

不整地狭路のための独立操舵型移動機構

Vehicle with Independent Steering Mechanism for Rough and Narrow Lane

○岡 宏一（高知工科大学） 谷口 雄司（高知工科大学）
北村 晋助（高知工科大学） 島田 真志（高知工科大学）

Koichi OKA, Kochi University of Technology, Miyanokuchi 185, Tosayamada-cho, Kochi

Yuji TANIGUCHI, Kochi University of Technology

Shinsuke KITAMURA, Kochi University of Technology

Masashi SHIMADA, Kochi University of Technology

This paper describes a new type of a vehicle mechanism using in greenhouse. The feature of this vehicle mechanism is mechanism of front and rear steering and driving wheels. Both front wheels and rear wheels can be steered independently to the direction of the vehicle frame. And normal tires and steering system are used for front wheels and rotary crawler system is used for rear driving mechanism. This mechanism is useful for the passage in greenhouses where is very narrow and bad to move. Independent steering system is useful for turning in a narrow corner, and crawler is effective for moving on rough ground. In this paper, mechanism of the proposed vehicle is introduced, strategy of turning is proposed, and comparison with other type vehicle is shown.

Key Words: Independent Steering System, Greenhouse, Semi-crawler Vehicle

ハウス園庭において、果実を収穫するには多大な労働力が必要となるが、高齢化や農業従事者の減少により労働力が不足している。その解消のためにハウス園芸作業の自動化が必要であり、現在温度調整や果実の自動収穫などの自動化の研究が進められている。しかし図 A1 に示すようにハウス内は狭く未舗装であるためロボットが効率よく活動することが困難である。本研究では、ハウス内における自動収穫ロボットが効率よく活動できるための車両の開発について述べる。

ハウス内の畝と畝の間は非常に狭く段差も大きい。そのため畝を傷つけずに車両を旋回させるためのスペースを確保することは困難である。この問題を解決するために、操舵輪である前輪には通常のタイヤを使い、駆動輪である後輪にはクローラを使う車両を提案する。これらの前後輪は、独立に操舵できる機構としている。旋回時には前輪は通常の車両と同じ動きをするが、後輪は畝の外に出るまで直進の動きをし、車体が 90 度回転すると接地旋回を行いクローラ部を 90 度回転させ狭いスペースで車両を旋回させる。車両の旋回の様子を図 A2 に示す。

提案する試作車両の写真を図 A3 に示す。車両の幅は、ハウス内の畝間を走行できるように 40cm としている。前輪の前には磁気センサーを配置し、ハウス内の地面に敷設した磁気レールに案内されて前輪は操舵される。後輪のクローラ方向は、直進部では車体の向き方向を向くように制御され、旋回部では前輪の角度情報に基づいて進行方向を決定する。

この車両の走行性能を調べるために、通常の車両、クローラ車両、提案した車両の三つについて、シミュレーションによる旋回半径を調べた。シミュレーション結果より、提案した車両を用いた場合には旋回半径が小さくてよいことが確認された。このことから構想している車両で十分な走行が期待できると考えられる。現在予想される収穫ロボットの大きさや重量を考えて、サスペンションの構成などを考えている。

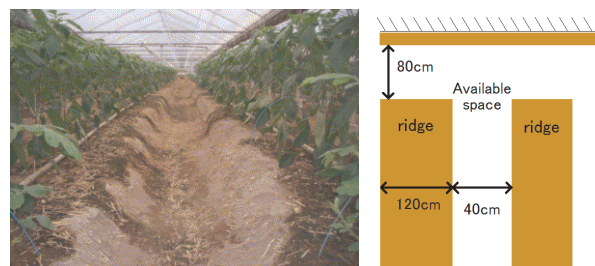


Fig.A1 Passage and ridge in greenhouse

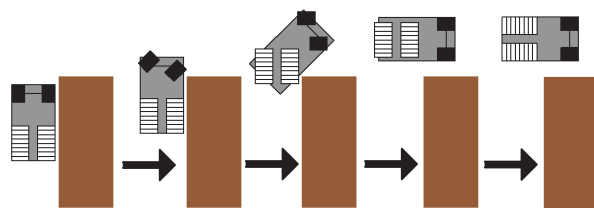


Fig.A2 Strategy of tuning corner

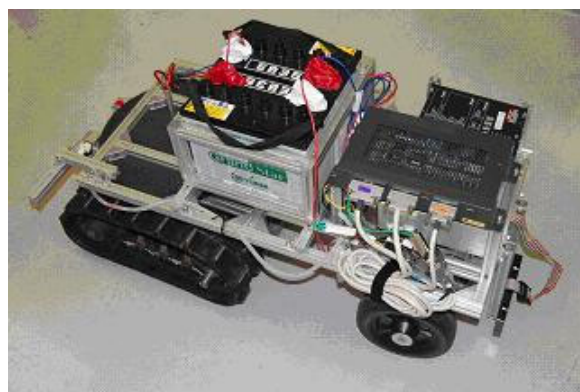


Fig.A3 Photograph of prototype vehicle

1. はじめに

ハウス園芸において、果実を収穫するには多大な労働力が必要となるが、高齢化や農業従事者の減少により労働力が不足している。その解消のために温度調整や水やりなどのハウス園芸の自動化が行われている。しかし労働を必要とするのは、それだけにとどまらず、ナスなどの果実の自動収穫などの研究が進められている⁽¹⁾⁽²⁾。

本研究もハウス園芸野菜の自動収穫ロボットの開発を目的とした研究であり、その中でも既存のハウス内を走行する機構を対象としたものである。なお、研究対象の収穫ロボットは、ピーマンの収穫を行うロボットである⁽³⁾。ロボットの開発のためには実際の認識や摘み取りの技術も必要であるが、ビニールハウス内で移動するための機構も同様に重要である。通常ビニールハウス内の通路は、その生産効率をあげるため、狭く、畝の間にあるため悪路である。現在、収穫ロボットの開発のために、ハウス自体をロボットが働きやすいような環境に変更したものが多く提案されている。しかし、高知などのように農業従事者に高齢者が多く、後継ぎの問題などをかかえている場合には、ハウス全体を改造してロボットに適した環境に変更することは、困難なことが多い。本研究は、既存のハウスを変更せずに、狭路、悪路を効率よく移動するための機構の開発を目的とする。

以下では、ピーマンの収穫のためのロボット概略とビニールハウス内の様子を説明し、提案する機構について紹介する。今回の発表では、機構の有効性を確認するために試作した車両を紹介し、その動作を数値シミュレーションによって、他の駆動機構と比較し、提案した車両の有効性を確認したのでその結果について報告する。

2. ビニールハウス内ピーマン収穫ロボット

本研究の目指すところは、ピーマンを対象に、適期を判定し収穫を行うロボットの開発である。実際のビニールハウス内のピーマンの様子は図1のようである。収穫は、図2の左図のようにピーマンを切り取り、右図のようなコンテナに入れて運ぶ。図からわかるように畝と畝との間の通路は狭く、かつ悪路である。

このようなピーマンの収穫作業を自動化するためには、図3のような機能を持つロボットを開発することが必要であると考えた。収穫ロボットは画像認識により収穫に適したピーマンを認識し、はさみによってピーマンを摘み取る。摘み取られたピーマンはロボットに搭載されているコンテナに入れられる。摘み取りおよび荷送りのために、このロボットはハウス内を自由に移動可能である必要がある。このために今回は以下のような機構の提案を行う。



Fig. 1: Photograph of passage and ridge in Greenhouse

3. 自動収穫ロボット移動機構

3.1 移動機構の提案とモデル

ハウス内は、収穫効率を上げるために、畝と畝の間の通路は非常に狭い。また、畝の終端とハウスの内壁との間も



Fig. 2: Harvesting job for Sweet pepper

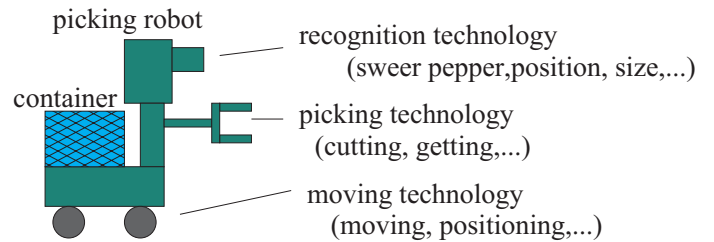


Fig. 3: Functions required for automatic harvesting robot

狭い。通路の見取り図を図4に示す。図に示すように畝の間の通路の幅は約50cm、ハウス内と内壁部の通路幅は80cm程度しかないことがわかる。また先の図1でみたように、路面の状況は非常に悪い。

このような場所を移動する装置として必要なこととして、土の地面でも確実に進めること、狭いハウス内の畝間でも畝を傷つけずに回転できるように小回りがきくこと、そして、自律型のロボットとして簡単な操作で方向転換できることがある。これらのことを満足する移動機構として、操舵輪である前輪には通常のタイヤを、駆動輪である後輪にはクローラを用いるセミクローラ車両を提案する。ただし通常のセミクローラ車両と違い、後輪であるクローラは車両と図5に示すように、車両とヨー方向に回転できるベアリングを介して駆動力を伝達できる機構を持ち、クローラの回転が自由にできる機構となっている。

提案した方式に従って試作した車両の写真を図6に示す。前輪は通常の車と同じくタイヤの切れ角で旋回できる。前輪は駆動力を発生しない。右側が後輪となるクローラ部で、操舵可能である。推進駆動力はクローラ部によって与えられ、左右のクローラは独立に制御することが可能である。

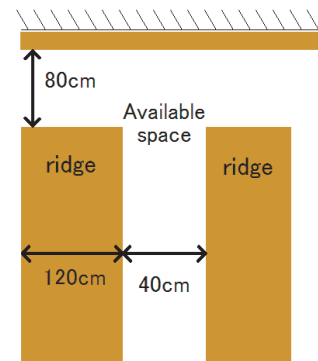


Fig. 4: Movable area in greenhouse

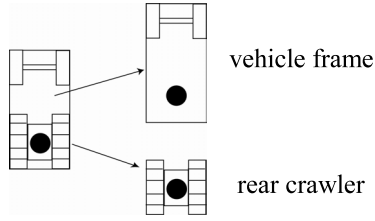


Fig. 5: Connection of frame and rear wheel

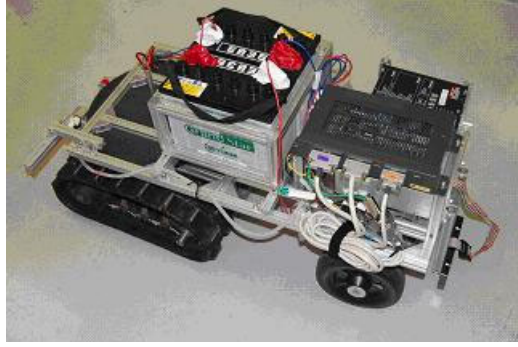


Fig. 6: Photograph of prototype vehicle

3.2 車両回転のための方策

提案した車両を用いてハウス内で旋回するときの方策を図7に示す．図では時間の経過とともに左から右に車両が移動する様子を示している．まずロボットが畝の端まで来たとき、前輪を切り車両の先頭を回転させる．このとき後輪のクローラは、畝の外に出るまで直進の動きをさせる．車両が進んで図の右から2番目になったとき、後輪のクローラ部は左右のクローラの動きを逆転させ、接地旋回を行う．最終的に右端の図のように90度の回転を行うことが可能である．この回転は前輪、後輪ともに車輪である場合より旋回性能にすぐれ、クローラだけの駆動機構より回転制御が簡便に行うことができると予想される．

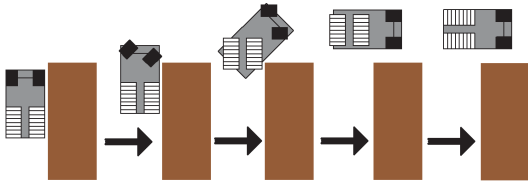


Fig. 7: Strategy of turning at narrow corner in greenhouse

4. 回転性能に関する検討

4.1 軌道のモデル化

回転性能を評価するために、提案した車両の軌道を考えるために、図8のようなモデルを考えた．方向旋回の初期状態の、車両の進行方向を y 軸とし、それに垂直に x 軸をとった．原点は旋回動作が始まる点とした．今回のモデルでは、車両に鉛直上下方向の変位はないものと考えた．また、モデルは前輪、後輪の中央に、各一輪がある二輪モデルとして考えた．用いる記号の説明は以下の通りである、 y_r : 後輪の y 座標、 θ_r : 車両の y 軸からの傾き（車両と後輪のなす角）、 θ_f : 前輪の操舵角（車両と前輪のなす角）、 x_f : 前輪の x 座標、 y_f : 前輪の y 座標、 L : 前後輪の間の距離 (0.56[m])．また、後輪は常に y 軸方向を向いており、車輪はその向きの方角にのみ進み横滑りはないものと仮定し

た．この車両システムの入力は、前輪の操舵角 θ_f と、後輪の速度またはその増分 δy_r であり、出力は後輪位置 y_r と後輪と車体の角 θ_r である．

まず、車両の長さ L を考慮すると、次の関係式が成り立つ．

$$x_f^2 + (y_f - y_r)^2 = L^2 \quad (1)$$

今、 y_r が $y_r + \delta y_r$ に変化した（車両が進んだ）とすると

$$(x_f + \delta x_f)^2 + (y_f + \delta y_f - y_r - \delta y_r)^2 = L^2 \quad (2)$$

となる．ただし、 y_r, x_f, y_f と、 $\delta x_f, \delta y_f$ の間には、

$$\frac{x_f}{y_f - y_r} = \tan(\theta_r) \quad (3)$$

$$\frac{\delta x_f}{\delta y_f} = \tan(\theta_f + \theta_r) \quad (4)$$

の関係がある．また θ_r に関して

$$\delta \theta_r = \frac{\sqrt{\delta x_f^2 + (\delta y_f - \delta y_r)^2}}{L} \quad (5)$$

となる．

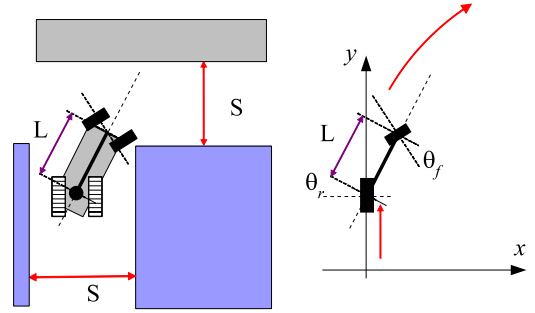


Fig. 8: Model for proposed vehicle system

4.2 シミュレーション

前輪の操舵角を30度、45度、60度に設定した場合の車両の動きのシミュレーションを行った．結果を図9から11に示す．図中赤で示したものが後輪の軌跡、緑が前輪の軌跡、青が回転中心の軌跡である．図からわかるようにステアリングを大きく切ることによって、小さく旋回できることがわかる．

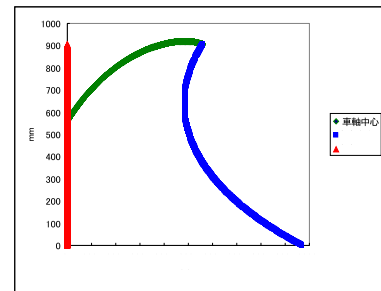


Fig. 9: Trace of wheel when steering angle = 30 degrees

4.3 他の方法との比較

ここでは、旋回半径という観点から、提案した車両の性能を、通常の前輪操舵の車両、および無限軌道形の車両と比較した．通常の前輪操舵の車両は図12のように、畝の真ん中から出発し、後輪、前輪が畝に当たらないような畝の幅 S を求めた．クローラ車両の場合は、畝の外に出て定置旋回を行うと仮定し、図13のようなモデルに基づいて考察した．

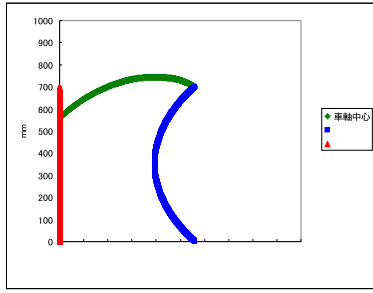


Fig. 10: Trace of wheel when steering angle = 45 degrees

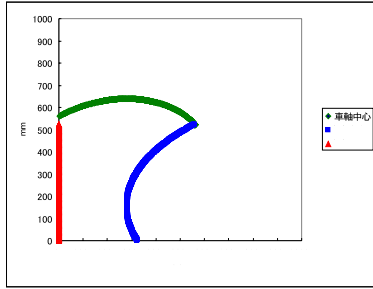


Fig. 11: Trace of wheel when steering angle = 60 degrees

比較は、実際の車両の長さ $L=560\text{mm}$ と幅 $W=440\text{mm}$ を用いて比較した。結果を表 1 に示す。無限軌道形の車両は、前輪の操舵角という概念がないため一つの値で示してある。前輪の操舵角が大きくなるに従って、畝間に必要な最小の幅が小さくなることがわかる。表より操舵角を 45 度以上にしたにも駆動が可能なら、本提案の方法が最も畝間が狭くても旋回できることが示された。

しかし、今回の計算は、タイヤの軌跡だけの計算であり車両の幅を考慮していない。そのため、旋回の途中で車両本体が畝に衝突する可能性がある。また、旋回時の操舵の制御についても考察が必要である。今回のシミュレーションでは操舵角が大きいほど小さな旋回が可能である結果が得られたが、大きな操舵角のビニールハウス内の悪路における実現性の検討も必要である。

5. おわりに

ハウス内の果実を自動的に収穫するロボットを開発するための、一つの要素として、ハウス内をロボットが移動するための機構を提案し、その試作車両の紹介を行った。提案した機構は、前輪が通常のタイヤ形ホイールであり、後輪がクローラになっているセミクローラビークルタイプのものである。しかしこのタイプの車両は、後輪が車体とベアリングで連結された構造になっており車体に対して操舵できることが異なっている。

提案した移動機構の有効性を確認するために、数値的に性能を検証した。その結果、通常の 4 輪型車両や、クローラ型車両に比べて、優位性が確認できた。

この後は、ビニールハウス内での走行実験を行い、基礎的なデータを得た上で、操舵角の制御に関して検討を行っていく予定である。

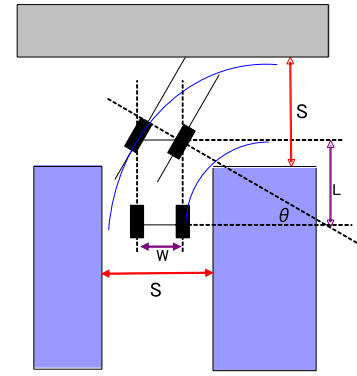


Fig. 12: Model of front steering vehicle

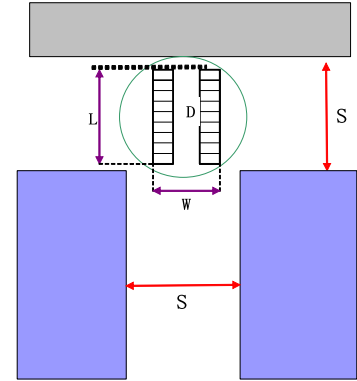


Fig. 13: Model of tracked vehicle

参考文献

- (1) 林，雁野，黒崎，ナス収穫ロボット，<http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2002/vegetea/ve020.html>, 2002
- (2) 有馬，湯木，山下，加藤，丸身，イチゴ収穫ロボットの開発研究，日本機械学会講演論文集 1P1-2F-A5 (2003)
- (3) S.Kitamura, K.Oka, Recognition and Cutting System of Sweet Pepper for Picking Robot in Greenhouse Horticulture, Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation 1807-1812 (2005)

Table 1: Results of necessary width for turning

steering angle (degrees)	30	45	60
front wheel steering	815 mm	707 mm	638 mm
proposed	798 mm	624 mm	512 mm
tracked vehicle	712 mm	712 mm	712mm