

車幅可変機構を備えた農作業ロボットの移動機構の提案

Proposal of automatic vehicle for agriculture using variable width mechanism of wheel

知能機械工学コース

機械・航空システム制御研究室 1255018 長瀬 弘武

1. 緒言

日本の農林水産省が公表しているデータによると日本の農業就業人口は年々減少しており、人手不足が深刻化している⁽¹⁾。加えて、農業における作業は収穫や運搬など手作業に頼ることが多く、農業従事者の大きな負担となることから、作業の機械化・自動化が望まれている。ロボットが農場で移動するために、車輪型、レール型、クローラ型などの移動機構が研究・開発されている。レール型、クローラ型を採用したロボットは各地の農場の形状に適應するのに難しい機構であると考えられる。レール型はレールの施設が予め必要であり、様々な農地に対応することが難しい。クローラ型は、ベルトなどの幅が広く、畝幅が狭い農場の端で旋回するとき、畝を傷つけてしまう可能性が考えられる。

本研究では、作物の背丈が低い葉茎菜類(ニラ、ネギ等)の農場と作物の背丈が高く育つ果菜類(ピーマン、キュウリ等)の農場のどちらの農場にも導入可能である車幅可変機構と独立ステアリング機構を備えた農作業ロボットの移動機構の開発を目的としている。様々な農場に適應するために移動機構に車輪を採用し、各車輪には独立ステアリング機構を組み合わせ、葉茎菜類農場と果菜類農場の農場の作りの違いに対応させるために車幅可変機構を搭載することを考えた。本稿では、その試作機の製作と実験、今後の課題について述べる。

2. 提案するロボット

2.1 ロボットの概要

開発する農作業ロボットのモデルを図1に示す。また、設計・製作した試作機を図2に示す。農作業ロボットは車輪に接続されているDCモータによって駆動する。図2に示すように機体を安定させるために各車輪の後方にキャスターを2つ取り付け、地面と3点で接地している。各車輪には独立にステアリング機構を持っている。この独立ステアリング機構はホイールの舵角を制御することで機体の進行方向を決定する。図1に示すような車幅可変機構を用いることで畝の幅に合わせた車幅を調整し、その上にフリーの回転軸を設けることで旋回時に車幅の伸縮を行い、小スペースな旋回運動を可能にする機構とした。

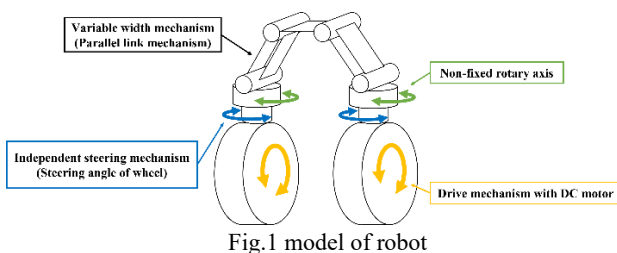


Fig.2 prototype of robot

2.2 走行方法

提案する農作業ロボットの走行方法を図3, 図4に示す。図ではアルファベット順にロボットが移動する様子を示す。提案するロボットは農場の畝間を利用し、移動を行う。図3が示すのは、作物の背丈が低い葉茎菜類(ニラ、ネギ等)の農場に対応した走行方法で、これを走行モードAと呼ぶ。走行モードAでは図3の(a)に示すように左右の車輪を同時に駆動させ農場の端まで移動する。次に(b)に示すように右車輪は固定、左車輪のみに舵角を付け、旋回を始める。(c)~(e)にかけて農場の端と平行に走行し、隣の畝の進入口まで移動する。最後に(f)に示すように車輪に舵角を付け、隣の畝間に進入し旋回運動を完了する。走行モードAでは旋回運動をしているとき、車幅可変機構が受動的に動作し車輪幅を短くすることで、旋回運動に必要な場所を小さくすることができる点が特徴である。

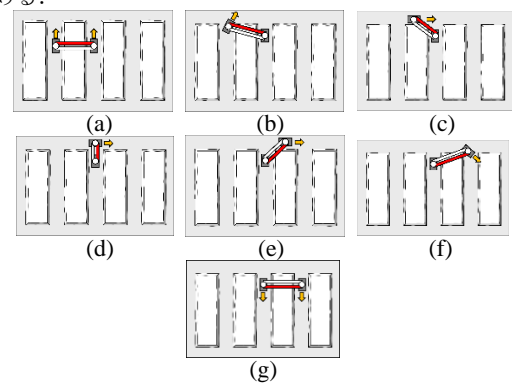


Fig.3 Driving Mode A Driving Method

図4が示すのは、比較的作物の背丈が高く育つ果菜類(ピーマン、キュウリ等)の農場に対応した走行方法で、これを走行モードBと呼ぶ。果菜類の農場では走行モードAのように畝を跨ぐことが不可能であるため、走行モードBでは、車輪を前方後方に配置し走行を行うことで果菜類の農場の畝間の中を移動できるように対応させた。最初に図4の(a)に示すように畝間の中を走行し、農場の端まで移動する。次に(b)に示すように前輪のみに舵角を付ける。(c)から(d)にか

けて前輪は農場の端と平行になるように走行し、後輪は旋回開始地点まで前進する。(e)から(f)では後輪と前輪に舵角を付け旋回していき、隣の畝間の中に進入し旋回運動を完了する。走行モード B では畝間の中を走行するため畝の幅に関係なく走行が可能になる点で走行モード A との違いがある。上述のように走行モード A, 走行モード B の旋回運動をそれぞれ繰り返すことで各農場の全範囲を移動することが可能になる。

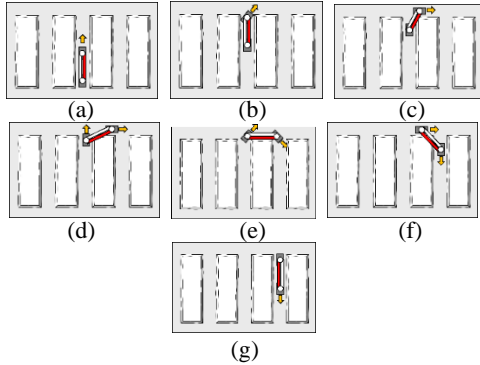


Fig.4 Driving Mode B Driving Method

3. 走行実験

3.1 実験内容

今回の走行実験では走行モード A, 走行モード B の 2 パターンを行った。

走行モード A では、 $t=0$ から舵角を 45° に変化させ、旋回運動を開始する。フリーの回転軸が 45° になったとき舵角を 0° に戻し農場の端と平行に走行を行う。車幅可変機構には平行リンクと呼ばれるリンク機構を採用しており、リンクの長さ l_0 と地面との傾きにより車幅の距離が以下の式によって決定される。

$$L = l_0 + 2l_1 \cos\theta \quad (1)$$

L : 車幅

l_0 : 地面と平行なリンク 400mm

l_1 : その他のリンク 600mm

θ : l_1 と地面との傾斜角

走行モード B では、 $t=0$ から前輪の舵角を 45° に変化させ、旋回運動を開始する。前輪のフリーの回転軸が 45° 回転した時、後輪を駆動させ、フリーの回転軸が元の角度に戻るまで前進を行う。その後、前輪と後輪の舵角を 45° に変化させ、旋回運動を行う。

走行速度は農業従事者への危害を最小限にすることや収穫等の農作業を行うマニピュレータが動作することを想定し、0.2m/s 程度の低速で走行させた。速度はフィードバック制御によって一定速度で直進、旋回を行っている。

3.2 実験結果と考察

図 5 に走行モード A の走行実験の様子を示す。また、図 6 に走行モード A の旋回運動時のステアリング角度、フリーの回転軸の角度、車幅可変機構の角度の履歴を示す。 $t=5$ 以降から図 7 の右側の駆動輪のみが旋回運動を行っていることが確認できる。フリーの回転軸が 45° になるまで舵角を固定し旋回を行う。その後フリーの回転軸の角度に応じて次の旋回タイミングを決定する。フリーの回転軸が 90° (車輪同士が重なる)の時、車幅可変機構の傾斜角の最大になる。車幅は式(1)から 1000mm とわかり、車幅可変機構が省スペースでの旋回動作を可能にしていることが確認できた。走行モード A では片方の駆動輪を動作させ車幅可変機構の平行リンクをたたむようにして車幅を短くできる点で農場の端での旋回運動に有効性があると考えられる。

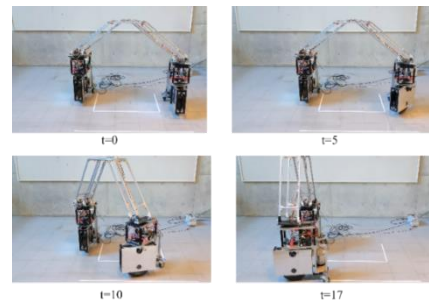


Fig.5 Driving experiment of driving mode A

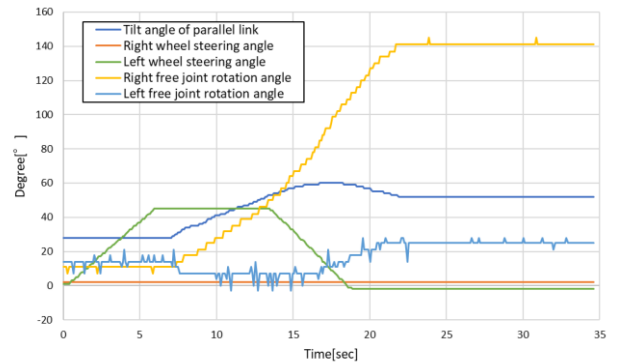


Fig.6 Time history of various angles in driving mode A

図 7 に走行モード B の走行実験の様子を示す。また、図 9 に走行モード B の旋回運動時の前後輪のステアリング角度、前後輪のフリーの回転軸の角度、車幅可変機構の角度の履歴を示す。図 7, 図 8 から、 $t=0$ から前輪の舵角を 45° に変化させ、旋回運動を開始する。 $t=0 \sim t=30$ にかけて、前後輪のフリーの回転軸が逆方向に角度が変化している。 $t=20$ 程度の時、車幅可変機構の傾斜角が最小となり、車幅は式(1)から約 1320mm とわかる。これらの結果は前輪の旋回運動を妨げずに車幅可変機構とフリーの回転軸が受動的に稼働することで実現できた動きである。車幅可変機構、フリーの回転軸を設けることで前輪は農場の端と平行に走行しながら、後輪は畝間を沿った走行を行うといった柔軟な走行を可能にしていることが確認できた。

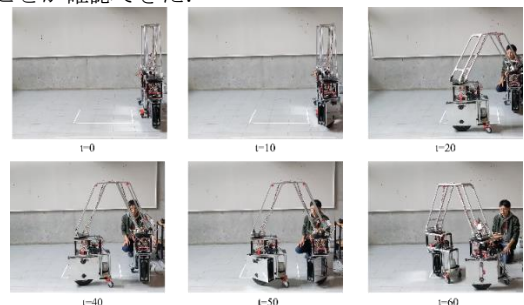


Fig.7 Driving experiment of driving mode B

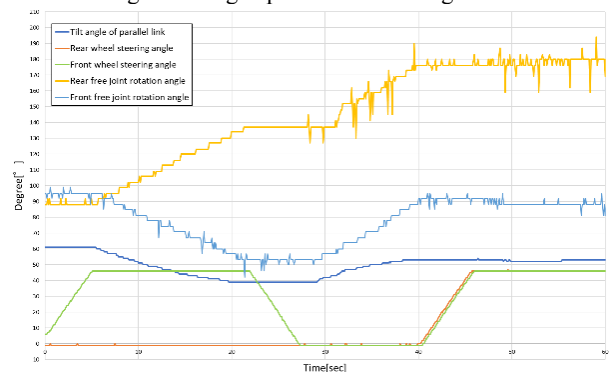


Fig.8 Time history of various angles in driving mode B

4. RGB+深度カメラによる畝の認識

4.1 RGB+深度カメラの概要

農作業用ロボットを自律的に運用する際には外部の認識が大変重要である。障害物や経路の認識を行い、ロボットを自律的に走行させる必要がある。本研究では、外部認識において色(RGB)と物体との距離を読み取ることのできる RGB+深度カメラを用いることとした。RGB+深度カメラは intel Realsense depth camera D435 を使用した。

4.2 RGB+深度カメラを使用した畝認識実験と考察

畝認識実験を行うにあたって、高知工科大学が所有する KUT ハウスのピーマン農場を使用した。KUT ハウスの様子を図 9 に示す。



Fig.9 KUT House

図 9 に示すような農場において、畝間が窪んでいることが確認できる。畝の認識のために畝と畝間との高低差を利用し、畝間の検出が可能になるのではないかと考えた。カメラの取り付け位置を図 10 に示す。カメラの取り付け位置として、地面からの高さを 590mm とした。

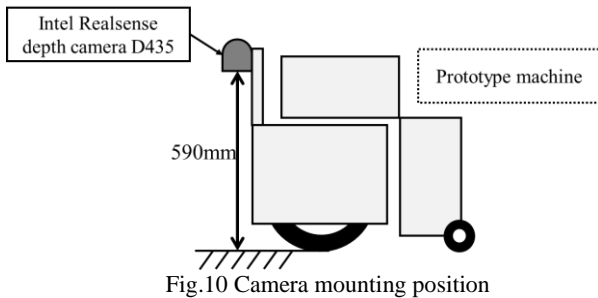


Fig.10 Camera mounting position

今回、畝認識実験ではカメラのみを農作業ロボットに取り付ける高さに固定し認識実験を行った。閾値を 590mm に設定し、障害物(畝)が 590mm より小さくなったら畝と認識させることとした。実験で得られた RGB 画像、深度画像を図 11、図 12 に示す。図 11 は RGB 画像で一見、土と落ち葉しか見えておらず、畝の高低差は分かりづらい。このことから、RGB 画像のみの畝の認識は難しいのではないかと考える。図 12 は赤から青の濃淡によってカメラからの距離を示している。赤がカメラからの距離が近く、青色になるにつれ、距離が遠くなっている。RGB 画像では分かりにくかった畝の高低差が存在することが深度カメラによって判別できる成果が得られた。



Fig.11 RGB camera image

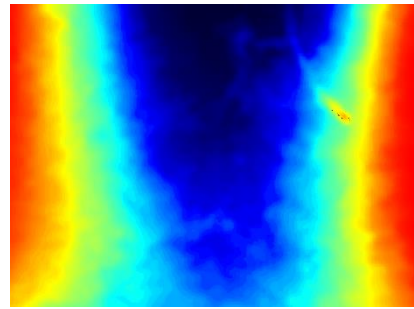


Fig.12 depth camera image

RGB 画像と深度カメラの画像の取得に加え、リアルタイムでの画像処理を行う実験も行った。図 13 に距離の閾値を用いた画像を示す。図 13 は閾値の 590mm より小さい距離データ、つまり、カメラからの距離が近い点群のピクセルを黒く表示させ、590mm より大きい値は深度カメラのピクセル位置を RGB 画像の座標に合わせて画像を張り付けることを行った。

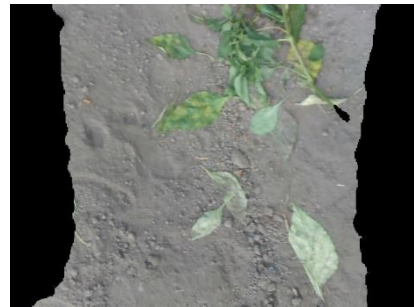


Fig.13 Processing results using RGB image and depth image

5. 結論

本研究では、車幅可変機構を接続した自律駆動ロボットを提案し、その試作機を設計・製作を行った。室内での走行実験を行い、車幅可変機構を取り付けたロボット内部の角度の履歴を取得することができた。また、RGB+深度カメラによる畝間の認識実験を行った。RGB カメラのみでは畝間の認識は限界があることが分かった。それに比べ、深度カメラは有効性が確認できた。

今後は試作機に深度カメラを取り付け、走行実験を行い、畝間の認識を行いながら自律駆動を行う。走行能力を実験的に評価し提案するロボットの有効性を検証する。

文献

- (1) 農林水産省ホームページ 農業労働力に関する統計
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html> (参照日 2023 年 2 月 12 日)
- (2) 農林水産省ホームページ 2019 国際ロボット展
https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/maff_irex.html (参照日 2023 年 2 月 12 日)
- (3) 岡宏一, 谷口雄司, 北村晋助, 島田真志 “不整地狭路のための独立操舵型移動機構” (2009)