Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-29

田植機の操向制御(第 2 報) : 制御方法について(農業工学)

川村, 恒夫
西村, 功
岡本, 嗣男
上田, 敏夫

(Citation)
神戸大学農学部研究報告,14(2):335-340

(Issue Date)
1981-01-30

(Resource Type)
departmental bulletin paper

(Version)
Version of Record

(JaLCDOI)
https://doi.org/10.24546/00227232

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/00227232

神大農研報 (Sci. Rept. Fac. Agr. Kobe Univ.) 14 : 335-340, 1981

田植機の操向制御 (第2報)

—制御方法について—

川村恒夫*・西村　功*・岡本嗣男**・上田敏夫***

(昭和55年8月11日受理)

AUTOMATIC STEERING CONTROL OF RICE TRANSPLANTER (PART 2)

— Control Method —

Tsuneo KAWAMURA, Isao NISHIMURA, Tsuguo OKAMOTO and Toshio UEDA

Abstract

This research was investigated as a method for the automatic steering of rice transplanter. It is the purpose of this research that the rice transplanter is steered automatically along the plant row which is transplanted previously. In this report, the detecting method mentioned in the previous report was improved and the controlling method by using memory and logical circuit was tried.

(1) The detecting method was as follows. The electrical resistance of rice plant was converted to DC voltage by a non-inverting buffer amplifier with 741 type operational amplifier and the rice plant was detected. The detecting limit of this circuit was about 33MΩ. This value was extended more than the previous report.

(2) The detected signal was converted to ON-OFF signal by a comparator, and it was triggered a monostable multivibrator IC. So the IC generated a fixed width pulse (0.1 second) when the sensor detected a rice plant.

(3) The memory circuit held the condition of rice transplanter. This circuit was consisted in 5 bits serial-in, parallel-out shift register, so the rice plants of 5 hills were memorized and shifted by the timing pulse generated at a monostable multivibrator IC. The left turn, straight running, and right turn of transplanter was decided by the logical operations of the output signal of shift registers.

(4) The memory and logical circuits almost achieved the initial purpose. If the error of transplanter was large, the holding time of pulse which controlled the transplanter became long. If the traveling speed of transplanter was fast, the pulse width became short, so the contolling time of transplanter changed according to the error and the traveling speed.

I 緒言

第1報では，既に植え付けられた苗列を検出し，それに沿って田植機のならい操向制御を行うことを目的として，苗検出回路の試作と苗の電気抵抗の測定を行った。この実験で，苗1本の電気抵抗は，播種後18～35日の苗で約30～50MΩの範囲にあり，播種後日数が経つに従って高抵抗を示すことが判った。また，品種及び含水率の違いによる差を調べるため，茎部と葉部の単位長さ当りの抵抗を求めたところ，播種後18～35日の苗では，各々0.9～1.7MΩ/cm，3.2～4.9MΩ/cmとなり，品種及び含水率による差は認められなかった。これらのことから，苗の電気抵抗値は，播種後日数のみに依存すると考えられるので，苗の電気抵抗を測定することにより，田植機の操向制御のための信号を得ることができると考えられる。

前報で試作した苗検出回路は，発振回路より土中に供

* 圃場機械学研究室　** 東京大学　*** 富山県信連

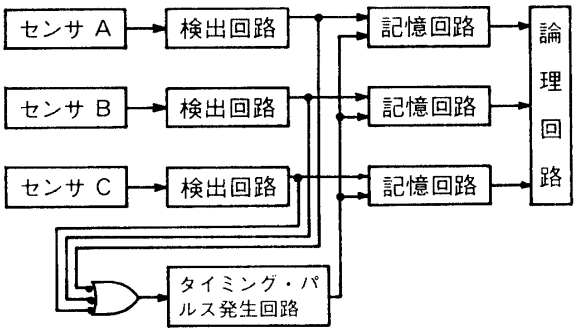
給される交流成分を，苗とセンサとの接触によりダーリントン接続されたトランジスタで増幅し，単安定マルチバイブレータにより一定幅のパルスを出すものである。この回路の検出限界抵抗値は約15MΩ(固定抵抗の場合)であり，センサの材質には影響されなかった。また，1株5本の苗を用いて検出能力を調べた結果，接触が確実であれば，茎部，葉部のどちらでも検出可能であることが判った。次に，センサを簡易走行装置により，一定速度で移動させて速度の影響を調べた結果，葉部接触の場合は苗の検出はできなかったが，茎部接触の場合は，走行速度を変えても差は見られず，100%検出できた。このようにこの検出回路により苗の検出が可能なことが明らかになったが，交流電源が必要であること，検出限界が若干低いこと等の欠点がある[1),2)]。

本報では，検出回路を交流電源不要のものに改良し，制御システムと制御用論理回路について述べる[3)]。

Ⅱ　制御システム

1．概要　農用車両の自動操向を行う場合に問題となるのは，ハンドルあるいはステアリング・クラッチをどのようにして操作するか，ブレーキを併用するのかどうかということである。ハンドルの操作方法には，大別して，比例サーボ式とオン・オフ式の2種類があり，それぞれ，長所と短所がある。田植機，特に乗用田植機を対象としてならい操向制御を行う場合，既に植えつけられた苗列と，現在植え付け作業中の苗列とのずれを検出する必要がある。本研究では，既に植え付けられた苗列を検出するセンサ（縦10cm，横3cmの枠状に φ1.8 の銅線を曲げたもの）を横一列に5cm間隔（センサの中心間距離）で3枚取り付け，この中央のセンサと現在植え付け中の苗列との距離を30cmに保つように制御することを目標とし，機構の簡単なオン・オフ制御方式を用いる。

制御方法の概要を第1図に示す。3つのセンサのうち，どれか1つが苗と接触すれば，それに接続されている検出回路が作動する。3つの検出回路はOR接続されて単安定マルチ・バイブレータに結ばれている。従って，3つの検出回路のうち1つが作動すれば，単安定マルチ・バイブレータはトリガされ，一定幅のパルスが1つ出力される。このパルスをタイミング・パルス（シフト・パルス）として，検出信号がシフト・レジスタを用いた記憶，遅延回路で保持される。この回路には5ビットのシフト・レジスタをシリアルーイン，パラレルーアウト型で用いており，検出中の苗の6株以前までの状態を1株ずつ出力できる。このシフト・レジスタの出力を論理回路で判断して，田植機の左旋回，直進，右旋回を決定する。



第1図　制御システム概要

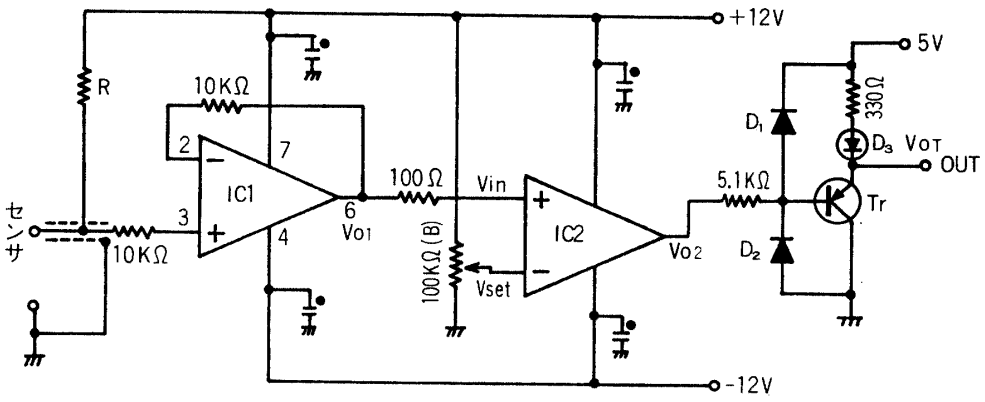
2．検出回路　第2図に検出回路を示す。IC1は，741型OPアンプによる増幅度1の非反転増幅器(ボルテージ・フォロア）で苗の抵抗値を電圧に変換して検出する。センサは非反転入力端子（3番ピン）に接続され，同時に3番ピンは抵抗Rで常時+12Vにプル・アップされている。741型OPアンプの非反転入力部の入力インピーダンスは約400MΩと高いため，Rによる電圧降下は無視でき，センサが何も接触していない時は，3番ピンには+12Vがかかるので，IC1の出力V_{O_1}は+12Vになる。センサが苗に接触すると，3番ピンとアース間に苗の抵抗R′が存在するため，3番ピンには次式で定まる電圧V_R'がかかることになり，それと同じ電圧がIC1の出力に現われる。

$$V_R' = V_{O_1} = \frac{R'}{R+R'} \times 12 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

この回路の特性を調べるため，プルアップ抵抗Rを1MΩ，2MΩ，5.1MΩ，10MΩの4段階に変え，苗抵抗R′の代りに1MΩから30MΩまで1MΩ刻みの固定抵抗を接続して，IC1の出力を測定した結果を第3図に示す。グラフより，苗抵抗R′を30MΩと仮定すれば，R＝1MΩ，2MΩ，5.1MΩ，10MΩの時のV_{O_1}の値は各々10.5V，10V，9V，8Vとなる。従って，この回路の次に比較回路を接続し，その設定電圧にこれらの値を選べば，苗の検出信号がオン・オフ信号で得られる。実際の回路では，R＝5.1MΩに選んだ。

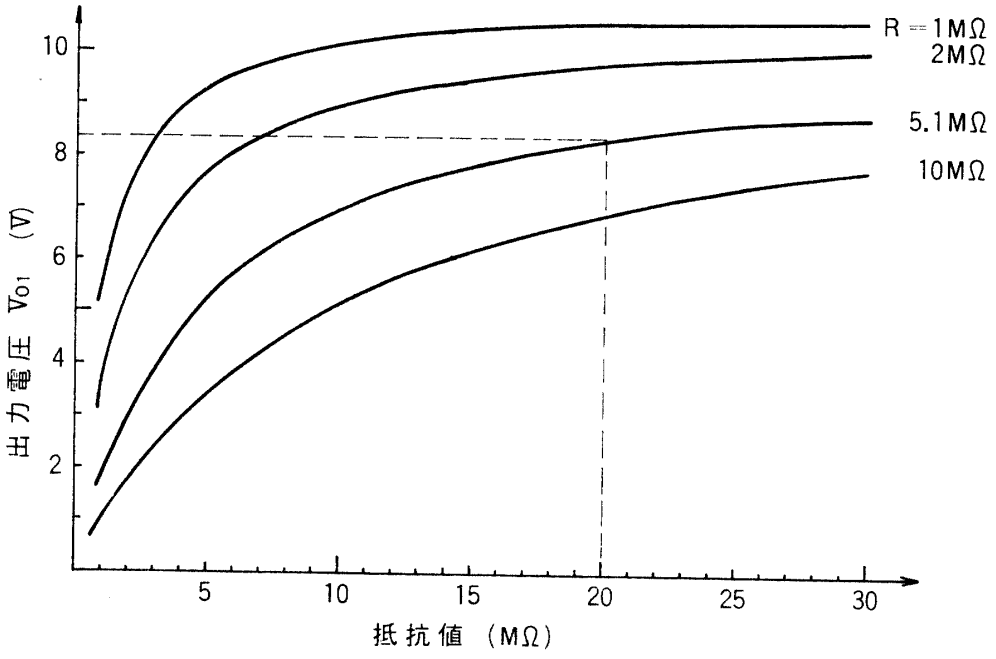
IC2は741型OPアンプによる非反転型コンパレータで2番ピンの電圧 Vset と3番ピンの電圧 Vin を比較して，アナログ信号をオン・オフ信号に変換する。今，Vset を第3図より9Vに設定すれば，センサと苗が接触していない時は Vset＜Vin であるから，IC2の出力 V_{O_2} は+12Vになる。逆に，苗とセンサが接触し，その苗の抵抗が30MΩ以下の場合は Vset＞Vin となるため，出力V_{O_2}は−12Vになる。このようにして，

苗の電気抵抗の変化が，オン・オフ信号として検出される。ＩＣ２につづくトランジスタとダイオードで構成された回路は，レベルコンバータで，ＯＰアンプレベルの電圧をTTL(Transistor-Transistor Logic) のレベルに変換するものである。この回路でD_3は苗検出確認用の LED (Light Emitting Diode)で，苗とセンサが接触した時に点灯する。苗とセンサの接触の有無に対するV_{O1}の電圧，V_{O2}の電圧，ＬＥＤの状態，トランジスタの出力電圧V_{OT}，出力のロジックレベルを第１表に示す。



●；0.02μF
D_1，D_2；1N4448
D_3；TLR103
Tr；2SB56

第２図　苗　検　出　回　路



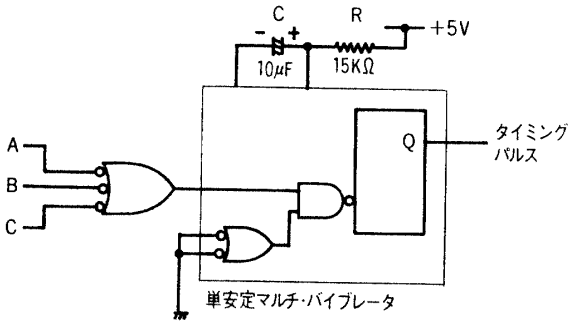
第３図　検　出　回　路　の　特　性

３．タイミング・パルス発生回路　第４図にタイミング・パルス発生回路を示す。この回路は３入力のNANDゲートと単安定マルチバイブレータで構成されていて，３つのセンサのうちどれか１つが苗に接触すると，一定幅のパルスを出力する。パルスの幅は，田植機の植え付け間隔と作業速度に密接に関連している。即ち，田植機の植え付け間隔 l は l＝0.14～0.18 m の範囲に，また，作業速度 v は v＝0.2～0.6 m/s の範

第１表　苗とセンサの接触の有無に対する検出回路各部の電圧及び出力のロジックレベル

接触の有無	V_{O1}=Vin	V_{O2}	V_{OT}	LED	Logic
無	12V	12V	3.5V	OFF	H
有	8.4V	−12V	0.6V	ON	L

但し Vset＝9V，苗の抵抗 R′＝20MΩとした。



第４図　タイミング・パルス発生回路

囲にあることから，センサが苗を検出する繰り返し周波数fは次式で求まる。

$$f=\frac{v}{l}=1.1\sim4.3\text{Hz} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

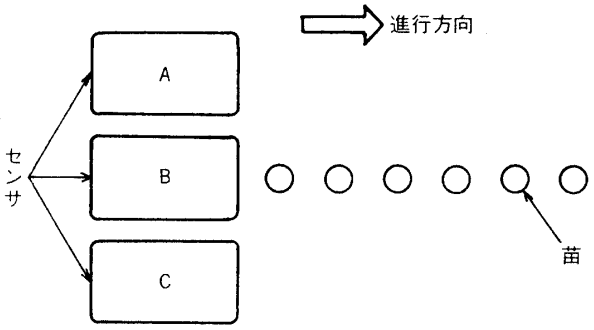
繰り返し周波数fの最大値は，$l=0.14$m，$v=0.6$m/sの時で$f=4.3$Hzとなる。単安定マルチ・バイブレータの出力パルスの幅は，$f=4.3$Hzに相当する周期$T=0.23$sよりも短かく，かつ，チャタリングを起こさないような値に設定する必要がある。本報では，出力パルスの幅を，最短周期$T=0.23$sの約半分である0.1秒に設定した。単安定マルチ・バイブレータの出力パルスの幅は，次式で与えられるので，0.1秒になるように，CとRの値を計算した。

$$T=\ln 2\cdot R\cdot C \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

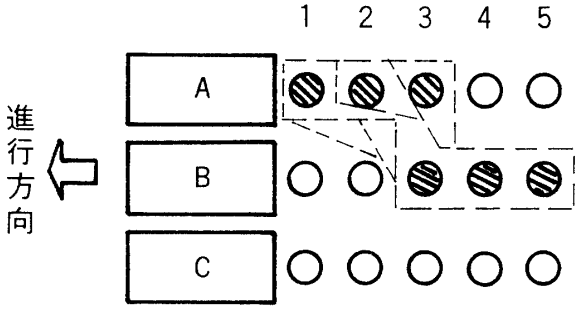
4. 制御方法　最初にセンサと苗の位置関係について述べる。今，既に植え付けられた苗列を，田植機の進行方向の右側に見て作業を行う場合に，第5図に示すように3つのセンサを進行方向に対し右側からA，B，Cと名付け，○で苗を表わすものとする。逆に左側に苗列がある場合は，進行方向に対し左側からA，B，Cと名付けるものとする。

制御の基本は，センサBで苗列を検出していれば，現在植え付け中の苗列と，既に植え付けられた苗列との条間距離にずれはないものとして，田植機は直進する。もし，センサAで苗を検出していれば，条間が広がっているため，条間を狭めるように，また，センサCで検出していれば条間が狭くなっているため，条間を広げるように田植機を操作し，条間を一定に保つように制御しようというものである。

農用車両のハンドルあるいは，サイド・クラッチを制御する場合，制御偏差の大小により，制御量を変える必要がある。また，ずれを検出して直ちに制御を行うと，行き過ぎを起こす可能性がある。本研究では，現在検出中の苗の5株手前までの田植機の状態を記憶し，それに基づいて制御を行う。今，進行方向の右側に既に植え付けられた苗列がある場合を考え，制御のために記憶している苗列の検出状態（田植機の進行方向が，植え付けのすんだ苗列に対し，どのようにずれているか）を第6図に示す。第6図において，A，B，Cはセンサを，1～5は現在検出中の苗に対し，1株前…5株前を表わす。○は苗で，斜線で検出した苗を示す。また，田植機を右旋回させるための条件を第6図に破線で示す。これを論理演算の記号（論理積［AND］；*，論理和［OR］；＋）を用いて表わすと次のようになる。



第5図　センサ配置概要



第6図　制御時の苗検出条件

$$B3*B4*B5*A1*A2*A3 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

$$B3*B4*B5*A1*A2* \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$B3*B4*B5*A1 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

式(4)～(6)で表わされる各事象は，相互に独立であるから，各々の論理和をとり，まとめると次のようになる。

$$B3*B4*B5*A1*A2*A3+B3*B4*B5*A1*A2+B3*B4*B5*A1$$
$$=B3*B4*B5*(A1*A2*A3+A1*A2+A1) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

左旋回の場合は，以上の式で，AをCに置き換えればよい。本報では，田植機は通常センサBで苗を検出し，ずれに対してのみ制御を行うと考えた。前述の論理演算で，この条件は満たされ，かつ，制御偏差の大小に応じて，制御時間が自動的に変化するという利点を持っている。この制御回路（記憶・論理回路）を第7図に示す。記憶回路には5ビットのシフト・レジスタ（SN74LS96N）を用いた。このICは，nビット（1～5）のシリアルイン―シリアルアウト，パラレルイン―シリアルアウト，シリアルイン―パラレルアウトに使い分けができる。本報では5ビットのシリアルイン―パラレルアウトの方式で用いた。

Ⅲ　実験結果及び考察

3つのセンサを横一列に並べ，簡易走行装置を用いて，センサ板が苗をうまく検出するかどうか，論理回路がうまく作動し，制御信号がうまく得られるかどうかを調査した。センサ板としては，銅フレームを用いた。これは，前報で述べたように，センサ板の材質による検出効率に対する差は認められなかったこと，他のセンサ板に対し，フレーム式のセンサの方が苗に確実に接触することが判っていたからである。

本報の検出回路は，速度が 0.2～0.6m/s の範囲で，苗（播種後日数30日の日本晴の苗を3本1株にしたもの）の茎部を接触した場合は約100%の検出能力を示した。また，葉部を接触した場合は約60%であり，前報よりも改良されたと考えられる。これに対しては，今後，ＩＣへの供給電圧を上げるか，入力検出電圧を増幅する等の改良が必要であると思われる。

記憶回路及び論理回路が作動するかどうかを調査するためには，センサ及び検出器で苗を確実に 100%検出することが前提条件となる。しかし，苗を用いると植付条件，苗の抵抗等が一定に出来ないため，被ふくをはがしたエナメル線を苗の代りに用いて実験を行った。その結果，ずれの株数が増すにつれ，制御パルスの出力時間が長くなり，走行速度が速くなるに従って，出力パルスの幅が狭くなり，初期の目的は達成できた。これにより，走行速度の変化，ずれの大きさ，株間距離に応じた制御出力パルスが得られるものと考えられる。

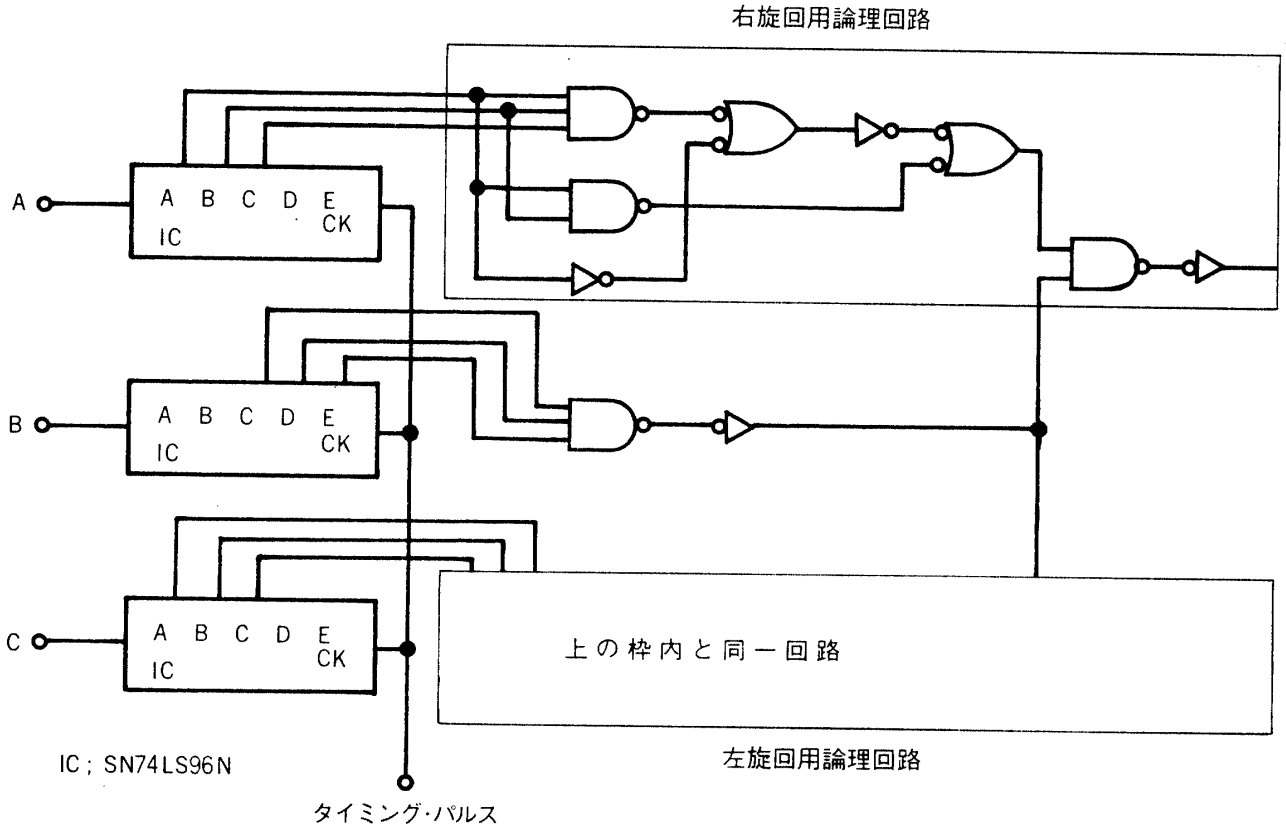
Ⅳ　摘　　要

田植機の自動操向制御の一手段として，既に植え付けられた苗列を検出し，それに沿ってならい操向制御を行うことを目的として，苗検出回路の改良と，記憶・論理回路による制御方式の試行を行った。

1)　検出回路は，ＯＰアンプによる非反転増幅器により，苗の抵抗を電圧に変えて検出する方式である。この回路の検出限界を固定抵抗を用いて測定したところ，約33MΩであった。

2)　検出信号は比較回路でオン・オフ信号に変換された後，単安定マルチ・バイブレータをトリガし，一定幅（0.1秒）のパルスが出力される。

3)　このパルスをタイミング・パルスとして，シフト・レジスタを用いた記憶回路で，現在検出中の苗の5株前までの田植機の状態を保持し，論理回路で論理演算を行って，田植機の左旋回，直進，右旋回を決定する。



第7図　制御用記憶・論理回路

4) この検出回路により，苗の茎部を接触した場合は100%，葉部を接触した場合でも約60%の検出能力があることが判った。

5) 記憶回路及び論理回路は，ほぼ初期の目的は達成でき，田植機のずれが大きくなれば，制御出力パルスの時間が長くなり，走行速度が速くなるにつれ出力パルスの幅が短かくなる。

参考文献

1) 川村恒夫・西村功・岡本嗣男・星沢明：神大農研法，**14**，165-170，1980.

2) 西村功・岡本嗣男・川村恒夫，星沢明：農機関西支報，**44**，50-51，1978.

3) 西村功，岡本嗣男，川村恒夫，上田敏夫：農機関西支報，**46**，65-66，1979.