

自動走行式パワーウィーダの開発に関する研究

作動条件と舵取り性能について

山本義明*・小松 實*

平成3年5月31日受付

Development on the Automatic Traveling Type Power-Weeder

On the Working Conditions and the Steering Performances

Yoshiaki YAMAMOTO* and Minoru KOMATSU*

The purpose of this report is to develop a system of automatic traveling function of power-weeder.

In this report, the power-weeder is traveled in curves using rudders for steering, and an analysis of relationships among relative factors is made. The tendency of its traveling locus is also recorded and is seen by a camera which is set up above soil, using rudders and electric magnetic clutches, in order to check if it is always traveling appropriately along the line of cropping.

As a result of increasing the added weight of the rudders' part a little in the system of automatic traveling, its better functions were got.

On the other hand, however, it is necessary to work out countermeasures for decreasing the traveling speed of the power-weeder, for D. C. motor makes time-lag to start motion for steering.

結 言

除草作業においては、そのほとんどが薬剤を用いるものとなっている。薬剤を用いることにより、作業の労力が大幅に軽減できることが、その最も大きな理由である。しかし、除草剤に対する雑草の抵抗力の増大、水稻を含めた動植物への薬害などを心配する声が上がっており、特に無農薬栽培が注目されるようになった。このような状況の中で、パワーウィーダが見直されつつあるがその

労働強度は大きく、自動化した機械の開発が必要である。開発にあたっての課題として、パワーウィーダが作物株列に対して常に適正な位置で稼動することが必要である。本研究では、自動走行における作動条件としての舵板の形状、操舵角、載荷重配分について検討した。

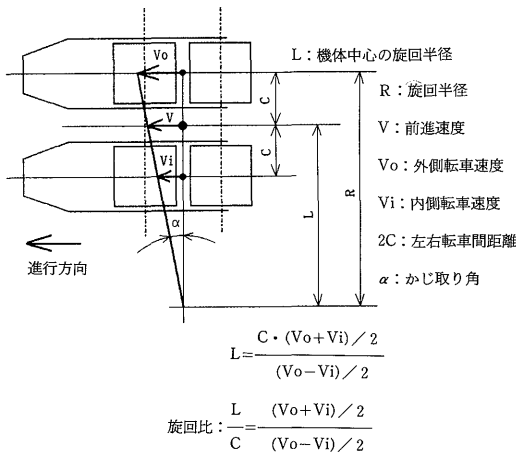
自動化システムの概要

1 操舵機構

第1図は舵取りの理論を示したものであり、Lは機体

* 鳥取大学農学部農林総合学科生産環境工学講座

* Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University



第1図 舵取りの理論

中心の旋回半径, R は旋回半径, V は前進速度, V_o は外側転車前進速度, V_i は内側転車前進速度, $2C$ は左右転車間距離及び α は舵取り角である。このとき同図に示す諸式が成り立つ。操舵機構を考える上で V_o と V_i に速度差を与えるような機構を考えればよいのである。また株列への追従を考えると, C を大きく取ることによって V_o , V_i の差が大きくなり旋回可能な最小半径を小さくすることができるが, 過大に取ると除草効率さが下がることから, C の決定は自動走行機能を開発する上で重要な因子と言える。

2 自動化システムの構成

1) 試作自動走行式パワーウィーダ

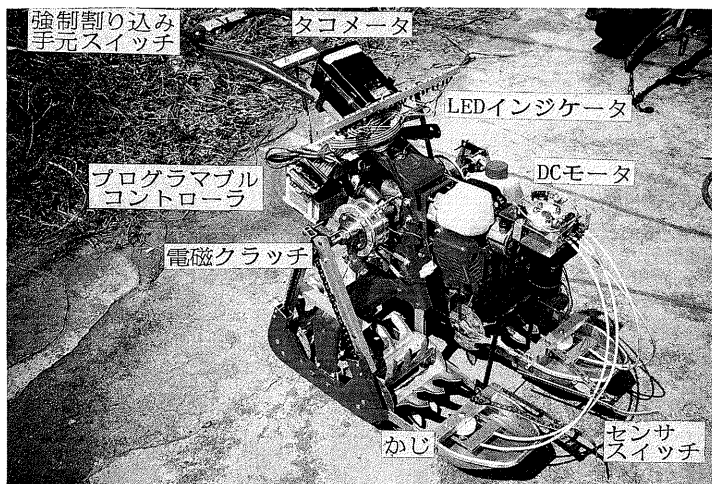
第2図に示す試作自動走行式パワーウィーダは, T社で開発されたパワーウィーダ(機体寸法: 全長97cm, 幅49cm, 高さ75cm, 総質量22.2kg, 定格出力0.8PS/6000rpm, 空冷2サイクルガソリンエンジン, チェーン駆動)に, 接触方式の位置検出センサ(マイクロスイッチ), プログラマブルコントローラ(制御方式: ストラードプログラム方式, 処理時間: $10\mu\text{s}$ (RAM), $13\mu\text{s}$ (ROM), プログラム容量: 1194ステップ), DCモータにより作動する舵, 電磁クラッチ, マニュアル操作の強制割り込みスイッチ, メインルーチン選択スイッチなどの走行制御機器を装備したものである。

2) 自動化システムの構成

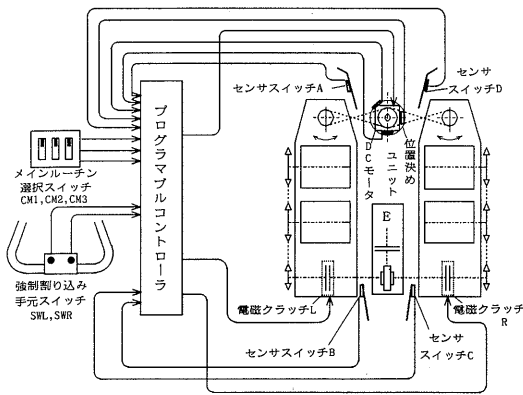
第3図は開発した自動化システム¹⁾の概要を示したもので, 株列をはさんだ四つのセンサスイッチ, モータの位置決めユニット, メインルーチン選択スイッチ, 強制割り込み手元スイッチからの情報などがプログラマブルコントローラに入力され機体位置の判断処理後その結果をDCモータ, 電磁クラッチに出力する方式のフィードバック制御を行う。また, DCモータと舵はワイヤによって連動されており, エンジンからの動力は, 遠心クラッチを経てウォームギアで左右に分配され, 更に電磁クラッチを経て, チェーンにより前・後転車輪に分配される。

3 プログラムの概要

第4図は, 制御用プログラムのブロック図で, プログラマブルコントローラの入力部に入ってくるモータによる舵板の位置決めユニット(SW1, SW2, SW3), 強制



第2図 供試パワーウィーダ



第3図 自動化システムの概要

割り込み手元スイッチ (SWL, SWR), メインルーチン選択スイッチ (CM1, CM2, CM3), センサスイッチ (SWA, SWB, SWC, SWD) などからの情報は、まずデコーダにより二進数から十進数に変換される。

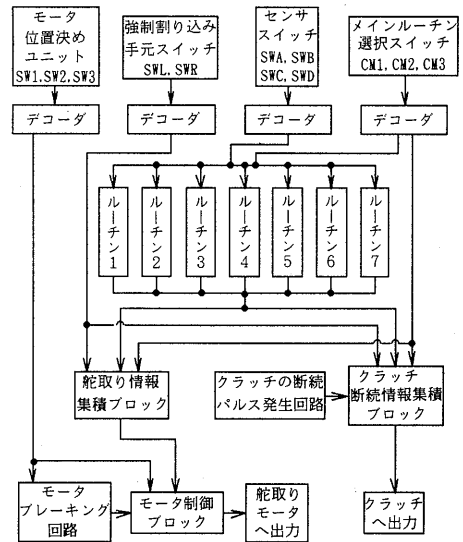
またメインルーチン選択スイッチにより、ルーチン1~7までのある一つの判断処理ルーチンを選択し、選択されたルーチンはセンサスイッチからの情報を処理して、舵取り情報集積ブロックまたはクラッチ断続の情報集積ブロックに情報を出す。また、強制割り込み手元スイッチはメインルーチンからの命令を無視し強制的にマニュアルで操作させるもので、このスイッチからの情報は直接両方の情報集積ブロックに送られる。モータによる舵板の位置決めユニット、モータブレーキング回路、舵取り情報集積ブロックからの情報により、モータ制御ブロックのモータの動作を決定する。クラッチの断続パルス発生回路には、断続パルスを発生させるためのタイマがあり、この設定値によりクラッチのON, OFFの時間間隔を変えることができる。この回路とクラッチ断続の情報集積ブロックの命令により、クラッチの動作を決定している。第5図に一例として電磁クラッチのみを用いた自動走行制御プログラムのフローチャートを示した。

作動実験・解析

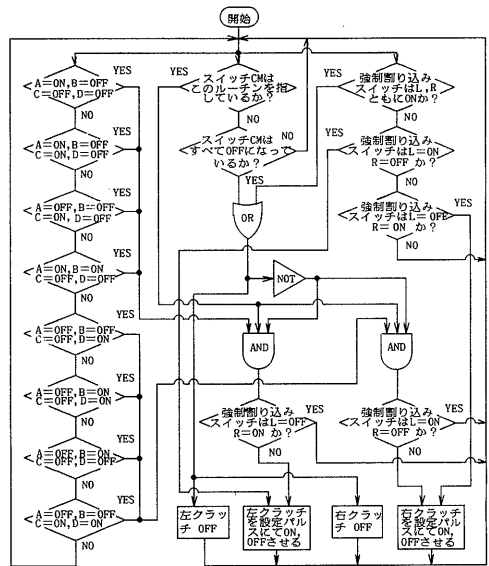
1 曲線走行

1) 走行実験

膨軟化させたシルト質ローム土壌 (粘土分15.0%, 塑性指数9.2, 塑性限界35.8%, 液性限界45.0%) からなる幅90cm, 長さ8mの土槽を用い, 載荷質量, 荷重配分, 土の表面硬度, 舵形状, 操舵角などを変化させ, 曲線走



第4図 制御用プログラムのブロック図



第5図 自動走行のフローチャートの一例

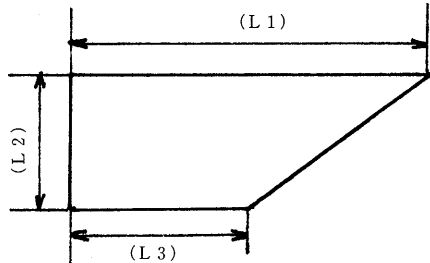
行の変位程度を測定した。

曲線走行実験を行うにあたり, 作動条件のうち舵板形状の検討のために10種類の舵板を供試した。舵板の設計にあたっては, 試作自動走行式パワーウィーダに横プレ防止板として装着されていた舵形状A (第1表) を基本

第1表 供試舵の形状寸法

(mm)

形状	A	B	D	E	F	G	I	J	K	M
L 1	90.0	45.0	180.0	127.3	180.0	90.0	63.6	45.0	22.5	90.0
L 2	35.0	70.0	17.5	49.5	35.0	70.0	24.7	35.0	70.0	17.5
L 3	45.0	22.5	90.0	63.6	90.0	45.0	31.8	22.5	11.3	45.0



形状とし、それに対して面積比が0.5と2，縦横比0.5，1及び2のものを設計した。第1表にはそれぞれの舵板の主要形状寸法を示した。

2) 作動要因の次元解析

パワーウィーダの舵取りにおける関連因子の解析を目的とし、いくつかの因子の中から主要な因子を選び、その関係を実験データに基づいて解析したものである。これは、旋回半径に影響を及ぼす主因子と各関連因子との間にどのような関係があるかをみるためのものである。次元解析の主変量に旋回半径を選び、その他の関係変量による次元式を決定した。

第2表に次元解析に用いたパラメータを示した。II定理により無次元化処理をし、無次元項を第3表のように決定した。II₁項は旋回半径をふくむ目的項となる。II₂

第2表 次元解析に用いたパラメータ

パラメータ	符号	次元
旋回半径	R	L
前転車周速度	Vf	LT ⁻¹
作業速度	Vs	LT ⁻¹
円錐貫入抵抗	Hs	FL ⁻²
湿潤密度	γ	FL ⁻³
舵部載荷重	Fr	F
重心部載荷重	Fg	F
舵の長さ(L1)	Lw	L
舵の高さ(L2)	Ld	L

項は土の硬さを示す円錐貫入抵抗の項，II₃項は舵部載荷重の項，II₄項は重心部載荷重の項，II₅項は前転車周速度の項，II₆項は舵板の高さ(L2)の項である。

目的項II₁は各II項との間に次のような関数式で表されるものとする。

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6) \dots\dots\dots(1)$$

以下、各II項間の関係を考察した。その結果、操舵角ごとに以下のような関係式が得られた。操舵角20°のとき

$$\Pi_1 = 84.152\Pi_2^{0.992}\Pi_3^{0.302}\Pi_4^{0.331}\Pi_5^{0.434}\Pi_6^{0.405} \dots\dots\dots(2)$$

操舵角30°のとき

$$\Pi_1 = 48.483\Pi_2^{0.839}\Pi_3^{0.249}\Pi_4^{0.285}\Pi_5^{0.046}\Pi_6^{0.216} \dots\dots\dots(3)$$

操舵角40°のとき

$$\Pi_1 = 21.147\Pi_2^{1.287}\Pi_3^{0.386}\Pi_4^{0.435}\Pi_5^{-1.355}\Pi_6^{0.441} \dots\dots\dots(4)$$

これらの式から、II₁項と各II項の式を旋回半径Rについて整理すると、以下のような関係式になる。本研究で用いた変量による場合の予測式となり得る。

操舵角20°のとき

$$R = 84.152Hs^{0.992}\gamma^{-1.625}Fr^{0.302}Fg^{0.331}Vf^{0.434}Vs^{-0.434}Ld^{0.405}Lw^{-2.296} \dots\dots\dots(5)$$

操舵角30°のとき

$$R = 48.483Hs^{0.839}\gamma^{-1.373}Fr^{0.249}Fg^{0.285}Vf^{0.046}Vs^{-0.046}Ld^{0.216}Lw^{-1.657} \dots\dots\dots(6)$$

操舵角40°のとき

$$R = 21.147Hs^{1.287}\gamma^{-2.106}Fr^{0.386}Fg^{0.435}Vf^{-1.355}Vs^{1.355}Ld^{0.441}Lw^{-2.750} \dots\dots\dots(7)$$

各II項の関係式を操舵角別にみると、操舵角20°，操舵角30°，操舵角40°共にII₁項はII₂項に深く関係していることが

第3表 II項

II ₁ = R/Lw	II ₄ = Fg / (Lw ³ · γ)
II ₂ = Hs / (Lw · γ)	II ₅ = Vf / Vs
II ₃ = Fr / (Lw ³ · γ)	II ₆ = Ld / Lw

る。

前出の曲線走行実験で使用した土槽に、直径40mmの紙で作った円筒形の模擬株列を第8図に示すパターン1～4までの角度変化をもたせて配置し、それに沿って自走させた。土槽上方に設置したカメラによって走行軌跡を記録し、走行状態をみた。

なお、曲線走行実験の結果から、自動走行に最適な作動条件として舵形状B、操舵角 30° 、舵部載荷重1kg設定のものを選択し、操舵側電磁クラッチの断続間隔設定は、0.1sとした。第9図にLEDインジケータによる走行軌跡線図、その走行軌跡写真を第10図に示した。

結果と考察

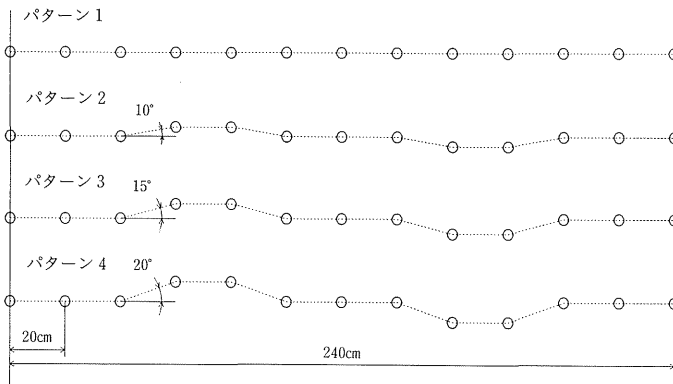
1 曲線走行実験

曲線走行実験においては、舵部への荷重が操舵変位量を大きくさせる傾向にある。特に舵部載荷重2kgの設定

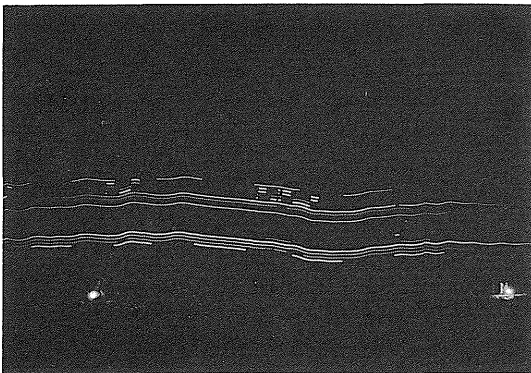
においては、いずれの条件でも変位量が最大になった。載荷重0kgの場合には、舵板への土の抵抗によって機体前部が浮き上がる場合があった。この状態では舵板の土への接触面積が減少し舵取機能を失うことになる。載荷重は、舵部の浮き上がりを抑制し舵取機能を増大させる効果があるものと思われる。しかし、載荷重が過大になれば舵板の抵抗が増し、場合によっては走行不能になることもあった。

操舵角 20° ではいずれの条件においても、操舵による横変位量が最小となった。それに対して操舵角 40° では、変位量が最大になるものと、前述のように走行不能になるものがあった。操舵角 30° においては変位量が安定して得られ、走行不能になることはなかった(第11図)。

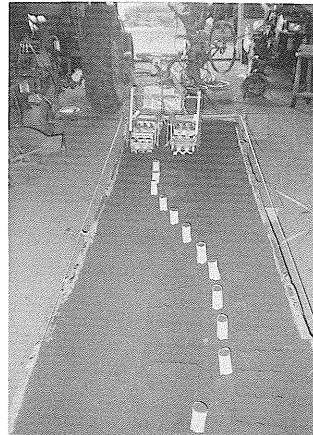
舵形状においては、舵形状G、E、Bのように土への貫入深さが大きいものほど横変位が大きくなる傾向になるが、舵形状G、Eのように舵板面積が大きく、かつ土



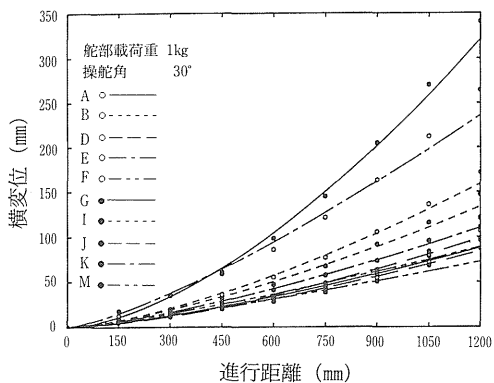
第8図 走行設定パターン



第9図 LEDインジケータによる走行軌跡線図の一例



第10図 走行軌跡の一例



第11図 舵による走行曲線の一例

への貫入深さが大になると走行不能にある場合もあった。舵形状Fのように舵板面積が大きくても土への貫入深さの小さいものでは、舵形状Aの横変位とあまり変わらない結果を示した。

2) 自動走行実験

自動走行実験においては、舵と電磁操向クラッチの同時制御の場合、いずれのパターンにおいても株に追従できたが、舵または電磁操向クラッチのみの走行制御の場合では、株に追従できないことがあった。しかし、電磁操向クラッチによる走行制御においては、舵の併用は直進安定性を増大させるが、旋回時には舵板が直進状態で固定されるので舵板自体が抵抗となり、そのために旋回

比が大きくなる場合もあった。舵による走行制御においては、舵取り動作にタイムラグがあり、走行速度が大きいつきには作物株列に追従できない場合があった。

摘 要

曲線走行における供試操舵角では、操舵角 30° において最も操向の変位量が大きくなった。

舵形状については、舵板の作用深さと面積が変位量に大きく影響した。作用深さが小さいものでは、たとえ舵板面積が大きくても変位量は大きくならない、荷重配分については、舵走行での舵部への載荷重が有効である。自動走行実験では、自動走行に最適な作動条件として、舵形状B、操舵角 30° 、舵部載荷重1kg設定時を選択した。この条件下での供試土壌では、自動走行が可能であると思われる。パワーウィーダ本来の使用場所である湛水田状態では、土壌の性質が異なるため作動条件の変更が必要であると思われる。今後、舵取動作時のタイムラグ減少の対策が必要である。

終わりに、本研究に協力いただいた当時の専攻学生仲杉博美(現、小松製作所(株))、永富敏彦(現、三菱自動車工業(株))の各氏に謝意を表わす。

文 献

- 1) 小松 實・山岡敏成・山本義明・尾関久志：駆動転車式動力中耕除草機の研究．農業機械学会関西支部報，68 29-34 (1989)