



自脱コンバインの最適制御

鬼頭, 孝治
西村, 功
川村, 恒夫
荒木, 誠市
岡本, 和也

(Citation)

神戸大学農学部研究報告, 16(2):491-497

(Issue Date)

1985-01-31

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00225570>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00225570>



自脱コンバインの最適制御

鬼頭孝治*・西村 功**・川村恒夫**・荒木誠市***・岡本和也**

(昭和59年8月10日受理)

OPTIMUM AUTOMATIC STEERING CONTROL OF HEAD FEEDING TYPE COMBINE

Koji KITO, Isao NISHIMURA, Tsuneo KAWAMURA,
Seiichi ARAKI and Kazuya OKAMOTO

Abstract

This research was investigated for a final object to harvest the paddy rice by an operatorless head feeding type combine. As the first step of this object, the automatic control was done for the operation of turning at the field end and for the improvement of working efficiency at harvesting the paddy rice.

At first, for the automatic control of turning at the field end, an angular rate sensor was adopted to detect the absolute turning angle which was obtained from the numerical integral of the angular rate. The automatic control of turning at the field end was done sequentially by a micro-computer based programmed control system with a feed back of real turning angle. And so the influence occurred from the slip on the traveling device of combine was excepted from the turning angle of combine.

The next, when the combine harvested the paddy rice, the steering angle and time were measured by the angular rate sensor, and the winding data of the row of paddy hill was collected. Then the shortest running path of combine was calculated from these data and the automatic steering control was done along the path for the purpose of the improvement of working efficiency.

In this report, the detecting method of the turning and steering angle with the angular rate sensor and the experiment of data acquisition for the barley in the actual field are described.

I 緒 言

農業機械の自動化は近年急速に発展し、特に、自脱コンバインにおいてその傾向が著しく、数多くの自動化が行われている。これは、自脱コンバインが、刈取り、脱穀、選別等の一連の稲収穫作業をまとめて行うプロセッシングマシンであり、収穫作業時のオペレータ負担の軽減、作業能率及び作業精度の向上を目指した結果である。

本研究は、最終目標を自脱コンバインの作業の無人化とし、その第一段階として、圃場末端部での回行、並び

に刈取作業時の能率向上を目的として自動化を行ったものである。

自脱コンバインの回行の自動化は、制御対象である稲と自脱コンバインとの相対位置を検出し、フィードバック制御を行うことにより可能となるが、現実には回行時に、自脱コンバインが稲から離れるために相対位置の検出は非常に困難となる。本研究では、稲と自脱コンバインとの相対的位置を検出するのではなく、自脱コンバインの旋回角を検出し、マイクロコンピュータによるプログラム制御とで回行シーケンスを行った。旋回角の検出は、既報¹⁾の磁気コンパスを利用した旋回角検出センサが振動及び傾斜による誤差が大であること、及び、周囲の磁界の影響を受けること等の欠点を持つため、より高精度で分解能の高い角速度センサに換えて行った。これにより絶対的な旋回角度が検出でき、実旋回角をフィード

* 自然科学研究科

** 圃場機械学研究室

*** 住商コンピュータサービス

バックして制御を行うことにより走行部でのスリップによる影響を排除した。

最近、田植機による移植が盛んに行われ、植付条数も多条化しており、オペレータの熟練度によるが、一般的に稲列の曲りを伴うことが多い。筆者らは過去に稲列の曲りに関する調査を一部圃場において実施した結果、約40m間に25cm p-pの振幅を持つことが判明した。また地上高8 cmにおける株の直径は標本数700余りの平均で約7 cmであった。本研究では2条刈自脱コンバインを試すが、この刈幅は約77cmであり、稲の条間を30cmとすれば株間は37cmとなり40cmの刈取余裕があると言える。これは目標を適切に選択すれば、稲列の曲りの最大振幅が40 cm以下であれば、全く操舵を必要とすることなく直進走行が可能であり、能率向上に役立つと言える。しかしながら、目標を適切に選択することは不可能に近く、現実的ではない。そこで本研究では2条刈のコンバインと多条植（偶数条）の田植機に注目し、最初の刈取作業で稲の曲り具合のデータを収集し、2回目以降はそのデータを基に最短距離を計算して刈取作業を実施する制御をしようとするものであり、多条植になるほど有効である。但し、横刈走行では稲列が形成されていないため、データの収集は行わない。なおデータは角速度センサによる操舵角とタイマーによる時間計測値で代表する。

本報では角速度センサによる旋回角検出方法及び実際の圃場で大麦によるデータ収集実験を行ったので報告する。

II 角速度センサ及び旋回角演算理論

II-1 角速度センサ

角速度センサは米国 Watson 社製でピエゾエレクトリック効果を持つ結晶体でできた片持ちばりの振動を利用し、測定軸まわりに生じる角速度に比例したアナログ電圧の出力信号を、回転方向の情報と共に発生するセンサである。これは従来のレートジャイロスコープに比較して、小型で正確、かつ振動や衝撃にも強く、その上小電力で作動し、ヒステリシスも無視でき、安価であるという特徴を持っている。しかしながら、唯一の欠点として、若干ゼロ点の温度ドリフトを生じることである。この対策として使用前30分程度のウォームアップタイムを設けることとセンサ自体を断熱材で覆うことで対処した。角速度センサの外観図並びに仕様をFig. 1に示す。

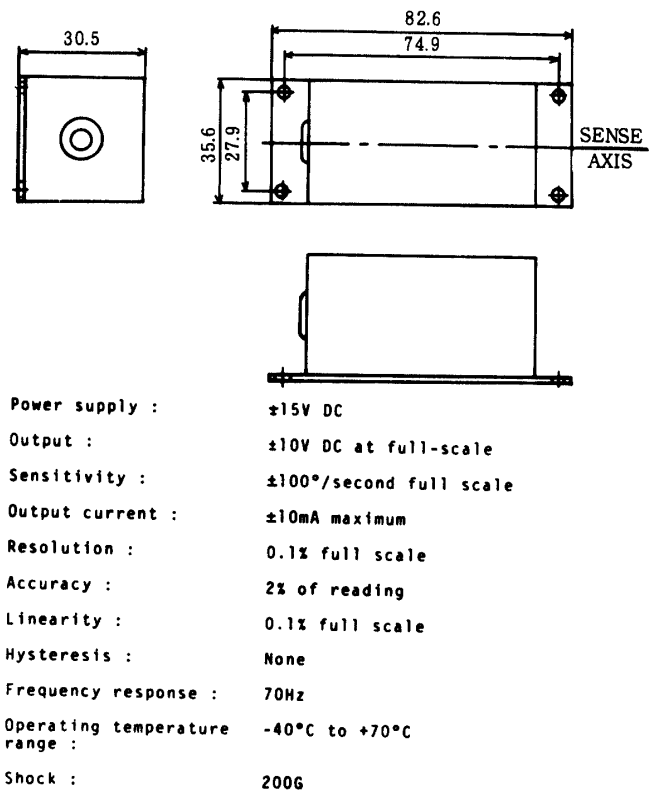


Fig. 1 角速度センサの外観図及び仕様

II-2 旋回角演算理論

旋回角即ち角度は角速度を時間で積分することによって求められる。この理論積分値 I_t は(1)で表される。

$$I_t = \int_{t_0}^{t_n} \omega dt \quad (1)$$

またマイクロコンピュータを用いて積分を行う場合の数値積分値 I_n は(2)式で表される。

$$I_n = \sum_{k=0}^n \omega(k) \cdot \Delta t \quad (2)$$

$$n = \left[\frac{t_n - t_0}{\Delta t} \right]$$

Δt : サンプルング周期

数値積分を行う場合、理論積分に対して生じる積分誤差をなるべく小さくするにはサンプルング周期を可能な限り小さくすればよいが、これはマイクロコンピュータの演算時間から制限を受ける。しかしながら、入力周波数が低い場合には、サンプルング周期が大きくても積分誤差を小さくすることが可能である。そこで積分誤差とサンプルング周期、入力周波数の関係を調べるために周波数 f (Hz) のサイン波を入力波形とし、この角速度について $1/2f$ の期間にわたって理論、数値積分を行い、積分誤差について検討した。

入力角速度 $\omega = 10 \cdot V \cdot \sin 2\pi ft$ とすれば

ここで V は角速度センサの出力電圧

また $t_0 = 0$ とすれば

$$\therefore I_t = 5V(1 - \cos 2\pi ft_n) / \pi / f$$

$$\therefore I_n = 10V \sum_{k=1}^n (\sin 2\pi f(k t_s)) t_s$$

$$\therefore n = [t_n / t_s]$$

$\therefore t_s$: サンプル周期

よって積分誤差 E (%) を

$$E = \frac{I_n - I_t}{I_t} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

と表すことにする。

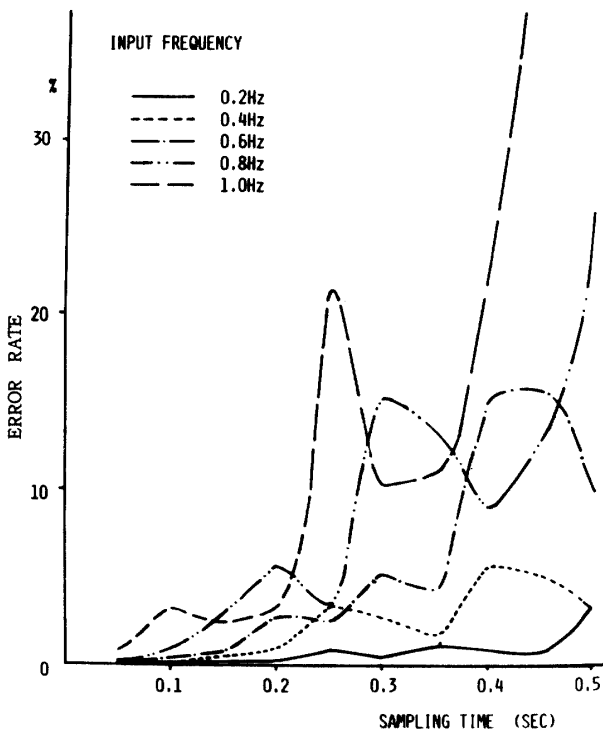


Fig. 2 入力周波数とサンプリング周期と積分誤差との関係

今、サンプリング周期を50ms～500ms、入力周波数を0.1Hz～1Hzにわたって変化させた時の積分誤差をFig. 2に示す。なおコンバインの最大入力周波数は回行時の旋回において生じると考えれば、進行速度 $V = 0.5\text{m/s}$ 旋回半径 $r = 1\text{m}$ とすれば $\omega = V/r = 0.5\text{m/s}$ となり換算周波数約0.08Hzとなる。

グラフから積分誤差は入力周波数が高いほど またサンプリング周期が大きいほど急激に増加することがわかる。またどの入力周波数においても誤差がサンプリング周期によって増減しているのがわかる。これはサンプリ

ング周期と積分時間の関係によって正負の誤差が打消し合うからであると考えられる。これらのことと演算時間の制限からサンプリング周期を200msとした。この場合入力周波数1Hz以下で最大積分誤差6%以下に抑えられる。また入力周波数0.1Hz以下では0.1%以下に抑えられる。なお(3)式の計算結果はすべて負となったが、グラフ上では正にして表現してある。

III 制御装置及び制御アルゴリズム

III-1 制御装置

Fig. 3に本研究に使用する制御装置のブロック図を示す。制御装置にはクロック4MHzのマイクロプロセッサZ80Aを2個使用し、それぞれ旋回角を演算するサブCPU部とコンバインの制御を行うメインCPU部とから成立っている。

メインCPU部はコンバイン本体の制御を行い、各種センサからの入力情報の解析、各種油圧装置の駆動、サブCPU部からの旋回角情報の要求及び受信を行う。センサ入力として、操向用センサ9Bit、刈取部昇降用上下限センサ2Bit、パワーシフト位置検出用センサ5Bit、キー入力用8Bit、また出力ポートとして、操向用、刈取部昇降用及びパワーシフトレバー移動用の各ソレノイドバルブにそれぞれ2Bit、その他サブCPU部とのハンドシェイクに11Bit、リアルタイムクロックコントロール用に1Bitを使用した。操向用センサの配置をFig. 4に示す。割込み入力として、0.1秒単位のタイマー割込みに「NMI」と刃タンク満杯検出に「INT」をそれぞれ使用した。各ソレノイドバルブは自動走行中にも手動操作を可能とするために手動優先回路を設けた。

サブCPU部は角速度センサからのアナログ電圧をデジタル量に変換する12Bit A/Dコンバータ (5mV/digit)、200msのサンプリングタイム信号を発生するPIT (8253) 旋回角表示及びPITの制御を行うPPI (8255) とから構成されている。また旋回角情報の外部出力はPPIのハンドシェイクによって行われる。

III-2 制御アルゴリズム

III-2- (a) サブCPU部

サブCPU部のプログラム概略フローチャートをFig. 5に示す。

プログラムはシステムの初期設定後 サンプリングタイムを発生するPITをスタートさせ、200ms経過後、角速度センサの出力をA/D変換してCPUに取り込む。

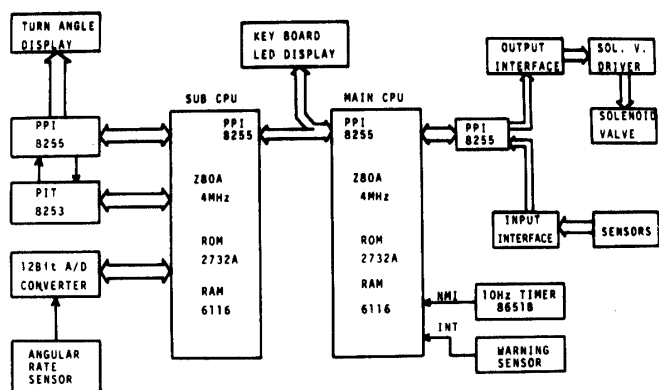


Fig. 3 制御装置のブロック図

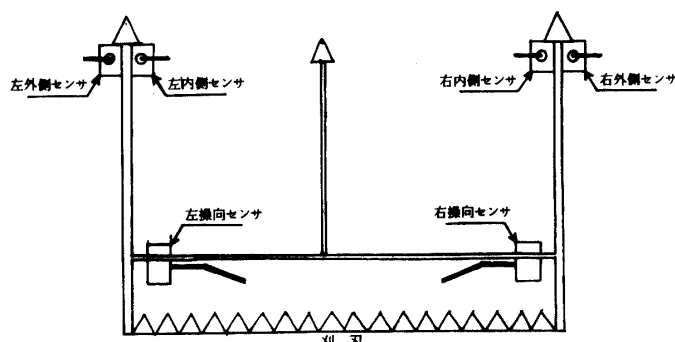


Fig. 4 操向用センサの配置

この値はコンピュータノイズにより2～3 digitのバラツキを持つため、若干の感度は下がるがゼロ点での誤差を防ぐために数値フィルタを設けて誤差の累積を防いでいる。このようにして変換された値はオフセットバイナリ形式のデータコードであるため、これを符号付バイナリ形式に変換して積分し、200ms間の旋回角を求めメモリに積算する。またデータの取出しを容易にするために8桁の符号付BCDコードに変換して、中位2桁を取出し0.1°単位の値としてメモリにストアし、LEDディスプレイに表示する。最後に外部からのデータ要求を調べ要求があれば旋回角データを出力する。その他外部の要求として、A/D変換データの直接LED表示及びシステムリセット要求がある。このようにして200ms毎にこれらのルーチンを繰返し、旋回角を演算する。

Ⅲ-2-(b) メインCPU部

メインCPU部のジョブ選択プログラムの概略フローチャートをFig. 6に示す。

ジョブ選択プログラムではキーボードにより各ジョ

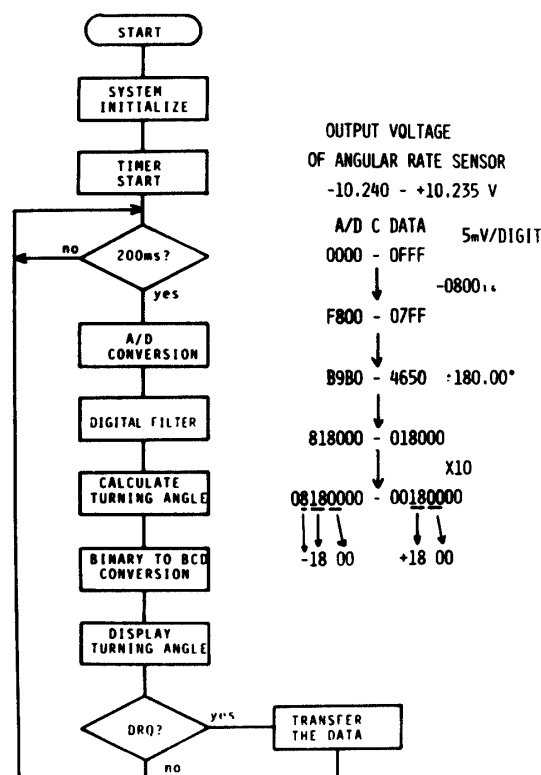


Fig. 5 サブCPU部の概略フローチャート

ブを選択して実行する。各ジョブは

1. 通常自動走行……稲列に沿って自動的に刈取作業を実行し、圃場末端部では回行も行う。なお初タンクが満杯になれば警報を発し、一時停止する。
2. 最短距離自動走行……最短距離を演算しつつ自動走行を実行する。
3. 回行後進時間変更……回行時の後進時間を圃場状態により初期値を変更する。
4. 出力装置のテスト……操向装置、刈取部昇降装置及びパワーシフト移動装置の動作試験を行う。
5. オフセット調整……角速度センサのオフセット電圧をゼロに調整する。
6. データ出力……稲列データを外部コンピュータに出力する。
7. データ収集……自動操向しつつ稲列データを収集する。
8. 自動回行……圃場末端部での回行を行う。

以上のジョブがキーボードにより選択可能である。なお最短距離自動走行プログラムはまだ未完成である。

回行の概略フローチャートをFig. 7に示す。

回行へ移行するための圃場末端部の検出はディバイダ内に設置された6組の稲検出センサによって行われ、こ

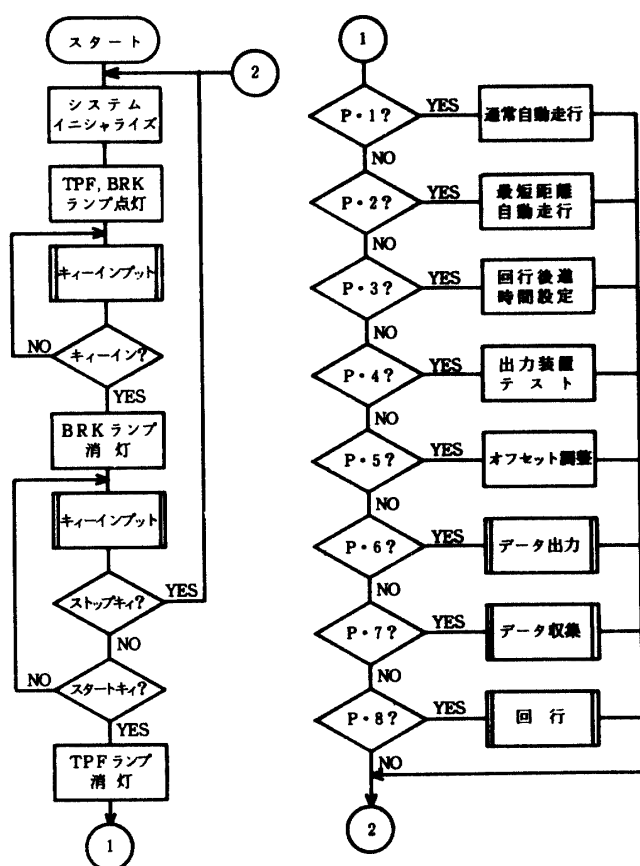


Fig. 6 ジョブ選択プログラムの概略フローチャート

これらのセンサの論理和とタイムディレイによって、欠株による誤判断を防いでいる。

圃場末端部を検出すると刈取部を上昇させ、サブCPU部をリセットし、左旋回する。この間サブCPU部から旋回角データを取込み、設定値を越えると左旋回を終了し、停止後、後進する。そして左ディバイダ外側のセンサが稲を検出するか、または一定時間経過後、設定値に達するまで右旋回し、停止後、刈取部を下降させ、次の稲列に進入する。この際、進入過多の場合は右平行移動、進入不足の場合は左平行移動し、適切な位置に進入するようフォローしている。また一定時間経過しても稲を検出しない場合は刈取終了と判断し、停止する。

稲列データ収集プログラムの概略フローチャートを Fig. 8 に示す。

稲列データ収集はコンパインが左右のディバイダ内側に設置したセンサによって稲列に追従し、0.1秒単位で操舵間の時間とその時の操舵角を角速度センサによって計測して、順次メモリにストアし稲列のデータとする。そのデータフォーマットをFig. 9に示す。

プログラムは稲を検出後、リアルタイムクロックカウンタをクリアしてタイマーをスタートする。次に稲の有

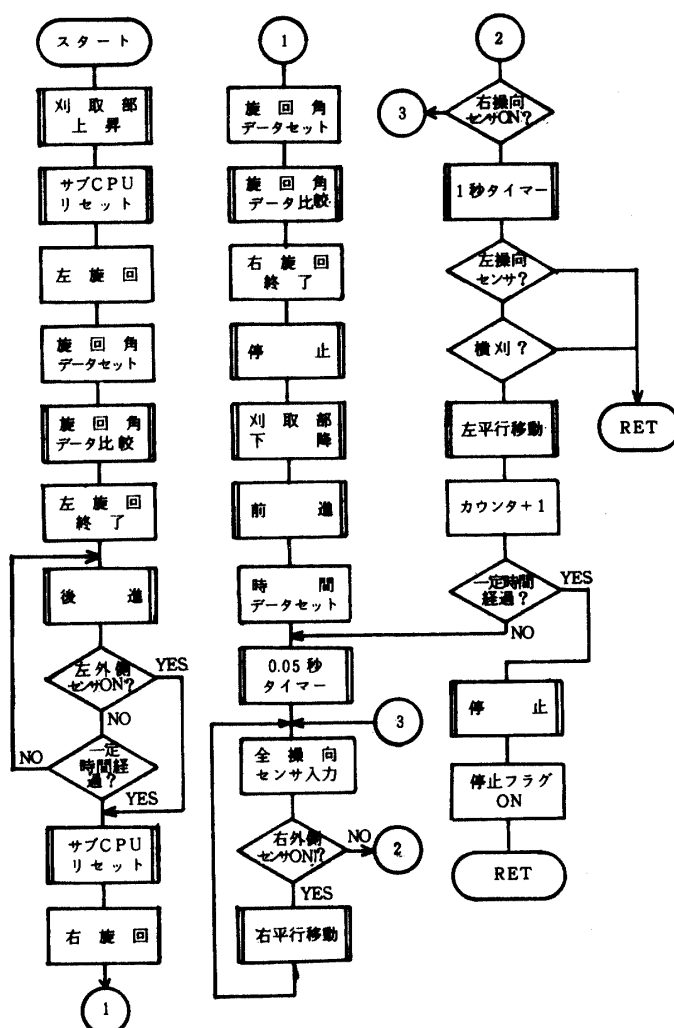


Fig. 7 回行プログラムの概略フローチャート

無を入力し、稲があれば左右のセンサの状態を入力する。仮に左側のセンサがONであればそれまでの時間を演算し、センサがOFFになるまで操舵角をサブCPU部より入力し、それぞれメモリに書込む。また操舵力は回行時に適合するよう最大に設定されているため、操向制御時にハンチング現象を生じたり、稲列をはずすことがある。この対策としてソレノイドバルブをパルスで制御し、平均パワーを下げることで操舵力を小さくした。

稲が無くなればタイマーをストップし、データ区切り記号、データ組数及び次のデータ収集のためのカウンタセットを行い、リターンする。

IV 実験方法及び結果

IV-1 旋回実験

角速度センサを実機に搭載し、角度と方向をソフトウェアで設定し、圃場においてコンバインを旋回させ、その

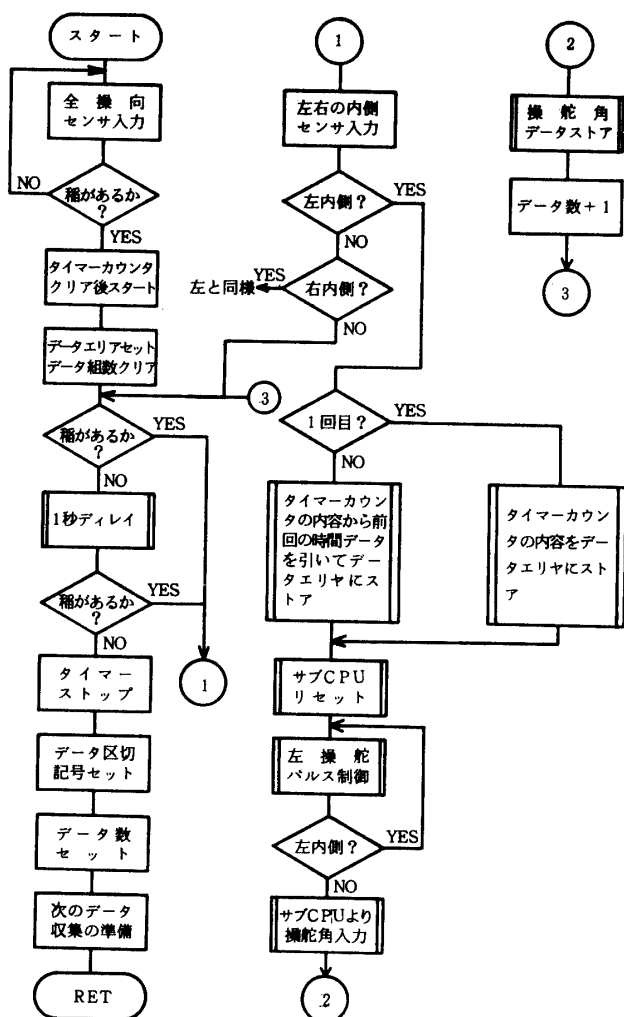


Fig. 8 稲列データ収集プログラムの概略フローチャート



N --- データ収集回数

n --- 1回のデータ収集におけるデータ組数

Fig. 9 稲列データ収集プログラムのデータフォーマット

クローラの軌跡から実際に曲った角度を測定し、設定角度との差について検討した。設定角度は45°と90°、方向は右旋回と左旋回、そして走行部のみで旋回した場合と脱穀部を駆動して旋回した場合に分けて行った。

測定データを分散分析によって解析した結果、誤差は速度による影響が最も強く、脱穀部駆動による影響は少ないことがわかった。そこで速度による影響を調べるために、設定角度によって2つに分けて回帰分析を行った。それらのグラフをFig. 10, Fig. 11に示す。

45°の場合、危険率1%で回帰性が認められた。また

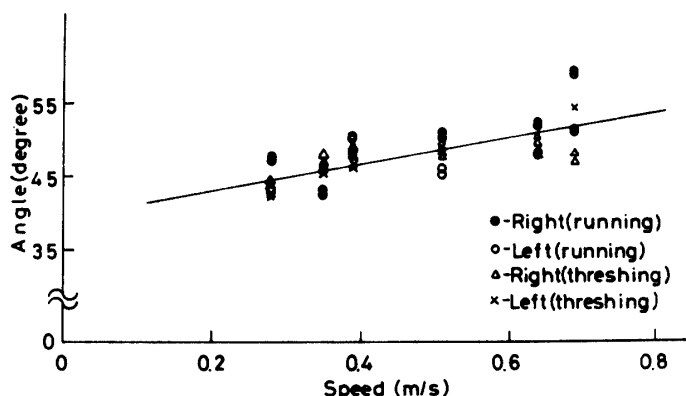


Fig. 10 走行速度と旋回角の関係 (45°)

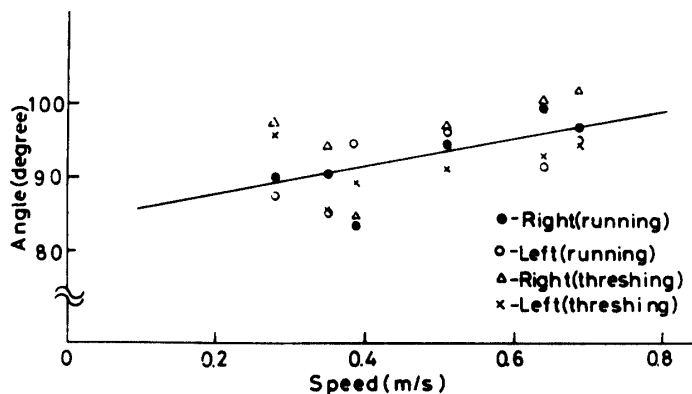


Fig. 11 走行速度と旋回角の関係 (90°)

単相関係数は0.72で無相関検定の結果、危険率1%で相関があるという結果が得られた。90°の場合についても、危険率1%で回帰性が認められた。単相関係数は0.56で45°の場合と比べて小さい値であるが、無相関検定の結果、危険率1%で有意であるという結果が得られた。また設定角度によって旋回角の誤差に影響があるかどうかについても検定した結果、走行部のみの場合、脱穀部を駆動した場合のどちらかについても旋回角度に影響は与えていないという結果が得られた。これは速度の増加に伴い、油圧系統の遅れが旋回停止信号を出力してから実際に停止するまでの時間遅れを大きくしているからだと考えられる。しかしながら実際には、速度設定は一定であり、この速度について角度設定を適切な値にすることにより、大きな誤差は生じないと考えられる。

IV-2 大麦によるデータ収集実験

稲列の曲り具合が時間と操舵角で代表することが可能であるかどうかを確認するために、実際の圃場で大麦によりデータ収集実験を行った。この大麦は散播であり、

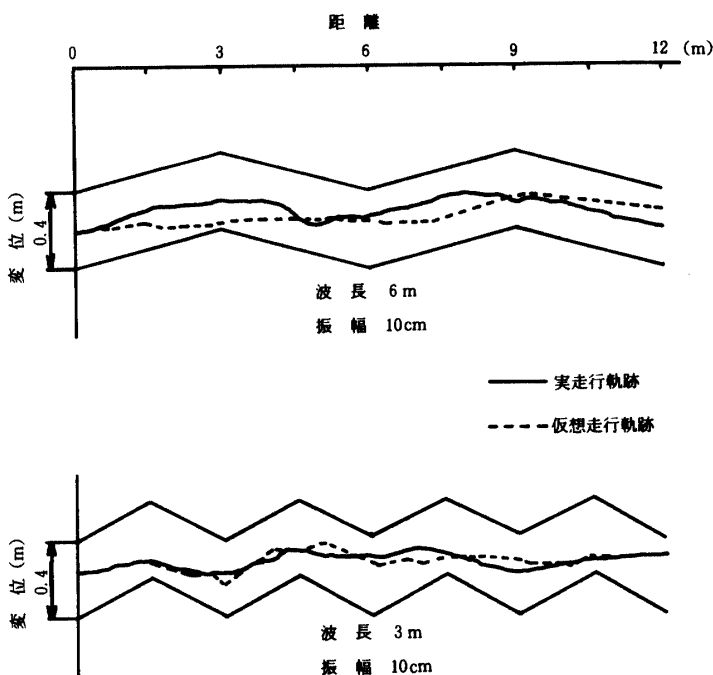


Fig. 12 データ収集実験の走行軌跡

稲のように条列を成しておらず、入力为确保するために入力で幅約40cm、長さ約12mの三角波で刈取り、振幅10cm, 20cm, 波長3m, 6mの4つの組合せで実験を行った。

操舵角及び時間データは搭載マイクロコンピュータのメモリ上に記憶されるが、データ解析のために、各実験終了後、外部マイクロコンピュータ (PC8801) にデータ転送しディスクにセーブした。実際のコンバイン走行軌跡はクローラ軌跡より10cm間隔で基準線からの変位を読取った。また各操向センサ及び操向用ソレノイドバルブの励磁信号をデータレコーダに記録した。

Fig. 12に振幅10cm, 波長3m及び6mの実験結果を示す。

実線がクローラ跡による実走行軌跡、破線が時間と操舵角データにより仮想走行軌跡を示す。また縦軸のスケールは横軸の4倍のスケールで示されている。

左右ディバイダ内側に設置された2個のセンサにより

操舵を行うが、このセンサ間の距離は約60cmであり、これが不感帯であると言える。この大きな不感帯により不要な操舵を減らすことが可能であるが、列に忠実に追従しないため細かい位置まで把握することは不可能であるが全体としての流れを把握することは可能である。

以上の点を踏まえてグラフを解析すると、両軌跡の振幅は入力波形と比較して小さくなっており全体的に平滑化されていると言える。これは前述の理由に依るところが大きい。また位相遅れも若干みられるが、全体としての流れは把握していると言える。両軌跡間の誤差は気になるがそれほど大きな値でもなく、最短距離の演算で最も重要な変曲点 (ピーク) は検出されているのでそれほど大きな問題ではないと言える。この原因について考えてみると、走行速度の変化による誤差と旋回角演算誤差が考えられる。走行速度の変化は圃場の状態や脱穀部の供給量に依るところが大きい、実験時の観察によればそれほど極端な状態はみられなかった。また旋回角演算誤差についてサンプリング周期を200msとしたため、これによる短い操舵時間の場合、演算結果がゼロとなり誤差の原因になると言える。

V 結 言

大麦によるデータ収集実験の結果、時間と操舵角データによる列の把握は可能であることが確認されたが、今後は考察で述べた問題点を踏まえた最短距離制御プログラムの開発、稲による回行、データ収集実験を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 鬼頭, 西村, 川村: 神戸大学農学部研究報告16 (1) pp. 261-267, 1984.
- 2) 鬼頭, 西村, 川村: 農業機械学会関西支部報 第55号 pp. 18-21, 1984.
- 3) 鬼頭, 西村, 川村: 農業機械学会第43回講演要旨 1984年4月, p. 86.