

マイコン制御による水田の自動かんがい・排水技術の開発

Development of Automatic Installation System Using Microcomputer for Paddy Field Irrigation and drainage

兼子健男、竹本眞悟、穴井浩二

Takeo KANEKO, Singo TAKEMOTO and Kouji ANAI

I 緒言

水稲作における水管理時間は、毎日はずかであるが、栽培期間中連続しての管理であるため、管理筆数に限界があり、栽培総労働時間の中でこの水管理の占める割合は20%に及び、水管理に関する労力と拘束性の負担軽減は、緊急に解決しなければならない課題である。少ない労働時間で集約的な水田農業が楽にできる大区画圃場整備技術を確認するためには、まず水管理および施設の維持管理の省力化を目的とした大区画汎用水田の用排水管理技術を研究する必要がある。

また、大区画水田の汎用化を進めるには、低コスト稲作栽培が可能であることと、畑作物も安定的に生産できる必要がある。また周囲のあらゆる水利条件に対応できることが必要であるが、立地条件において大規模な用排水の施設を整備することのできない地域も存在する。しかしながら、いかなる水田でも汎用的利用は求められている。それゆえ、数ヘクタール単位でも利用できる用排水のすべての操作をマイコンで制御できる施設とソフトの開発を行い、土壌の物理性の改善と栽培試験を併せて行った。

II 制御装置の開発

1. 試験圃場

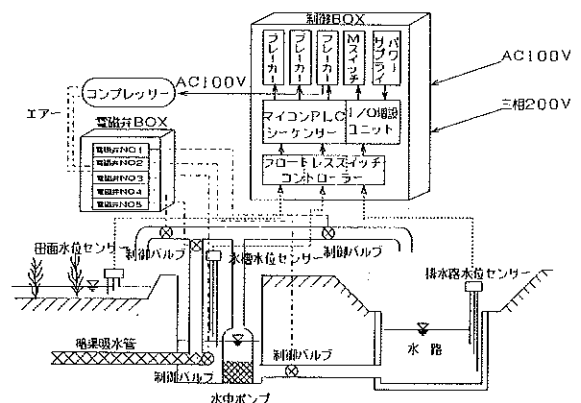
試験圃場として江戸後期1858（安政5）に干拓され、1988（S63）年度に基盤整備が完了した熊本市河内町県営圃場整備白浜地区の1ha（100m×100m）圃場を利用した。試験圃場の標高は-0.5m程度で、土壌は細粒グライ土であり、暗渠吸水管が10m毎に設置されている。用水源は、湧水を利用しているため、用水量として十分でなく、排水路の末端の水を還元し再びポンプで圧送して利用している。

2. 制御装置の開発構想

マイコン制御による用排水自動かんがい排水技術の開

発に当たって、基本的な問題点を絞って開発を行った。①まず利用する機器は、実用化を考え、市場に低廉で市販されている製品を利用した。②水田農業で土地利用型農業、施設園芸などすべての作物、栽培方法に適応できる水管理技術であること。（水稲栽培における用水を排水路から給水する機能、暗渠排水した水を再び用水として利用する循環かんがい機能、地表を乱すことなく地下から給水を行うことができる地下かんがい機能および畑作物栽培時や落水時に排水路水位が高い場合に暗渠機能を確実にする強制排水機能）③今後の低コスト稲作栽培技術開発に適応できる可能性をもつこと。④開発した技術を利用する場合、シンプルな機能の利用から高度な制御の利用まで多くのバリエーションで利用が展開できること。⑤遠隔地から電話回線を利用してモニターと操作ができること。⑥潮風が吹き付ける屋外の環境下でも制御機器が正常に働き続けることができることである。

また今回開発する制御装置は試験的に一区画の水管理を自動化するものであり、用水システム、循環かんがいシステム、地下かんがいシステムおよび排水システムの4システムを運転切替可能なものとした。この概念を第1図に示す。



第1図 用排水管理自動化装置の概念図

3. マイコン制御の制御装置の開発と施工

1) 制御用水槽の施工

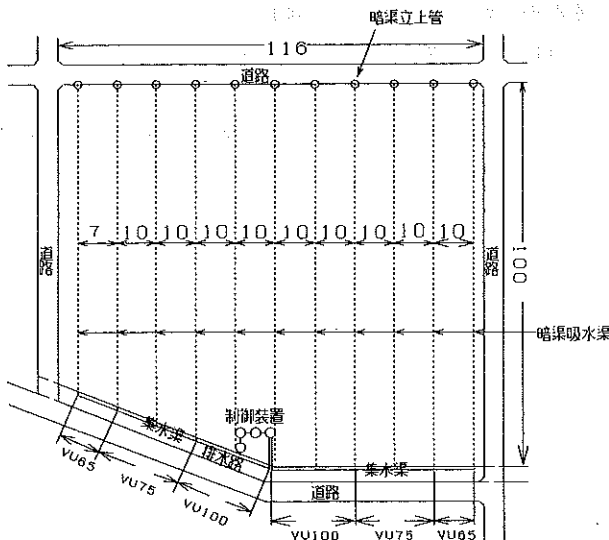
上記の構想を基に10m毎に設置された暗渠吸水管（口径50mm）の下水末端に塩ビ管を接続して排水路内に配管し、排水路側中央部に集結させた。また、用水・排水・循環かんがい、地下かんがいの4システムを同一の制御装置で切替運転可能とするため次の4つの水槽を設置した。

試験地の平面図を第2図に示す。また、水槽の配置と各開閉制御バルブを第3図に示す。

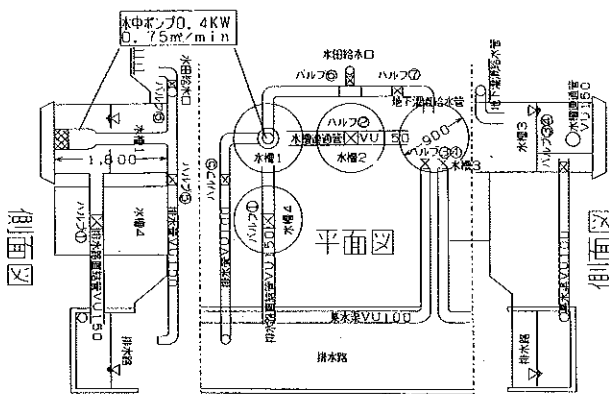
①水中ポンプ設置用水槽。

②水中ポンプ用水槽と排水路を直結するパイプの開閉を制御するバルブ設置用水槽。

③暗渠吸水管末端を集結配管した水槽（地下かんがいの静水圧送用も兼ねる）。④ ①と③の連絡パイプ制御バルブ設置水槽。



第2図 試験地平面図



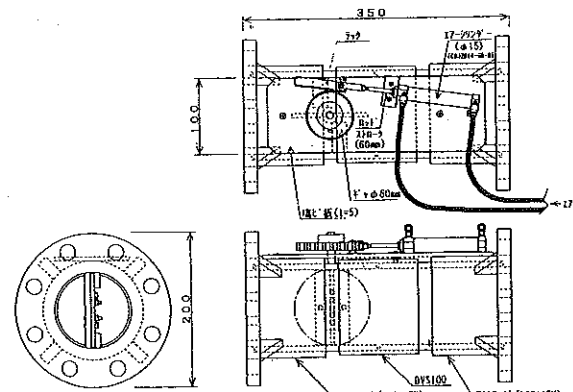
第3図 水槽と制御バルブ配置

2) 水中ポンプの設置

用水・排水に利用する低消費電力で低揚程大吐出量（400w、0.7m³/min、揚程1.5m）のポンプを1基設置した。このポンプは、①排水路水を用水源とする地表かんがい、②暗渠排水させられた水を再び用水として利用する循環かんがい、③暗渠吸水管末端から送水して行う地下かんがい、および④排水路水位が高く自然排水が困難な場合強制排水に利用する。このポンプの用水能力は損失揚程を0とした場合に、フル運転で減水深20mmの水田を5ha給水できる能力がある。

3) 制御バルブの製作・設置

各システム切替用の制御バルブは口径100mm～150mmと大きく、しかも水中でも利用することがある。一般的な制御バルブは高価であり電気による制御では漏電の可能性があり、制御において信頼性に欠ける。そこでコンプレッサーで作動するエアシリンダー駆動方式のバタフライ形式のバルブを試作・設置した。制御バルブを第4図に示す。



第4図 エアシリンダー駆動制御バルブ

バルブ開閉の最大トルクは50.8kg・cmで、エアシリンダーの口径選定によりトルクの変更が可能である。

4) バルブ制御用コンプレッサーの設置

上記の制御装置を開閉バルブ7個を作動させるのに必要なコンプレッサーを一基設置した。

水中ポンプ、制御バルブ、コンプレッサーの仕様を第1表に示す。

第1表 水中ポンプ、エアシリンダーおよびコンプレッサーの仕様

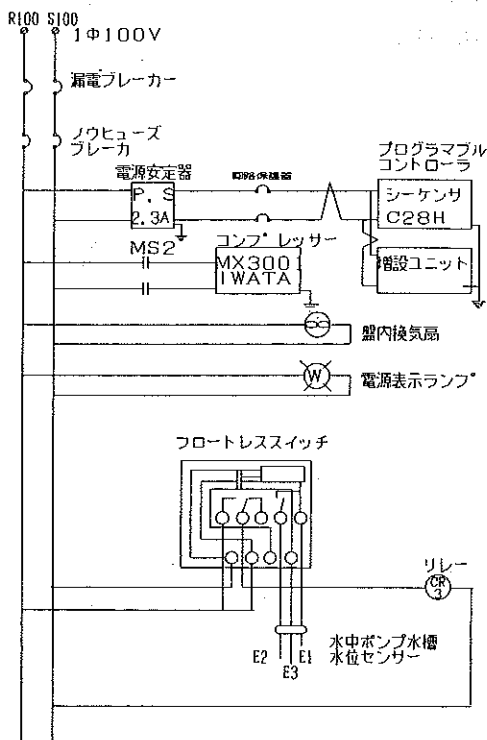
T社プロペラ水中ポンプ					
型式	口径mm	全揚程 (m)		吐出量 (m³/min)	
		標準	最高	標準	最高
AB-4T	100	1.5	3.0	0.7	1.5
エアシリンダー駆動方式開閉バルブ					
口径	ストローク mm	制御方式	I7-ネース径	外径	最大圧力
100mm用	60	単ロッド 復動	6 mm	16mm	7 kg/cm²
150mm用	100	単ロッド 復動	6 mm	16mm	7 kg/cm²
I社コンプレッサー					
最大圧力		電動機出力		電圧	
7 kg/cm²		400W		100V	

5) 制御盤製作・設置

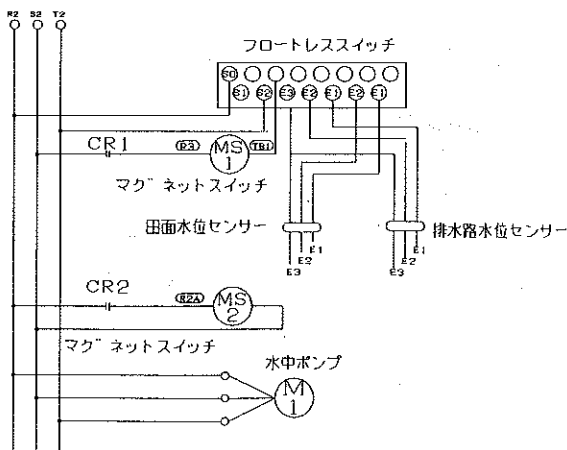
用水・循環・地下かんがい・排水システムの各切替は、ロータリースイッチでプログラムを切替えて行い、自動運転スイッチを押すことにより7個の制御バルブが必要に応じて開閉するものとし、田面水位・ポンプ水槽水位・排水路水位を各フロートレスセンサーで感知し、水中ポンプの運転・停止を行うことにした。

上記の制御を行うため、マイコンとしてプログラマブルコントローラ（シーケンサ SYSMAC C40）を設置した。

100V回路及び200V回路図を第5図、第6図に示す。



第5図 配線図 (100V回路)



第6図 配線図 (200V回路)

また、シーケンサの入力割付・出力割付を第7図、第8図に示す。

NI	PI	入力番号	IN/O
		RST/I	
		COM	
		002	自 動
		003	運 転
SS1		004	バルブ 1 開
		005	// 1 閉
SS2		006	// 2 開
		007	// 2 閉
SS3		008	// 3 開
		009	// 3 閉
SS4		010	// 4 開
		011	// 4 閉
SS5		012	// 5 開
		013	// 5 閉
		014	// 6 開
		015	// 6 閉
		COM	
		100	バルブ 7 開
		101	// 7 閉
		102	プログラム選択 (用水)
		103	// (循環)
		104	// (地下)
		105	// (排水)
		106	エア・圧検知
		107	排水路水位検知
		COM	

第7図 入力割付図

出力番号		S102	R102
バルブ 1 開	200	200 (SOL1 A)	電磁弁
	COM		
// 1 閉	201	201 (SOL1 B)	
	COM		
// 2 開	202	202 (SOL2 A)	
	COM		
// 2 閉	203	203 (SOL2 B)	
	COM		
// 3 開	204	204 (SOL3 A)	
	COM		
// 3 閉	205	205 (SOL3 B)	
	COM		
// 4 開	206	206 (SOL4 A)	
	COM		
// 4 閉	207	207 (SOL4 B)	
	COM		
バルブ 5 開	208	208 (SOL5 A)	
	COM		
// 5 閉	209	209 (SOL5 B)	
	COM		
// 6 開	210	210 (SOL6 A)	
	COM		
// 6 閉	211	211 (SOL6 B)	
	COM		
// 7 開	300	300 (SOL7 A)	
	COM		
// 7 閉	301	301 (SOL7 B)	
	COM		
ポンプ運転	302	302 (CR1)	リレー
コンプレッサ運転	303	303 (CR2)	
	COM		

第8図 出力割付図

制御盤内の主要機器価格を第2表に示す。マイコンであるシーケンサーは、62,700円と比較的低価格であり、付随する周辺機器も数が少なく全体で18万5千円と低価格で完成した。

システムを切替えるため制御バルブ関係の主要機器価格を第3表に示す。バルブ7個当りで20万5千円であり、バルブ1個当りにすると29,342円となり、市販されている制御バルブ1個当り約十万円に比べ、低価格となっている。

マイコンとして利用しているシーケンサーは一般に機械産業などの生産ラインで使用するものであり、ラダーチャート方式（ステップ入力）でプログラム書換可能なマイコンである。シーケンサーの規格を第4表に示す。

第2表 制御盤内主要機器価格表

部 品 名	規 格	数 量	金 額 (円)
シーケンサー	C40H-C5DR-D	1	62,700
増設ユニット	C28H-EDR-D	1	27,500
漏電ブレーカー	EG33AM	1	3,800
漏電ブレーカー	EG32R	1	3,600
モーターブレーカー	EG33M	1	6,800
制御用ブレーカー	EG32	1	4,000
サーキットプロテクタ	CP32D	1	8,000
マグネットスイッチ	SC-5-1	1	7,000
モーターリレー	RUK1012	1	5,400
パワーサプライ	S82L-0624	1	29,000
フロートレススイッチ	61F-G1	1	28,000
計			185,800

第3表 制御バルブ関係主要機器価格表（7箇所当り）

部 品 名	規 格	数 量	単 価	金 額 (円)
コンプレッサー	MX-3001	1台		40,000
電磁弁	VZ3240-1G-01	7ヶ	12,900	90,300
エアシリンダー	CDJ2B16-60-B	7ヶ	3,968	27,776
制御バルブ		7個	6,760	47,320
合 計				205,396

第4表 シーケンサー規格

型式	電源電圧	消費電力	プログラム方式	プログラム容量	出力方式	入力	出力
GH40H	24V	20W以下	ラダーチャート式	2,878ワード	リレー接点	24点	16点
I/O 増設ユニット	24V	-	-	-	リレー接点	16点	12点

6) 制御装置用プログラムの開発

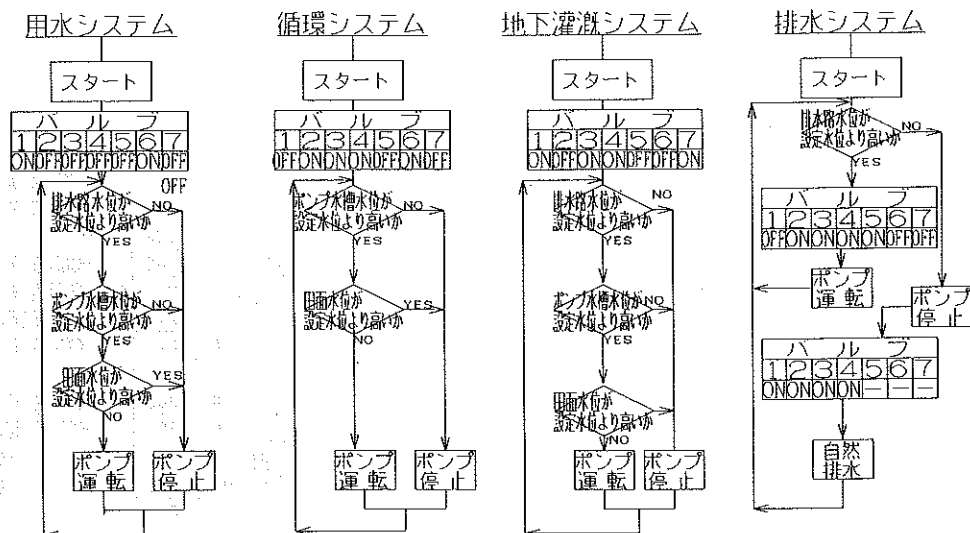
シーケンサーを作動させるプログラムを第9図のフローチャートのとおり開発した。このプログラムのラダー（プログラムチャート）を第10図に示す。ラダーチャートは、電気回路図から電源部分とマイナス側の配線を省略して書いたものである。入出力機器（スイッチはLED）の記号は、ラダーチャート用のものを使う。また、スイッチやLEDの名称の代わりにリレー番号を使っている。

7) 計測システム

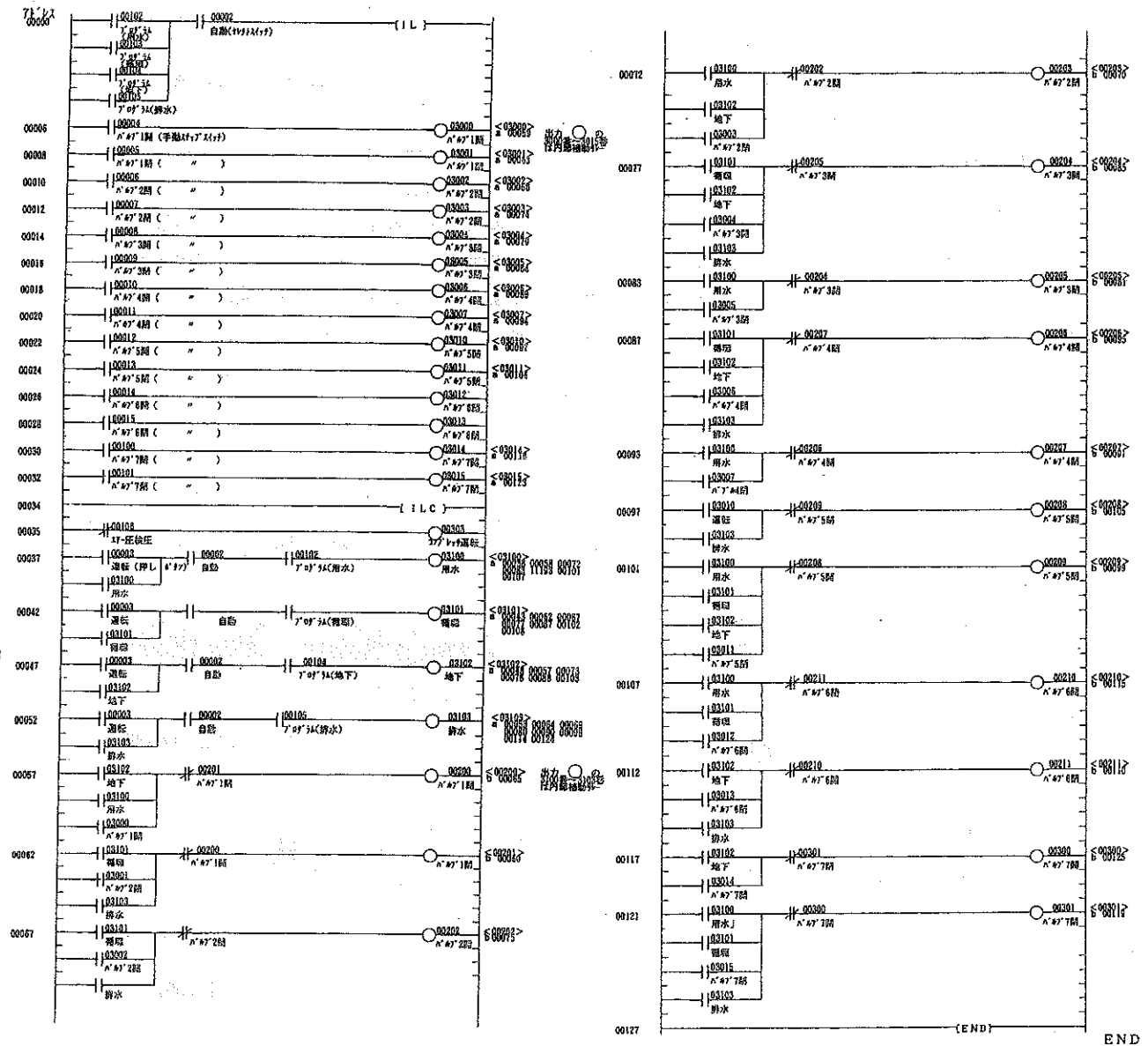
計測システムは、用排水量、雨量、水温、気温、地温の計測を行うシステムを設置した。用排水量は、水中ポンプの直上に設置した電磁流量計から発信したパルスを計測した。雨量は、雨量計からのパルス。水温、気温、地温は白金抵抗体の温度センサーを利用。各センサーからデータロガー（Green kit 利用）とノートパソコンを利用して1時間毎の計測とした。

8) 計測システムの遠隔地確認システムの開発

本システムは、現地設置のホスト側パソコンでは通信ソフト上で起動させた「用排水計測プログラム」によりアナログデータ及びデジタルデータを定刻に記録している。末端のパソコンではモデムを接続して、末端用通信ソフトでホスト型の計測画面を呼出し、計測状態を確認



第9図 制御システムフローチャート

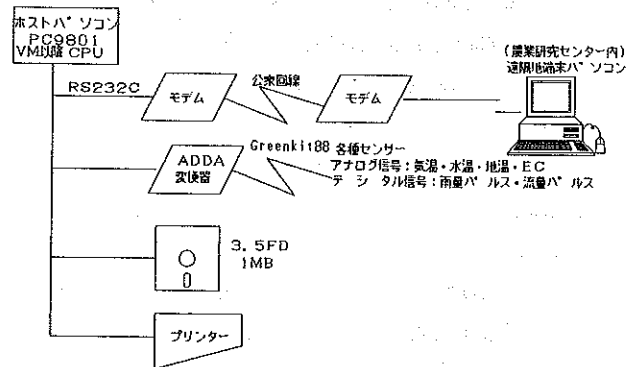


第10図 プログラマブルコントローラ用プログラムラダー図

できる。またホスト側パソコンに記録蓄積された計測データファイルを端末側に呼び出し回収することが可能である。システム構成を第11図に示す。

なお、ADDA変換器で計測した各種センサーからのアナログ・デジタル信号を定時毎にパソコンに記録するプログラムのフローチャートを第12図に示す。

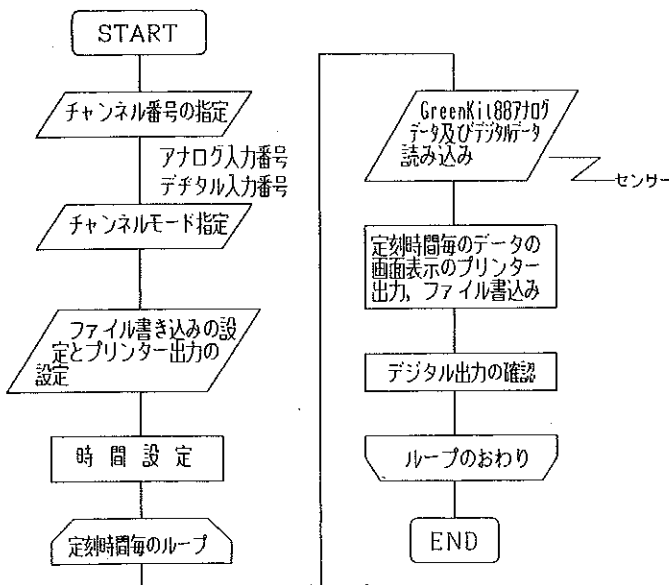
公衆回線を利用した、遠隔地より計測プログラムを実行できるアプリケーションとして、(株)インターソフト社製の「リモートミラー」を利用した。このソフトは、例えば漢字変換に使用するフロントエンドプロセッサの様な機能を持つソフトである。したがって、目的のプログラムを実行する前に、常駐ソフトとして起動しておくソフトである。アプリケーションソフトの特徴としては①リモートアプリケーション（端末側よりホスト側のアプリケーションソフトをリアルタイムに遠隔操作可能。ホストと端末のパソコンはまったく同じ動作をする。）



第11図 現地計測遠隔地モニターシステム構成

②リモートDOS（端末側は、ファイル削除・内容確認などMS-DOSコマンドをホスト側のパソコンに対して実行できる。）③ファイル転送（端末側は自由自在にホスト側に構成データ・ファイルの転送が可能。MS-DOS形式のファイルであれば送受信ができる。）等がある。

なお、ホスト側パソコンにはモデム接続用のRS232CポートとADDA変換器用のRS232Cポートが合計2個必要であり、現地設置のノート型パソコンではI/O拡張ユニットを接続し対応した。



第12図 用排水計測プログラムフローチャート

9) 制御装置の雷対策

1992(H4)年の試験で雷雨時に発生する異常電流により制御装置が故障することが連続したため、制御装置の電源回路及び水位センサー回路に雷対策を実施した。

(1) 100V電源用雷対策ZNRサージアブソーバー（雷による瞬間的電圧波吸収器）を設置した。

性能最大制限電圧：760V サージ電流耐圧8000A

(2)水位センサー用雷対策 雷の障害からフロートレススイッチを保護する目的でサージキラー・ユニット（高容量保器）をセンサー電極とフロートレススイッチ間に設置した。

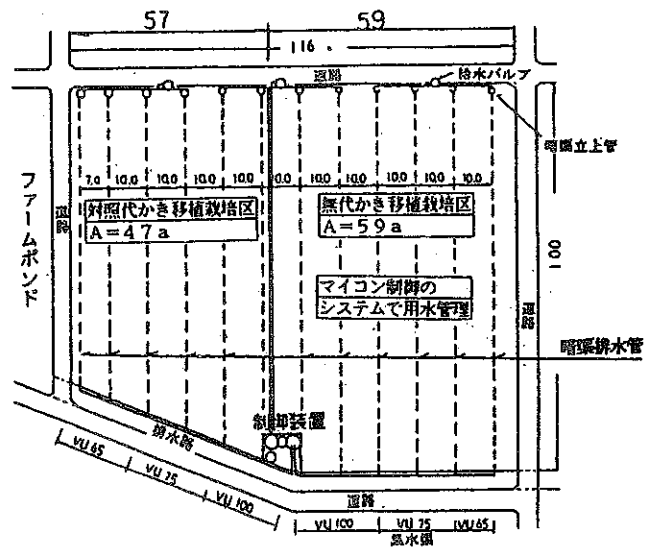
性能 耐衝撃電圧 200KV 耐衝撃電流：6000V

この対策を実施後、1993(H5)年6月以降1994(H6)年3月まで設置場所である熊本市地方には15日間の雷発生が記録されているが装置には異常は認められなかった。

III 各システムの試験

1. 用水システム及び水稲栽培試験（無代かき移植栽培）

1) 試験方法：マイコン制御の用排水自動化装置を設置した試験地を概ね半分に畦畔で区切り、一方の59aを無代かき田植機により移植機により移植栽培し、その水管理をマイコン制御の用排水管理装置で行い、自動化装置の実用化性を試験する。他方の47aについては、普通の田植機による移植で、営農組合による入力水管理にて栽培を行った。試験地の平面図を第13図に示す。



第13図 試験地平面図

2) 耕種概要

	無しろかき区 (59a)	対照区 (47a)
(1)品種	キヌヒカリ	キヌヒカリ
(2)前作	稲（裏作なし）	稲（裏作なし）
(3)播種日	1994年5月9日	1994年5月9日
(4)入水日	1994年6月5日	1994年6月6日
(5)代播日	なし	1994年6月7日
(6)移植日	1994年6月10日	1994年6月10日
(7)施肥量	第5表による	

第5表 施肥量 (kg/10a)

	肥料名	施肥量	N			P ₂ O ₅			K ₂ O			備考
無代かき区	土地	エンリッチ・ケイシ	100	-	4.6	-	-	-	-	-	土壌改良剤	
	基肥	ベスト1号	35	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	側条施肥用		
	追肥	追肥化成	15	2.1	0.6	2.1	0.6	2.1	0.6			
		454	15	2.1	0.6	2.1	0.6	2.1	0.6			
	合計		8.4	10.0	8.4							
対照区	土地	エンリッチ・ケイシ	100	-	4.6	-	-	-	-	-	土壌改良剤	
	基肥	LPV50	60	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	代かき時全面散布		
	追肥	追肥化成	15	2.1	0.6	2.1	0.6	2.1	0.6			
		454	15	2.1	0.6	2.1	0.6	2.1	0.6			
	合計		12.6	14.2	12.6							

3) 調査項目

雨量、用水量、気温、水温、地温
生育(草丈、莖数)、収量

4) マイコン制御装置による用水システムでの管理状態

試験区の59aについては耕起後の水張湛水を始めた1994年6月5日より収穫前の9月12日の落水まで用水システムで運転を行った。

この間、6月24日の短時間の停電による自動化装置の運転が停止したので、押しボタン式の運転開始スイッチをロータリー式切換スイッチに交換し、停電復帰後にはシステムが自動可動するように改良した。

パソコンによる雨量、流量等の計測装置は6月16~21日、6月25~26日、6月27~7月8日、7月23~26日、7月26~8月2日間の5回の停電(時間は不明)により、定刻測定データが消去されていたので1時間毎にデータをハードディスクに書込む様に「計測プログラム」を改良した。その後のデータ欠測はなくなった。

マイコンであるシーケンサーを収納した制御盤については、盤内換気扇(0.9m³/min)と家庭用湿気取り乾燥剤により最高気温41℃の高温多湿な条件でも異常なく作動した。

5) 用水管理状態

無代かき区の水管理は、移植日の6日まえの6月5日から用水システムで給水し田面水位センサーの設定水位を田面+5.0cmにし、土塊が十分に吸水する様に湛水した。移植日前日の6月9日には、用水システムを停止して落水し、移植当日に圃場漏出率が約80%になるよう調整した。田植終了後田面水位センサーの水中ポンプ運転停止水位を田面+6.0cm、運転復帰水位を+5.5cmに設定し、この間で一定水深に保つ様にした。

7月8~9日については、好天続きにより除草剤の障害が出ていると判断されたため一端排水システムで落水(一筆排水口も開く)した。

7月15~22日は、用水システムを停止し一筆排水口を開けて中干しを実施した。

8月24~9月11日は、田面水位センサーのポンプ運転停止水位+6.0cm、運転復帰水位-4.0cmに調整し、間断かんがいを実施した。この時のポンプは8~9時間運転し水位を設定高まで上昇させ、37~40時間でポンプ運転復帰水位まで降下する状態を繰り返し、ノコギリ型の波形に似た水位変化を示した。なお、現地設置のマイコン(シーケンサー)にはタイマー機能があり、水位センサー信号入力後、一定時間経過後ポンプのON又はOFFの操作がプログラムの改良により可能である。

9月11日には、間断かんがいを停止し、収穫前の落水

を開始した。

6) 雨量及び給水量

栽培期間中の日雨量、用水供給量、減水深換算用水量を第6表に示す。

1994年6月5日から9月19日までの生育期間107日間の降水量は日平均で2.62mm累計280mmと平年に比較し少なかった。

耕起後入水して湛水するのに要した水量は減水深換算で185.2mmとなり一般の代かき用水量より大きいと判断される。

6月27~7月8日までの用水供給量は12.5mm/dayと少ないが、水位計の水位変化の乱れから欠測となっているが降雨があったためと判断される。7月11日~15日の用水量平均23.0mm/dayが妥当と考えられるが、代掻きを行った水田より大きいと判断される。7月28日~8月2日の中干後の減水深は平均22.6mm/dayであった。また、出穂始めの8月9~10日頃にはその前後より大きい32.2~34.6mm/dayの供給量となった。栽培期間中の総用水量は2117.2mmであり、平均19.79mm/dayであった。

7) 栽培期間中の使用電力・料金

無代かき移植栽培期間中の使用電力料金を表7に示す。

無代掻き試験区の栽培期間6月から9月までの水中ポンプ運転に使用した200Vの電力は約269KWHであり、料金にして7,868円であり10a当たり1,330円程度であった。これは、フル稼働時約960KWHの約30%の稼働率であった。

また、制御装置と計測装置の運転に使用した100Vの電源の使用量は、200KWHであり10a当たり1,018円の料金である。計測装置の使用をしない場合は更に安くなると考えられる。

第7表 無代掻き移植栽培期間中の使用電力料金(熊本市白浜地区1994)

1994年 月	100V(20A契約)		200V(1KW契約)		料金合計
	使用料(KWH)	料金(円)	使用料(KWH)	料金(円)	
6月	44	1,388	68	1,911	3,299
7月	45	1,406	85	2,278	3,684
8月	53	1,558	77	2,148	3,706
9月	58	1,653	39	1,526	3,179
計	200	6,005	269	7,863	13,868

8) 田植作業の状況

田植え時の圃場面の硬さは、さげふり貫入深さで無代かき区6.2cm、対照区10.5cmであった。

田植機は簡単な代かき機構(表層碎土ローター)を取り付けたM社製の型式MHP6H(条数6条、条間30cm)で、葉齢3.6葉のマット苗を移植した。

田植作業速度は無代かき区0.63m/s、対照区0.95m/sであり、作業時間は無代かき区23分/10aに対し、対照区

第6表 無代かき田植機移植栽培期間中のマイコン制御による用水システムでの用水量 (熊本県熊本市河内町白浜地区大区画水田 面積0.59ha)

項目	平均気温	降雨量	降雨量	降雨量	項目	平均気温	降雨量	降雨量	降雨量	備考
月日	℃	mm/day	mm/day	mm/day	月日	℃	mm/day	mm/day	mm/day	備考
6月5日	23.4	0	180.4	30.6	8月1日	30.6	0	196	23.1	1267.6
6月6日	24.0	0	149.35	25.3	8月2日	30.3	0	129	21.9	1289.5
6月7日	23.5	10.5	385.25	67.0	8月3日	29.7	0	231	112.4	1077.5
6月8日	20.9	18	28.5	189.4	8月4日	29.7	0	231	121.5	1098.1
6月9日	21.0	10	38.5	0.8	8月5日	29.9	0	231	118.5	1349.5
6月10日	19.3	0.5	39	213.1	8月6日	30.3	0	231	158.2	1376.3
6月11日	19.2	19	58	130.6	8月7日	30.0	0	231	157.7	1395.9
6月12日	22.2	5	63	0	8月8日	29.4	0	231	125.9	1417.3
6月13日	21.4	21	84	41.6	8月9日	30.2	0	231	190.1	1449.5
6月14日	22.0	0	84	142.3	8月10日	31.1	0	231	204.2	1484.1
6月15日	23.5	0	84	101.1	8月11日	30.8	0	231	117.7	1504.1
6月16日	24.5	0	84	101.1	8月12日	28.9	2	233	125.3	1533.0
6月17日	23.4	1	65	286.4	8月13日	30.3	0	233	119.1	1564.3
6月18日	21.6	69	154	286.4	8月14日	30.4	0	233	119.1	1593.7
6月19日	21.4	6	160	296.4	8月15日	28.6	0	233	113.6	1629.9
6月20日	19.3	2.5	182.5	346.4	8月16日	28.6	0	233	103.5	1680.5
6月21日	19.7	0	182.5	381.4	8月17日	28.7	0	233	103.5	1739.9
6月22日	22.3	7.5	170	20.8	8月18日	27.5	0	233	54.1	1839.8
6月23日	22.3	12.5	182.5	0	8月19日	27.2	1	234	103.3	1942.2
6月24日	23.7	0	182.5	0	8月20日	28.1	0	234	105.1	2047.3
6月25日	24.8	欠割	182.5	欠割	8月21日	28.4	0	234	72.4	2120.7
6月26日	27.3	欠割	182.5	欠割	8月22日	27.9	0	234	90.5	2211.2
6月27日	27.8	欠割	182.5	欠割	8月23日	27.7	0	234	110.5	2301.7
6月28日	25.4	欠割	182.5	欠割	8月24日	27.8	0	234	92.1	2393.8
6月29日	25.8	欠割	182.5	欠割	8月25日	27.6	1	235	333.2	2527.0
6月30日	26.8	欠割	182.5	欠割	8月26日	27.9	1	235	333.2	2660.2
7月1日	27.9	欠割	182.5	欠割	8月27日	25.8	32	267	24	2744.4
7月2日	28.2	欠割	182.5	欠割	8月28日	25.6	0	267	0	2811.4
7月3日	28.3	欠割	182.5	欠割	8月29日	28.4	0	267	0	2878.1
7月4日	28.5	欠割	182.5	欠割	8月30日	28.6	0.5	267.5	欠割	2945.6
7月5日	28.4	欠割	182.5	欠割	8月31日	28.6	0	267.5	欠割	3013.1
7月6日	28.6	欠割	182.5	欠割	9月1日	28.0	0	267.5	欠割	3080.6
7月7日	28.3	0	182.5	43	9月2日	28.1	0	267.5	0	3148.1
7月8日	28.6	0	182.5	39.8	9月3日	27.2	0	267.5	0	3215.6
7月9日	28.5	0	182.5	430.2	9月4日	27.6	0	267.5	275.1	3293.1
7月10日	28.7	0	182.5	72.9	9月5日	27.6	0	267.5	16.5	3379.6
7月11日	28.7	0	182.5	125.1	9月6日	26.8	2	269.5	0	3472.1
7月12日	28.9	0	182.5	147	9月7日	28.4	8	277.5	122.8	3574.9
7月13日	29.2	0	182.5	188.8	9月8日	26.3	0	277.5	318.3	3683.2
7月14日	29.5	0	182.5	101.4	9月9日	26.3	0	277.5	0	3790.7
7月15日	29.8	0	182.5	116.4	9月10日	26.7	0	277.5	302.9	3903.6
7月16日	30.0	0.5	183	0	9月11日	25.7	2.5	280	18.2	4023.8
7月17日	28.7	0.5	183.5	0	9月12日	23.8	0	280	0	4143.8
7月18日	30.1	0	183.5	0	9月13日	23.2	0	280	0	4263.8
7月19日	29.6	0	183.5	0	9月14日	23.6	0	280	0	4383.8
7月20日	29.3	28.5	207	0	9月15日	23.6	0	280	0	4503.8
7月21日	29.1	1	208	0	9月16日	21.6	0	280	0	4623.8
7月22日	30.0	0	208	0	9月17日	21.2	0	280	0	4743.8
7月23日	31.0	0	208	183.6	9月18日	20.8	0	280	0	4863.8
7月24日	31.3	0	208	275.3	9月19日	22.1	0	280	0	4983.8
7月25日	28.5	0.5	208.5	275.3	合計			280		2117.2
7月26日	25.8	8.5	217	183.6	平均			2.82		19.79
7月27日	27.6	0	217	0						
7月28日	28.9	0	217	45.4						
7月29日	27.1	13.5	230.5	23.1						
7月30日	26.1	0.5	231	23.1						
7月31日	30.5	0	231	23.1						

12分16秒/10aと劣ったが無代かき区は約70分/10aの代かき作業工程が省略できている。無代かき区の苗床準備から収穫までの労働時間は、10a当り約10時間程度と推定される。

作業精度として無代かき区の欠株率は5.4%と対照区の2.9%に劣り、無代かき区は一部補植を行った。

9) 生育、収量

生育、収量関係を第8表～第12表に示す。

草丈・茎数は、移植後12日目の調査では無代掻きの試験区と代掻きした対照区との差は認められないが、成長するに従い対照区の草丈が大きくなった。これは、側条施肥した試験区の基肥施肥量を対照区に比べ抑制したためだと判断される。穂数も対照区が多く、有効茎歩合も勝った。

収量構成要素では、対照区の一穂粒数が多かったが無代かき区の登塾歩合が85.8%で対照区の65.4%に対し大きかった。

収量は、試験区46.8kg/aに対し対照区51.5kg/aと対照区が勝ったが、玄米粒厚分布で無代かき区の2.0mm以上の占める割合が大きく、また玄米品質も上回った。

一般的に水稻生育のための適正浸透量は、日減水深と収量の関係から20～30mm/dayと言われており、基肥施肥

量を抑制したことと追肥の適期を若干逃したことから、対照区に比較し収量は劣ったが、無代かき区の方が品質が良い結果となった。

IV 普及を対象としたマイコン制御の用排水自動化装置の設計

試験当初に開発し試験圃場に設置した自動化装置は、用水、排水、循環かんがいそして地下かんがいシステムの切り替えをエアースリンダ駆動の制御バルブで行ったため主要投入機材費約39万1千円のなかで制御バルブ関係が20万5千円と約半分の費用となっていた。そこで、切り替えバルブを手動で操作するタイプのより低価格な普及を対象とした自動化装置の設計を行った。

この装置は、4システム切り替え可能であり、水槽は2基で済み、マイコンであるシーケンサーもより低価格

第11表 玄米粒厚分布 (重量・比率%)

試験区	<1.7mm	1.7～1.8	1.8～1.9	1.9～2.0	2.0～2.1	2.1mm<
無代掻き区	0.9	2.3	4.6	21.9	47.2	23.0
対照区	3.3	4.5	8.5	29.9	41.9	11.9

第8表 生育状況 (茎数、草丈の変化)

調査区	項目	調査日			
		6月22日	7月8日	7月14日	7月28日
無代掻き区	茎数 (本/m ²)	79	422	509	473
	草丈 (cm)	24.5	47.4	56.6	75.3
対象区	茎数 (本/m ²)	81	396	499	507
	草丈 (cm)	23.4	48.1	61.1	82.7

第12表 全体の収量

試験区	玄米重 kg/a	屑米重 kg/a
無代掻き区	46.8	1.29
対照区	51.7	3.00

第9表 生育調査

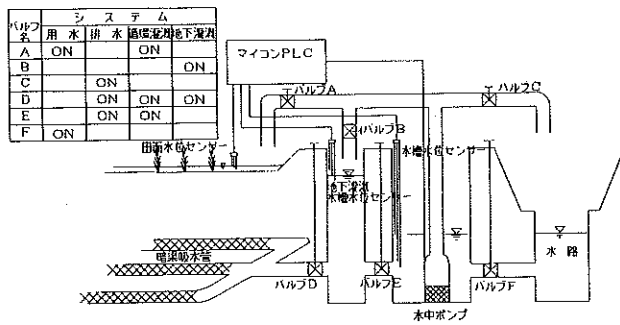
試験区	最高分けつ期		出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	有効茎歩合	倒伏程度
	草丈 cm	茎数 本/m ²							
無代掻き区	56.6	509	8月12日	9月13日	74.2	17.2	396	77.8	0.5
対照区	61.1	499	8月12日	9月13日	81.7	18.0	464	93.0	1.5

第10表 収量及び構成要素

試験区	わら重 kg/a	精糲重 kg/a	玄米重 kg/a	屑米重 kg/a	糲/わら比	糲摺歩合 %	一穂粒数	m ² 当粒数 ×100	登熟歩合 %	千粒重 g	玄米品質 (1～9)
無代掻き区	67.3	56.9	48.5	1.4	0.85	85.2	68.6	272	85.8	21.6	5.5
対照区	69.1	65.7	50.8	2.0	0.95	73.5	88.7	411	65.4	21.2	6.3

になった。手動切り替えタイプの普及を対象とした自動化装置の模式図を第14図に示す。

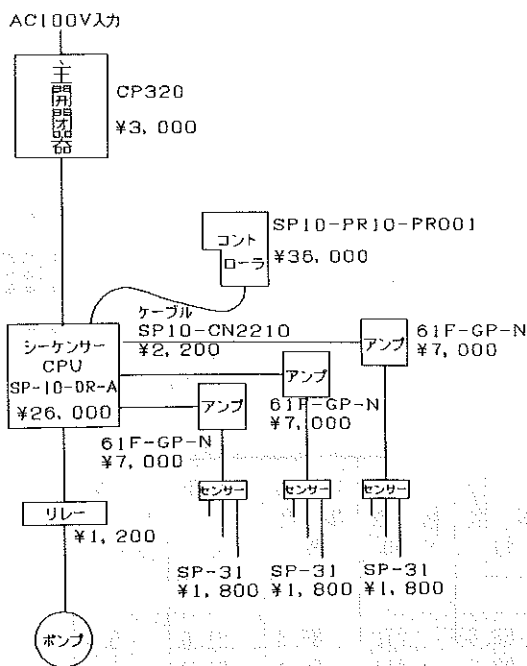
普及を対象とした自動化装置の主要機器価格を第13表に示す。マイコンであるシーケンサーは、26,000円と安く、全体で10万円以下となる。



第14図 普及を対象としてマイコン制御の用排水自動化装置模式図

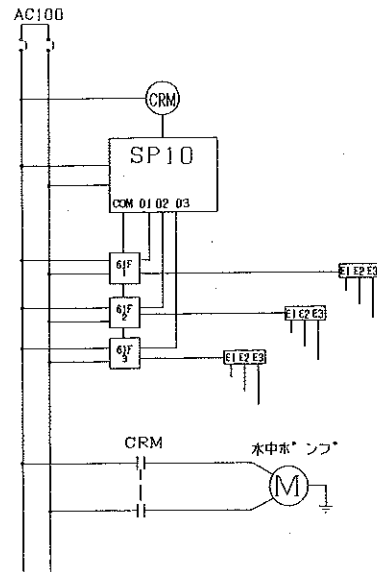
第13表 普及対象の自動化装置主要機器価格

部品名	規格	数量	単価 (円)	金額 (円)	備考
シーケンサー	SP-10-DR-A	1基		26,000	マイコン
プログラマコントローラ	SP10-PRO01	1個		36,500	マイコン
同上ケーブル	SP10-CN2210	1本		2,200	マイコン
主開閉器	CP320	1個		3,000	
フォトスイッチ	61F-GP-N	3個	7,000	21,000	センサー信号変換
水位センサー	SP-31	3個	1,800	5,400	
マグネットスイッチ	LY-2N	1個		1,200	
合計				95,300	



第15図 マイコン制御用排水管理技術基本系統および部品図

この装置の系統図及び配線接続図を第15図、第16図に示す。水位センサーは3個と水中ポンプ1基であり、簡単な配線となっている。



第16図 マイコン制御用排水管理技術基本展開接続図

このシステムに400Wの低消費電力で吐出能力（最大：0.7m³/min、試験結果吐出量：0.45m³/min）の水中ポンプを利用し、試験結果吐出量でポンプ稼働率を50%とした場合の水田かんがい面積の試験を行う。

1日の揚水量 = 0.45m³/min × 60min × 24hr × 0.5
= 324m³/dayであり減水深を30mm/dayと仮定し、かんがい可能水田面積A m²の計算を行う。

$A = 324\text{m}^3/\text{day} / 30\text{mm}/\text{day} = 10,800\text{m}^2/\text{day} \approx 1\text{ha}/\text{day}$
約1haの水田のかんがいが可能である。

V 適用

1) 用排水の制御装置は、市販されている低価格なポンプと制御機器マイコン（シーケンサー）を利用し、水田のあらゆる利用に対応できる自己完結型の水田用排水管理システム技術を開発した。管理システムは①用水システム、②循環灌漑システム、③地下灌漑システムそして④排水システムである。また、水中での操作が確実なエアシリンダーを利用したバルブを開発した。

2) 計測状態（雨量、用水量、気温、水温、水位そしてEC）を遠隔地から電話回線を利用してモニターできる技術を通信ソフトとデータロガーのソフトを組み合わせるシステムを開発した。

3) マイコン制御の用排水施設を利用して、低コスト稲作栽培である無代播きの稲作栽培を行った。この時の用水量は、入水から田植えまで3日間に185.2mm、活着期まで17.8mm/day、中干し後22.6mm/dayそして間断灌

概19.0mm/dayであった。

4) 1ha圃場をほぼ50aに分け、左半分を現地の慣行栽培法で、右半分に無代掻き栽培で水稻(キヌヒカリ)の栽培を行った結果、対象区が51.7kg/aで無代掻き区46.8kg/aであったが品質面で無代かき区のほうが品質でまかった。

5) 栽培期間中の電気代は、6月から9月まで100V(20A契約)の電力が200KWHで料金が6,005円、200V(1KW契約)269KWHで料金が7,863円で合計13,868円、単位面積当たり2,350円/10aであった。

6) 普及を対象としたマイコン制御の用排水自動化装置の設計を行った。なるだけ低価格にするため、バルブの操作を手動とした場合とした。この場合の制御機器は、低価格の95,300円で購入でき、400Wのポンプ利用で、最大稼働率を50%とした場合、約1.0haの面積に利用できる。

VI 引用文献

1. 愛知県農総試、山形県農試、新潟県農試、熊本県農研セ：大区画汎用水田における高能率用排水管理技術と大型機械体系対応の農道整備技術の開発実績報告書(国庫補助地域重要新技術開発促進事業)：(1995,3)
2. 兼子健男、竹本眞悟：マイコン制御による用・排水管理の自動化装置の開発、九州農業研究第57号pp161, (1995,5)
3. 兼子健男、竹本眞悟、穴井浩二：マイコン制御による用・排水管理の自動化装置の開発、平成8年度農業土木学会大会講演要旨集：(1996,6)

Summary

We have developed the automatic installation system using microcomputer for paddy field irrigation and drainage. Its installation system have four systems with low cost small submergible motor pump, micro-computer, water sensor and bulb controlled with air cylinder, and fit to low level paddy and shortage of water. Four systems are consisted of water supply control system, sub-irrigation system, circulation system and drainage system. Water flow of water supply control system is irrigated from drainage canal to paddy filed surface using submergible motor pump and bulb. Water flow of circulation system is circulated from paddy field surface to underground and circulated from under drain to paddy field surface with small type submergible motor pump. Water flow of sub-irrigation system is irrigated from drainage canal through undredrain pipe and risen toward paddy field surface. Water flow of drainage system is pumping out with submergible motor pump from undredrain to drainage canal, and under grand water level is lowered.