

愛媛大学農学部附属農場における 養液栽培管理システムについて

吉 井 宗 利*・福 山 寿 雄*・山 崎 悟**

まえがき

養液栽培は連作障害の回避、消費者の清浄野菜指向等により、最近施設園芸においてブームになってきている。栽培方式には、たん液型、NFT型および固型培地を利用した型などがある。

当農場においても、温室にたん液水耕、クantan耕、NFTおよびロックウール耕などの養液栽培をおこなっている。これら養液栽培の制御は、主にマイクロコンピュータによる養液栽培管理システムによりおこなっている。今回はこのシステムの概要について紹介する。

1. システムの構成

養液栽培管理システムの構成を図-1に示した。これらのシステムは大別して、計測・制御装置と養液栽培設備に分けられる。

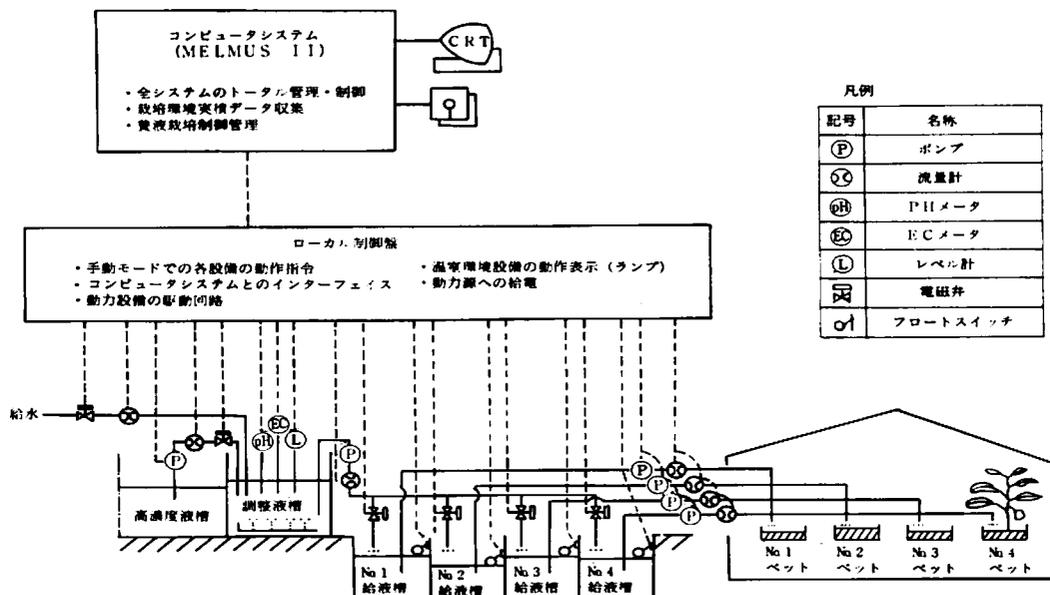


図-1 養液栽培管理システムの構成

* 愛媛大学農学部附属農場 ** 三菱電機株式会社

(1)計測・制御装置

装置は、研究棟計算機室に設置されたコンピュータにより計測と制御指示をおこなうセンターシステムと、温室に付設されて制御、インターフェイスおよびバックアップなどをおこなうローカルシステムからなっている。

センターシステムは、マイクロコンピュータ、オペレータコンソール、系統表示パネルから構成されている。制御用マイクロコンピュータにはME LMUS 11を採用し、養液栽培システムの制御と7棟の温室の環境制御をおこなっている。制御のための設定値の入力および変更は、オペレータコンソール上にあるキーボード付きカラーディスプレイで、画面を見ながらキーボードを操作することで運用され、各設備の実行状況は、オペレータコンソールの後方に設置されている大型の系統表示パネルに表示される。各計測値は、随時カラーディスプレイの画面上に表示することができるとともに、定時記録としてプリンターに印字される。計測値の異常は、警報装置が作動し、そのアラームによって知ることができ、この内容はプリンターに印字される。各設備の故障は、大型系統表示パネルにランプの点滅で知らせるとともに、箇所はプリンターに印字される。

表-1 センサーの設備仕様

センサー名	仕 様	センサー名	仕 様
浸漬型 pH 計	(電極及びホルダー) 測定範囲 0~14pH 測定精度 ±1%F.S 使用温度 -5~+60°C 材質 透明塩化ビニール樹脂 Kcl タンク容量 0.5ℓ 標準長さ 1,000mm	浸漬型導電率計	測定範囲 0~5mS/cm 測定精度 ±3%F.S 温度補償範囲 設定温度の±20°C 調節感度 ±2%F.S以下 材質 検出器 (SUS304) ケース (ABS樹脂) ベース (アルミ鋳物) 塗装色 銀粉、レモンイエロー 取付方法 2Bパイプ取付 周囲温度 -10~+60°C (直射日光下含) 重量 約6kg 所要電力 約3W 電源 AC100V 60Hz 出力信号 DC4~20mA (負荷抵抗400Ω以下)
	(超音波洗浄器) 使用温度 -5~+80°C 材質 SUS316またはチタン 周波数 77KHz 超音波出力 10W 洗浄方式 連続照射洗浄 電源 AC100V 60Hz	フロート式レベル計	測定範囲 0~2.5m 測定精度 ±30mm以内 使用圧力 0.2kg/cm ² 材質 計器本体 (ADC12) 接液部 (SUS) 重量 約10kg 電源 AC100V 60Hz 出力信号 DC4~20mA
	(発信計) 調節感度 ±1%F.S以下 材質 ケース (ABS樹脂) ベース (アルミ鋳物) 塗装色 銀粉、レモンイエロー 取付方法 2Bパイプ取付 周囲温度 -10~+60°C (直射日光下含) 電源 AC100V 60Hz 出力信号 DC4~20mA (負荷抵抗400Ω以下)	流量計	測定範囲 各種 測定精度 ±4%以下 測定方式 接線流羽根車式 1パルス 10ℓ 目盛 0~10,000

ローカルシステムは、ローカル制御盤および計測センサーからなっている。各計測センサーの設備仕様を表-1に示した。ローカル制御盤は、養液栽培設備を一括して駆動制御するとともに、各センサーおよび各設備とコンピュータシステムとのインターフェイスをおこなっている。また制御の運用モードは、コンピュータ管理によるコンピュータモードと、コンピュータ制御から切り離してローカル側で自由に操作可能なローカルモードの2モードを設け、この盤に設置されている選択スイッチにより、随時モードの切り換が可能になっている。

(2)養液栽培設備

設備は、高濃度液槽、調整液槽、4個の給液槽および付帯設備からなっており、これらは養液栽培温室の東側に設置した。全景を写真-1に示した。

高濃度液槽は、高濃度養液を約1トン貯液することができる。槽の底面には、30cm間隔に3mmの穴をあけたパイプを配して、エアーポンプからエアーを送って穴から吹き出させ、常に養液のかく拌ができるようにしてある。槽の上には、調整液槽に養液を送るためのポンプを設置し、このポンプと給液パイプとの間には、給液をON、OFFするための電磁弁と給液量を計測するための流量計を取り付けてある。

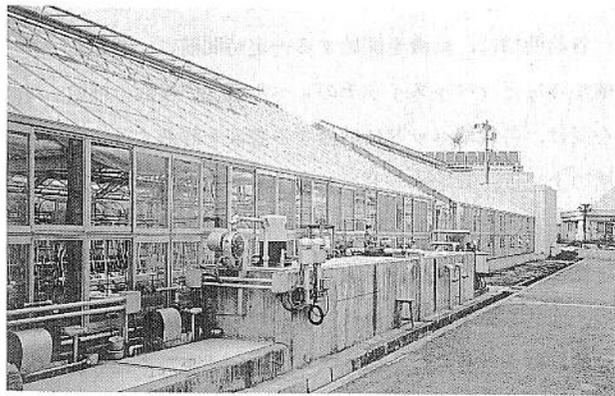


写真-1 養液栽培設備全景

調整液槽は、用水と高濃度養液を混合して栽培に適した培養液を作るためのもので、約2トンの養液を貯液できる。槽の底面には、図-2に示すように穴のあけたパイプを3本配して、高濃度養液および水の注入を槽の底からおこなうとともに、さらに前槽と同様にエアーによる養液のかく拌ができるようにしてあり、両者の混合がスムーズにおこなえるよう工夫してある。養液の混合状況を写真-2に示した。

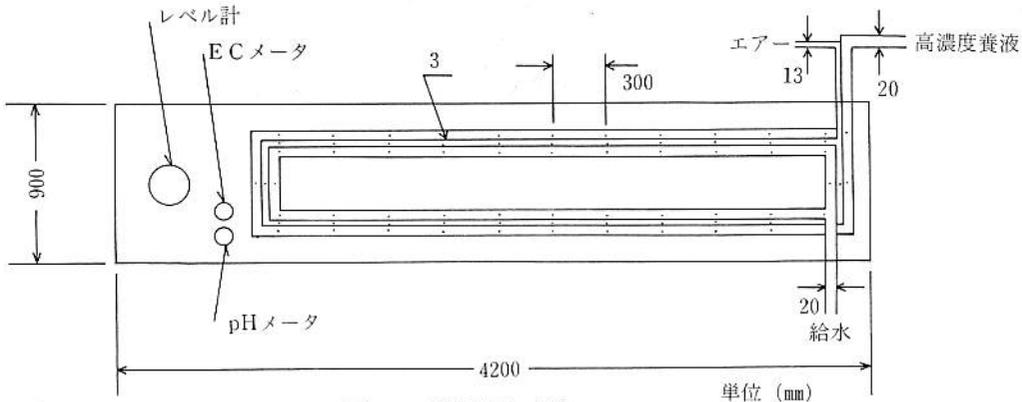


図-2 調整液槽の構造

槽の上には、給液槽に養液を送るためのポンプを設置し、給液パイプとの間には給液量を計測するための流量計を取り付けてある。そして給液パイプの各給液槽への入口には、給液をON、OFFするための電磁弁を取り付けてある。水を取り入れるための給水パイプの槽への入口には、給水をON、OFFするための電磁弁と給水量を計測するための流量計を取り付けてある。槽の中には、養液濃度制御および監視のためのpHメータ、ECメータおよびレベル計を設置してある。これらの設置状況を写真-2、写真-3に示した。

各給液槽は、給液を開始する一定時間前に、調整液槽から毎日レベルスイッチのレベルまでの養液の補給を受け、各栽培ベッドに給液する養液を貯液する。各槽の上には、栽培ベッドへ給液するためのポンプを設置し、このポンプと各給液パイプの間には給液量を計測するための流量計を取り付けてある。各槽の中には、前述したように、調整液槽からの養液の補給を自動的に停止させるためのレベルスイッチを、それぞれのレベルに設置してある。各槽の底面には、冬季液温加温用の500Wのヒータを設置してある。

2. システムの制御

制御は、調整液槽の液量を監視し、液量が少なくなると自動的に養液を栽培適度の濃度になるように、高濃度養液と給水により自動調整し補給をおこなう養液濃度制御と、4個ある給液槽の液量を監視し、消費した液量を毎日自動的に調整液槽から補給するとともに、各栽培ベッドに養液の自動給液をおこなう給液制御の2つに分かれる。

(1) 養液濃度制御

制御におけるコンピュータの設定項目を表-2に、制御フローを図-3、図-4、図-5に示した。制御の開始は、図-3に示したように、養液濃度制御の実施の有無が有の時、タンクレベルが制御

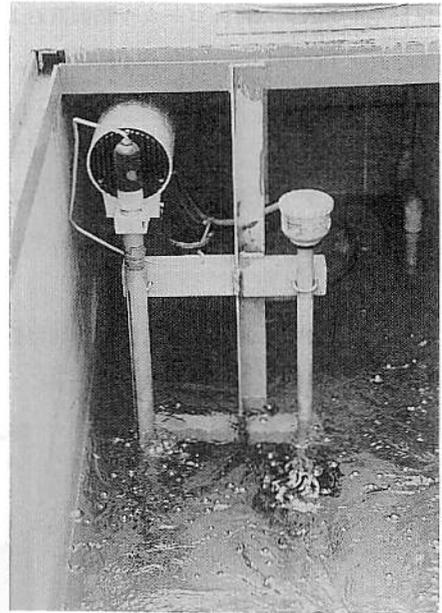


写真-2 調整液槽における養液の混合状況
(下方)調整液槽のECセンサ(右)、
レベル計センサ(中)、pHセンサ(左)

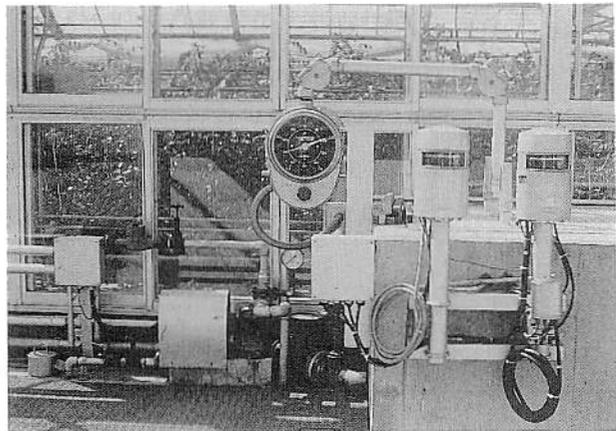


写真-3 調整液槽のpHメータ(右)、ECメータ(中)、レベル計(左)と各栽培ベッドの給液ポンプ(左下)の設置状況

開始タンクレベル以下である時、各給液槽の養液補給電磁弁がOFFである時、これら3つの条件が満たされた場合におこなわれる。初めに高濃度養液を入れ始める。給液が開始されると、調整液槽の養液量と養液濃度を1秒間隔でサンプリングをおこない、次式の演算をおこなう。

$$Q_1 = \frac{\rho}{\rho(t)} \cdot Q - Q_0$$

ただし、 Q : タンク内容量 (タンク平面積×制御停止タンクレベル)

ρ : 目標EC濃度

$\rho(t)$: タンク内の養液濃度

Q_0 : タンク内の養液量 (タンク平面積×タンクレベル計入力)

そして $Q_1 \leq 0$ の条件を

表-2 EC濃度制御設定項目

満たした時点で給液を停止

する。高濃度養液の給液を

開始して、養液が目標EC

濃度を越えた時点で、給水

を開始する。ただし、制御

開始時点で、調整液槽の養

液EC濃度が目標EC濃度

に対してEC濃度制御幅以

内であれば、初めから高濃

度養液の給液と給水を同時

に始める。開始すると高濃

度養液の給液の場合と同様

に、サンプリングデータをも

とに次式の演算をおこなう。

$$Q_w = Q \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho(t)}\right)$$

ただし、記号の内容は

上記の高濃度養液と同じで

ある。

設 定		設定データ範囲
項 目	内 容	
EC濃度制御有無	EC濃度制御を実行するの有無をセットする	1または0
制御開始タンクレベル	EC濃度制御を開始するタンクレベルをセットする	0~80cm
制御停止タンクレベル	EC濃度制御を停止するタンクレベルをセットする	0~80cm
目標EC濃度	EC濃度制御の目標濃度をセットする	0~5 mS/cm
EC濃度制御偏差	EC濃度制御の制御幅をセットする	0~5 mS/cm
制御タイム	EC濃度を制御する時の制御実施時間と休止時間をセットする	0~99min
上限EC濃度	アラームの発生の設定値をセットする	0~5 mS/cm
下限EC濃度		0~5 mS/cm
上限pH値		0~14pH
下限pH値		0~14pH
上限タンクレベル		0~80cm

そして $Q_w \leq 0$ の条件を満たすまで給水を行う。給水停止条件になった時点において、EC濃度が

目標EC濃度にEC濃度制御幅を加えた目標EC濃度の上限を越えている場合には、上限タンクレ

ベル範囲において上限EC濃度になるまで続いて給水される。上限タンクレベルになっても、なお上限

EC濃度を越えている場合は警報を出す。また下限EC濃度に達していない場合は、この時点におい

て警報が出される。

制御の実行方法は、図-6に示すように、制御時間帯と制御休止時間帯とが交互に設定されていて、

制御時間帯のみ養液の混合が行われ、休止時間帯は養液の拡散時間となって濃度の平均化がはかられ、

正確な養液濃度制御が実行できるようになっている。

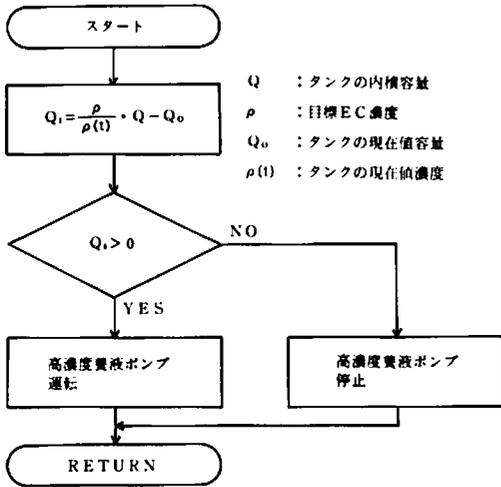


図-4 高濃度養液制御演算フロー

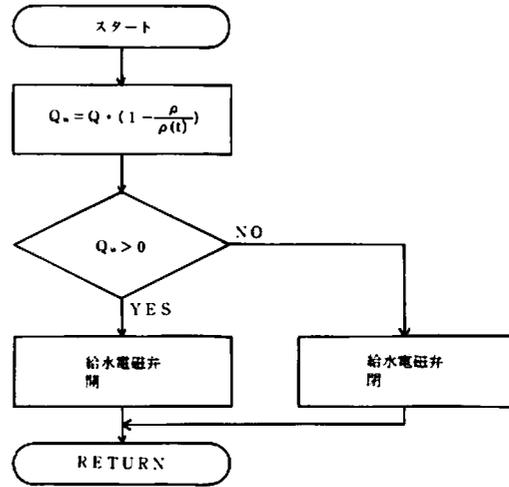


図-5 給水制御演算フロー

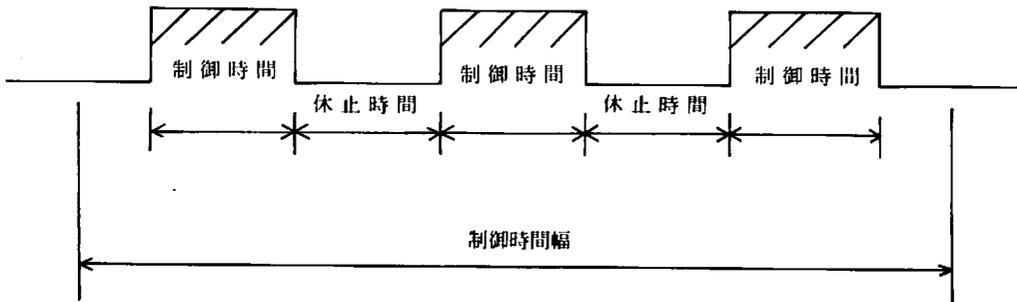


図-6 養液濃度制御実施方法

図-7に、制御開始タンクレベル：25cm、停止タンクレベル：70cm、上限タンクレベル80cm；目標EC濃度：1.5mS/cm、EC濃度制御偏差：0.2mS/cm、制御時間：5 min、休止時間：5 min、高濃度養液のEC濃度：7.0mS/cmの条件で設定した場合の制御状況のデータを示した。

(2)給液制御

制御の設定項目を表-3に示した。

調整液槽から各給液槽への養液の補給は、第1回目の栽培ベッドへの給液時間から何分前に補給するかを設定し、その時間になった場合と、栽培ベッドへの給液中に4分間流量に変化がないと確かめられたときに開始される。そして各槽のレベルスイッチの高さまで液が到達すると、このスイッチにより給液は停止される。

各槽から各栽培ベッドへの給液は、図-8に示すように、1日の給液制御時間内で、給液間隔時間毎の給液時間になると給液を開始し、1回当りの給液時間がくると停止する。この制御は4個ある給液槽において、それぞれ独立して設定でき、このために各種の栽培方法による比較試験が容易にできるようになっている。

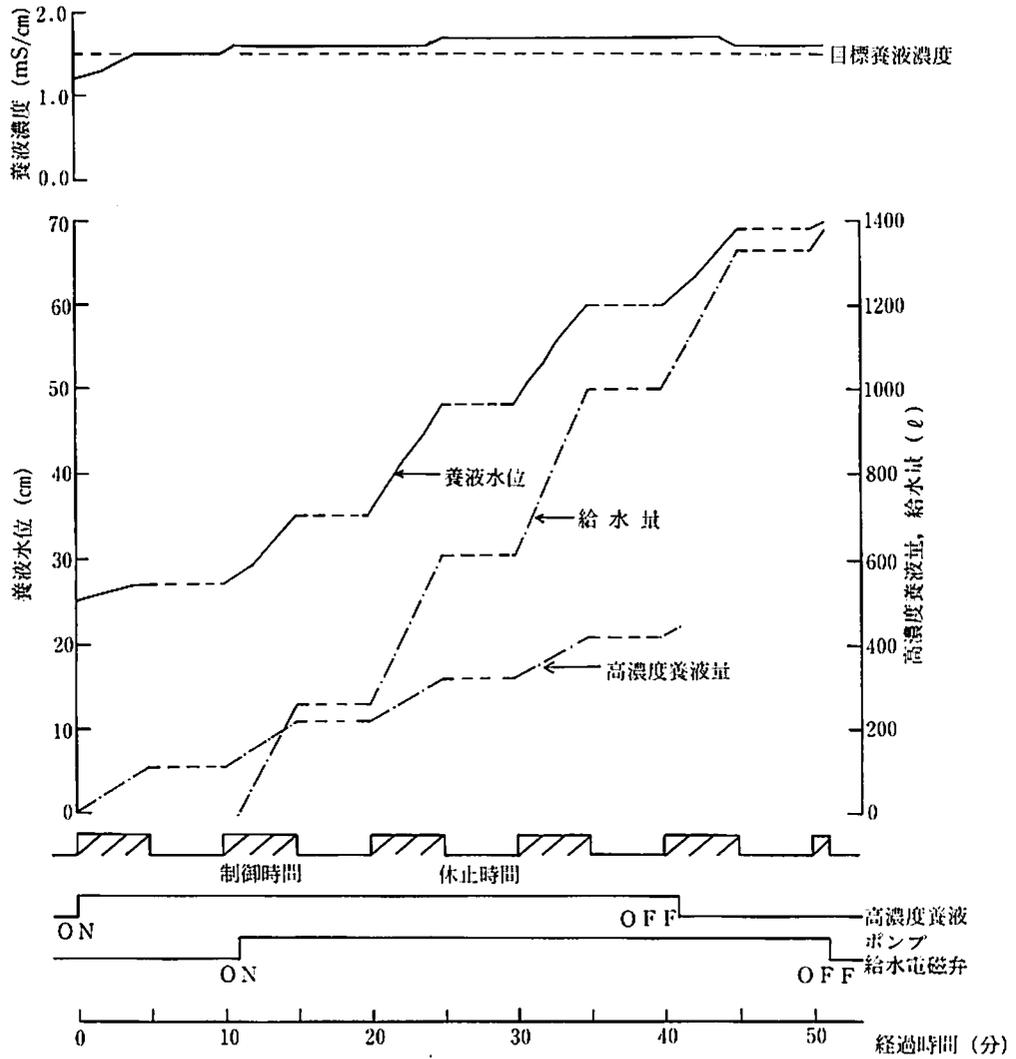


図-7 養液濃度制御実施状況

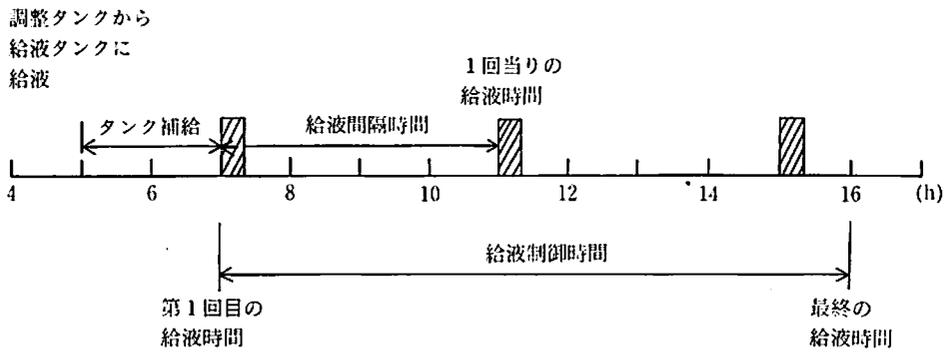


図-8 給液制御実施内容

表-3 給液制御設定項目

設 定		設定データ範囲
項 目	内 容	
制御有無	各ベッドの給液制御の実施の有無を設定する	1 または 0
開始時間	各ベッドの給液制御の開始時間をセットする	0～24 h r
停止時間	各ベッドの給液制御の停止時間をセットする	0～24 h r
間隔時間	各ベッドの給液制御の制御間隔時間をセットする	0～999min
給液時間	各ベッドの1回当りの給液時間をセットする	0～99min
タンク補給開始時間	各ベッドの給液タンクに調整タンクから補給開始する時間をセットする	0～999min

3. システムの計測および警報

計測は、養液の制御・監視データと各流量データに区分される。前者は調整液槽における現在のEC濃度、pH値およびタンクレベル位置で、これらのデータは随時カラーディスプレイにデジタル表示することができ、データは3秒毎に更新される。そして5分毎に定時記録としてプリンターに印字される。後者は、調整液槽への高濃度養液の給液量と給水量、調整液槽から給液槽への養液の給液量および各給液槽から栽培ベッドへの給液量で、これらは1日毎に0時からの積算値として、随時カラーディスプレイにデジタル表示することができ、データは5分毎に更新される。また0時には1日の各流量の積算値がプリンターに印字される。

警報は、表-2に示した設定値によってだされる。EC濃度、pH値および調整タンクのタンクレベルが警報値以上の場合に、カラーディスプレイ画面の表示データを点滅させて知らせるとともに、内容をプリンターに印字し、警報ブザーをならす。また養液濃度制御中に給液槽への電磁弁がONになった場合にもプリンターに印字し、警報ブザーがなるようになっている。

4. システムによる栽培

メロン、トマト、サラダナを主体にたん液水耕、クンタン耕、NFTおよびロックウール耕などによりおこなった。栽培当初からの作付状況を表-4に示した。春作メロン、夏秋作トマトおよび冬作サラダナについて、播種から収穫までの栽培管理の概要を表-5、表-6、表-7に示した。ロックウール耕およびクンタン耕におけるメロンの栽培状況を写真-4、写真-5に示した。写真-6にNFTにおけるトマトの栽培状況、写真-7にたん液水耕におけるサラダナの栽培状況を示した。

表-4 養液栽培における作付け状況

年度	方式		たん液水耕	モミガラクンタン耕	ピートモス+モミガラクンタン混合培地耕	N F T	ロックウール耕
	春 夏 秋 冬	作 作 作 作					
1982年	春 夏 秋 冬	作 作 作 作	トマト	トマト			
1983年	春 夏 秋 冬	作 作 作 作	メロン トマト サラダナ	メロン トマト サラダナ	トマト サラダナ		
1984年	春 夏 秋 冬	作 作 作 作	メロン トマト サラダナ	メロン トマト サラダナ	メロン トマト サラダナ	メロン トマト サラダナ	
1985年	春 夏 秋 冬	作 作 作 作	メロン トマト サラダナ	メロン トマト サラダナ	メロン トマト サラダナ	メロン トマト サラダナ	
1986年	春 夏 秋 冬	作 作 作 作	メロン メロン —	メロン メロン —	メロン メロン —	メロン メロン —	メロン —
1987年	春 夏 秋 冬	作 作 作 作	メロン メロン メロン	— — —	— — —	メロン メロン メロン	メロン メロン バラ

表-5 春作メロンの栽培管理の概要

月/日		3/5	4/10	5/10	6/5	7/5
栽培方式	生育時期	育苗期	栄養成長期	果実発育期		果実成熟期
				ネット発現期		
NFT	給液制御時間(時)	0-24	0-24	0-24	0-24	0-24
	給液間隔時間(分)	60	60	60	30	60
	給液時間(分)	55	45	50	15	10
たん液水耕	給液制御時間(時)	5-20	5-20	5-20	5-20	5-20
	給液間隔時間(分)	60	60	60	60	120
	給液時間(分)	10	10	10	10	10
モミガラクンタン耕	給液制御時間(時)	5-20	5-20	5-20	5-20	5-20
	給液間隔時間(分)	60	60	60	120	180
	給液時間(分)	5	10	10	10	10
ピートモス+モミガラクンタン混合培地耕	給液制御時間(時)	5-20	5-20	5-20	5-20	5-20
	給液間隔時間(分)	60	60	60	120	180
	給液時間(分)	5	10	10	10	10
ロックウール耕	給液制御時間(時)	7-12	7-12	6-16	6-16	7-12
	給液間隔時間(分)	180	180	180	180	180
	給液時間(分)	3	5	5	5	3
養液濃度	EC	0.7-1.0	1.0-1.2	1.3-1.5	1.3-1.5	1.0-1.3
	pH	5.5-6.5	5.0-7.0	5.0-7.0	5.0-7.0	5.5-6.5

表-6 夏秋作トマトの栽培管理の概要

月/日		7/10	8/10	9/10	10/5	12/5
生育時期		育苗期	草体成長期	果実発育期	第1果房 収穫始め	第6果房 収穫終
栽培方式	給液制御時間(時)	0-24	0-24	0-24	0-24	
	給液間隔時間(分)	60	30	30	30	
NFT	給液時間(分)	55	20	15	15	
	給液制御時間(時)	5-20	5-20	5-20	5-20	
たん液水耕	給液間隔時間(分)	60	60	60	60	
	給液時間(分)	10	10	10	10	
モミガラ クンタン耕	給液制御時間(時)	5-20	5-20	5-20	5-20	
	給液間隔時間(分)	60	120	180	180	
ピートモス+ モミガラクンタン 混合培地耕	給液時間(分)	5	10	10	10	
	給液制御時間(時)	5-20	5-20	5-20	5-20	
養液濃度	EC	0.7-1.0	1.0-1.3	1.3-1.5	1.3-1.5	
	pH	5.5-6.5	5.0-7.0	5.0-7.0	5.0-7.0	

表-7 冬作サラダナの栽培管理の概要

月/日		11/15	12/10	2/1	2/10
生育時期		育苗期	生育期	収穫期	
栽培方式	給液制御時間(時)	0-24	0-24	0-24	
	給液間隔時間(分)	60	30	30	
NFT	給液時間(分)	55	20	15	
	給液制御時間(時)	3-23	3-23	3-23	
たん液水耕	給液間隔時間(分)	60	120	180	
	給液時間(分)	10	10	10	
モミガラ クンタン耕	給液制御時間(時)	3-23	3-23	3-23	
	給液間隔時間(分)	60	180	180	
ピートモス+ モミガラクンタン 混合培地耕	給液時間(分)	5	10	10	
	給液制御時間(時)	3-23	3-23	3-23	
養液濃度	EC	0.7-1.0	1.0-1.2	1.0-1.2	
	pH	5.5-6.5	5.5-6.5	5.5-6.5	

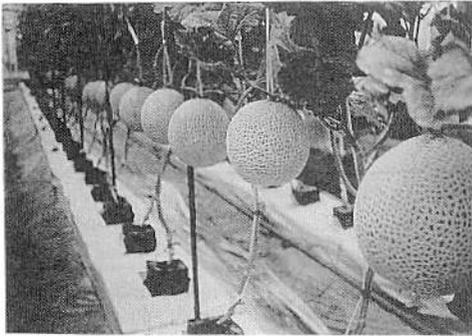


写真-4 メロンのロックウール栽培

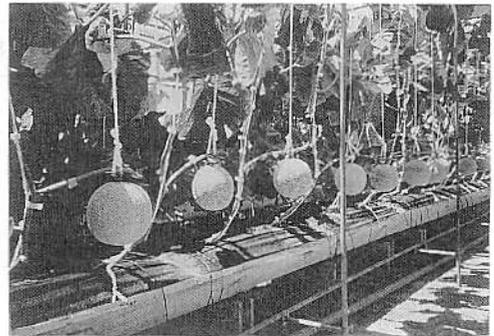


写真-5 メロンのクンタン栽培

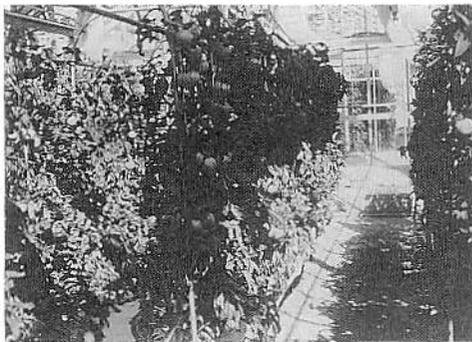


写真-6 トマトのNFT栽培



写真-7 サラダのたん液水耕栽培

あ と が き

以上のように、当農場設置の養液栽培管理システムは、養液濃度制御と給液制御により養液栽培を自動的に管理している。また計測によって得られるデータを活用して、新しい栽培技術の開発をおこなっている。

最近の養液栽培の発展には目を見張るものがあり、養液栽培制御技術も著しい進歩がなされている。当システムにおいても、施設設備の改善をはかり、より高度な制御がおこなえるシステムにしていきたい。

謝 辞

資料の収集にあたって、三菱電機四国営業所の久米利雄部長および岩崎徹氏に御協力いただいた。記して厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 福山寿雄, 森本哲夫, 橋本 康, 船田 周 (1986) メロンの施設栽培における根系の環境調節. 生物環境調節 24(1): 9-20
- 2) 仙頭照康 (1984) 愛媛大学農場システム. 新農業システム総合技術, R & Dプランニング 555-579
- 3) 柳下紀久次, 岡富士郎, 山崎 悟 (1981) ガラスハウス環境制御へのマイクロコンピュータの応用. 三菱電機技報 35-39
- 4) 福山寿雄, 仙頭照康, 橋本 康, 柳下紀久次 (1981) 愛媛大学農場のコンピュータ栽培について (第1報) C A P Cにおける園芸作物の栽培. 園芸学会研究発表要旨 286-287
- 5) 柳下紀久次, 山崎 悟, 岡富士郎, 福山寿雄, 仙頭照康, 橋本 康 (1981) 愛媛大学農場のコンピュータ栽培について(第2報) C A P Cにおける計測と制御. 園芸学会研究発表要旨 192-193