

# 温室の複合制御用マイクロコンピュータシステムの試作

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者名	高倉,直 岡田,益己 島地,英夫 奈良,誠
発行元	養賢堂
巻/号	35巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 97-102
発行年月	1979年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 温室の複合制御用マイクロコンピュータ システムの試作

高倉 直\*, 岡田益己\*\*, 島地英夫\*, 奈良 誠\*\*\*

( \* 東京大学農学部  
\*\* 農業技術研究所気象科  
\*\*\* 農業土木試験場 )

Development of a Microprocessor-Based Multi-Variable  
Control System for Greenhouses

Tadashi TAKAKURA \*, Masumi OKADA \*\*, Hideo SHIMAJI \*,  
and Makoto NARA \*\*\*

( \* Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo  
\*\* Division of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences,  
Nishigahara, Tokyo  
\*\*\* Laboratory of Agricultural Structures, National Research Institute  
of Agricultural Engineering, Yatabe, Tsukuba, Ibaragi )

## 1. はじめに

オランダ、イギリスを中心にして発展してきた温室環境の複合制御に関しては既に幾つかの紹介があり、その方式あるいはそのハードウェアについては周知のことと思われるが(高倉, 1974; 古在, 1976), わが国のそれを考えていく場合、その歴史的展開は十分参考になると思われるので、ここでも簡単に触れてみたい。

ストライボッシュ式(通称)なる複合制御装置がオランダで開発され、続いて幾つかの改良がなされてデルタエックスコントローラとして普及して既に10年近くなる。これらはいずれもアナログ式調節計と呼ばれる範ちゅうのもので、わが国においても類似のものが開発されている(関山, 1974)。

ところがオイルショック以後、一般工業界でのマイクロコンピュータの普及という背景もあり、かつデルタエックスコントローラの制御ロジックが著しくエネルギー消費型であったため(例えば、夜間温室内湿度を下げるために暖房しながら積極的に換気する方式のため、このような時の暖房負荷係数は  $10 \text{ kcal m}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$  を超える大きなものとなる)、マイクロコンピュータによる制御が急速に普及し始めた(Takakura, 1978)。マイクロコンピュータによる制御は、デジタル式制御と分類される。その特長は幾つかあるが、最も大きなものはオランダの例でわかるように、ハード的な設備の変更をせず、その

プログラムを変更することによって制御ロジックを変えることであろう。

現行の複合制御そのものの利点に関しては、1, 2割の収量増加が期待できるとする報告や、あまり期待できないとするもの、あるいは省エネルギー的であるとするものなど、まだ明確になっていない点が多いが(Takakura, 1978; Takakura, *et. al.*, 1978), そのように不確定な要素が多くかつ太陽エネルギー利用に始まる自然エネルギーの利用を考える場合の、多要素の測定と意思決定というコンピュータの得意とする点が将来必要になることを考えると、わが国においても、マイクロコンピュータによる温室の制御確立は不可欠のことと考えられる。幸いわが国においても、一般工業界においてマイクロコンピュータの開発、利用は目覚ましいものがあり、その意味では安価で信頼性の高いものが得られる背景は十分である。単機能的な温室専用のアナログ式調節計を製作するより経済的であることは明白であろう。

マイクロコンピュータによる制御は大きく分けて2種類になる。まず第一は、簡単な表示(20桁程度のプリンターかあるいはLED(発光ダイオード)), ファンクションキー及びテンキーを持つタイプで、プログラムは主にアセンブラで書かれたものをROM(リード・オンリー・メモリー)の中にファームウェアとして持つもの。コンピュータとの対話という形式はとりにくい、キー操作が簡単かつメモリーが少量ですむため経済的である。短所としては、プログラムの変更はそれ自身では行うこと

ができない。一方コンピュータゲーム等で見られるタイプは、カラーテレビなどのディスプレイとカタカナあるいはアルファベットのフルキーボードを持ち、外部記憶装置としてフロッピーディスクかカセットテープ装置を持つものである。使用する言語はBASICが主で、コンピュータとの対話形式がとれるだけでなく、プログラムの変更ができる機能をそなえている。メモリーが多量に必要であるばかりでなく、一時プログラムを保管しておく外部記憶装置が必要である。従ってあまり経済的とは言えない。

今回は、まず前者のタイプを開発したのでここに報告する。後者のタイプについても現在開発中であるので、いずれ報告したいと思う。

設計思想として

1. わが国における施設園芸は、個人による栽培管理の色彩が強かつ経営規模があまり大きくないことを考えて、一つの制御装置により制御される温室は3000m<sup>2</sup>まで、棟数として2棟までとする。

2. わが国の栽培管理は強く篤農家の技術に立脚し、諸外国に見られるような画一的管理ではない。従って制御方式(ソフトウェア)は1種類に限定すべきでなく、また個々の農家の制御端の機器の種類の違いを考慮した、簡単で効率的なものであるべきで、その開発は公的研究機関によって行われ、その開発費が直接各制御器の価格に上乘せられないようにする。

3. 現在の価格の目安として50万円を考える。

## 2. ハードウェア

今回設計、製作したマイクロコンピュータシステム(TNC-1000型)の概観は、Fig. 1に示されている。上がバックアップ用リレーボックスで、下がマイクロコンピュータシステムである。システムは、左から電源スイッチ、紙送りダイヤル、プリンター、テンキー、ファンクションキー、LEDランプが表面パネル上に配されている。



Fig. 1. Front view of the microprocessor unit.

ハードウェアの構成は、Table 1にまとめてある。中心となるマイクロプロセッサには、Intel社の8085を用いている。メモリー容量としては、ROMが8KBYTE、RAM(ランダム・アクセス・メモリー)が125KBYTE用意されている。実際に使用しているメモリー数は、ROMが7807で残り284BYTE、RAMは123BYTEとSTACKとなっている。タイマーはバッテリーバックアップされており、3日間程度は電源の供給なしに計時を続けることが可能である。制御中停電があると制御が中断されることは避けられないが、停電が回復した場合再び正常な制御が行われるためには、どうしてもタイマーだけは停電中も動かし続ける必要がある。もちろんいったん停電するとRAM上のデータはこわされるので、設定値などは全てROM上のものが真の設定値として制御に用いられることになる。従ってRAMのバッテリーバックアップを行えば万全であるが、経済的に考えて今回のシステムにおいてはその必要はないと判断した。

A/Dコンバータとしては全部で16チャンネル用意されている。太陽電池日射計用(0~15mV)、電気抵抗式温度計用(0~10mV)、炭酸ガス濃度計用(0~100mV)、その他(0~5V)である。リレー出力としては、AC100V 1Aまで駆動できるリレー11個を持っている。設定値の変更などのためにテンキー1組、ファンクションキー4個を用意した。プリンターは、設定値、測定値、時刻、警報などの印刷のため、20桁で十分であることから、20桁のものを用いた。

Table 1. Hardware components of the microprocessor system.

種 類	内 容
マイクロプロセッサ	Intel 8085
メモリー	ROM Intel 2716×4 RAM Intel 8155×1 Intel 2114×2
タイマー	Intersil ICM 7045
A/Dコンバータ	0-10 mV 5チャンネル 0-15 mV 1 〃 0-100 mV 1 〃 0-5 V 9 〃
リレー出力	AC 100 V 1A 11チャンネル
テンキー	1組
ファンクションキー	4個
プリンター	Olivetti PU 1100 20桁

## 3. ソフトウェア

### 1. 環境条件の測定・記録

入力は全て1BYTE(8bit)であるから、その分解能は1/256である。温室の通常の制御においてはこれで十分

と考えられる。また演算は、この入力精度及びメモリー容量から考えて、浮動小数点演算は行わないことにした。ただ1 BYTEでは乗除算において演算精度が落ちるので、必要な場合は2 BYTE(倍精度)の演算を行った。

#### a) 温・湿度

温室内外の温・湿度は、電気抵抗式乾湿球温度計によりまたパイプ内湯温は棒状の電気抵抗式温度計と変換器により、気温・湿度に関しては $-10\sim 40^{\circ}\text{C}$ の50 deg幅が、パイプ内湯温に関しては $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ の50 deg幅が $0\sim 10\text{ mV}$ に変換されマイクロコンピュータに入力される。入力した1 BYTEを200倍することによって、50 degが50,000となりうまく2 BYTEの中におさまり、精度も十分確保できるので、温度に関してはデータの長さを2 BYTEとし印刷のときは下2桁を切り捨て小数点を2桁目に付すことにした。湯温に関しては印刷時に $50^{\circ}\text{C}$ を加えることによって全く同様に処理できる。

湿度は湿球温度として入力されるが、一般には%表示の関係湿度の方が望ましい。そこで、湿り空気の水蒸気飽和曲線を温度範囲 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ において10等分し、これを温度に関して直線近似し、Sprungの公式を用いて関係湿度を求めた。即ちまず直線近似した飽和曲線を用いて乾湿球温度それぞれにおける飽和水蒸気圧を求め、次いで、Sprungの公式からその湿球温度での水蒸気圧を求めた。水蒸気圧も1000倍することにより温度同様整数化した。関係湿度は、2桁の整数表示とした。このような近似計算でも全体的に5%以下の誤差におさえることができた。

#### b) 日射量

試作した太陽電池日射量の出力が $7.0\text{ mV/ly/min}$ であるから、これを直接 $0\sim 15\text{ mV}$ スケールのチャンネルに接続すると、うまくbit出力の1/2が $\text{ly/hr}$ 単位の日射量となる。1/2にするにはACレジスタの内容を1 bit右にシフトすればよい。

測定値(約1分間に1回のサンプリング)に基づいて15分間、1時間の積算値を計算する。さらに日没を日射計で確認した後1日の積算値の計算と印刷が行われる。更に生育期間中の積算値の計算も行うようになっている。

#### c) 炭酸ガス濃度

検出器としては、富士電機のZFP型(測定範囲 $0\sim 3000\text{ ppm}$ 、精度 $1000\text{ ppm}$ で $\pm 100\text{ ppm}$ )を用いることにした。出力は $0\sim 100\text{ mV}$ であるが、出力は直線的でなく換算が必要である。今回は $0\sim 100\text{ mV}$ の範囲で、30, 60, 90 mVでの値を用いて直線近似を行った。1 BYTEで表現できる最大値は256で、これを2560 ppm(0.256%)と考えればうまく1 BYTEに入る。實際上炭酸ガス施用を行っても2500 ppm以上にするにはまず考えら

れないので、1 BYTEで十分と考えられる。

#### d) 時刻

タイマーからの出力は8セグメントのセグメント出力であるから、まずBCD(バイナリー・コーデッド・デシマル)コードに変換する。秒出力も得られるが、直接必要ないので用いず、時間と分は共に2桁であるから、それぞれ1 BYTE割りあてBCD数としてメモリー中にしまう。必要に応じてBCDからBinary変換を行って計算に使用した。

#### 2. 制御

今回開発した複合制御の概要はTable 2にまとめてある。制御要素として暖房用ボイラー、天窗・側窓、炭酸ガス発生器、カーテン、換気ファンがあるとして、複合制御の基本としては転流促進温度の上乗せができる形での温室気温の5段変温とした。

屋外の風向風速を検出しての天窗・側窓の開閉制御も考えられるが、今回のプログラムでは温室気温による比例制御を行っている。

炭酸ガス施用は、換気ファンが停止し、天・側窓が完全に閉じている時のみ、それまでの15分間の積算日射量に比例して炭酸ガス濃度の設定値を定め発生器のON-OFFを行う。

カーテンは、屋外の日射量及び気温のレベルにより開閉されることとした。

換気ファンは温室気温があるレベルに達した時駆動するようにした。

Table 2. Control logic and the number of parameters.

制御要素	制御内容	パラメータ数
ボイラー	温室気温の5段変温	10
天窗・側窓	天窗4段、側窓2段の比例制御	5
炭酸ガス発生器	換気ファン停止、天・側窓全閉の時のみ15分間の積算日射量に比例して	2
カーテン	屋外日射量及び屋外気温のレベル	2
換気ファン	温室気温に関して2段	1
ボイラー	転流促進温度として3, 4, 5段めの変温設定値を増加	3
合計		23

制御プログラムのフローチャートと、製作したサブルーチンのリストをそれぞれFig. 2とTable 3に示す。Fig. 2から明らかなように、このプログラムは大別して基本的な二つのループから成り立っている。一つはサービ斯拉ーチンであり、もう一つは測定制御ルーチンである。

ここでいうサービスルーチンとは、a) 月日の設定、b) 時刻の修正、c) 日射の積算開始/停止、d) 定時記録動作の設定、e) 測定値の印刷、f) 各設定値の変更印刷の、六つの機能である。

電源が投入されると0番地よりスタートし、まずタイマーを2回読取る。この二つの値が同じであればタイマーが止まった状態であるので、タイマーを始動する。これは電源が投入された時あるいは停電回復後に一度のみ行うもので、基本的な二つのループの外にある。従って実質上のスタートは、次のタイマー読取りと考えると差支えない。もし読取った値が00秒であれば測定・制御ルーチンへ、そうでない時は前述のサービスルーチンへ入る。

測定・制御ルーチンにおいては、まず測定を行う。各測定値は連続して10回読取り、その平均値を用いることにしている。もし15分経過していると15分間の積算日射を計算し、更に1時間経過しているかどうかを調べ1時間経過していると、定時記録のグラフが1であるかどうかを調べ、1であれば測定データの印刷を行う。また1時間の積算日射量を計算する。そして各測定量の単位換算を行う。ここで温室気温が予め設定された上下

限内にあるかどうか、ボイラー不着火の接点が閉じているかどうかを判定し、異常が発見されるとその旨印刷されると同時に警報器をセットする。今回は無線による警報発信器を用いるので、約1km以内の受信機に向けて警報が発せられる。

更にRAMメモリー中の各設定値を調べ、それらが0であればスタート直後であるか設定値の変更がなされていないかのどちらかであるから、ROMメモリー中にセットされている各設定値をRAMメモリーへ移動し、この設定値を参考にしながら各リレーのセットを行う(ROM中の設定値はFig.3の(A)に示されている)。即ち夜間温室気温が設定値より低ければ、ボイラー用循環ポンプのリレーがONにセットされる。

今回のシステムでは、天窓開度を直接感知し、コンピュータへ入力しないので、一定開度を保つためには、一定の時間遅れ後に天窓駆動用モーターリレーをOFFにする必要がある。これでまた実質上のスタート点に戻ればよい。

製作したサブルーチンは、大別して二種類ある。第一のグループは、測定、制御に関係ある計算、判定とその結果の数値の印刷に関するもので本質的なものである。

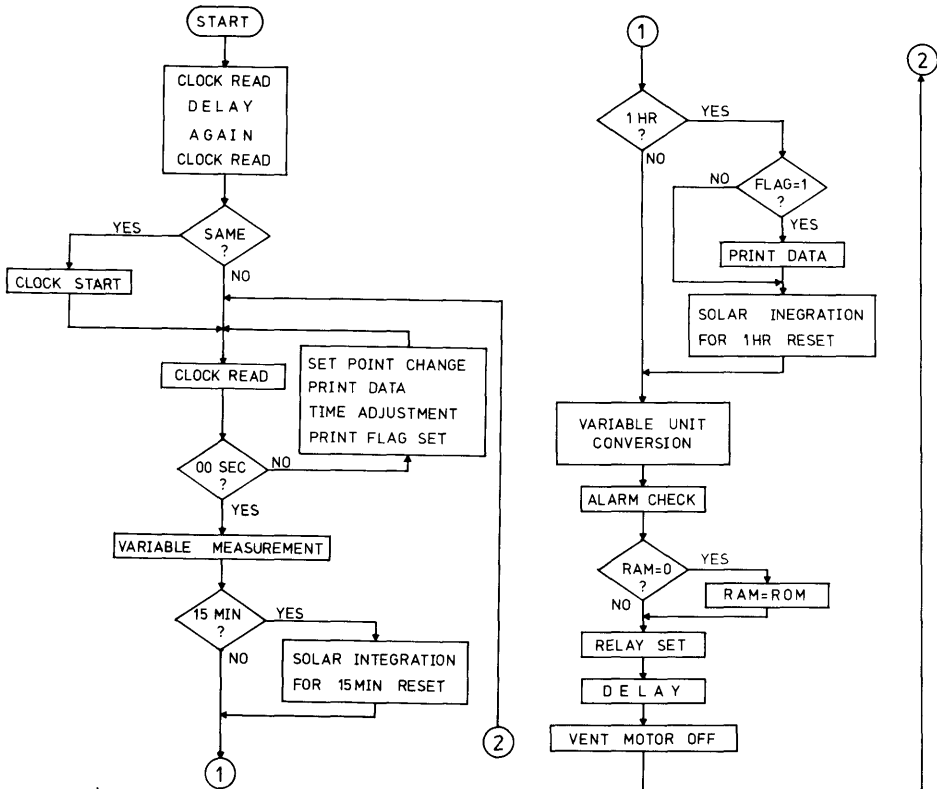


Fig. 2. Flow chart for control routine.

Table 3. List of subroutines used in the greenhouse control program (TODAI. SRC).

サブルーチン	内 容	サブルーチン	内 容
1 ACSRT	積算日射計算	32 ALMCH	“異常”印刷
2 ADCON	A/D変換と10回読取り, その平均の計算	33 ASRPR	“積算日射”印刷
3 ADMD	アドレス修飾	34 ATMCH	“気温”印刷
4 ASPCH	スペースそう入	35 BOCH	“ボイラー”印刷
5 BCDBIN	BCDからBinaryへ変換	36 CALGP	“カロリー/生育期間”印刷
6 BINBCD	BinaryからBCDへ変換	37 CD	“℃”印刷
7 CALDT	月日計算	38 COCH	“炭酸ガス”印刷
8 CHPACK	文字をプリントバッファへ	39 CONTP	“つづく”印刷
9 CLST	時刻修正	40 CRTMP	“正しい時刻どうぞ”印刷
10 CTRT	転流温度計算	41 CURCH	“カーテン”印刷
11 DATES	月日設定	42 HEACH	“暖房”印刷
12 DELAYM	遅れ発生	43 HOCH	“時”印刷
13 DESCHG	設定値変更	44 ILCH	“入口”印刷
14 DIV16	割 算	45 INCH	“室内”印刷
15 FEED1	1行フィード	46 LYD	“カロリー/日”印刷
16 FNCKY	ファンクションキー読取り	47 LYM	“カロリー/時”印刷
17 HMINT	飽和水蒸気圧計算	48 MDPR	“月日”印刷
18 HRPRT	定時記録印刷	49 NOCHN	“訂正なし”印刷
19 HUMCL	関係湿度計算	50 NOKPR	“ない”印刷
20 MULT	乗 算	51 NSPK	“新しい設定値どうぞ”印刷
21 PRDT	月日印刷	52 OKPRH	“定時記録します”印刷
22 PRINT	プリンター制御	53 OLCH	“出”印刷
23 PRSTD	設定値印刷	54 OUCH	“室外”印刷
24 SPCO	炭酸ガス濃度換算	55 PEC	“%”印刷
25 SPTM	温度設定値計算	56 PRTSS	“設定値”印刷
26 TENKY	テンキー読取り	57 RHCH	“湿度”印刷
27 TIM	タイマー読取り	58 SRCH	“日射”印刷
28 TMPRT	時刻印刷	59 TIMCO	“時刻”印刷
29 UPACKL	上位4bitと下位4bitを各々2BYTEへ代入	60 TRLTM	“転流温度”印刷
30 VNTPS	天・側窓設定	61 VENCH	“換気”印刷
		62 WRONG	“まちがいです”印刷
31 ACCH	“積算”印刷	63 WTMCH	“湯”印刷

第二のグループは、測定、制御が理解しやすいためと操作ミスの防止の意味から、コンピュータとの対話という形でコンピュータが操作者に話すことばの内容の印刷である。これはFig.3からも明らかのように、1語を5×7のドットマトリックスにより作ったためとプリンター容量に制限があることから、簡単な漢字まじりのカタカナ表示を主体とせざるをえなかった。また字数に制限があり、50音全てを用いることができず、十分な表現になっていないところもある。

#### 4. 実験結果

サービルーチンの検査は、種々の設定値を入れたり、月日、時刻を設定し、正しく動作するかどうかを確かめた。実際に印刷されている値のみならず、メモリー上の値が正しくセットされているかどうかIntel社のICE(イ

ン・サーキット・エミュレータ)システムを用いて調べた。印刷の一例をFig.3に示す。プリントアウトは、下が先で上が後から印刷されたものである。

(A)は月日の設定と設定値のプリントアウトである。セッテイチ(設定値)から上にあるのが設定値の内容で、暖房時一気温では変温各段の時刻と温度が示されている。換気一気温では、天・側窓の6段制御が行われる気温が示されている。即ち20℃以下では天・側窓全開であり、20.0~22.0℃では天窓が1段の開度にセットされる。28.0℃以上で天・側窓とも全開となる。同図中のタンサンガスニッシャ(炭酸ガス・日射)では、炭酸ガス濃度の設定値が1500ppmになる15分間の積算日射量をly/hr単位で与えることになっている。060と3桁で与えているから、これでは1ly/minが15分間続いたと考えられる日射量のとき設定値が1500ppmとなる。カーテン・室外

0 0 0	キオン イシ" コ
テンリユオント"	
25.0	00000 カロリ/セイグキオン
カンキ キオン	セキオン ニツラ
15.0 06	テラ"キロラマス
カーテン シツカ"イキオン ニツラ	シ"コ 04 シ" 50 カ
060	シ"コ 20 シ" 29 カ
タンヤンカ"ス ニツラ	タ"ライ シ"コ ト"ウリ"
28.0	05 カ"ツ 15 日
26.0	カ"ツB ト"ウリ"
24.0	
22.0	(B)
20.0	
カンキ キオン	セキオン ニツラ 000カロリ/日
20 シ" 00 カ 10.0	シツカ"イ ニツラ 000カロリ/シ"
18 シ" 00 カ 13.0	タンヤンカ"ス .000%
16 シ" 00 カ 15.0	イリク"チ ユオン 50.0%
08 シ" 00 カ 20.0	シツカ"イ シツト" 00 %
06 シ" 00 カ 15.0	シツナイ シツト" 00 %
タンヤン"ーシ"コ キオン	シツカ"イ キオン 00.0%
セツチチ	シツナイ キオン 00.0%
05 カ"ツ 15 日	シ"コ 20 シ" 28 カ
カ"ツB ト"ウリ"	

(A)

(C)

Fig. 3. An example of print out.

気温・日射では、カーテンが全開する室外気温と日射量を共に℃と ly/hr 単位で与えている。この一方が満足されないとカーテンは全開しない。換気・気温では、換気ファンの駆動する最低温度 25℃ が示されている。転流温度は、それぞれ 0 にセットされているが、左から、3, 4, 5 段目に上乗せするステップ幅を意味する。実際に 3, 4, 5 段目に上乗せされる温度は、その日 1 日の積算日射量によって次のように決定される。その日の積算日射量が 60 ly/hr × 10 hr = 600 ly/日あったとすると、ステップ幅を 0, 1, 2, 3 と設定することにより、この日射量の 0, 2, 4, 8 倍を上乗せ温度とする(コンピュータ内の温度表示は、実際の温度の 1000 倍であるから)。従ってこの場合、0, 12, 24, 48℃となる。(B)は、月日の設定、時刻の修正、定時記録の有無、生育期間中の日射量の積算

値の印刷、気温の異常(警報)の印刷例である。(C)は、定時記録及び測定値の印刷によってプリントアウトされる内容を示している。

測定・制御ルーチンの検査は、次のようにして行った。即ち各々の入力に直流の標準電圧発生器を接続し、出力のリレー端にはそれぞれの名称を付したランプを接続し、ある入力値に対するリレー動作をランプの点滅によって確かめた。

### 5. おわりに

温室の環境制御においても、今後省エネルギーを目的として各種測定値に基づく判定や動作が複雑かつ変更の多いことが予想される。

そこで今回マイクロコンピュータによる制御システムを開発した。今回のものは、なるべく操作を簡単にできるように、操作はテンキーとファンクションキーによることとし、ミニプリンターによる印刷とコンピュータとの対話は最小限にとどめたために、かなり経済的なものできた。数日間のテストであるが、実際の温室に設置し、天窓、カーテンなどの制御を中心にその制御特性を簡単に調べたところ、ノイズによる誤動作もなく順調に作動した。時期的に暖房機の動作試験は、行い得なかった。ただ誘導雷などに対する保護、外乱に対するノイズ対策は十分でないし、実際に長期使用した場合のデータはまだ取れていないので、これらは今後の問題として残されている。PID制御など詳細な制御ロジックの検討・導入も今後の問題であろう。

経済的にはより高価なものになるが、フルキーボードとディスプレイ装置をもったコミュニケーションタイプの開発も不可欠であろう。

### 文 献

- 1) 古在豊樹, 1976: オランダにおけるコンピュータ制御温室, 農業気象, **32**, 93-98.
- 2) 関山哲雄, 1974: これからの施設園芸における環境調節方式と装置化(1), (2), 農業及園芸, **49**, 1143-1146, 1265-1268.
- 3) 高倉 直, 1974: ヨーロッパの施設園芸環境調節技術 1, 2, 3, 農業及園芸, **49**, 623-626, 728-732, 853-856.
- 4) Takakura, T. (ed.), 1978: An informal discussion on climate control. Acta Horticulturae, **87**, 441-449.
- 5) Takakura, T., Ohara, G. and Nakamura, Y., 1978: Direct digital control of plant growth III. Analysis of the growth and development of tomato plants. *Ibid.*, **87**, 257-264.