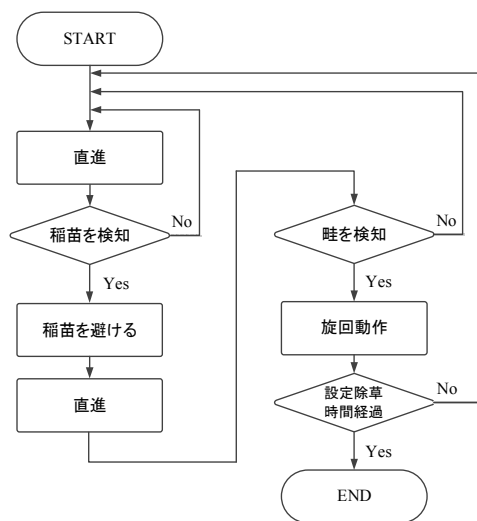


図 3 基本走行アルゴリズムのフローチャート

3 畦検知時の走行制御実験

本研究では、除草ロボットに取り付けられているバンパータッチセンサと方位センサ(0°～360°を測定：北=0°，東=90°，南=180°，西=270°)を用いて、水田の畦を検知した後に隣の稲苗列を目指して走行する制御アルゴリズムを2つ(以下、制御アルゴリズムA、B)提案する。制御アルゴリズムA、Bともに、除草ロボットが畦検知後、後退し前進旋回により90°旋回し、旋回後直進し、さらに前進旋回により90°旋回することで次の稲苗列を目指す。共通する走行制御アルゴリズムのフローチャートを図4に示す。制御アルゴリズムA、Bの違いは旋回方法であり、制御アルゴリズムAはその場で90°旋回を行い、制御アルゴリズムBは斜め前進と斜め後退の移動を交互に繰り返しながら90°旋回を行う。なお、今回の走行制御実験では水田の稲苗列を左端の列から除草作業をすることを前提に行っている。

本実験では、縦400cm×横400cm×高さ50cmの実験用プールに深さ20cmの真砂土を敷きならし、そこへ深さ5cmになるよう水を入れることで水田環境を製作し、走行制御実験を実施した。図5(a)に製作途中の実験用プールを、同図(b)に完成した実験用プールをそれぞれ示す。実験用プールには、排水用の管が縦と横と斜めに3本埋設されており、また排水された水が溜まるタライが配置されている。

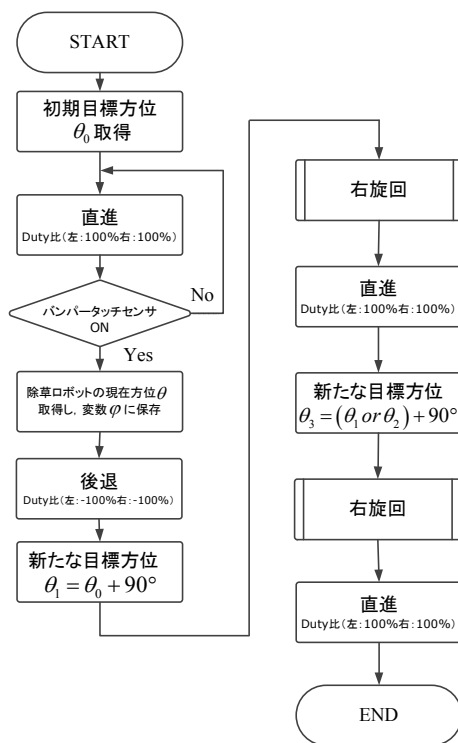


図 4 畦検知時の旋回フローチャート
(A, B の共通部分)



(a)製作途中の実験用プール



(b)完成した実験用プール

図 5 走行制御実験に実験用プール

3.1 制御アルゴリズム A

制御アルゴリズム A のフローチャートを図 6 に示す。制御アルゴリズム A の走行実験結果を図 7 に示す。

除草ロボットは、走行開始直後に初期方位 θ_0 を取得する。この初期方位を目標方位として、稲苗検出センサ [2]により現在の稲苗列を直進する(図 7-(a))。直進時の左右モータの Duty 比は左 : 100%, 右 : 100% に設定している。直進後、バンパータッチセンサにより水田の畦を検知(図 7-(b))すると、除草ロボットの現在方位 θ を取得する。さらに、現在方位 θ に 90° 加算することで新たな目標方位 θ_1 を設定する。 θ_1 が、 $\theta_1 \geq 360^\circ$ を満たす場合、畦を検知した時の除草ロボットの方角 θ が、 270° (西) $\leq \theta < 360^\circ$ (北)内の北西側に向いていることを示し、 $\theta_1 \geq 360^\circ$ を満たさない場合は、 0° (北) $\leq \theta < 270^\circ$ (西)内の方向に向いていることを示している。後退後、畦を検知した時の除草ロボットの方角により、それぞれの旋回行動を開始する(図 7-(c))。除草ロボットの方角 θ が、新たな目標方位 θ_1 または、 θ_2 に達するまで、その場で右旋回を行う(図 7-(d))。旋回時の左右モータの Duty 比は左 : 90%, 右 : -90% に設定している。目標方位に達することで直進し、さらに前目標方位 θ_1 または θ_2 に 90° 加算することで 2 回目の 90° 旋回のための目標方位を設定する。その後、同様に右旋回動作のサブルーチンに移る(図 7-(e))。2 回目の右旋回で目標方位に達することで直進し、隣の稲苗列に走行することが可能となる。(図 7-(f))。

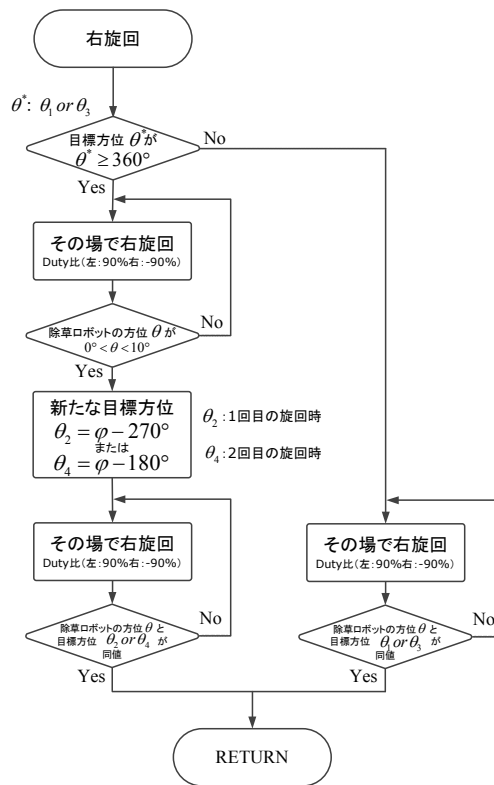


図 6 制御アルゴリズム A のフローチャート



図 7 走行実験結果 (制御アルゴリズム A)

3.2 制御アルゴリズム B

制御アルゴリズム B のフローチャートを図 8 に示す。制御アルゴリズム B の走行実験結果を図 9 に示す。

除草ロボットは、走行開始直後に初期方位 θ_0 を取得する。この初期方位 θ_0 を目標方位として、稲苗検出センサにより現在の稲苗列を直進する(図 9-(a))。直進時の左右モータの Duty 比は左 : 100%, 右 : 100% に設定している。直進後、バンパータッチセンサにより水田の畦を検知(図 9-(b))すると、除草ロボットの現在方位 θ を取得する。さらに、現在方位 θ に 90° 加算することで 1 回目の 90° 旋回のための目標方位を設定し、その後右旋回動作のサブルーチンに移る。

右旋回動作のサブルーチンでは、まず変数 i を 0 に初期化する。この変数 i は、サンプリングタイム 100ms 毎にインクリメントされる。変数 i の値により、左右モータの Duty 比を変更し右旋回を実現している。この右旋回制御アルゴリズムは、右斜め前進と左斜め後退を繰り返しながら旋回を行う。モータの負担を小さくするため前進と後退が切り替わる時に一回パワーを下げ、Duty 比の切り替えを行っている。まず、右旋回開始から 800ms までは Duty 比を左 : 100%, 右 : 80% に設定し右斜めに前進する。800ms から 1000ms までは Duty 比を左 : 75%, 右 : 60% とし後退へ切り替える設定をする。右旋回開始 1000ms から 1800ms までは Duty 比を左 : -80%, 右 : -100% に設定し左斜めに後退する。1800ms から 2000ms までは Duty 比を左 : -60%, 右 : -75% とし前進へ切り替える設定をする。このように、2000ms を 1 周期とする右旋回動作を目標方位 θ_1 または、 θ_2 に達するまで繰り返す(図 9-(c), (d))。目標方位に達することで直進し、さらに前目標方位 θ_1 または θ_2 に 90° 加算することで 2 回目の 90° 旋回のための目標方位を設定し、同様に右旋回のサブルーチンに移る。2 回目の右旋回で目標方位に達することで直進し、隣の稲苗列に走行することが可能となる(図 9-(e), (f))。

3.3 制御アルゴリズムの比較

提案した 2 つの制御アルゴリズムを比較するために、畦検知後の旋回行動を検証した。図 10 に、制御アルゴリズム A, B を用いた畦検知後の除草ロボットの方位変化を示している。図 10 より、制御アルゴリズム A は、畦検知後、2 回の 90° 右旋回を行い約 8 秒で目標方位に達しその後直進行動に移っていることが確認できる。また、制御アルゴリズム B は、畦検知後、右斜め前進と左斜め後退を繰り返しながら 2 回の 90° 右旋回を行っているため、約 24 秒で目標方位に達することが確認できる。よって、制御アルゴリズム A はアルゴリズム B に比べ、旋回開始から隣の稲苗列へ移行するまでの時間が 3 分の 1 以下になっていることが確認できた。しかし、制御アルゴリズム A は旋回終了時に目標方位を越えて旋回することが多く、そのため 2 回目の 90° 旋回を終了後、隣の稲苗列に安定して移行することができない場合が多く現れた。制御アルゴリズム B は右斜め前進と左斜め後退を繰り返すため旋回に多く時間がかかっているが、制御アルゴリズム A に比べ目標方位を大きく越えて旋回することはなく、安定してとなりの稲苗列へ移行することが確認できた。

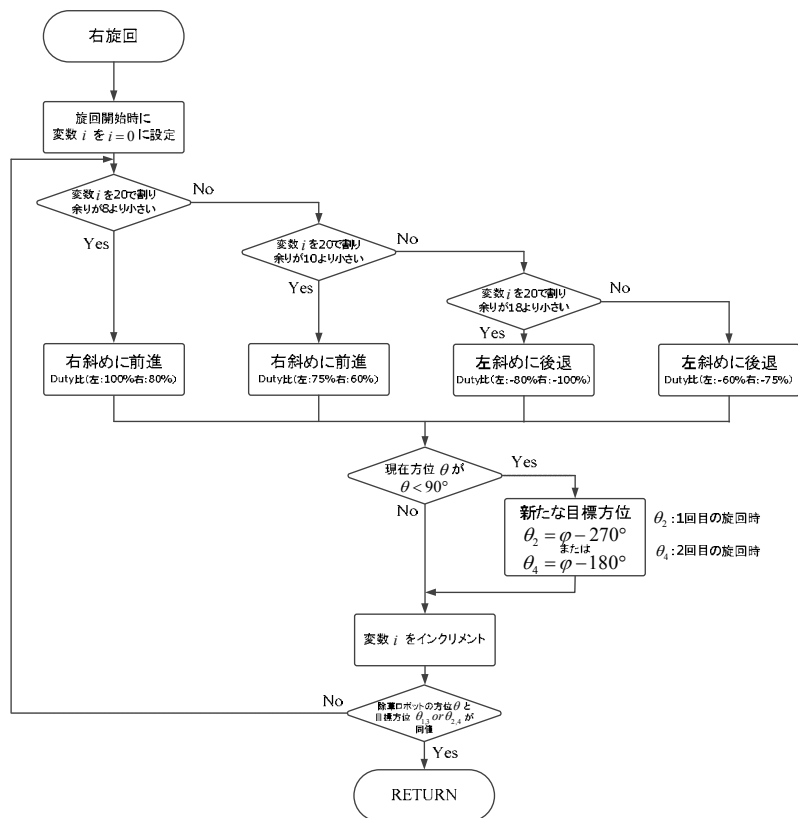


図 8 制御アルゴリズム B のフローチャート

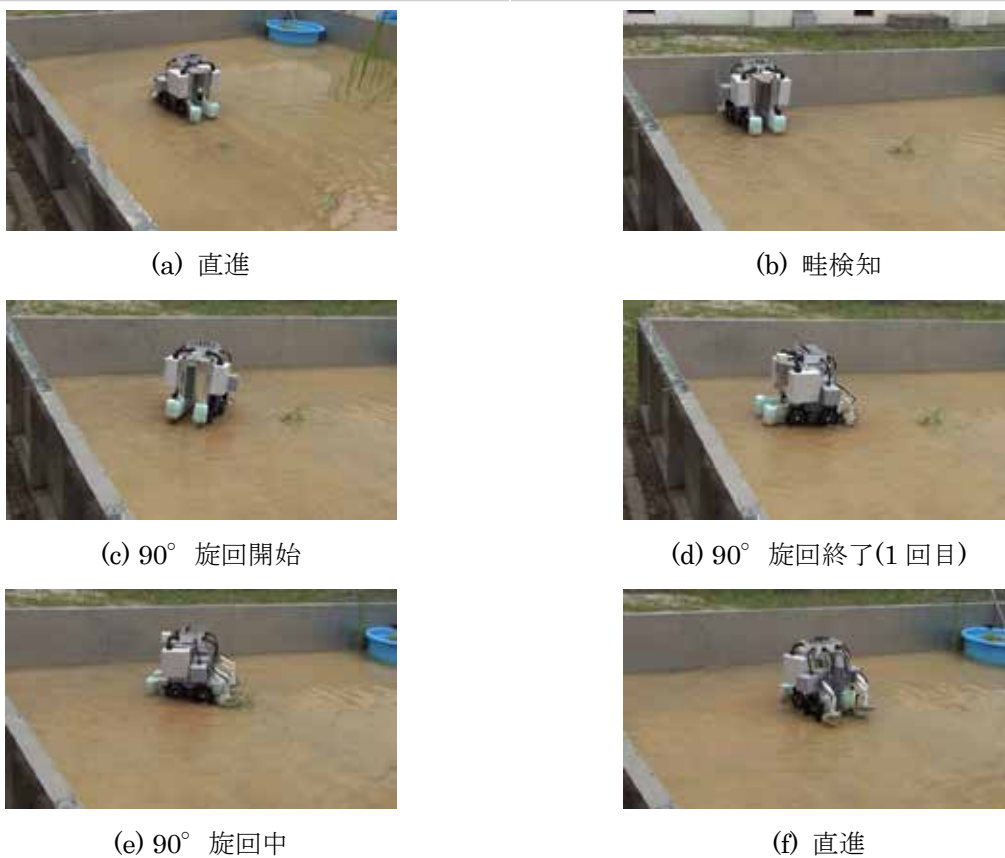
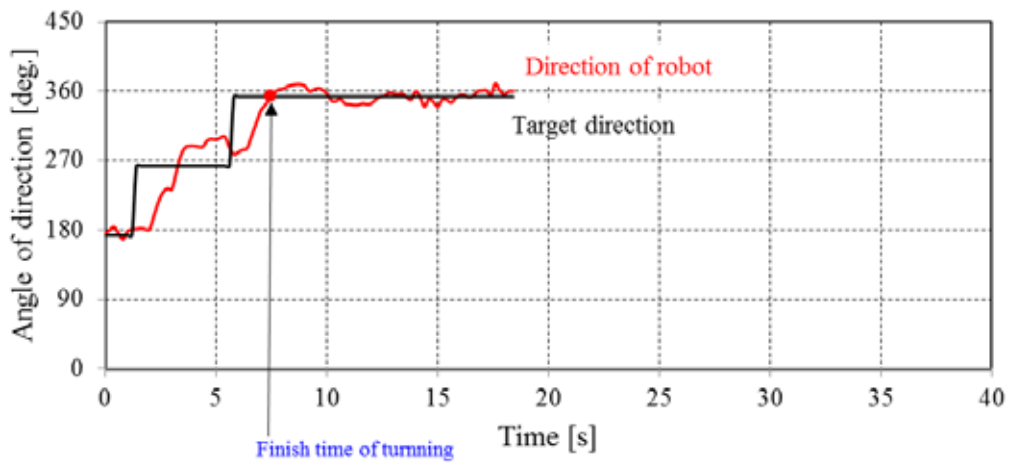
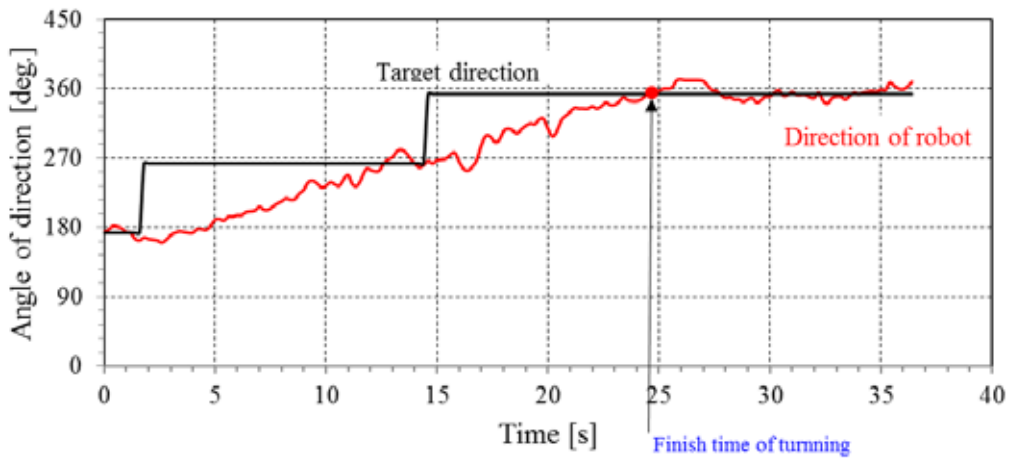


図 9 走行実験結果 (制御アルゴリズム B)



(a) 制御アルゴリズム A



(a) 制御アルゴリズム B

図 10 制御アルゴリズムによる走行特性

4 画像処理を用いた移動軌跡取得実験

図 11 に、将来に開発予定である除草ロボットシステムを示す。水田付近に取り付けられたカメラにより、水田を自律走行する除草ロボットの位置情報をリアルタイムに取得する。カメラより取得された画像は、水田付近にある小屋の中に設置された計算機に送られ、随時、画像処理により除草ロボットの位置情報を求める。水田を走行する除草ロボットの現在位置を把握しながら、さらに、まだ除草していないエリアを推測する。この推測アルゴリズムは計算機内で実行される予定であり、推測結果は無線機を介して除草ロボットに送信される。

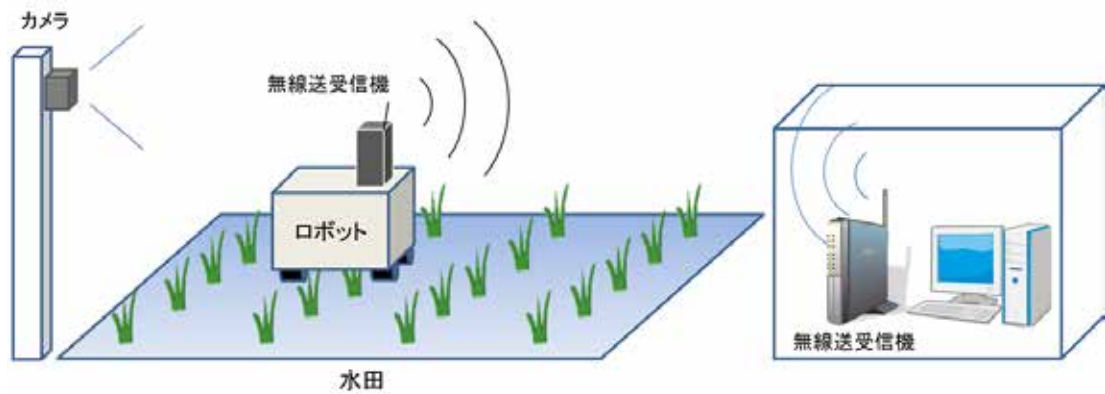


図 11 将来的な除草ロボットシステム

4.1 実験システム

屋外実験環境下における画像座標変換法による除草ロボットの移動軌跡取得の有効性を確認するために、図 12 に示す実験環境で実験を行った。画像処理が容易になるよう除草ロボットに赤い球体を取り付けている。水田モデルとなる枠内（縦 700cm×横 800cm）で、除草ロボットを走行させる。本実験では、除草ロボットを操縦無線機により操作し水田モデル内を走行させている。水田モデルの斜め上(俯瞰)方向に設置されたカメラにより、水田モデル内を走行する除草ロボットの様子を撮影する。その後、動画データから 1 秒間隔で静止画像を取得し、画像処理を行うことで除草ロボットの中心座標(位置情報)を取得する。画像処理の流れとして、まず入力画像から赤の要素の値が大きい部分を二値画像として抽出する。次に、抽出された画像に対して収縮処理と膨張処理を行うことで細かなノイズを取り除く。最後に、赤い球体のみ二値化された画像より重心座標を求め、除草ロボットの座標データとして出力している。

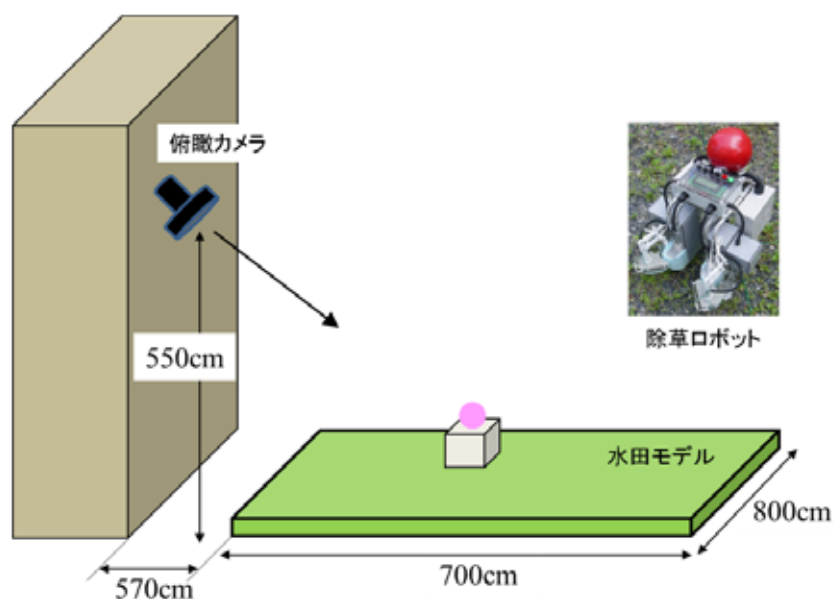


図 12 実験システム

実際の水田環境を考えた場合も同様に、水田の真上にカメラを取り付けることは不可能である。そのため本研究では、俯瞰カメラから取得できる画像のピクセル座標 (x', y') を除草ロボットが移動している平面実座標 (x, y) へ変換する画像座標変換法を用いることで、除草ロボットの移動軌跡の取得を試みている。

4.2 線形回帰モデルによる座標変換

4.2.1 線形回帰モデルの導出法

本研究では、俯瞰カメラから取得できる画像のピクセル座標 (x', y') を除草ロボットが移動している平面実座標 (x, y) へ変換する座標変換手法として線形回帰モデル式を用いる。図 13 のような水田モデルの平面座標を俯瞰カメラの座標系で見ると、カメラから遠い位置で取得される座標点の密度が高くなる。そのため、ピクセル座標 (x', y') より実座標 (x, y) への変換を簡易な線形回帰モデルで表すことを考えた場合、水田モデルを分割し、それぞれの分割エリアにおける線形回帰モデル式を導出した方がより精度良く座標変換できると考えられる。

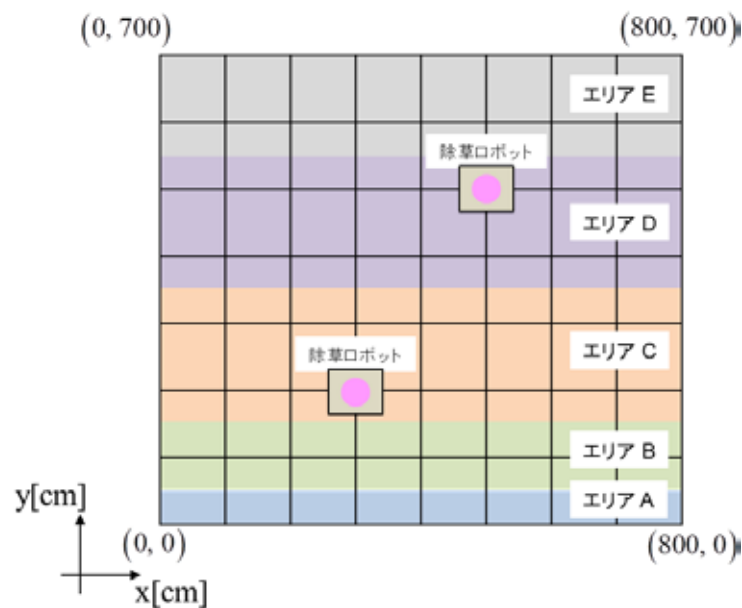


図 13 水田モデルの分割方法

例として、水田モデルを 5 分割した場合の線形回帰モデル式の導出法を示す。図 13 に示すように、水田モデルが碁盤目状であると想定し、各格子点上に除草ロボットを配置し俯瞰カメラにより画像を取得する。水田モデルのエリア A : 9 点, エリア B : 9 点, エリア C : 18 点, エリア D : 18 点, エリア E : 18 点, 計 72 点の画像を俯瞰カメラにより取得した。これらの画像を画像処理することで、72 点の画像上のピクセル座標を得ることができる。これらのピクセル座標データと水田モデル実座標データ (x 座標 : 0~800, y 座標 : 0~700) から最小二乗法を用いて線形回帰モデル式を求めた。ここでは、エリア C における x 座標, y 座標の線形回帰モデル式および、エリア E における x 座標, y 座標の線形回帰モデル式を(1)~(4)式に示す。

$$x_c = 1.065x'_c - 622.19 \quad (1)$$

$$y_c = 2.081y'_c - 603.95 \quad (2)$$

$$x_e = 1.401x'_e - 946.83 \quad (3)$$

$$y_e = 3.800y'_e - 1491.60 \quad (4)$$

ここで、 (x_c, y_c) : エリア C の実座標、 (x'_c, y'_c) : エリア C の俯瞰カメラ画像のピクセル座標、 (x_e, y_e) : エリア E の実座標、 (x'_e, y'_e) : エリア E の俯瞰カメラ画像のピクセル座標を表している。

4.2.2 座標変換結果

はじめに、図 14 に示すように、水田モデル内を走行する除草ロボットの様子を俯瞰カメラで撮影した。撮影により得られた画像を画像処理することで、画像ピクセル座標データを得た。次に、水田モデルを 5 分割した場合における(1)~(4)式などの線形回帰モデル式を用いて、画像ピクセル座標データから水田モデル実座標データへ変換を行った。変換後の除草ロボットの移動軌跡を図 15 に示す。



(a) 0 秒(スタート時)



(b) 60 秒後



(c) 120 秒後



(d) 150 秒後

図 14 除草ロボットの走行状況 (俯瞰カメラ)

実験結果より、俯瞰カメラに対して横の移動(右⇄左)に関しては精度良く座標変換できていることが確認できた。しかし、俯瞰カメラに対して縦の移動(手前⇄奥)時に、特に x 座標の変

換で最大 40cm の誤差があることが確認できた。これは、水田モデルを分割した全てエリア (A~E)において、 y 座標を求める線形回帰モデル式は画像のピクセル座標と平面実座標の関係を一次式で表すことができたが、 x 座標に関しては線形回帰モデル式では不十分な近似式であることが考えられる。また、屋内実験で行った狭い水田モデルでは線形回帰モデル式で十分座標変換が可能であったが、実際の水田のように広い面積になると線形回帰モデル式で座標変換できないことが確認できた。

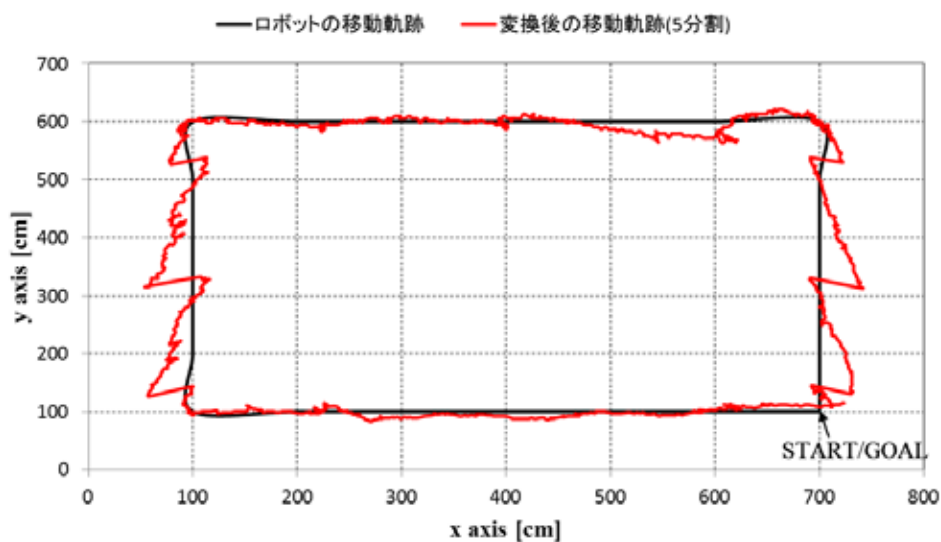


図 15 変換後の移動軌跡 (線形回帰モデル)

4.3 平面射影変換による座標変換

4.3.1 平面射影変換行列の算出方法

図 16 のように三次元空間中の点 M を、ある視点 C_1 とその位置からカメラを回転、並進させた視点 C_2 から観察したとき、すべての観測した点が三次元空間中で、ある平面上にあるならば、これらの各画像面での座標 m_1 、 m_2 の関係は線形であることが射影幾何学において知られている。

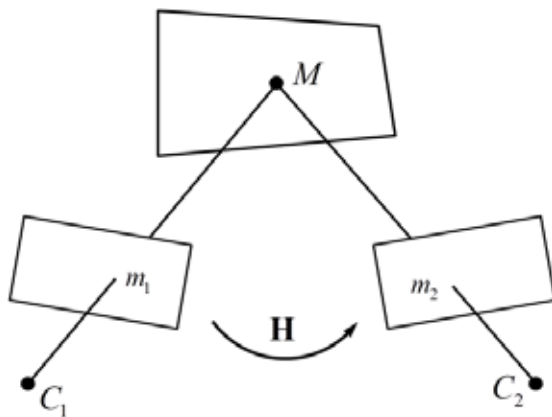


図 16 平面射影変換

画像座標は同次座標で表した第 1 画像の点 $\mathbf{m}_1 = (x_1, y_1, 1)'$ は、第 2 画像上で対応する点 $\mathbf{m}_2 = (x_2, y_2, 1)'$ をもち、それらの関係は次式で定義される。

$$\mathbf{m}_2 \approx \mathbf{H}\mathbf{m}_1$$

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

また、俯瞰カメラから取得できる画像のピクセル座標 (x', y') ，除草ロボットが移動している平面実座標 (x, y) とした場合、変換行列は以下のように書き換えることができる。

$$x = \frac{h_0 x' + h_1 y' + h_2}{h_6 x' + h_7 y' + 1} \quad (6)$$

$$y = \frac{h_3 x' + h_4 y' + h_5}{h_6 x' + h_7 y' + 1} \quad (7)$$

平面射影変換行列 \mathbf{H} の未知パラメータ数は 8 個であり、1 組の対応点は 2 個の式を与える。よって、4 組以上の対応点があれば最小二乗法によりこれらのパラメータを求めることができる。

4.3.2 座標変換結果

前章と同様に、図 14 に示す水田モデル内を走行する除草ロボットの様子を撮影した画像を画像処理することで、画像ピクセル座標データを得た。ここでは、平面射影変換行列 \mathbf{H} の未知パラメータを求めるために、平面実座標が $(700, 100)$ ， $(700, 800)$ ， $(100, 800)$ ， $(100, 100)$ となる 4 組の点を用いた。次に、求められたパラメータを(6)，(7)式に適用し、画像ピクセル座標データから水田モデル実座標データへ変換を行った。変換後の除草ロボットの移動軌跡を図 17 に示す。

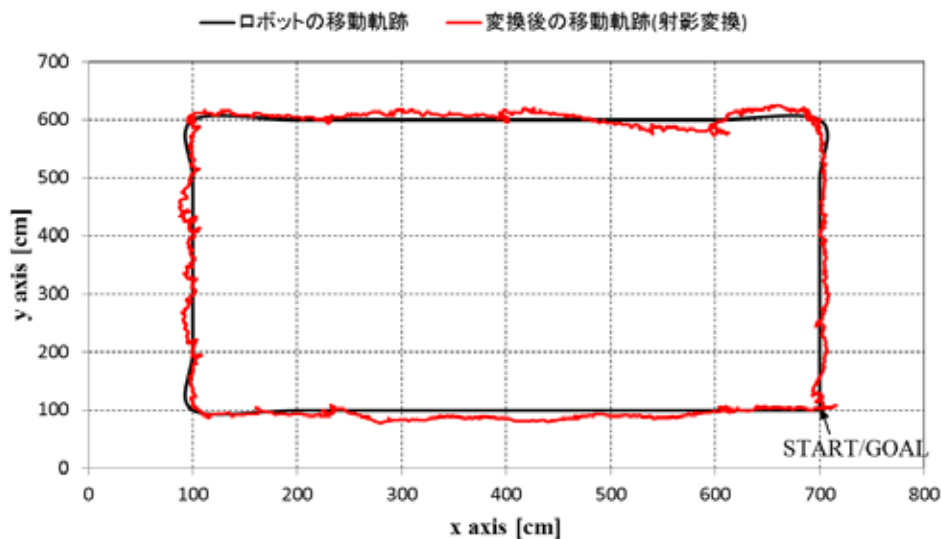


図 17 変換後の移動軌跡（平面射影変換）

実験結果より、平面射影変換を用いることで俯瞰カメラ取得できる画像のピクセル座標より除草ロボットが移動している平面実座標へ変換することが可能であることが確認できた。

5 まとめ

本研究では、これまで提案している除草ロボットにさらに必要な基本技術の検討として、バンパータッチセンサにより畦を検知し、方位センサを用いて次の稲苗列を目指し旋回し、走行する制御アルゴリズムの開発を目的とした。実際の圃場は、さまざまな土壌でかつ非常に不整地な状態であると想定される。除草ロボットが接地面に足場をとられ、身動きできない状態を極力回避するために、常に移動しながら旋回する走行制御アルゴリズムを採用した。本研究では、畦を検知後、その場で 90° 旋回を行う制御アルゴリズム A と斜め前進と斜め後退の移動を交互に繰り返しながら 90° 旋回を行う制御アルゴリズム B を提案した。

実験用プールでの走行実験結果から、提案した 2 つの制御アルゴリズムはともに、接地面に足場を取られることなく旋回行動ができた。しかし、制御アルゴリズム B は右斜め前進と左斜め後退を繰り返すため旋回に多く時間がかかるが、制御アルゴリズム A に比べ目標方位を大きく越えて旋回することはなく、安定して隣の稲苗列へ移行することが確認できた。

さらに本研究では、水田の中を走行する除草ロボットの移動軌跡取得を目的とし、俯瞰カメラ取得できる画像のピクセル座標から除草ロボットが移動している平面実座標へ変換する手法を提案した。まず、簡易な線形回帰モデル式による座標変換手法を提案したが、水田のように広い面積になると、線形回帰モデル式による座標変換は大きな誤差を生じることが確認できた。しかし、平面射影変換による座標変換手法を用いることで、除草ロボットが移動している平面実座標に精度よく変換可能であることが確認できた。

今後は、できるだけ多くの圃場で走行実験を行い、走行制御アルゴリズム、走行安定性について検証を行うこと、移動軌跡取得実験においては、さらに水田モデルの面積を拡大し、本研究と同様な手法でロボットの移動軌跡が取得できるか検証予定である。

謝辞

本研究は、平成 24 年度公益財団法人 JFE21 世紀財団・技術研究助成により実施できましたことを御礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] 石井雄也, 井上浩行, 曾利仁, 安藤泰宏, 八田浩之, 生駒徹志, “除草ロボットのための静電タッチセンサを用いた稲苗検出について,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11 講演論文集, 1P1-B01, 2011.
- [2] 八田浩之, 安藤泰宏, 飯塚浩二郎, 井上浩行, 曾利仁, “接触式稲株センサーによる水田除草ロボット,” ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, 1A1-G01, 2012.
- [3] 網島大地, 曾利 仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏, “水田除草ロボットにおける畦検知時の走行制御,” ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 講演論文集, 1A1-Q03, 2013.
- [4] 曾利 仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏, “水田除草ロボットにおける畦検知時の走行特性,” 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, No.GS10-5, pp.1628-1631, 2013.
- [5] 木村祐己, 曾利 仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏, “水田実験環境下における除草ロボットの走行制御,” 第 16 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, No.B-2, 2014.
- [6] 藤岡大亮, 井上浩行, 曾利仁, 安藤泰宏, 八田浩之, “水田用自律型除草ロボットの巡回アルゴリズムの開発,” 日本機械学会 2013 年度年次大会, G151036, 2013.
- [7] 秋平将吾, 井上浩行, 曾利仁, 安藤泰宏, 八田浩之, “車輪型水田用除草ロボットの開発,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集, 1P2-V04, 2014.
- [8] 坂出一樹, 曾利 仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏, “水田除草ロボットにおける画像処理を用いた移動軌跡の取得,” 平成 25 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, pp.41-42, 2013.
- [9] 曾利 仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏, “簡易な画像座標変換法を用いた水田用除草ロボットの移動軌跡取得,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集, 2A2-R05, 2014.
- [10] 坂出一樹, 曾利 仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏, “水田除草ロボットにおける簡易画像座標変換を用いた移動軌跡の取得,” 成 26 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, No.23-7, pp.155-156, 2014.
- [11] 小福田透, 曾利 仁, 井上浩行, 八田浩之, 安藤泰宏, “簡易画像座標変換を用いた水田除草ロボットの移動軌跡の取得,” 第 16 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, No.A-48, 2014.