



## 自脱コンバインの最適走行制御

鬼頭, 孝治

---

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1985-10-15

(Date of Publication)

2008-04-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0559

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000559>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| 氏名・(本籍) | 鬼頭孝治 (愛知県)                    |
| 学位の種類   | 学術博士                          |
| 学位記番号   | 学博い第70号                       |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第1項該当                  |
| 学位授与の日付 | 昭和60年10月15日                   |
| 学位論文題目  | 自脱コンバインの最適走行制御                |
| 審査委員    | 主査 教授 西村 功<br>教授 川井良次 教授 木村雄吉 |

## 論文内容の要旨

近年、農業機械の自動化が盛んに推し進められており、特にトラクタ、コンバインにおいてその傾向が顕著である。自脱コンバインは収穫機械の一種であり稲や麦等の刈取り、脱穀、選別及びワラ処理等の多作業を同時に行う自走式のプロセッシングマシンと言えるが、これらの作業は機械の走行速度、穀物の生育状態及び土壌条件等により影響を受けるため、オペレータは各作業部の調節を頻繁に強いられ作業負担が増大する。これらを少しでも軽減するために、各部の自動化が行われてきた。

本研究では、特に移動機械としてのコンバインに注目して回行制御と刈取り作業時の能率向上を目的として、より高精度で高安定なシステムを目指して研究を行った。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位置を検出するのではなく、自脱コンバインの旋回角の検出と、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。旋回角の検出は高精度で分解能の高い角速度センサを使用した。これにより絶対的な旋回角が検出可能となり実旋回角をフィード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減らすことが可能となった。

最近、田植機による移植が盛んに行われ植付け条数も複数条化しており、オペレータの熟練度にもよるが一般的に稲列の曲がりを伴うことが多い。稲の曲がりに関する調査の結果、約40m間に25cmp-pの振幅を持つことが判明した。また地上高8cmにおける株の直径は標本数677の平均で約7

cmであった。本研究では2条刈りの自脱コンバインを供試するが、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の刈取り余裕があると言える。これは目標を適切に選択し、稲列の曲がりの最大振幅が20cm p-p/条以下であれば、全く操舵することなく、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2条刈りのコンバインと複数条植え（偶数条）の田植機に注目し、最初の刈取り作業で稲の曲がりのデータを収集記憶し、2回目以降はそのデータを基に最短距離を計算して、刈取り作業を実施する制御をしようとするものであり、多条植えになるほど有効である。但し、横刈り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。この制御を最短距離制御と呼ぶ。このような研究目的で自脱コンバインの自動制御システムの開発を行い、その可能性について検討した。

第Ⅱ章では、自動制御のシステム設計に先立ち、制御対象となる稲の状態を把握するために、稲の生育状態及び稲列の曲がりを調査を行い、その結果について述べた。調査項目は稲の地上高8cmにおける株の直径、地上からの伸長時の草丈及び稲列の曲がりである。これらについて基礎統計解析を行い最短距離制御の指標とした。また稲列の曲がりについて周波数特性を調べるためにスペクトル解析を行い、制御系の入力周波数を把握した。

第Ⅲ章では各制御装置と角速度センサによる旋回角検出方法について述べた。供試コンバインの制御装置には左右の旋回を行う操向制御、前進、停止及び後進を行う変速制御、そして回行時に行う刈取り部の昇降制御の3系統とし、すべて油圧装置によって駆動するように供試コンバインを改造し、マイクロコンピュータによって制御した。

マイクロコンピュータ（Z80A）は2個使用し、それぞれ旋回角を演算するサブCPU部とコンバイン本体の制御を行うメインCPU部とから構成されており、メインCPU部はサブCPU部に対して旋回角データの転送要求を行い、得られたデータにより回行制御及び最短距離制御を行う。

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信号と、回転方向の情報を共に発生するセンサであり、その仕様は最大感度 $\pm 100^{\circ}/S/VOLT$ 、分解能 $0.1^{\circ}/S$ である。旋回角は角速度を時間で積分することによって求められるが、マイクロコンピュータで行う数値積分には誤差を伴う。この誤差は入力周波数とサンプリング周期の関数と見ることができ入力周波数が低いほど、またサンプリング周期が短いほど少なくなる。角速度センサの周波数応答（70Hz）からすればサンプリング周期は5msとなり、8Bit CPUでは演算不可能である。そこで積分誤差とサンプリング周期、入力周波数の関係を調べるためにサイン波を入力波形とし、この角速度について理論、数値積分を行い、積分誤差について検討した結果、演算時間の制約からサンプリング周期200msとした場合、入力周波数1Hz以下で最大積分誤差6%以下に抑えられることが明らかになった。稲列の周波数分析の結果よりコンバインへの入力周波数は非常に低いため、サンプリング周期200msで実用可能であると言える。

プログラムはシステムの初期化後、サンプリング周期を発生する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に取り込み、積分し200ms間の旋回角を求めてメモリに積算する。この数値を8桁の符号付BCDコードに変換して、中位4桁を取り出し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転送要求を調べ、一巡のルーチンを終了する。これを200ms毎に繰り返し旋回角を演算する。

次に角速度センサを実機に搭載して、旋回角演算精度と振動による影響を調べた。実験はメインCPU部で角度と方向をソフトウェアで設定し、サブCPU部から転送されるデータとを比較することにより一定角度旋回させ、そのクローラの軌跡から実際に旋回した角度を測定し設定角度との差について検討した。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。これは速度の増加に伴う油圧系統の遅れと機体の慣性の影響が原因と考えられる。しかし実際には速度は一定に設定されるため、この速度について角度設定を適切な値にすることで、誤差は小さくすることが可能である。

またこの実験はパーソナルコンピュータによるシミュレーションを行い同様の結果を確認した。コンバインの振動をシミュレートするために、停止状態ではあるが各部を運転し角速度センサの出力をスペクトラムアナライザで周波数分析した。コンバインの運動は基本的に座標変換による線形近似で行い走行面である土壌の影響は無視した。

次に第IV章では旋回角検出方法を利用した回行制御について述べた。

圃場末端部の検出は全ての操向センサによって稲の有無を監視し確実な検出を可能とした。圃場末端部に達すると刈取り部を上昇し角速度センサによるフィードバックにより一定角度左旋回する。そしてディバイダの左外側のセンサが稲のコナを検出するか設定時間が経過するまで後進し、一定角度右旋回し刈取り部を下降し停止する。このようにして90°旋回し次の稲列に進入するが、一定時間内に稲を検出しなければ刈取り終了と判断して停止する。このように回行制御はフィードバック制御されるが後進時間のみデータ設定を必要とするため土壌条件に応じて圃場にてキーボードから変更が可能とした。

実際の圃場において回行制御を行いコーナの形状を変化させた8つの実験区を設定し、その走行軌跡と稲の切株の位置を測定し、回行の成否、コーナ形状の影響等を検討した。

回行動作を分割して各動作別に検討した結果、圃場末端部を検出して旋回に必要な距離だけ前進するが、この距離と方向がコーナの形状に大きく影響されるため、回行終了後の位置にバラツキを生じることが明確となった。しかし次の稲列進入時に操向センサによる補正によりコーナが鋭角で最初の進行方向が外側寄りの場合を除いてほぼ対応可能であることがわかった。

第V章では最短距離制御の方法と実際の走行結果について述べた。

稲列のデータ収集はディバイダ先端の左右の内側に設置したセンサによって、稲列に追従し、操舵間の時間を0.1秒単位でまた操舵角を角速度センサによって計測し、順次マイクロコンピュータのメモリにストアして稲列のデータとする。

最短距離演算はこのデータを直角座標系に変換し、条件に従い変曲点を抽出し、この点までの時間と距離を計算し、メモリにストアする。このようにして計算されたデータにより最短距離走行を行う。

実験は実際の稲の刈取りは行わず、コンバインを速度 0.5 m/s で手動操作により稲列 データ 収集を再現しその軌跡を20 cm 間隔で測定した。次に最短距離走行を行い、同様に軌跡を測定し、比較検討した。また最短距離演算を再現するために稲列収集データをパーソナルコンピュータに転送し、同一演算ルーチンで最短距離演算を行った。

稲列データによるメモリ上の走行軌跡は実際の走行軌跡をほぼ再現しており、最短距離演算も正確に計算されていることが確認された。実際の最短距離走行は頂点における偏差の平均が約30 cm であり、距離が長いほど偏差が小さくなる傾向があり、かなりよく再現されていると言える。実際の稲への適応は操向センサによる補正を加えることで可能となり能率向上が期待される。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は5章からなり、穀物収穫用プロセッシングマシンである自脱コンバインの走行について理論と実験により新制御法を提案している。

第1章においては、研究の目的と成果についての概要を述べている。収穫機械はその作業及び精度、能率は機械の走行条件、圃場、作物の生育、土壌などの条件に強く影響され、オペレータに熟練を強いたまた疲労が大きいので、これが自動化される意義は大きい。今まで多くの研究がなされ、一部実用化されているが、本研究では特に直進時の刈取り作業及び圃場端での回行の自動化をフィードバック制御と一部シーケンス制御を組合せて、いたずらに複雑なデバイスやセンサを必要とせず、巧みに実用化を計る試みが随所になされている。即ち収穫のための直進走行時には田植機で複数条移植された稲列に対して、ならい操向制御によって刈取り精度を上げ、さらに収穫能率向上のために最短距離走行制御を行っている。

第2章では、上述の稲列データを得るための調査結果を報告している。その結果、40 m 間に25cm-pの振幅を持ち、地上高8cmでの株の直径は平均7cm であることから供試コンバインの刈幅に対して、左右20 cm の余裕のあることが判明し、田植機による複数条植え稲列に対し、最短距離走行理論が適用できることを立証している。

第3章では、本研究における新しい収穫走行制御理論を実証するために必要な制御装置と角速度センサによる旋回角検出について述べている。まず供試コンバインの操向、前進、停止の速度制御、更に回行時の刈取り部昇降をすべてマイクロコンピュータ制御による油圧システムに改造している。主CPUはサブCPUにおいて直進走行及び回行時の旋回角を検出計算し、主CPUの要求によりデータ転送し、制御を行う。角速度センサは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信号と、回転方向の情報を発生し、角速度の積分により旋回角を求めるが、それに伴う数値積分誤差は搭載するマイクロコンピュータの通常処理では解決不能であるが、稲列入力周波数及びサンプリング周期との関係についての計算結果から最低のサンプリング周期を見出し、入力周波数1 Hz 以下であれば、誤差は6%以内になることと、サンプリング周期200 ms と共に実用上何等問題はないとしている。プログラムによって200 ms 間に、角速度センサのA/D変換出力の取込み、BCDコード変換

後、その中位4桁をメモリする。角速度センサの振動による影響と旋回角演算精度について、実機に搭載して実験し、測定データの分散分析結果から速度による影響はあるが、スレッシング振動による妨害は少ないことが確かめられた。速度増加に伴う油圧操向制御系の遅れ及び機体の慣性によることが考えられるが、走行速度は実用上はほぼ一定に保たれることにより支障がないことが確かめられている。これらはパーソナルコンピュータを用い、コンバインの振動シミュレーションを行い、角速度センサ出力を周波数分析して確認している。

第4章では、旋回角検出方法による回行制御について記述している。稲の相対位置検出によってフィードバック制御することは回行時に機体が稲から離れることによって非常に困難となるのでコンバインの旋回角検出を角速度センサによって行い、フィードバック制御と旋回時の後進時間のデータ設定を行い、土壌条件に応じてキーボードから変更が可能な形としてプログラム制御も併用している。圃場末端部をセンサで検出して旋回に必要な距離を計算し、一定角左旋回後、後進し、稲検出又は設定時間後、右旋回後進し、次の稲列への進入に備える。実験結果は極端な鋭角をとる場合以外の回行は対応が充分可能であった。

第5章では、最短距離制御方法及びその実験結果について記述している。マイクロコンピュータのメモリにストアされた稲列データを直交座標に変換し、それぞれ変曲点を抽出し、これらの点間の時間と距離を計算し、メモリにストアしこれにより最短距離走行制御を行った結果を述べている。実際の走行軌跡は20 cm間隔で測定してデータ化し、更に稲列収集データをコンピュータに転送し、同一演算ルーチンで最短距離演算を行った。その結果、実走行実験においては平均偏差が30 cmに過ぎず、また最短距離演算も正確に計算されていて、直進走行制御は実地への適応性が大きいことが立証された。

以上のように、コンバインによる走行制御に関する新理論並びに実験結果からみて実用上価値があると考えられる。

よって、論文提出者 鬼頭孝治は、学術博士の学位を得る資格があると認める。