

# 卒業論文要旨

## 農作業用 2 輪独立ステアリング自律駆動ロボットの開発

### Development of autonomous vehicle with independent two-wheel steering mechanism for agriculture

システム工学群

機械・航空システム制御研究室 1210117 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<sup>(1)</sup>によると日本の農業就業人口は年々減少しており、人手が不足してきていると考えられる。農業における作業は野菜の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。本研究では、ロボットによる作業の省力化・自動化のための農作業用自律移動ロボットの開発を目標とする。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<sup>(2)(3)(4)</sup>。レール型、クローラ型を採用したロボットはそれぞれの農地の形状に適応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、畝幅が狭い農地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、平地農業地域に導入可能な農作業用自律ロボットの移動機構の開発を目的とした。多様性のある農場に適応するために移動機構に車輪型を採用し、各車輪には独立ステアリング機構を組み合わせることを考えた。具体的には 2 輪独立ステアリングロボットの実験機を製作する。また、走行実験を行うことで農場での旋回性能、走破性能を検証し、理論作業量<sup>(5)</sup>を用いて評価する。本稿では、その実験機の製作と今後の課題について述べる。

#### 2. 提案するロボット

##### 2.1 コンセプト

開発する自律駆動ロボットのコンセプトを次に示す。

- (1) 細い畝間を走行
- (2) 畝間に沿った旋回走行
- (3) 作物、除草剤などの荷物の運搬
- (4) 農場の監視、モニタリング
- (5) 作業の補助および自動化

開発する自律駆動ロボットのモデルを図 1 に示す。

自律駆動ロボットは前輪と後輪の 2 輪が駆動用であり、機体を安定させるために機体中央部にキャスターを取り付けている。各ホイールには独立ステアリング機構を取り付けている。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。

##### 2.2 走行方法

自律駆動ロボットの走行経路を図 2 に示す。農場では畝を形成する際に同時に畝間が形成される。その畝間を利用し、自律駆動ロボットが畝間に沿うように移動を行う。農場の端に到達したのち、ステアリング機構により車輪に舵角を付け、隣の畝間へ旋回移動を行う。その後、畝間に進入する。この動作を繰り返すことで農場の全範囲を移動することが可能

になる。

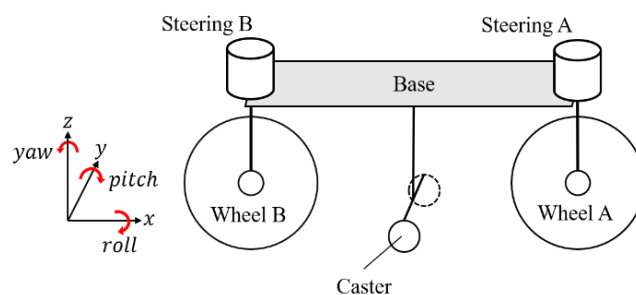


Fig. 1 Model of robot

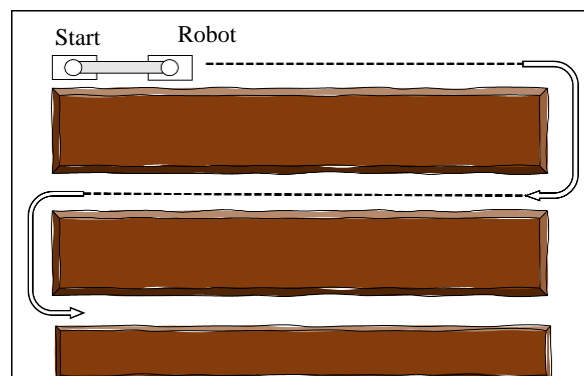


Fig. 2 Path of robot

##### 2.3 機体の設計・製作

製作した農作業用 2 輪独立ステアリング自律駆動ロボットの実験機を図 3 に示す。独立ステアリング機構を図 4 に示す。ロボットの諸元を表 1 に示す。

実験機は畝間を走行することを重要視している。調査を行った農場の畝間の最小値は 200 mm であり、このような幅の細い畝間を直進走行するために駆動用の車輪は畝間に沿うように縦に配置している。また、細い畝間を旋回移動するためにステアリング機構を前輪と後輪に取り付け、機体の旋回半径を自由に制御可能にすることで、農場の形状に左右されず、畝間に沿った旋回移動を可能にする。畝間に沿った直進走行や旋回移動が可能になれば、農業従事者が作業する同じ経路を移動できることから、農業従事者の運搬補助などが可能になり、農業従事者の負担を減らすことができる。また、畝間に沿った旋回移動は旋回しながら移動も可能となるため、作業時間の短縮に繋がるのが考えられる。

実験機の重量は 42.7 kg、大きさは 1200 mm(L) × 200 mm(W) × 630 mm(H)、車輪直径は 300 mm である。自律駆動ロボッ

トは前輪と後輪に配置したギヤヘッド付き DC モータでタイミングベルトを介してホイールを駆動させる。伝達比は 1:1 で、モータの回転速度が車輪の回転速度となり、モータによる機体の最高速度は 2.8m/s である。また、前輪と後輪の独立ステアリング機構は車輪に舵角を付けるためのトルクをバネばかりにて計測し、モータの選定を行った。その結果、独立ステアリング機構はギヤヘッド付き DC モータで駆動させ、モジュール 1 のギヤを介してトルクを伝達している。伝達比は 2:1 にしており、高トルクを出力する。

独立ステアリング機構はギヤの下部に円錐ころ軸受けを 2 個で挟むように固定している。円錐ころ軸受けはラジアル荷重とアキシャル荷重の両方を受け持つことが可能な軸受けである。駆動用モータは円錐ころ軸受けに対して、ラジアル荷重を加える。また、自重や積載物は円錐ころ軸受けに対してアキシャル荷重を加えることになる。これらを解決するために円錐ころ軸受けを採用しており、滑らかなステアリングを実現できている。

電源には 12V の鉛蓄電池を 2 個直列に接続し、24V を供給している。

機体には、アルミフレームを採用し、アルミ材 A7075 のアルミ板を使用しモータマウントやステアリング機構を設計・製作した。また、3D プリンタ、CNC を用いて部品の製作を行った。車輪のシャフト、ハブの材料は S45C で卓上旋盤・卓上フライス盤を用いて加工を行った。

車輪の舵角と回転速度はマイコン PSoC5LP Prototyping Kit を用いて、4 個のモータドライバの ESCON50/5 に信号を送り、ステアリング機構用モータの舵角と駆動用モータの回転速度を制御する。

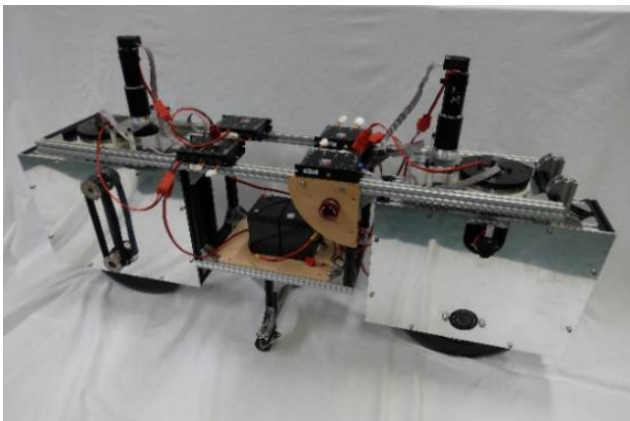


Fig. 3 View of Robot

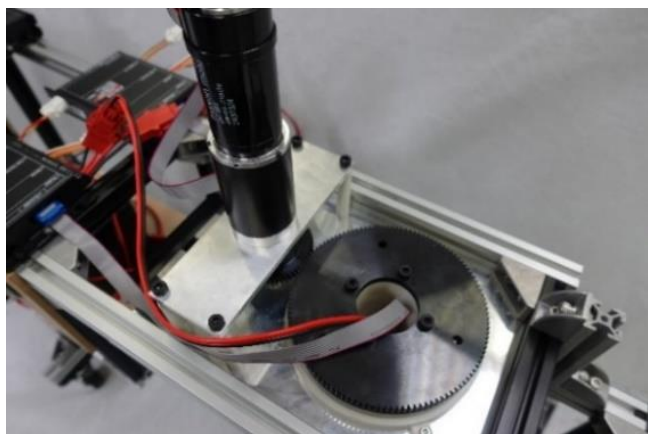


Fig. 4 Steering mechanism

Table. 1 Specifications

Weight	42.7 kg
Max speed	2.8 m/s
Size	L1200×W200×H630 mm
Wheel size	300 mm
DC Motor (Drive)	Maxon RE40 24V
Gear head (Drive)	43:1
DC Motor (Steer)	Maxon RE35 24V
Gear head (Steer)	156:1
Battery	12V5Ah ×2
Control board	PSoC5LP
Motor Driver	Maxon ESCON50/5
Material	Aluminum,ABS,S45C, SUS304

## 2.4 理論作業量

農業車両の大域的な作業性能を評価する指標として理論作業量<sup>(5)</sup>があり、

$$C_t = w_m V_m \quad (1)$$

と定義される。パラメータは  $w_m$ : 作業幅、 $V_m$ : 直進速度と定義され、単位時間あたりの作業面積を表す。しかし、理論作業量には巡回移動は考慮されないため、ここでは酒井<sup>(6)</sup>が提案する拡張理論作業量を用いて作業性能を評価する。

拡張理論作業量は、

$$C_{et} = \frac{\rho_e N_e B_e L_e}{T_c} \quad (2)$$

と定義される。 $\rho_e$ : 植物密度、 $N_e$ : 畝の個数、 $B_e$ : 畝の幅、 $L_e$ : 畝の長さ、 $T_c$ : 全作業時間と定義され、単位時間あたりの作業回数を表す。この拡張理論作業量を用いて、実際の単位時間あたりの平均作業回数との比や差を用いて作業効率を評価する。

## 3. 結言

本研究では、独立ステアリング機構を採用した自律駆動ロボットを提案し、その実験機を製作した。今後は、製作した実験機を用いて、実際の農場での走行実験を行い、走行能力を実験的に評価し、本ロボットの有効性を検証する。また、自律走行のためのセンサによる畝間の検出法を導き出し、それに対する経路生成、軌道計画、制御則を検討する。

## 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 2021 年 1 月 24 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](https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/maff_irex.html) (参照日 2021 年 1 月 24 日)
- (3) 近藤直, “農業ロボットの技術動向” 計測と制御 第 37 巻 第 2 号 1998 年 2 月号
- (4) 宮原 佳彦, “農業ロボット技術の研究開発動向” 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン/10 巻 (2016-2017) 3 号
- (5) 酒井 悟, “移動機能を有する農業ロボットのための理論作業量の拡張” 農業機械学会誌 70 巻 (2008) 6 号