

マイクロコンピュータ制御無人コンバインの開発

著者	鬼頭 孝治, 伊藤 信孝
雑誌名	三重大學農學部學術報告 = The bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University
巻	63
ページ	235-255
発行年	1981-12-01
その他のタイトル	The Development of the Micro-computerized Driverless Combine
URL	http://hdl.handle.net/10076/3110

マイクロコンピュータ制御無人コンバインの開発

鬼頭孝治・伊藤信孝

The Development of the Micro-computerized Driverless Combidge

Koji KURO, Nobutaka ITO

目次

第1章 緒言	235	3. 1. 1	イニシャライズルーチン(INT)	(247)
第2章 実験装置	236	3. 1. 2	手動操作ルーチン(MAIN)	…(247)
2. 1 供試コンバイン	236	3. 1. 3	自動走行ルーチン(AUTO)	…(247)
2. 2 電気制御装置	236	3. 1. 3(a)	操向制御ルーチン(TURN)	(248)
2. 2. 1 マイクロコンピュータ	236	3. 1. 3(b)	刈高さ制御ルーチン(HIGT)	(248)
2. 2. 2 入出力インターフェイス	236	3. 1. 3(c)	扱ぎ深さ制御ルーチン(DEPT)	(248)
2. 2. 3 電源供給回路	238	3. 1. 3(d)	供給量制御ルーチン(FR)	…(248)
2. 3 操向制御装置	239	3. 1. 3(e)	モニタールーチン(MONI)	…(248)
2. 3. 1 操向センサー	239	3. 1. 3(f)	回行ルーチン(KAIK)	…(248)
2. 3. 2 油圧装置	239	3. 1. 3(g)	右端ルーチン(RGT)	…(249)
2. 3. 3 電気・油圧回路	239	3. 1. 4	各サブルーチン	…(249)
2. 4 刈高さ制御装置	240	3. 1. 4(a)	LEDディスプレイ表示サブルーチン(SEG)	…(249)
2. 4. 1 刈高さセンサー	240	3. 1. 4(b)	パワー・シフト制御サブルーチン(PSR)	…(250)
2. 4. 2 油圧装置	240	3. 1. 4(c)	刈刃昇降サブルーチン(UP, DOWN)	…(251)
2. 4. 3 電気・油圧回路	241	3. 1. 4(d)	タイマーサブルーチン(TIMER)	(251)
2. 5 扱ぎ深さ制御装置	241	3. 2	ソフトウェアの開発	…(251)
2. 5. 1 扱ぎ深さセンサー	241	第4章	圃場実験および考察	…(251)
2. 5. 2 アクチュエータ	242	4. 1	各制御系についての検討と今後の課題	…(251)
2. 5. 3 電気・機械回路	242	4. 1. 1	操向制御および制御装置	…(251)
2. 6 パワー・シフト制御	242	4. 1. 2	刈高さ制御および制御装置	…(252)
2. 6. 1 変速位置検出センサー	242	4. 1. 3	扱ぎ深さ制御および制御装置	…(252)
2. 6. 2 油圧装置	242	4. 1. 4	その他の制御および制御装置	…(252)
2. 6. 3 電気・油圧回路	242	4. 1. 5	回行	…(253)
2. 7 各種警報装置	242	4. 1. 6	電気装置	…(253)
2. 8 供給量制御装置	243			
2. 9 増設油圧回路	244			
2. 10 回行	244			
2. 10. 1 回行パターン	245			
第3章 制御ソフトウェア	246			
3. 1 制御プログラム	246			

第1章 緒言

コンバインはトラクタと並んで近年特に自動化の進んだ農業機械の1つであり、これまでに自動化に関する数多くの報告がなされている。しかしながらそれは一部の報告を除いて収穫作業の部分的自動化に関するものが多く、収穫作業の全てに亘る自動化については数少ない。

本研究はプロセッシングマシンとしてのコンバインの完全自動化を目的とし稲刈り条端での回りの自動化をも含めた無人コンバインの製作を目指すものである。

システムの柔軟性、信頼性の向上を計る意味で、制御装置の中核にマイクロコンピュータを用い、実際の圃場での収穫作業実験から若干の基礎的資料を得たので報告する。

第2章 実験装置

2.1 供試コンバイン

供試コンバインとして TC1350 (A) (ヤンマー農機(株)製)を使用した。このコンバインは全面2条刈り、単気筒ディーゼル機関搭載の自脱型乗用コンバインである。供試コンバインの主要諸元を表1に、全景を写真1に示す。

Table. 1 Specifications of Combine

Manufacturer Model	YANMAR TC 1350(A)	
Total Length	2840mm	
Total Width	1630 mm	
Total Height	1740mm	
Total Weight	990kg	
Engine Max. Power	13.5PS/2800rpm	
Cutting Height Adjustable Range	50-150mm	
Cutting Width	770mm	
Running Device	Crawler	
Track Face Width	330mm	
Contact Length of Track	910mm	
Steering Device	Clutch and Brake	
Threshing Drum	Diameter	420mm
	Length	650mm
Working Efficiency	10-15a/h	

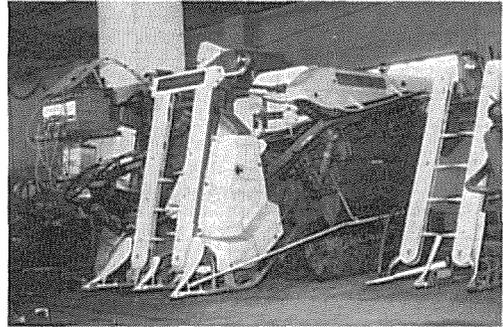


Photo. 1. Whole view of the combine with micro-computerized control.

2.2 電気制御装置

Fig.1 に制御系全体のブロック図を示す。マイクロコンピュータには TK-80E (NEC 製) を使用し I/O ポートを増設して入出力のインターフェイスを付加し、各種センサーからの信号を入力インターフェイスを介して接点入力として取り入れ、その内容に応じて出力リレーインターフェイスを介して操向制御、刈り高さ制御、パワーシフト制御、抜き深さ制御のそれぞれのアクチュエータを制御した。

2.2.1 マイクロコンピュータ

マイクロコンピュータは8ビットで、これに RAM (μPD 2101) を512 Byte 増設し計1k Byte、パラレル I/O ポート (μPD 8255) を1個増設し、外部記憶装置としてオーディオカセットテープレコーダを用い、そのインターフェイスにはサンベック製8003を使用した。

2.2.2 入出力インターフェイス

マイクロコンピュータと外部機器を接続して外部とやりとりを行う場合 TTL レベルに合致させるインターフェイスを必要とし、I/O ポートもインターフェイスの一部とみることができる。ここでは入力を接点、出力をリレーとしたインターフェイスを用いた。

Sub Transmission	Forward								
	Low			High			Running		
Power Shift	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Speed m/s	.27	.39	.48	.44	.62	.76	.73	1.03	1.27
Sub Transmission	Backward								
	Low			High			Running		
Power Shift	R			R			R		
Speed m/s	.27			.44			.77		

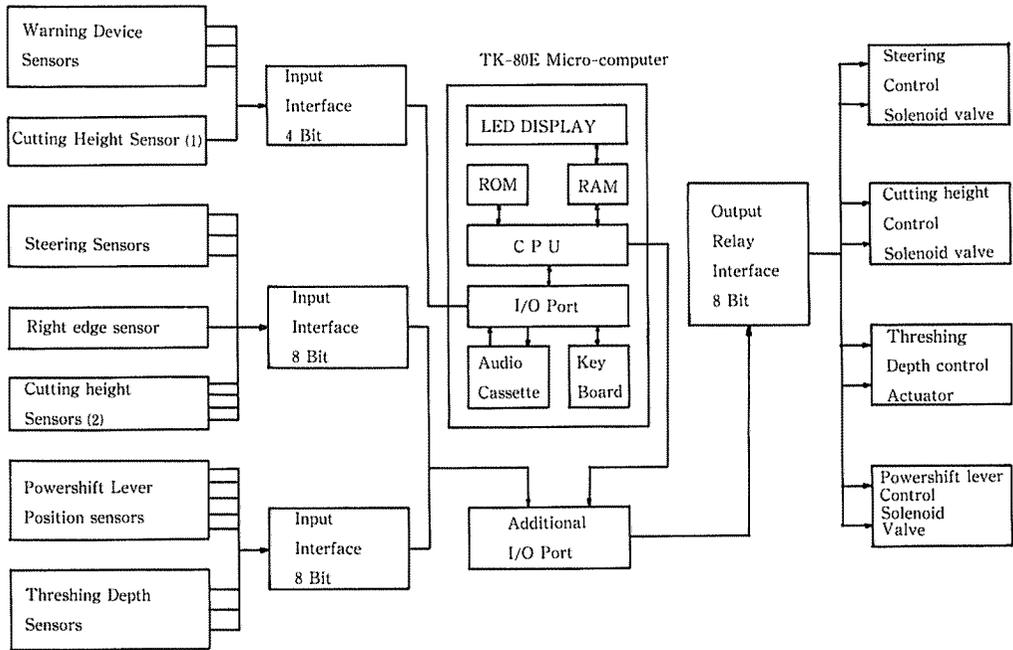


Fig. 1 Block diagram of the control system.

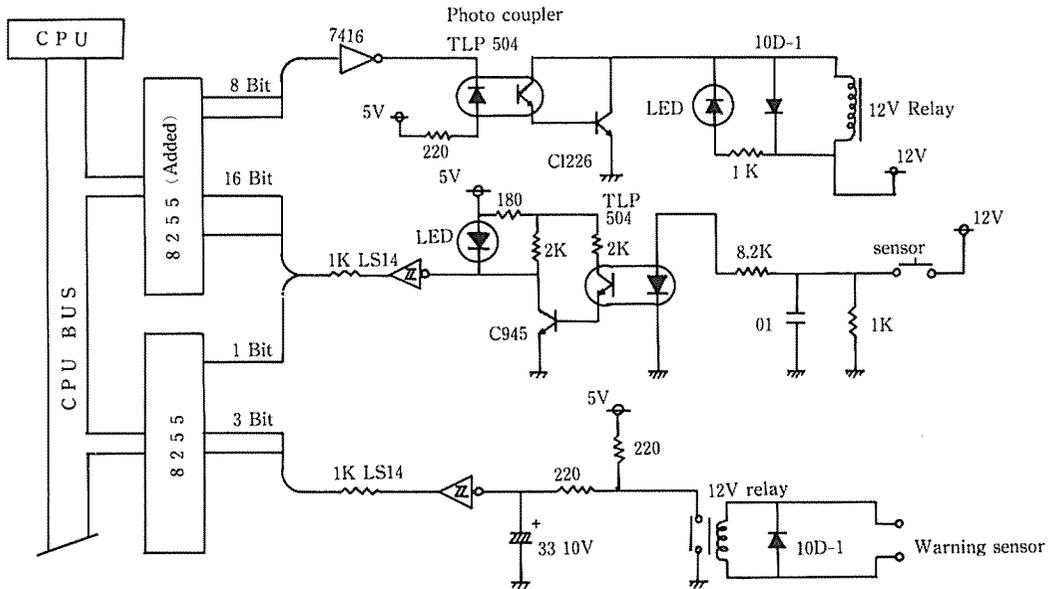


Fig. 2 Electric circuit diagram of I/O interface.

Fig. 2 に入出力のインターフェイス回路図を示す。入力インターフェイスはセンサーが接点スイッチであるため接点入力インターフェイスとし、増設した I/O ポートの 16 Bit、本体の I/O ポートの 4 Bit を使用した。入力の論理はスイッチ ON でポートが 1 になる正論理を採用した。また警報センサーの入力回路と他のセンサー

の入力回路は構成が異なるが、同じ接点入力の回路である。警報センサー出力は 12V 電圧であるためリレーを用いて接点入力に変換し、バッファを通して I/O ポートに接続した。また他のセンサーの入力回路はフォトカプラーにより絶縁し、バッファを通して I/O ポートに接続した。これにはモニター用 LED を設け、入力確認用に用いた。

フォトカブラはマイクロコンピュータの保護、ノイズマージンの向上のために用いた。出力インターフェイスは増設した I/O ポートに 8 Bit を使用した。出力の論理も入力同様正論理を採用した。ポートに 1 を出力すると、オープンコレクタのバッファを通しフォトカブラを介してリレーが ON になる。また入力回路と同様モニター用の LED を設けた。ポートの割付けを以下に示す。

増設 I/O ポート

出力 C ポート

- PC₀ 右旋回リレー
- PC₁ 左旋回リレー
- PC₂ 刈刃上昇リレー
- PC₃ 刈刃下降リレー
- PC₄ パワーシフトレバー増速リレー
- PC₅ パワーシフトレバー減速リレー
- PC₆ 扱ぎ深さモータ ON, OFF リレー
- PC₇ 扱ぎ深さモータ正, 逆転リレー

入力 A ポート

- PA₀
- PA₁ } 右, 左, 稲の有無検出センサー
- PA₂

PA₃ 右端センサー

- PA₄ 刈刃上昇検出センサー
- PA₅ 刈刃下降検出センサー
- PA₆ 刈刃最高点検出センサー
- PA₇ 刈刃最下点検出センサー

入力 B ポート

- PB₀ 後進位置検出センサー
- PB₁ 中立位置検出センサー
- PB₂ 1 速位置検出センサー
- PB₃ 2 速位置検出センサー
- PB₄ 3 速位置検出センサー
- PB₅ 扱ぎ深さ用稲検出センサー
- PB₆ 扱ぎ深さ用穂先検出センサー (深)
- PB₇ 扱ぎ深さ用穂先検出センサー (浅)

標準 I/O ポート

入力 B ポート

- PB₂ 刈刃昇降用コントロールレバー中立位置検出センサー
- PB₅ 扱胴回転速度低下検出センサー
- PB₆ カッター詰まり検出センサー
- PB₇ 糞タンク満杯検出センサー

2. 2. 3 電源供給回路

マイクロコンピュータ, I/O インターフェイスには +5 V, +12V の安定した電源が必要である。コンバイン本体はエンジン始動用 12V のバッテリーを備えているが, エンジン作動中はオルタネータにより充電されるため, 14 V 以上の電圧がバッテリーにかかっており, しかも回転速度により絶えず電圧が変動を続けている。5 V は定電圧回路を用いることより使用可能であるが, 12V のバッテリーより 12V の定電圧を得ることは不可能なため, ここではマイクロコンピュータ, I/O インターフェイス用に 12 V のバッテリーを増設して定電圧用 IC を用いて +5 V を得ている。+12V はバッテリー電圧をそのまま利用した。また外部装置であるソレノイドバルブやモータなどのアク

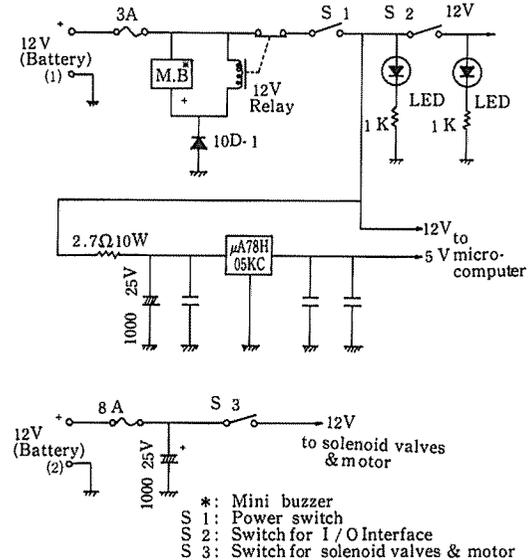


Fig. 3 Electric circuit diagram of power supply.

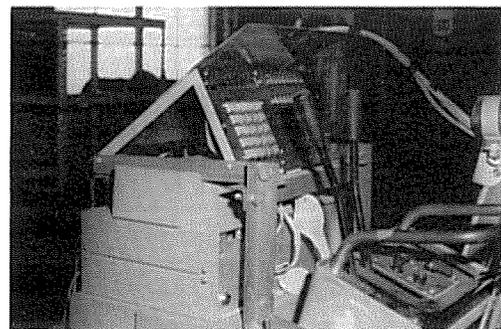


Photo. 2. Whole view of the control panel of electric device mounted in front of operator's seat.

コンピュータ用電源は本体のバッテリーを利用した。マイクロコンピュータ用電源回路にはバッテリーターミナルの逆接続による装置破損を保護するためにミニブザーによる警報と同時にリレーにより主回路を断つ回路を組込んである。Fig. 3 に電源供給回路をまた写真2 に電気装置の部分を示す。

2. 3 操向制御装置

刈り取り作業時、コンバインが稲列に追従して進行するためにはオペレータは続え間ない前方注視と頻繁な操向操作を強いられる。本装置は刈り取り作業行程における正確な稲列追従を目的としたものである。

2. 3. 1 操向センサー

操向センサーは供試コンバインに既設の自動操向装置

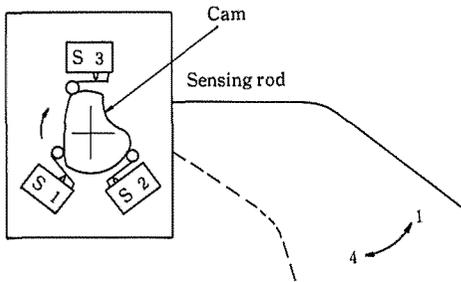


Fig. 4 Detailed mechanism of the steering sensor.

Table. 2 Truth Table of Steering Sensor in Fig. 4

State	S 1	S 2	S 3	HEX.* Cord	Remarks
1	1	0	0	01H	No Soning
2	1	0	1	05H	Rightward
3	0	0	1	04H	Straight
4	0	1	1	06H	Leftward

* : Masked Bit

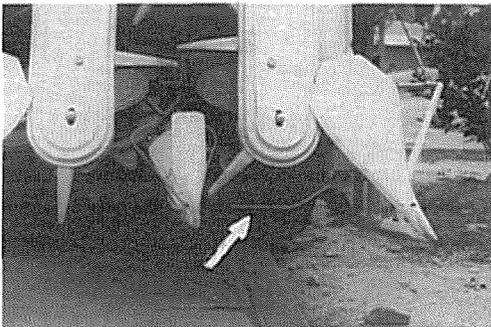


Photo. 3. Detailed view of the steering sensor mounted between the dividers.

を使用した。これは接触型のセンサーで、稲列との位置により“稲無し”、“右折”、“直進”、“左折”の4種類の信号の検出が可能である。“稲無し”の信号は回行のための条端検出信号として使用した。センサーは防水加工されたボックス内にセンシングロッドにより回転するカムとその周囲に配置された3個のマイクロスイッチから構成されている。その構造をFig. 4に、また検出信号の真理表を表2に示す。ここで HEX cord はセンサーが入力されているビットをマスクした16進コードである。写真3に供試操向センサーを示す。

2. 3. 2 油圧装置

油圧装置も既設の装置を利用した。旋回のために左右各操向クラッチに1個ずつスプリング付単動油圧シリンダが設置され、ソレノイド弁により制御される機構になっている。

2. 3. 3 電気・油圧回路

Fig. 5 に操向制御のための電気・油圧回路図を示す。

左側ディバイダに設置された操向センサー、および右側ディバイダ外側に刈り取りの稲列を検出するために設置した右端センサーの信号をマイクロコンピュータに入

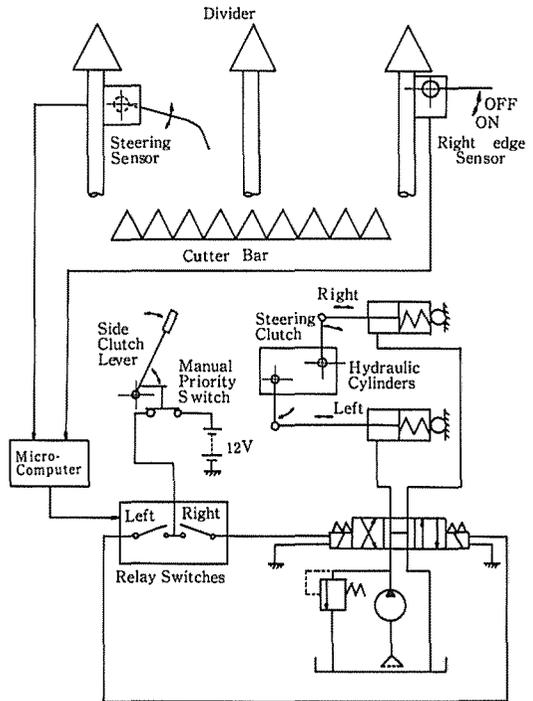


Fig. 5 Electric-hydraulic circuit diagram used for automatic steering control.

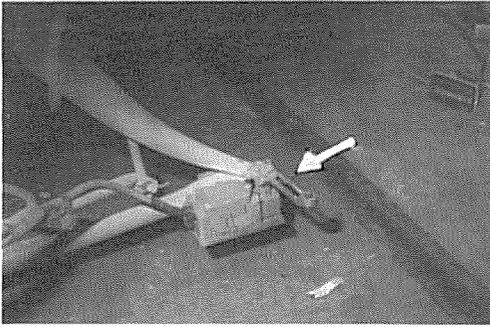


Photo 4. Right edge (swathe edge) sensor.

かし、その内容に応じて出力リレーによりソレノイドバルブを励磁して左右の油圧シリンダを変位させることにより操向クラッチを断続して右、左旋回を可能としている。

また手動優先とするため操向クラッチレバーにマイクロスイッチ（既設のスイッチで配線のみ変更）を設け、手動操作時に自動操向用回路を断つ装置を設けてある。右端センサーには市販の小型リミットスイッチ（立石電機製）を用いた。写真4に右端センサーを示す。

2. 4 刈高さ制御装置

同一圃場内でも軟弱な箇所では走行部が沈下し、刈高さが変化すると同時に刈り取り部と圃場表面との間隙が把らえにくく、刈刃が土を噛んだり、高刈りとなったりすることがある。

本装置は圃場面の起伏に応じて刈り取り部を常に最適な高さに制御し、刈り取り後の稲わらの長さを均一にすることを目的としたものである。

2. 4. 1 刈り高さセンサー

操向制御に用いたセンサーを改造し、地表面との相対位置より“上げ”、“適正”、“下げ”の3種類の信号を検

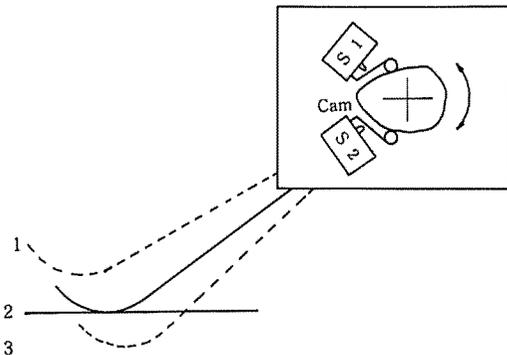


Fig. 6 Sensing mechanism of cutting height sensor.

Table. 3 Truth Table of Cutting Height Sensor in Fig. 6

State	S 1	S 2	HEX.* Cord	Remarks
1	1	0	10H	Upward
2	0	0	00H	Constant
3	0	1	20H	Downward

* : Masked Bit

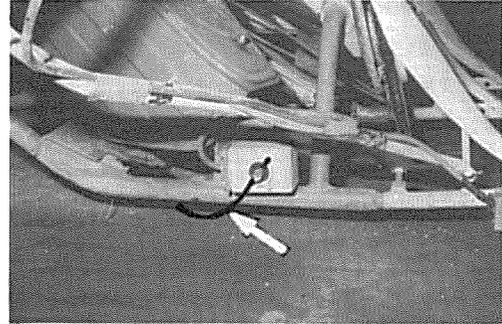


Photo 5. Cutting height sensor mounted on right side of the divider.

出する。ただし“適正”なる信号は無信号を意味する。

センサーは弓型のセンシングロッドが常に地面と接触しながら、その起伏による上下運動に伴いカムが回転してその周囲に配置した2個のマイクロスイッチをON, OFFする構造となっている。その構造をFig.6に、また検出信号の真理表を表3に示す。刈り高さセンサーを写真5に示す。また刈刃の昇降を制限するために最高点と最下点を検出するリミットスイッチを設け、その信号をマイクロコンピュータに入力した。

2. 4. 2 油圧装置

供試コンバインの刈刃昇降はコントロールバルブのレバー操作で油圧シリンダを制御する構造となっている。

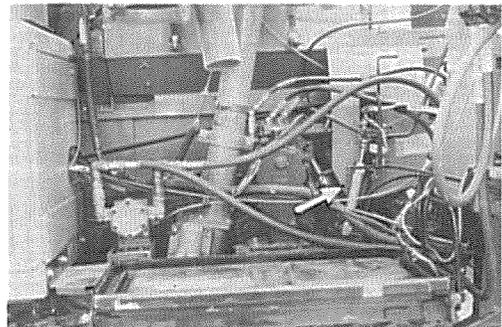


Photo 6. Hydraulic cylinder used for controlling the cutting height.

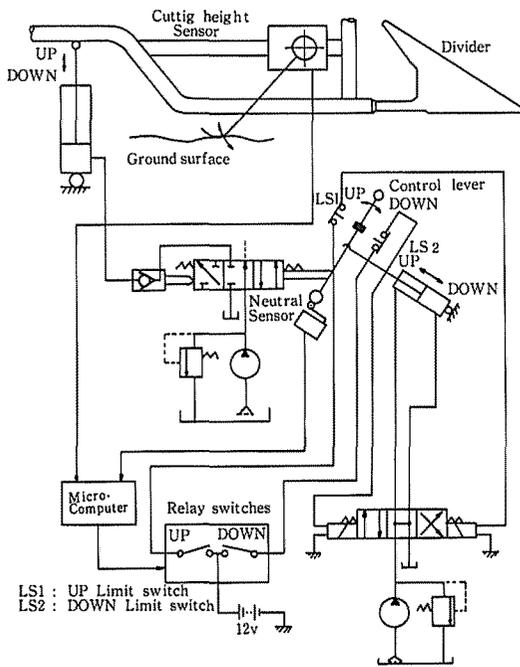


Fig. 7. Electric-hydraulic circuit diagram used for the cutting height control.

油圧装置は一体構造をなし、各機器間は内部配管されており変換が不可能なため既設の油圧装置とは別にさらに一系統を増設し、刈刃昇降制御レバー操作作用としてミニチュアの空気圧シリンダを用いた。ソレノイド弁にはオープンセンター型を用い電気回路故障時の手動操作を可能としてある。写真6に供試油圧シリンダ設置の状態を示す。

2. 4. 3 電気・油圧回路

Fig. 7 に刈高さ制御の電気・油圧回路を示す。右側ディバイダ横に設置した刈高さセンサーにより地面との相対位置信号をマイクロコンピュータに入力し、その内容に応じて出力リレーによりソレノイドバルブを励磁して、油圧シリンダにより刈刃昇降制御用バルブにて刈刃の昇降を行う。また LS 1, LS 2, により油圧シリンダの動作範囲を制限した。油圧シリンダは復動のため、信号 OFF 後にコントロールレバーを中立に復帰させる必要があるが、制御が若干複雑になることに加えて、ハード的制約があるため中立位置を検出するセンサーを設けて、その信号をマイクロコンピュータに入力し、ソフト的に制御・処理を可能とした。

2. 5 扱ぎ深さ制御装置

扱ぎ深さは浅扱ぎでは扱ぎ残しロス、深扱ぎではワラ

屑の発生が多くなり脱ぶ粒や3 番口飛散ロスが増加するなど、脱穀選別性能に大きく影響する。作物の品種や圃場によって、また同一圃場内であっても生育ムラ、等により稈長は異なるため扱ぎ深さの調節は必要である。本装置はセンサーにより扱ぎ深さを検出し、自動的に適正な扱ぎ深さを保持する装置である。

2. 5. 1 扱ぎ深さセンサー

供試コンバインは供給稲の位置と適正扱ぎ深さの相対

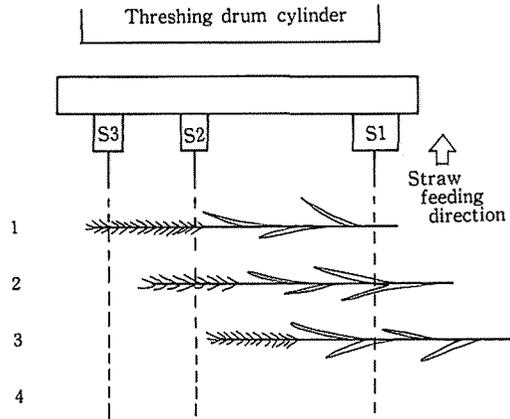


Fig. 8. Mechanical threshing depth sensors and their locations mounted.

Table. 4 Truth Table of Threshing Depth Sensor in Fig. 8

State	S 1	S 2	S 3	HEX.* Cord	Remarks
1	1	1	1	E0H	Deep Threshing.
2	1	1	0	60H	Constant
3	1	0	0	20H	Shallow Threshing
4	0	X	X	00H	No Sensing

* : Masked Bit

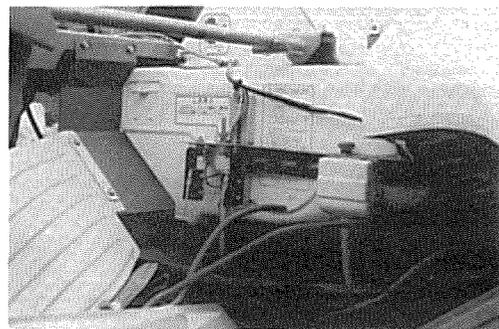


Photo. 7. Threshing depth sensors attached to the entrance of the threshing drum cylinder.

位置を調節するための警報装置を具備している。

この既設のセンサー（遅延回路付リミットスイッチ）を稲の有無検出に、また2個のリミットスイッチを深抜きおよび浅抜ぎの感知センサーとして付加した。センサーの構成を Fig.8 に、また検出信号の真理表を表4に示す。さらに写真7にセンサー部の状態を示す。

2. 5. 2 アクチュエータ

供試コンバインの抜き深さは手動調節用ハンドルを備え、縦搬送チェーンの位置を変化させる機構となっているため、抜き深さを自動制御するためにアクチュエータとして自動車用ワイパーモータを用いた。

2. 5. 3 電気・機械回路

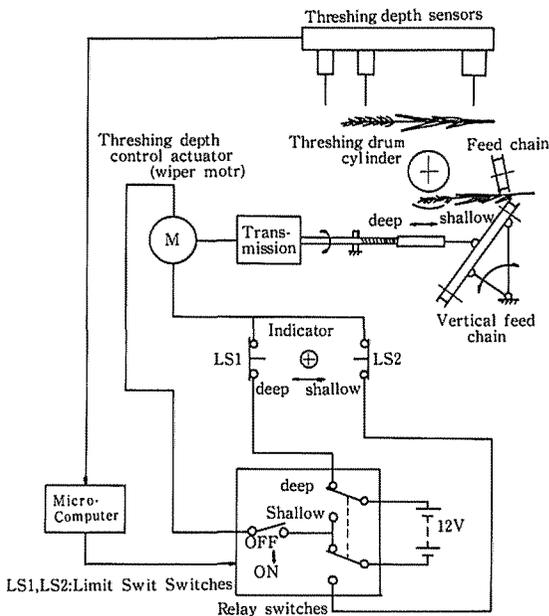


Fig. 9. Electric-mechanical circuit diagram used for threshing depth control.

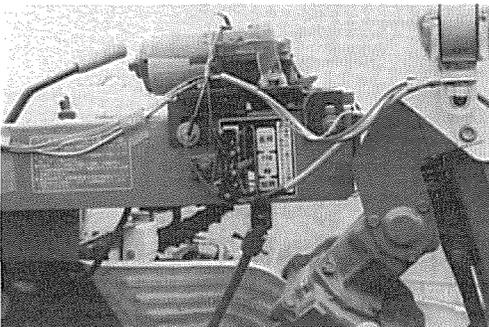


Photo 8. Actuator and limit switches used for controlling the threshing depth.

Fig. 9 に抜き深さ制御の電気・機械回路を示す。3個のセンサーにより稲の位置を検出し、その信号をマイコンに入力し、信号内容に応じて出力リレーによりワイパーモータの ON, OFF, 正転, 逆転を行い、ねじ送り機構により回転運動を往復運動に変換し縦搬送チェーン位置を変化させている。また LS 1, LS 2 は縦搬送チェーンの動作範囲を制限するものである。写真8にアクチュエータ（自動車用ワイパーモータ）取付状態とリミットスイッチの詳細を示す。

2. 6 パワー・シフト制御

供試コンバインはクラッチ操作を必要とせず、1本のレバー操作で前後進、停止および変速が可能なパワー・シフトトランスミッションを装備している。変速範囲は“後進”, “中立”, “1速”, “2速”, “3速”の5位置である。本装置はコンバインの変速を自動的に制御することを目的としたものである。

2. 6. 1 変速位置検出センサー

各変速位置を検出するために、5個のマイクロスイッチをセンサーとしてパワーシフトレバーガイドに配置した。

2. 6. 2 油圧装置

パワー・シフトレバーを操作するアクチュエータとして油圧シリンダを用いた。ソレノイド弁、流量制御弁を設けて油圧シリンダの伸縮速度を制御するとともに、各変速位置で停止が可能とした。しかしより正確な変速位置での停止を確保するためにはソレノイド弁にオープンセンタ型を用い、パワー・シフトトランスミッションのラッチ作用により、油圧シリンダの行き過ぎ量による位置ずれを防ぐことが可能であるが、ここでは装置入手の都合上クローズドセンタ型ソレノイド弁を用い、流量制御弁によりシリンダ伸縮速度を制限して使用した。

2. 6. 3 電気・油圧回路

Fig. 10 にパワー・シフト制御の電気・油圧回路を示す。パワーシフトレバーの変速位置を5個のマイクロスイッチにて検出し、その信号とマイクロコンピュータに入力し、指定された位置と比較、演算を行い、その結果に応じて出力リレーによりソレノイド弁を励磁し、油圧シリンダを変位させることにより変速を行う。変速位置検出センサーおよび油圧シリンダの状況を写真9に示す。

2. 7 各種警報装置

供試コンバインには糞タンクが満杯になった時に警報を発する装置、脱穀後の排ワラを処理するカッター部の

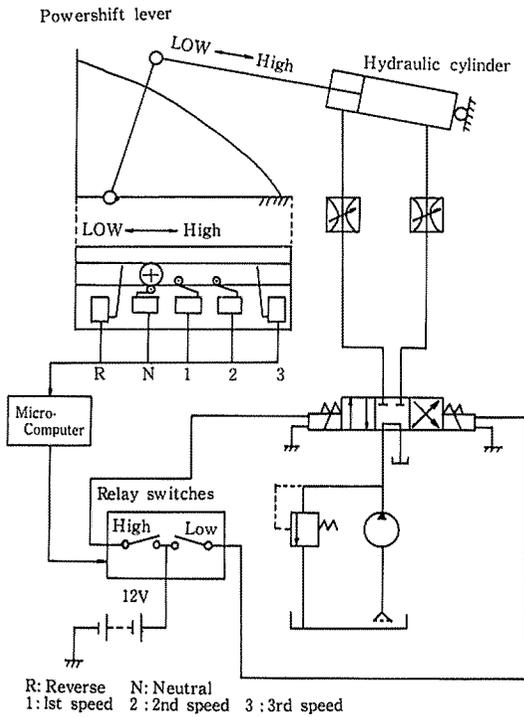


Fig. 10. Electric-hydraulic circuit diagram used for powershift control.

詰まり警報装置、および扱胴の回転速度が一定値以下になったことを知らせる扱胴回転速度低下警報装置を備えている。ここではこれら警報装置をシステムの一部としてコンバインの制御に利用した。

トップサッカー警報装置およびカッター詰まり警報装置

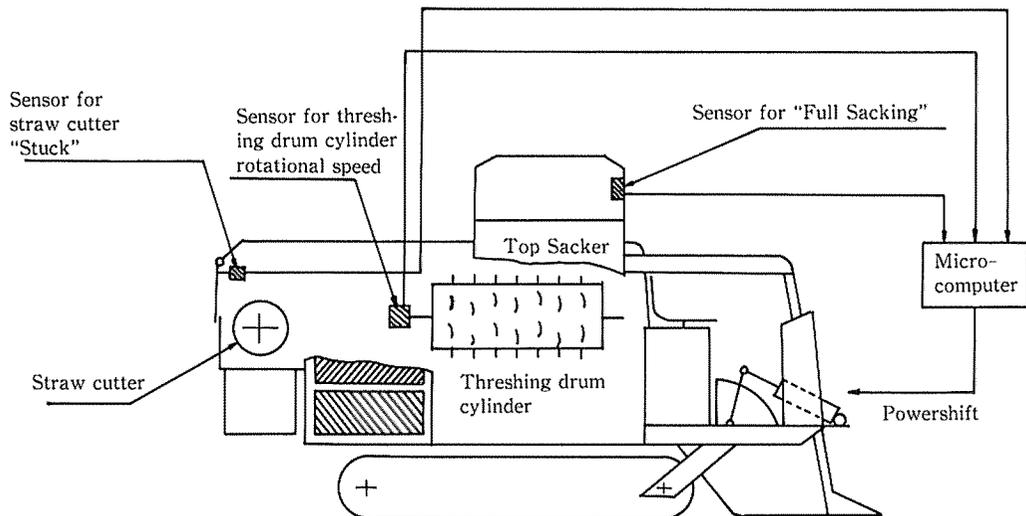


Fig. 11. Warning sensors and their location layout.

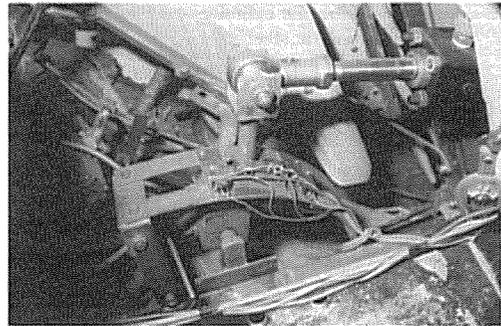


Photo. 9. Position sensors used for controlling the powershift transmission.

のセンサーからの信号をマイクロコンピュータに入力し、パワーシフトレバーにフィードバックし異常をLEDディスプレイに表示してコンバインを停止させる。また扱胴回転速度低下警報装置はセンサーからの信号をマイクロコンピュータに入力し、パワーシフトレバーにフィードバックし、信号が検出された時、走行速度を減じ、脱穀部負荷を制御する供給量制御のセンサーとして使用した。Fig. 11 に各種警報センサーとその位置を示す。

2. 8 供給量制御装置

脱穀部では全動力の60~80%が消費され、コンバインの動力伝達系も脱穀部に全負荷がかけられるように設計されているが、それ以上の過負荷時には扱胴回転速度が低下し、著しく作業精度が落ち、穀粒損失の増加や詰まりを生じる。

コンバインにかかる負荷は刈巾を一定とすれば走行速

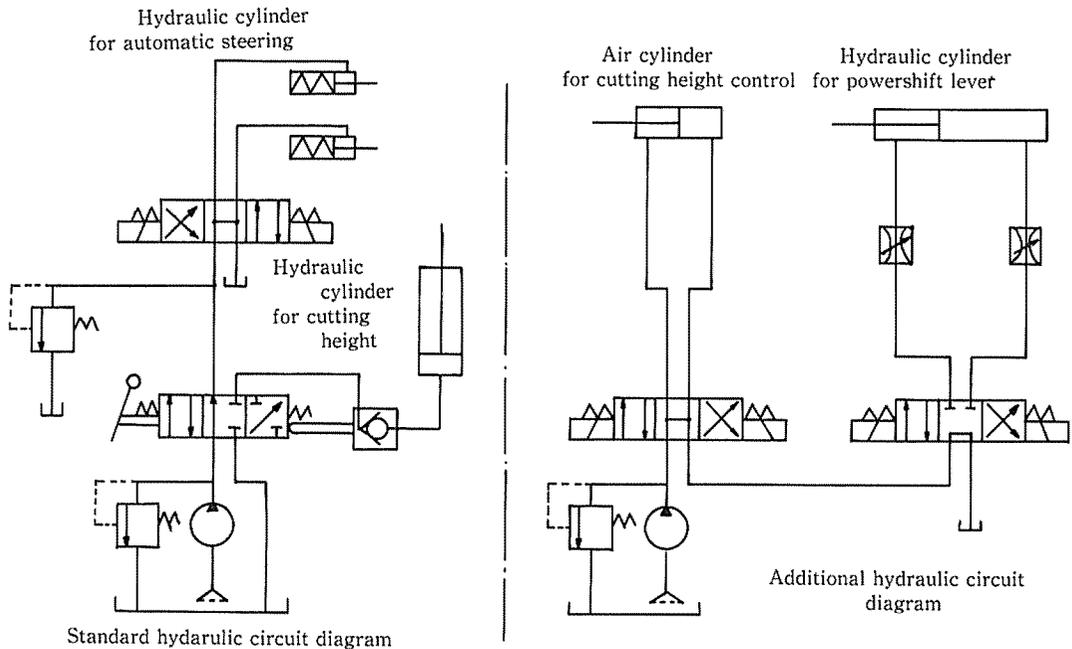


Fig. 12. Hydraulic circuit diagrams.

度と作物の単位面積あたりの栽植密度との積で定義される供給量によってほぼ決定される。一般にコンバインの穀粒損失は供給量の増加と共に増えるので、自動制御装置を付加し単位面積あたりの収量に応じて走行速度を変化させ、最適状態で作動させる必要がある。

前項で既述した様に供試コンバインは扱胴回転速度低下警報装置を有しているのでこのセンサーを利用して供給量制御を行った。このセンサーは扱胴の回転速度がある回転速度以下になった場合に信号を発する形式のもので、きめ細かい制御には不向きであるが、この回転速度以下の時に1速を、それ以上の時は2速の走行速度を維持するように制御した。

2. 9 増設油圧回路

刈刃昇降用コントロールレバー操作、およびパワースhiftレバー操作を油圧シリンダで自動制御するために、油圧回路を増設した。油圧ポンプはエンジンで駆動し、運転席横に油圧タンク、リリーフバルブ、ソレノイド弁、流量制御弁を配置し2本の油圧シリンダへ配管した。

Fig. 12 に全油圧回路を示す。図中左側が供給コンバインの既設油圧回路、右側が増設の油圧回路である。写真10に油圧装置全体を示す。

2. 10 回 行

コンバインの走行制御をシステム的に行うには、直進

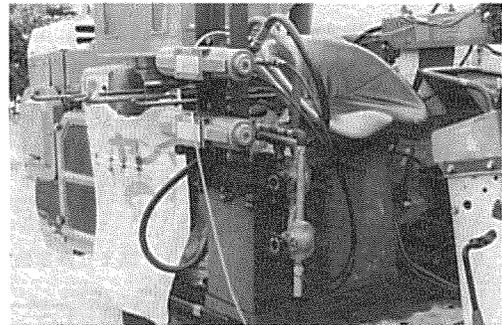
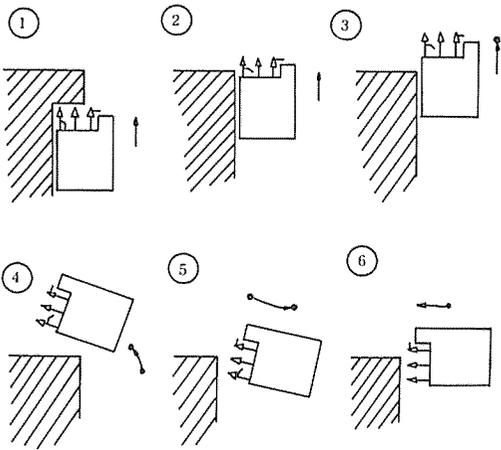


Photo 10. Whole view of the additional hydraulic unit for controlling the cutting height and powershift transmission.

区間の走行の自動化、および圃場隅部での回行の完全な自動化が遂行されなければならない。回行の自動化は制御対象が不安定要素を含む土や作物であることや、回行時、制御対象と機体が離れるためにフィードバック制御が難しいなどの問題点があるが、一般に回行動作は Fig. 13 の如き回行パターンで表示される。回行動作は一連のシーケンス動作であるためプログラムによる制御で容易に行えるが、それぞれの動作範囲をいかに規定するかがポイントである。そのための重要な要素として次のような事項が考えられる。

1. 条端検出後、旋回のためにしばらく前進する距離



- ① Under harvesting
- ② Sensing the row end
- ③ Move forward for while, then stop and lift the cutter bar
- ④ Turn left, then stop
- ⑤ Reverse with right turn and stop
- ⑥ Cutter bar lowered, then gets in new row

Fig. 13. Turning pattern of the combine at the corner.

- 2. 左旋回する距離(角度)
- 3. 後進する距離
- 4. 右旋回する距離(角度)

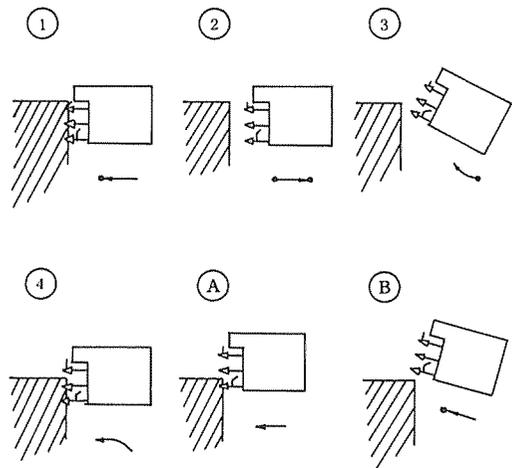
ここではコンバインの走行距離を直接検出せず、速度を一定と考え、マイクロコンピュータのソフトウェアによりタイマーにて時間設定し、距離に置き換えて制御した。言うまでもなくこの方法は走行部のすべりや速度の変化に対して無力であり、また圃場条件等により設定値をその都度変更、調節しなければならない嫌いはあるものの、複雑な装置を全く必要とせずソフトウェアのみで制御が可能、また変更も容易という利点がある。

2. 10. 1 回行パターン

回行のパターンは基本的には既述の通りであるが、油圧回路の特性上、本機では旋回と刈刃昇降が同時に制御不可能なために刈刃を上昇させつつ旋回を行うパターンを次の様に変更した。すなわち一旦停止後刈刃を上昇させ、左旋回を行わせた。これは稲の条端検出後欠株を無視するための待ち時間と刈刃が上昇するまでの遅れ時間のためにコンバインが前進しすぎ、稲列から大きく離れるのを防ぐためである。

Fig. 13 に回行のパターンを示す。

①でコンバインが稲条端に近づき②で操向センサーに



- ① : Stop when sensed swath edge
- ② : Reverse with cutter bar "lift", then stop
- ③ : Cutter bar lowered, then turn right
- ④ : Turn left, then gets in the new row
- Ⓐ : Continue harvesting for one row sensing
- Ⓑ : Stop when completely missed

Fig. 14. Turning pattern of the combine at the corner.

よって条端を検出し、③で旋回のために一定時間前進し、停止の後刈刃を上昇する。④で一定時間左旋回し停止する。⑤で後退し、右旋回を行った後、⑥で停止し、刈刃を下降させ次の稲列に進入する。このように回行動作は何らフィードバック操作を伴わないプログラム制御であるため既述のことが原因でパターンがくずれることがある。これを補正するために Fig. 5 に示す右端センサーで刈巾より右側(外側)の稲の有無を検出した。Fig. 14 に右端センサーと操向センサーによる補正の方法を示す。

①の如くコンバインが稲列に進入し過ぎた場合、右端のセンサーにより"進入し過ぎ"を検出し停止する。

②のように刈刃を上昇しつつ一定時間後退し、停止後刈刃を下降する。

③のように一定時間右旋回を行い、直進後

④のように一定時間左旋回し、機体の位置をずらす。

この後稲列に進入し、それでもなお右端センサーが稲を検出した場合、右端センサーが稲を検出なくなるまでこのシーケンスをくり返す。

Ⓐのように進入不足の場合は再度進入を試みず、そのまま作業を続行する。

Ⓑのように完全に稲列をはずしてしまった場合や、刈り取り終了時のように、一定時間内に操向センサーが稲列を検出しなければ、その旨を LED ディスプレイに表示して停止する。

TIM 7 : RGTルーチンの右旋回時間
 TIM 8 : RGTルーチンの左旋回時間
 TRNS : パワー・シフトレバーニュートラルデータ
 MAN-RG : LED 表示データ

3. 1. 1 イニシャライズルーチン (INT)

システムのイニシャライズを行うルーチンで、増設した I/O ポートをモード 0, A, B ポートを入力, C ポートを出力に設定し、LED ディスプレイに MANU と表示して手動モードを示す。パワー・シフト制御における変速位置 (ニュートラル) のデータを TRNS に転送している。

3. 1. 2 手動操作ルーチン (MAIN)

キーボードによる各アクチュエータの操作を行うルーチンでキーの対応を以下に示す。

STORE DATA	……………自動操向ルーチンへ移る
READ DECR	……………右旋回
6	……………左旋回
3	……………刈刃上昇
B	……………刈刃下降
0	……………後退

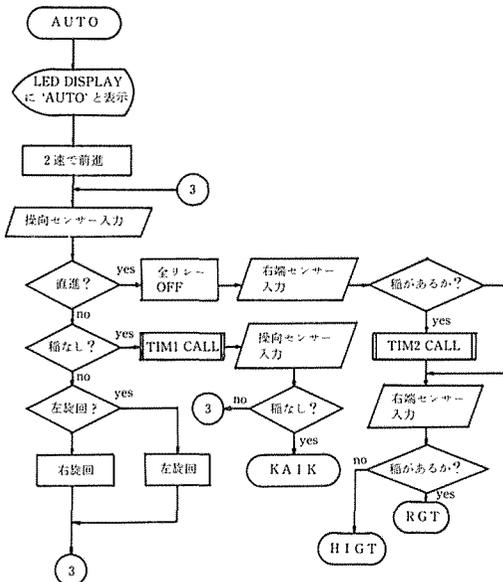


Fig. 16. 自動モードと操向制御の概略フローチャート

4	……………中立
8	……………1速
C	……………2速
1	……………深掘ぎ
5	……………浅掘ぎ

キー操作は押している間のみ動作する。

またこのキー入力にはモニターの KEYIN サブルーチンを使用し、キーが離されたかどうかを調べるのにモニターの INPUT サブルーチンを使用した。Fig. 15 に手動モードの概略フローチャートを示す。

3. 1. 3 自動走行ルーチン (AUTO)

これは各センサーにより自動走行を行うルーチンである。手動ルーチンにおいて "STORE DATA" キーによる

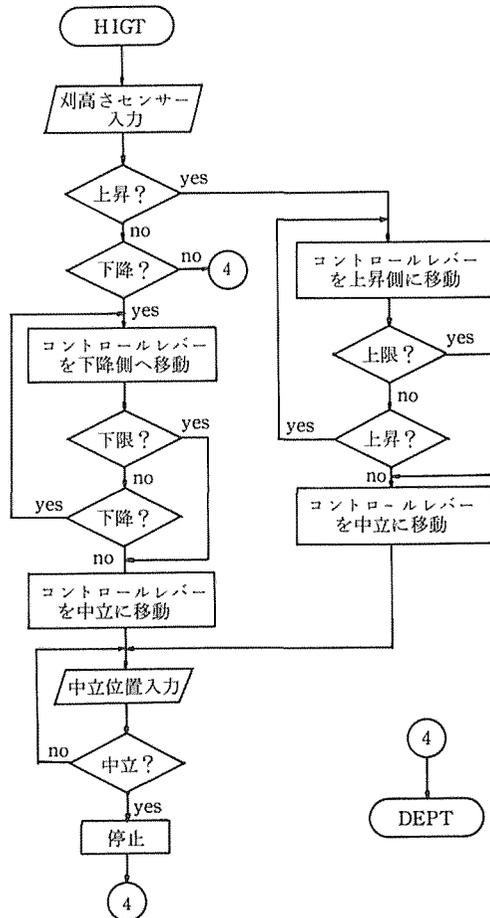


Fig. 17. 刈高さ制御の概略フローチャート

り、このルーチンが実行される。LED ディスプレイに“AUTO”を表示し、コンバインの速度を2速にする。そして各センサーを順次スキャンしながらそれぞれの処理を実行していく。このルーチンをぬけるにはリセットスイッチが押された時と刈取り作業が終了し、稲がなくなった時である。

3. 1. 3(a) 操向制御ルーチン (TURN)

操向センサーの入力ポートである $PA_0 \sim PA_2$ の3ビットをマスクしてAレジスタに入力し、その内容により右旋回、左旋回を行う。“稲無し”の信号を検出した場合すぐに回行ルーチンへいかず、欠株による信号と区別するためにタイマーによる時間待ちを行い、再度この信号を検出した時、初めて回行ルーチンへジャンプする。右端センサーの信号検出時にも同様の対策をした。Fig. 16 に概略のフローチャートを示す。

3. 1. 3(b) 刈高さ制御ルーチン (HIGT)

刈高さ制御には刈刃の上昇、下降、最高点、最下点、およびコントロールレバーの中立位置の5信号を用いて行い、これらの信号は $PA_4 \sim PA_7$ および本体のI/Oポートの PB_1 に接続されている。

刈刃昇降のアクチュエータはコントロールレバーを操作する複動の油圧シリンダであるため、信号OFF後には中立へ復帰するためのルーチンを通り、極ぎ深さルーチンへジャンプする。Fig. 17 に概略フローチャートを示す。

3. 1. 3(c) 極ぎ深さ制御ルーチン (DEPT)

極ぎ深さセンサーの入力ポートである $PB_5 \sim PB_7$ の3ビットをマスクしてAレジスタに入力し、 PB_5 の稲検出センサーがOFFならば穂先検出センサーの信号にかかわらず、次の供給量制御のルーチンへジャンプする。Fig. 18 に概略フローチャートを示す。

3. 1. 3(d) 供給量制御ルーチン (FR)

供給量制御用センサーは既設の扱胴回転速度低下警報センサーで、I/Oポートの PB_5 に入力されている。このルーチンではセンサーの信号が検出された時、コンバインの速度を1速に減速し、センサーの信号が検出されない時は2速にするよう速度の切り換えを行い、次のモニタールーチンへジャンプする。Fig. 19 に概略フローチャートを示す。

3. 1. 3(e) モニタールーチン (MONI)

このルーチンでは本体I/Oポートの $PB_6 \sim PB_7$ に入力されたトップサッカー警報センサーおよびカッタ詰り

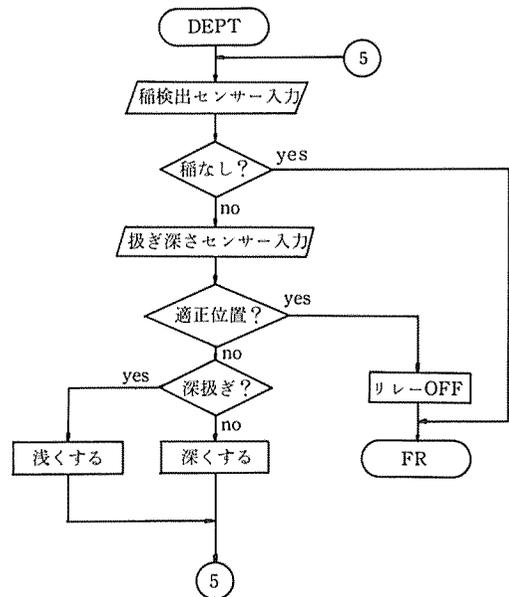


Fig. 18. 極ぎ深さ制御の概略フローチャート

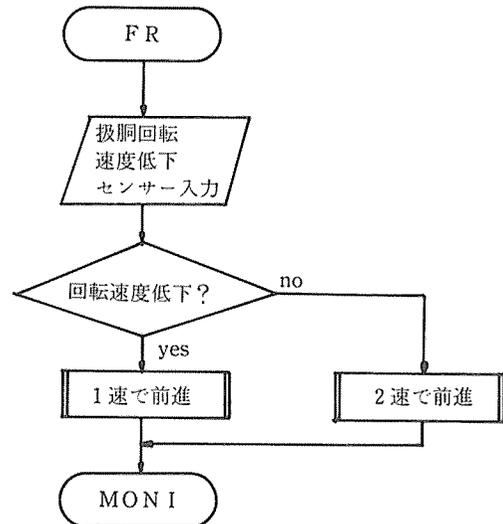


Fig. 19. 供給量制御の概略フローチャート

警報センサーの信号により、扱胴タンクが満杯になった時やカッタ部に詰りを生じた時に、その原因をLEDディスプレイに点滅表示し、コンバインを停止するためのルーチンである。

このルーチンをぬけるにはキーボードのリセットキー以外の任意のキーを押すことにより自動走行モードへジャンプする。Fig. 20 に概略フローチャートを示す。

3. 1. 3(f) 回行ルーチン (KAIK)

操向センサーの信号によりこのルーチンにはいり、一

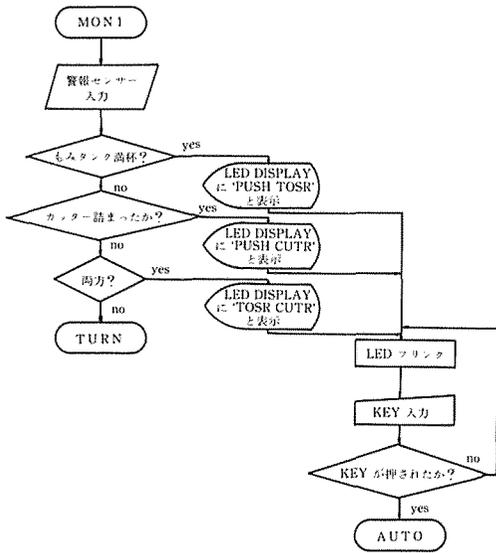


Fig. 20. 警報モニタールーチンの概略フローチャート

サーと右端センサーで監視およびモニタプログラムのタイマーサブルーチンによる時間カウントを行い、操向センサーにより稲を検出すれば自動走行モードへ、右端センサーにより稲を検出すれば RGT ルーチンへ、また一定時間内に稲を検出しなければ LED ディスプレイに "NO RICE" と表示して停止する。キーボードのリセット以外の任意のキイにより手動モードへジャンプする。Fig. 21 に概略フローチャートを示す。

3. 1. 3 (B) 右端ルーチン (RGT)

右端センサーの信号によりこのルーチンにはいり、LED ディスプレイに "RGT" と表示し、機体の位置を右側にずらす動作を行う。このルーチン終了後、自動走行モードへジャンプする。Fig. 22 に概略フローチャートを示す。

3. 1. 4 各サブルーチン

3. 1. 4 (a) LED ディスプレイ表示サブルーチン

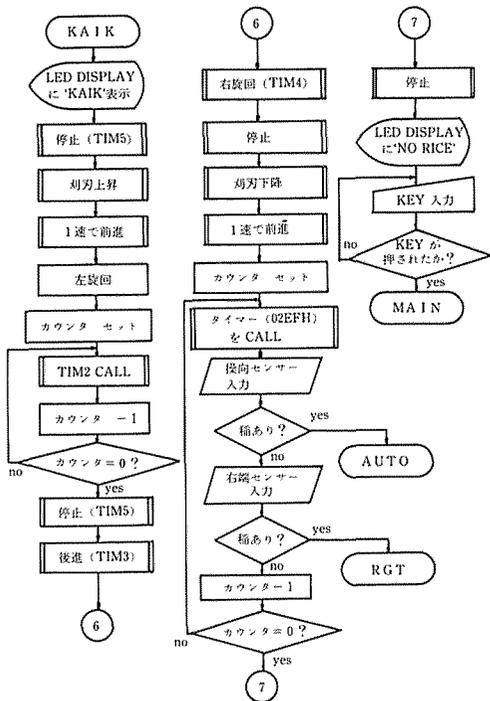


Fig. 21. 回行ルーチンの概略フローチャート

連の回行動作を行い、回行終了後に自動走行モードへジャンプする。

このルーチンにはいると LED ディスプレイに "KAIK" と表示し、時間によりそれぞれの動作を行い、回行を終了し、次の稲列に進入するが、この時操向セン

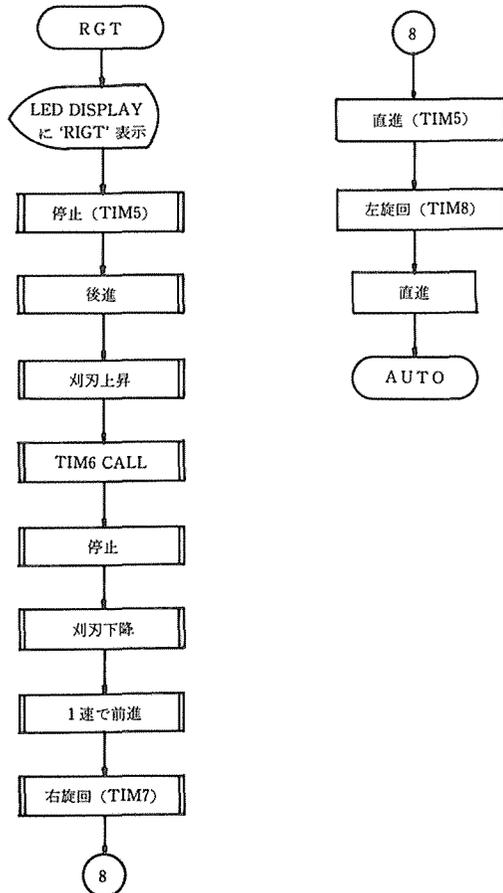


Fig. 22. 右端ルーチンの概略フローチャート

(SEG)

LED ディスプレイに任意のパターンを表示するのに TK-80E は DMA 転送を用い、セグメントデータバッファ (83F8 番地 - 83FF 番地) にデータを書き込むのみでも表示可能となっている。また表示は 7 セグメントの

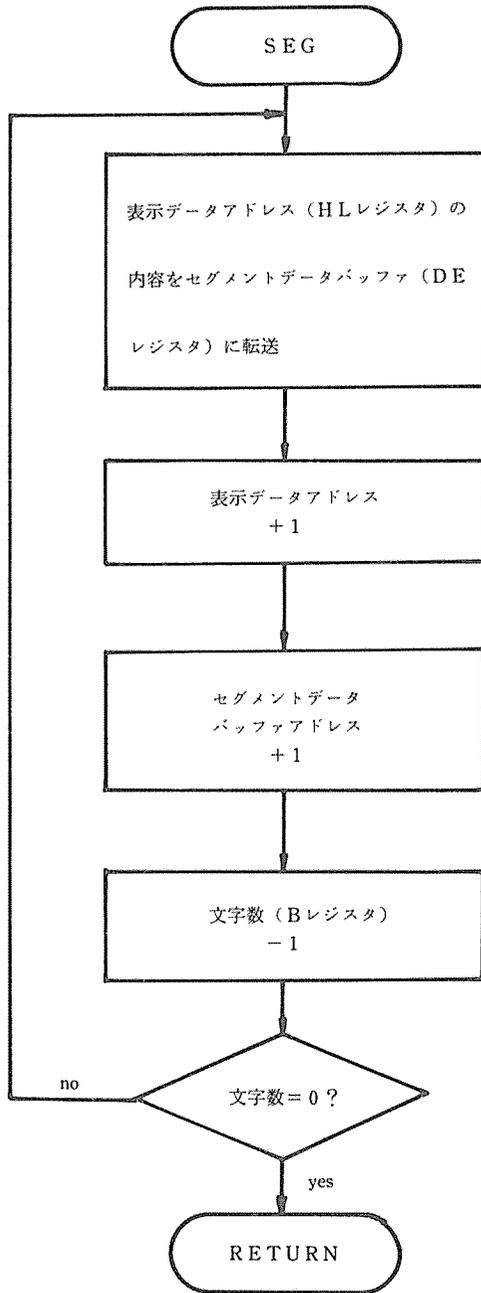


Fig. 23. LED 表示サブルーチンの概略フローチャート

LED 表示素子を使用し、ダイナミック点灯させている。

実際にこのサブルーチンを用いて表示するには、表示データを任意のアドレスに設置し、Bレジスタに表示文字数、HLレジスタペアに表示データの先頭アドレス、DEレジスタペアにセグメントデータバッファの先頭アドレスをそれぞれ入力してこのサブルーチンをCALLすることにより表示する。Fig. 23 に概略フローチャートを示す。

3. 1. 4(b) パワーシフト制御サブルーチン(PSR)

このサブルーチンは変速位置のデータである 01H (後退), 02H (ニュートラル), 04H (1速), 08H (2速), 10H (3速) と指定された変速位置とのデータの比較・演算を行いパワーシフトレバーを増速側か減速側に变化させ変速を行う。また変速位置を検出するセンサーが油圧シリンダの過変位等により接触不良を生じた場合、変速位置のデータが 00H となり、比較・演算の結果すべて増速側に油圧シリンダを変位することになり、正しい制御が行われないことがある。これを防止するために変速位置のデータを記憶する RAM エリア (TRNS) を 1 バイト設け、接触不良と判断した場合この RAM エリアからデータを参照して変速を行っている。この変速位置のデータは変速を行うごとに新たな変速位置のデータに

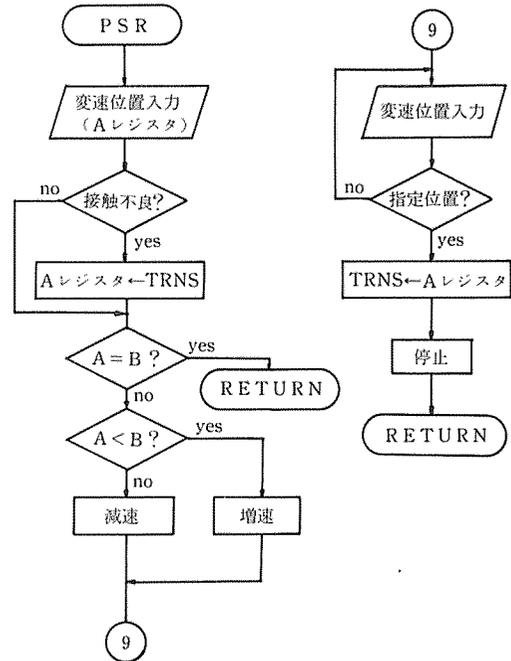


Fig. 24. パワーシフト制御サブルーチンの概略フローチャート

更新される。また初期設定時にニュートラルのデータをRAMに書き込んでいる関係上マイクロコンピュータの電源を切る際にはパワーソフトウェアをニュートラルの位置しておく必要がある。

入力の条件としてBレジスタに指定変速位置を入力し、このサブルーチンをCALLする。Fig. 24に概略フローチャートを示す。

3. 1. 4(c) 刈刃昇降サブルーチン (UP, DOWN)

このサブルーチンは回行、右端ルーチンの中で刈刃昇降を行う場合に使用し、それぞれ最高点、最下点まで移動する。このサブルーチンは刈高さ制御サブルーチンと基本的に同一であるのでフローチャートは省略する。

3. 1. 4(d) タイマーサブルーチン (TIMER)

このサブルーチンは約0.5秒の待ち時間を作るタイマーで回行、右端ルーチンの各動作の基本となり、Bレジスタにこのサブルーチンを回る回数を入力し、コールすることにより0.5~128秒まで0.5秒おきに任意の時間が設定可能である。

TIM 1~TIM 8は3-3で示したように各動作の時間をBレジスタに入力するデータで決定し、このデータ

を任意に変更することにより動作時間の調節を行う。Fig. 25に概略のフローチャートを示す。制御プログラムの容量は約900バイトで8000番地から実行を開始する。

3. 2 ソフトウェアの開発

制御ソフトウェアの開発の補助手段として、COMPO BS/80 (NEC社製)を用い、CRTディスプレイ、デジタルカセット、プリンタを接続してプログラムの開発を行った。TK-80EのRAM領域は8000~83FF番地であるが、COMPO BS/80はこの番地が空領域であるため市販のメモリー増設ユニットを使用して、RAMとI/Oポートの増設を行い同一番地にてプログラムの開発を可能とした。またオンメモリーでアッセンブル可能な1パスアッセンブラ⁴⁾を使用し、増設したRAM上にプログラムを開発し、I/Oポートにオーディオカセットインターフェイスを接続して一旦テープに記憶した。COMPO BS/80はオーディオカセットインターフェイスを備えているが、フォーマットおよびボーレートがTK-80Eと異なるためにTK-80Eのモニターのシリアル出力サブルーチンを利用し、入出力のルーチンを加えてリロケートし、COMPO BS/80のRAM上に配置した。このようにCOMPO BS/80で開発したプログラムをオーディオカセットテープを媒体としてTK-80Eに読み込み実行を可能とした。

第4章 圃場実験および考察

試作制御系を装備した供試コンバインを実際の圃場での稲の収穫作業に用い、制御装置の良否について検討した。自動制御系の良否を検討するには供試コンバインがコンバインとしての基本的機能を満足に満たすことが前提となるが、現在市販の自脱型コンバインの性能は各社ともほぼ満足できる域に達していると考えられ、基本的機能を阻害する最も大きな条件は圃場条件にあると考えられる。特に土壌条件の影響が著しい走行部はクローラ装備による軟弱地の走行性向上に対処しているが著しい沈下やすべりによりしばしば走行不能に陥ることが少ない。特に湿田では顕著であることは言うまでもない。こうした状況下での自動制御は効果が少なく、本研究の場合も極端な場合を除き、かつ通常の収穫作業ができる状態での圃場および土壌条件を対象とする。

4. 1 各制御系についての検討と今後の課題

4. 1. 1 操向制御および制御装置

圃場実験において不都合が観察されたのは操向制御時

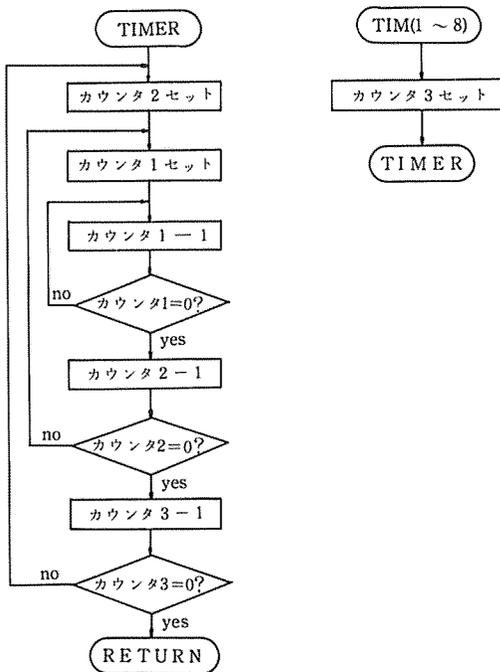


Fig. 25. タイマーサブルーチンの概略フローチャート

注) 参考文献11) 参照

と回行時（いずれも操向クラッチは切、旋回側の履帯はブレーキにより停止）において旋回力が同一設定であるために操向制御時に旋回力が大き過ぎて機体がハンテング現象を生じたり、稲列をはずすことである。これは操舵時の車体の慣性による行き過ぎ量が大きな原因と考えられ、この問題については旋回力を何らかの方法で制御することで解決できる。1例として操向用シリンダを複動型に変更し、停止位置を任意に変化させて旋回力を制御する方法や、油圧装置をそのままにしておきプログラムによりソレノイドバルブにパルス信号を与え、パルス幅により旋回力を制御するなどの方法が考えられる。前者は油圧装置の改良を要し不利であるのに対し、後者はマイクロコンピュータの持つフレキシビリティを十分に活かすことにより旋回力が任意に制御できる点で有利でありかつ容易である。また土壌や稲の状態により刈取り速度を調節しその速度に応じてソレノイド弁へ送るパルス幅を変化させ、自動的に旋回力を制御することにより広範囲な刈取り速度に適応することが可能と考える。最適な操向制御は必ずしも稲列に忠実に追従する必要はなく、可能な限り旋回動作を少くして直進運動に近づけ走行距離を短くし、かつ稲列からはずれないようにすることである¹⁰⁾。これには瞬間の情報ではなく、これから刈取る稲の情報を先取してコンバインの最適進行方向を決定する必要があり、いかにして前方の稲の位置を検出するかが問題となる。最近のコンピュータ技術とテレビカメラを用いた画像処理技術の応用によりこの問題は解決されると思われるが、1例として稲列の位置を順次記憶して次の稲の位置を予測し、最適な進行方向を計算しながら進行し作業を行う方法も考えられる。

供試コンバインの操向センサーは内側（左側）の稲列に追従するように左側のディバイダに取り付けられている。しかし田植機による移植が一般的である現在では条方向にはかなりの直進性が得られるものの横方向には不揃いである。横方向の刈取り時左側の位置でのセンシングは不都合でセンサー位置を右側ディバイダに変更し稲を一種の壁と見なして追従するようにすればよいが、栽植密度が縦横で異なるため横刈り時は稲の間隔が広すぎて感知不能になることが考えられる。そのためセンシングロッドを長くしたりするなどの考慮が必要である。

4. 1. 2 刈り高さ制御および制御装置

試作センサーは圃場表面と常に接触を保ちつつ刈り高さを検出する接触型センサーであるため、刈り株に接触

したり、手動操向時の誤操作による破損、あるいは軟弱地におけるセンシングロッドの貫入、埋没により適切な刈り高さの検出が不可能な場合もあり、その機構、検出位置に十分配慮が必要である。これについては非接触式センサーとすることに加えて耐泥土、耐水性等についてその対策が必要である。さとうきび収穫機ではその刈り高さ制御用センサーとして超音波センサーとマイクロプロセッサを組み合わせて圃場面と刈刃との距離を検出し、それらの平均的差をある限られた範囲内で最小にするように刈刃を制御する方法が報告されている¹⁰⁾。

4. 1. 3 扱ぎ深さ制御および制御装置

脱穀部へ供給される稲はフィードチェーンにより扱胴を通過し脱穀を終了するが、この時稲は株本を保持されつつ供給されるため穂先が曲がってしまうことが多い。特に稲の量の少い時にこの傾向は顕著である。この場合穂先はセンサーをくぐりぬけ検出がなされず深扱ぎの方向に縦搬送チェーンを制御する現象が見られた。この対策としてはセンサーの検出部を長くするとともに動作荷重の小さいセンサーを用い、検出の鋭敏さに瞬間的な入力を無視するための時間遅れを設けることが必要と考える。

また縦搬送チェーンを操作するアクチュエータに自動車用ワイパーモータを用いたが、回転速度の速いものが望ましい。しかしながらこの制御系には時間遅れがあるため、本来高速に作動するアクチュエータが必要であるが行き過ぎ量が多くなり、縦搬送チェーンの移動範囲が大きくなるため無駄な動きが増える。こうした点からアクチュエータの作動速度がある程度遅くてもよいが、より確実に制御するためには油圧シリンダ等の高速アクチュエータで直接縦搬送チェーンを駆動し、直線信号ではなくパルス信号で少しずつ駆動させることによりきめの細かい制御ができる。

4. 1. 4 その他の制御および制御装置

パワーシフト制御は全般的に良好な作動が確認されたが、無駄時間の減少のためには油圧シリンダの高速化と行き過ぎ防止のための改良が必要である。動作範囲を制限するリミットスイッチ、マイクロスイッチおよび大きな力の作用するセンサー類は小型で堅牢なことが必要で特に油圧シリンダの動作制限のためのリミットスイッチはこのことが望まれる。供給量制御については操向制御を行う制約からその走行速度を低く（0.4m/s）したため綿密な評価ができなかったが本方式に用いた扱胴負荷検

出方式は時間的遅れがあり、わら層厚さ等の検出も加えた2入力方式が望ましい。

4. 1. 5 回 行

回行動作は操向制御、刈り昇降制御およびパワー・シフト制御を総合的に組み合わせて行うものであり、その動作範囲を決める方法により制御の良否が決定される。ここでは各動作範囲の決定に時間を用い一連の回行動作を制御する方式を用いたことは既述したが、圃場条件により時間データを調節しなければならない複雑さはあるものの、逆に時間データの変更のみで種々の条件の異なる圃場に対応できる。ここに用いた方式は一種のプログラム制御であり、他の方式としてコンバインの進行方向と距離を幾何学的計算によって決められたパターンに従い進行するようにフィードバック制御を行う方法も考えられるが、方向と距離を検出するためのセンサーとして適当なものが現段階では見当たらない。航空機、ロケットに用いられるジャイロスコープも考えられる1つであるものの精密機器のため高価であることが難点である。本研究でも低価格でジャイロスコープを試作し利用を試みたが精度的に実用化には至らなかった。

また距離の計測も走行装置が装軌式であるためむずかしく非接触式のセンサーで安価なものが必要である。さらにフィードバック制御では次のような点につき考慮しておく必要がある。すなわちたとえば90°の左旋回を行う場合、途中で走行部が完全にスリップするとこの状態から脱出できずいつまでもスリップすることになる。こうした場合は時間などの制御を追加して、ある一定時間経過したら完全スリップの状態と判断してコンバインを停止させる等の対策が必要となる。またプログラムに学習機能を付加し設定値を最適な値に変更していく適応制御も効果がある。

4. 1. 6 電気装置

マイクロコンピュータのハードウェアに関してはノイズなどによる誤動作は見られず、また振動の多い環境の中で安定に動作することを確認した。試作制御系と同程度の機能を有するマイクロコンピュータを無駄な部分を省き合理的かつ専用に設計すれば大きさとして現在の以下にすることが可能で、実機への実用化という点でのコンパクトさは解決できる。

ソフトウェアはその構成によってシステム全体の性質が決定する重要な部分であることは言うに及ばないが、ここではセンサーからの入力信号処理を順次各センサー

をスキャンして監視する方法を用いたため、1つの処理をしている間は他の処理を行うことが不可能であったことが1つの問題点として指摘される。この解決には時分割処理やリアルタイム割込み、あるいは優先順位付の割り込み処理をハードウェア、ソフトウェア両面の改造によって同時処理を可能にすることができる。またそれぞれの制御を専用のマイクロプロセッサに分担、管理させ、それらのプロセッサを1つのマスタープロセッサで管理するマルチCPUシステムの構成も1方法であろう。

あ と が き

本研究は近年急速に推し進められている農業機械の自動化をさらに推進し大幅な省力化と農作業の安定性と精度の向上を計るべくマイクロコンピュータ制御による無人コンバインの試作とそれを用いた圃場での実収獲作業を実験し制御系の良否を評価・検討した。

収獲作業の中でも単一の作業たとえば刈り高さ、供給量、操向といった作業についての研究報告は既述のように見られるが、完全な無人化コンバインについては1976年某企業の開発によるコンバインの報告を除いてない。この場合もマイクロコンピュータの利用ではなく機械的センサーと論理回路を組み合わせた方式を用いており土壌、圃場条件等の相異、その他各種ファクタの変化に伴う柔軟な対応はそれほど容易でない。プログラムの変更によるソフトウェア面での対応はマイコンが有利であることは論を待たない。それ以来約5ケ年を経るものの非公式には企業サイドでマイコン制御無人コンバインが開発、完成の域に達していることを耳にするものの公的発表はなく、大学その他の研究機関でもそうした情報は報告されていない。そして今や室内もしくは少しばかりの圃場実験で基礎資料を得る段階にはなく、一気に実用化へと進む時期にきており、多少の調整、変更は現場対応で解決できる程度の柔軟性と信頼性を有するまでに電子部品の高性能、低価格が計られており、本研究でも特に圃場での収獲作業においてどの程度対応できるのか、すなわち通常の機械収獲作業を行えるだけの性能を制御系が有しているのかについて観察した。その結果ソフト的対応により現場での条件の変化に十分対応できることを確認した。ただ実用化、市販と移行するには、中間のディーラーのアフターサービス、保守、点検修理といった点が問題視され、早急な普及につながるとは考えられにくい、コンピュータが機械の部品、特にボルトやナット

ト的存在で利用される日もそれ程遠くはない。本研究はこうした制御系を組めば収穫作業の無人化が可能であるという1例を示したにすぎないが、いくら何でも資料提供の役割をもては幸いである。

最後に本研究遂行にあたりコンバインを快く供与いただきましたヤンマー農機常務取締役堀端治夫様および喜多毅様に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 川村 登：農業機械自動化の動向，システムと制御，第22巻，8号。
- 2) 池田 善郎：コンバインの自動操向制御に関する研究，農機誌，第35巻第4号。
- 3) 川村 登：油圧駆動コンバインにおける供給量制御，農機誌，第34巻第2，3号。
- 4) 井関農機㈱：無人コンバインの登場，機械技術。
- 5) 金藤 裕治：無人化コンバイン—メカニズムと特性，機械設計，第20巻，第5号。
- 6) 堀端 治夫：コンバイン，油空圧化設計，第16巻，第9号。
- 7) 鶴見 学：コンバインにおける自動制御，農機学会，第6回農業動力部会研究会資料。
- 8) 全 農：自脱型コンバイン その1，その2，農業機械技術情報5，6月号。
- 9) C. G. Coble：Microprocessor-based ultrasonic height controller for sugarcane harvesters, American Society of Agricultural Engineers. Presentation at winter meeting of ASAE. Paper No. 79-1571
- 10) 伊谷 一明：自脱型コンバインの自動制御に関する研究，三重大学農学部 昭和53年度，修士論文。
- 11) 鈴木 俊孝：TK-80BS 用，LEVEL-2 アッセンブラ Ver. 2 マイコン7月号 1980（電波新聞社）
- 12) NEC：TK-80/80E ユーザーズマニュアル—式

Summary

In this paper, the result of the field experiment of the microcomputerized driverless combine is described. There are two ways of applying automatic control techniques to agricultural machinery.

One of them can be applied to unit farm machinery such as tractor and combine. The other is for agricultural facilities such as a green house or grain dryer plant.

This research is included in the former category, and concerns control of a moving vehicle. For this kind of work, some difficulty is sometimes met in sensing and controlling optimally the actuator, because of the rapid and frequent change of circumstances under which the machine is running.

In our former work, one of the authors reported on the programmed and feedback control systems of head feed type combine. However those controlling methods could not cover the multiple operation completely. The application of microcomputer not only to industrial machines but also to agricultural machinery can solve this problem.

The following advantages can be listed for the use of micro-computer with agricultural machinery :

- (1) Multi-input signals can be processed and controlled.
- (2) Software can easily help to solve the problem of changing the control process or procedure of routine work which was programmed and stored prior to the operation.
- (3) Time, labor and energy in agricultural operation can be saved.
- (4) Safety can be ensured.
- (5) Machinery can be systematically controlled.

Based upon the above merits of using micro-computer with agricultural machinery, a micro-computerized driverless combine was constructed and its controllability was evaluated according to actual harvesting operation in the paddy field.

From the test results, the following points are revealed.

- (1) The machine worked well and control was done satisfactorily, but the steering clutches should be

adjusted for suitable braking force depending on the circumstances of steering and turning at the end of row of rice plants.

- (2) The hydraulic circuit should be modified to obtain the simultaneous control of the lifting motion of cutter bar and travelling, including the steering and turning.
- (3) The mechanical sensing device for detecting the cutting height did not work so well, especially in the muddy, wet field. A different type of sensor (such as ultrasonic or optical) is recommended, in addition to the consideration of the position or location of the sensor to be mounted.
- (4) The learning function should be added to improve the ease of adjustability of control factor referring to the field condition, etc.

It can be concluded from this work that the possibility of applying the micro-computer control system to the combine was notably high, and this technique will probably be widely distributed for practical use and future commercial machines.