

農業環境技術研究所資料
第18号

エ コ ト ロ ン
— 施設の概要と研究例 —

山口武則・大浦典子・山川修治・竹澤邦夫・福原道一
(企画調整部地球環境研究チーム)

農業環境技術研究所資料 第18号

審 查 会

- 会 長 玉 木 佳 男 (所 長)
- 審査員 原 田 二 郎 (企画調整部長)
- 〃 岡 田 齊 夫 (環境研究官)
- 〃 齊 藤 利 雄 (総務部長)
- 〃 太 田 顯 (環境管理部長)
- 〃 蘭 道 生 (環境資源部長)
- 〃 吉 野 嶺 一 (環境生物部長)
- 〃 越 野 正 義 (資材動態部長)

エコトロン

—施設の概要と研究例—

山口武則¹⁾・大浦典子¹⁾・山川修治¹⁾・竹澤邦夫¹⁾・福原道一²⁾

目 次

I. はじめに	1
II. エコトロン実験施設	3
III. エコトロンの性能試験	23
IV. エコトロンを用いた研究例	33
V. あとがき	45
VI. 追記	47
VII. 付録（操作マニュアル）	48

I. はじめに

エコトロン (Ecotron) は、大型ライシメータの上部にガラス室が設置された実験施設であり、ガラス室内の気温とCO₂濃度をコントロールすることができる。この施設は、地球の温暖化が叫ばれるなか、環境要因が植物に与える影響を、農業生態系を念頭において研究する目的で設計され、地球環境モデルハウスとして1991年3月、農業環境技術研究所に建設された。その特徴は、面積3×3 m²、深さ約1 mの土壌空間部を設けることにより、土壌環境をフィールドに近づけた点である。同所に先行するクライマトロンとの大きな相違点もここであり、クライマトロンがポット等を持ち込む方式をとっているのに対し、エコトロンではライシメータに直接に植物を植え付けることができる。エコトロンを用いて、気温やCO₂濃度の変化に伴う土壌の物理・化学的な変化や土壌微生物相の変化などを調査することが可能であり、植物の変化をこれら土壌要因との関係から調査したり、作物と雑草との関係を調べる等、エコトロンの内に農業生態系の断片をとらえることができると考える。また、環境変化に伴う植物の生理的な変化および収量の変化も、実際の圃場により近い状態で調査することができる。

1) 農業環境技術研究所 企画調整部地球環境研究チーム

2) 農業環境技術研究所 環境管理部資源・生態管理科長（前地球環境研究チーム長）

グロースチャンバー (Growth chamber) やファイトトロン (Phytotron) などの実験施設は、気温や湿度、CO₂濃度、光などを定量的に制御することにより、個々の環境要因の影響を分離し、さまざまな環境条件が植物の生理・生長および収量に与える影響の解明に大いに貢献してきた。現在、急務となっている地球の温暖化に伴う作物の生産予測においても、このような施設を用いた研究に期待する部分が多いといえる。これまで、温暖化に伴う作物の生産予測は実際にはどのように行われてきたのだろうか。まず気温、降水量そして土壌水分量の変化を地域別に挙げ、つぎに、これら土地の持つポテンシャルに加え、植物の受ける影響を直接影響と間接影響に分けて検討している。直接影響としては、光合成・蒸散、植物の発育、気孔開度と水利用、C₃植物とC₄植物との反応の違いなどが扱われており、一方、間接影響としては農業気候資源への影響、病虫害分布への影響、土壌の物質特性への影響などが検討されている (内嶋, 1991)。植物への直接影響については従来から行われてきた研究により解明が進んでいる。しかし間接影響についてはまだ不明確な点が多いといえる。地域による影響の違いや、時間の経過を考慮した影響を考えると、生態系全体の変化をさまざまな規模で調査することが必要であると考えられる。このような背景のなか、予想される条件の温暖化環境を施設の中に再現する試みが盛んに行われている。しかし、これらの実験施設でつくる人工環境は実際のフィールドの気象とは異なっており、予測をより現実近づけるためには、両者の相違点を埋める知見が必要となってくる。実験に伴って起こる制限を排除し、フィールドという環境で新たに加わる要因を加味するという処理を行えばよいが、これらが難問の一つとなってきた。この問題を解消する一つの方向として現在、様々な野外設置型施設が開発され、それらの特徴やチャンバーエフェクトについての研究が進められている (小林, 1994)。エコトロンでは土壌空間を広げ、施設の中に農業生態系という観点を取り入れることにより、この問題にチャレンジしている。エコトロンを用いて、従来から行われてきたポット試験とは違う観点から地球の温暖化研究をはじめとする農業環境研究へのアプローチができればと考える。

本資料は、7章から構成されている。II章では、エコトロンの施設・制御システムについて解説し、III章でガラス室内の日射量、紫外線照射量の測定をはじめ、気温、CO₂濃度の制御性能を調べた結果を示す。IV章ではエコトロンで行われた水稲と小麦の栽培試験の結果について述べる。さらにVI章では平成3年の竣工時以降に実施された施設の変更について説明を追加した。最後にVII章にはエコトロンを利用する際の操作マニュアルを添付した。本資料がエコトロンについて理解していただく助けになれば幸いである。エコトロンが多分野の研究者に広く活用され、独創的な研究が展開されることを期待する。

II. エコトロン実験施設

1. 施設の概要

この施設は、様々な生育環境を実現できる①ガラス室と、その環境を制御する②制御・監視室、そして③CO₂ボンベ室で構成されている（写真1および図1）。

ガラス室は高さ3mであり、縦・横3m、有効土層1mの大型ライシメータ（有底枠）の上部に設置されている。AからNまで14室あるうちB室とF室は骨組みだけの構造となっている。

その特徴は、気温、CO₂濃度の制御、紫外線照射が可能な点であるが、加えて地下水位をコントロールすることで土壌水分の調整が可能であり、圃場により近い状態で実験を行うことができる。



写真1 エコトロンの全景

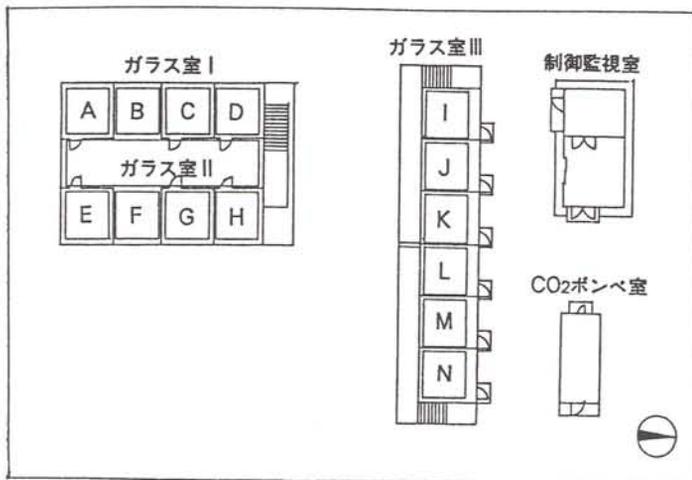


図1 エコトロンの配置図

注) B室とF室は骨組みだけの構造となっている。

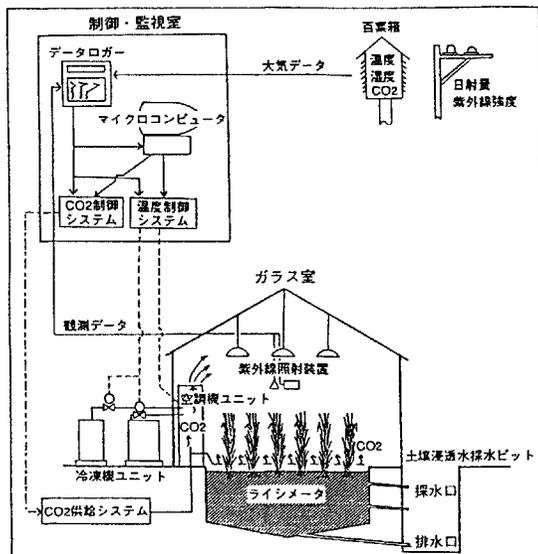


図2 エコトロンの概要図

ライシメータは、コンクリート製で土壌表面から深さ35cmと70cmの位置に、土壌浸透水を採取するために採水口が設けてあり、深さ150cmの位置には排水口がある。ライシメータDおよびHには、西日本の台地、丘陵地土壌に多い黄色土（愛知県知多郡南知多）が充填されており、それ以外のライシメータには、つくば市島名に分布する黒ボク土が充填されている。なお、DおよびHライシメータの土壌は、1993年11月中旬に他のライシメータと同様の黒ボク土に入れかえた（p.47参照）。

12室あるガラス室の全てにおいて、気温制御は、冬季：5～20℃、夏季：25～40℃が可能であり、そのうち8室については、CO₂濃度が350～1000ppmの範囲で制御できる。これらの制御・監視はコンピュータで行うように設計されている（図2）。概説すると、野外の気温、湿度、CO₂濃度、日射量、紫外線量などの計測データが、アナログ記録計・データロガーを経て制御・監視用コンピュータに転送され、ここで各設定に応じた目標値が決定される。この目標値が温度およびCO₂濃度コントローラに転送され、各ガラス室の温度およびCO₂濃度が制御されるという流れである。

温度およびCO₂濃度の制御方式には、各室を個別に制御するローカルモードとコンピュータによって制御するリモートモードがある。リモートモードでは、①シミュレーションプログラムによる制御と②測定機器追従および③これらの併用の3方式がある。シミュレーションプログラム制御では、日気温変化や日CO₂濃度変化をあらかじめ入力しておくことにより、北海道、関東、九州などといった各地域の気温とCO₂濃度の変化を再現することが可能である。また、測定機器追従制御では、外気の温度より1～5℃高くしたり、CO₂濃度を現在の大气より数ppm高い濃度にする事ができる。これらを併用すると、例えば、外気温より1～5℃高くしつつ、CO₂濃度を350～1000ppmの範囲で一定に保つなどの制御が可能である。

2. 制御システム

温度およびCO₂濃度の制御方式には、各室を個別に制御するローカルモードとコンピュータによって制御するリモートモードがある。ローカルモードによる制御は、温度およびCO₂濃度制御システムに組み込まれた各室の温度およびCO₂濃度コントローラに設定値を入力して制御する。他方、リモートモードでは、制御・監視用コンピュータのキーボードから各室の温度とCO₂濃度を入力して制御する。リモートモードでは、1)シミュレーションプログラムによる制御と 2)測定機器追従および 3)これらの併用の3方式が可能である。

制御システムは、大別して①CO₂濃度および温度制御システム、②制御・監視用コンピュータシステム、③計測データ記録システム、④データ解析システム、⑤CO₂供給システム、⑥空調機、および⑦冷凍機ユニットで構成される。①～④は制御・監視室に、⑤はCO₂ボンベ室に、⑥はガラス室に、⑦は屋外に設置されている（写真2～5）。



写真2 制御・監視室

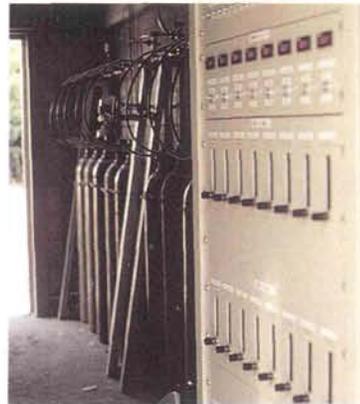


写真3 CO₂ボンベ室



写真4 空調機ユニット



写真5 冷凍機ユニット

(1) CO₂濃度および温度制御システム

このシステムは、各ガラス室のCO₂濃度および温度の制御を行いながら、その制御状況とCO₂供給量の記録を行う。①CO₂コントローラ (8台)、②デジタル指示調節計からなる温度コントローラ (12台)、③12打点記録計 (1台)、④マスフロー積算計 (1台) で構成されている。

CO₂濃度の制御システムはガラス室G～Nの8室にあり、温度の制御システムはA, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, Nの12室にある (p.47, 表11参照)。

また、ローカルモード時の制御値の設定はこのシステムで行う。

【システム構成】

- | | |
|----------------------------------|---------|
| 1. CO ₂ 濃度コントローラ (特製) | ダイレック製 |
| 2. 温度コントローラ (SDC200) | 山武ハウネル製 |
| 3. 12打点記録計 (μ R180) | 横河電機製 |
| 4. マスフロー積算計 (特製) | ダイレック製 |

1) CO₂濃度コントローラ

CO₂濃度コントローラは、ガラス室G～Nについて各1台ずつあり、制御・監視室に設置されている。ここでは、リモートまたはローカルのモード選択を行い、更にローカルモード時のCO₂濃度値の設定を行う。詳しい設定方法は付録の操作マニュアルp.59を参照。

以下に表示・操作盤 (図3) を説明する。

1. REMOTE —— リモートモード制御時に選択
制御・監視用コンピュータで
設定・制御する場合
2. LOCAL —— ローカルモード制御時に選択
基盤上のDIP SW.で設定・制
御する場合

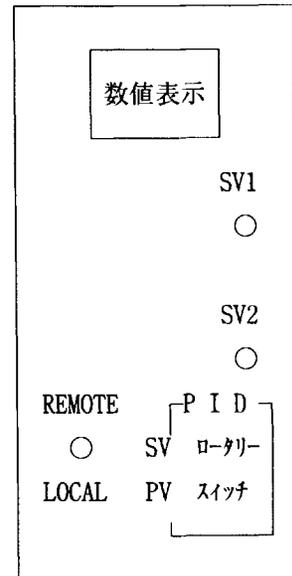


図3 CO₂濃度コントローラの表示・操作盤

(2) 制御・監視用コンピュータシステム

このシステムは、リモートモードで各ガラス室のCO₂濃度および温度を制御するときを使用し、ローカルモードよりも多様な制御を可能にする。具体的には①シミュレーションプログラムによる制御と②測定機器追従および③これらの併用の3方式を行うことができる。

また、各ガラス室の制御状況がディスプレイ上に表示されており、一目でチェックすることができる。更に、電話回線で接続することにより外部のコンピュータからも制御・監視することができる。

システムの構成は、次の通りである。

- | | |
|---|---------|
| 1. 制御・監視用コンピュータ | 日本電気製 |
| (PC9801-DX2, SCSI, RS232C, ADCインターフェース付き) | |
| 2. ハードディスクドライブ (HC-40) | 日本電気製 |
| 3. プリンタ (PC-PR201SG) | 日本電気製 |
| 4. コミュニケーションコントローラ (CMC400) | 山武ハウネル製 |
| 5. シリアル変換器 (KS-485:RS232C~RS485) | |
| 6. インテリジェントモデム (MD24FP5 II) | オムロン製 |
| 7. 温度コントローラ (SDC200) | 山武ハウネル製 |
| 8. CO ₂ 濃度計 (特製) | ダイレック製 |
| 9. CO ₂ 濃度コントローラ (CO2000) | ダイレック製 |

次に、システムのブロックダイヤグラムを示す (図4)。なお、*印は図4を参照。

***1** 制御・監視用コンピュータのRS232Cとコミュニケーションコントローラが接続され、さらにコミュニケーションコントローラのRS422回線と温度コントローラが接続されている。これによって、各ガラス室の温度の測定値および運転モード設定 (リモート/ローカル) は、コミュニケーションコントローラを経由して、温度コントローラとコンピュータのシリアルCH1との間で交換される。

***2** 百葉箱 (メテック4型木製) のCO₂濃度と温度は、入力電圧をAD変換して、コンピュータのADC基板 (T-IFPC91612AD) のCH0, CH1に入力される。

***3** ガラス室A~NのCO₂濃度は、それぞれコンピュータのADC基板のCH2-CH14に入力される。CO₂濃度コントローラへの目標値設定は、コンピュータのシリアルCH2からシリアル変換器を経由して行われる。なお、ADC基板の入力範囲は、DC 0~5Vで1~5Vが0~50℃および0~2000ppmに相当し、0.5V以下はエラーとなる。

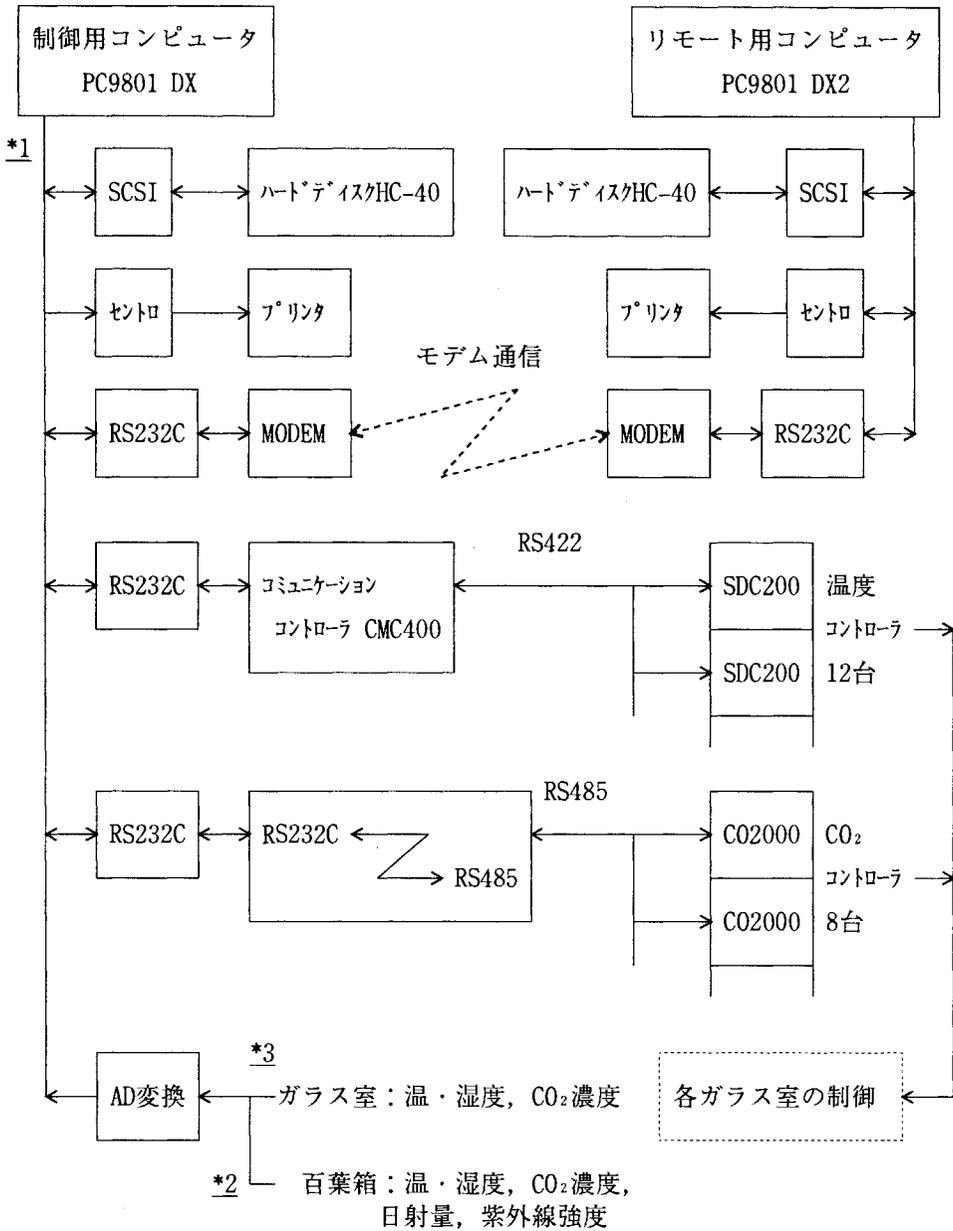


図4 システムのブロックダイヤグラム

このシステムが立ちあがると、コンピュータのディスプレイ画面上に百葉箱の温度およびCO₂濃度データ、各ガラス室の温度およびCO₂濃度データが表示され、5分ごとに更新される。各ガラス室データのうち、SVが目標値、PVが測定値を示す。各ガラス室の運転

モードは、追値が黄、シミュレーションが緑、ローカルが青で表示され、制御OFFのガラス室は黒で示される。各データについて目標値と測定値の差が大きい場合（温度で5℃、CO₂濃度で200ppm以上）やコンピュータと計器のモードが異なる場合は赤表示となる（図5）。

このシステムでは、図6に示した作業をファンクションキーによって実行することができる。

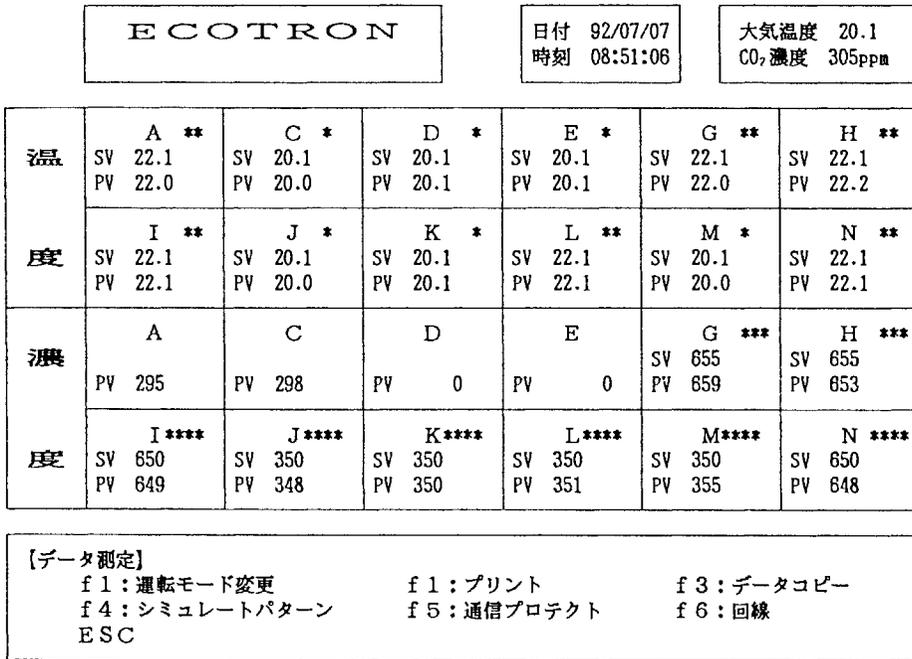


図5 制御・監視用コンピュータのディスプレイ表示

注) * : 大気追従制御 (黄色), ** : 大気追従+2℃ (黄色),
 *** : 大気追従+350ppm (黄色), **** : シミュレーション制御 (緑色)
 なお, SVはset value (目標値), PVはprocess value (測定値) である。

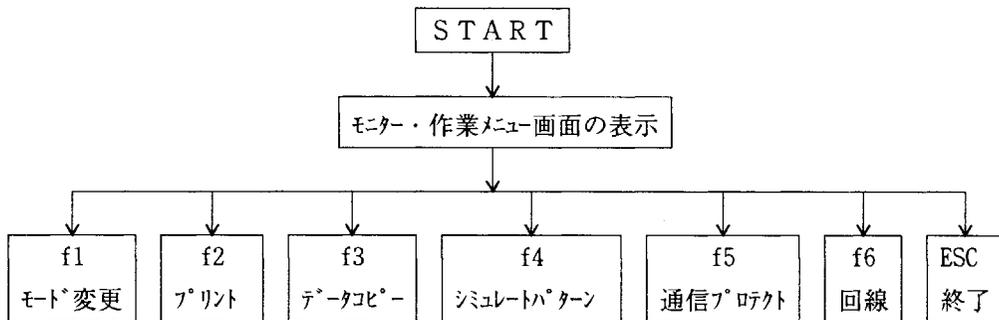


図6 作業フローチャート

(3) 計測および計測データ記録システム

このシステムは、1) 野外の①気温および②湿度、③CO₂濃度、④日射量、⑤紫外線強度、2) ガラス室内の①温度、②湿度、③CO₂濃度それぞれの計測、ならびに、3) 制御・監視室に設置された計測データ記録システムへのデータ収録からなる。

野外の気温および湿度は百葉箱内の温湿度発信器で計測し、CO₂濃度は百葉箱内でサンプリングされた大気をCO₂濃度計で計測する。日射量および紫外線強度は、百葉箱に隣接する高さ1.5mのポールの先端に設置された日射計および紫外線強度計でそれぞれ計測する。また、ガラス室内の温度と湿度は、室内の中央、地上1.5mの高さに設置された温湿度発信器で計測し、CO₂濃度は、同位置で採集したサンプルを屋外のCO₂濃度計で計測する(表1-1, 2)。

この計測データ記録システムは、①12打点記録計(1台)、②ハイブリッド記録計(2台)で構成され、野外の気温、湿度、日射量、紫外線強度、大気中のCO₂濃度を記録するとともに、ガラス室A, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, Nの12室の温度および湿度、ガラス室G~Nの8室のCO₂濃度およびCO₂積算流量をそれぞれ記録する(表2-1, 2)。さらに、ハイブリッド記録計で収録されたデータのうち5分毎の瞬間値はICメモリーカード(横河電機3789 512KByte)に収録される。なお、ICメモリーカードへのデータ収録は1993年3月より30分毎に変更した。

このICメモリーカードに収録されたデータは、以下で述べるメモリーカードリーダー(横河電機CM-2)とデータ解析用コンピュータとで読み取り、ロータス1-2-3上でデータ解析できるように設計されている。

表1-1 各測器の仕様

測定場所	測定項目	検出方式	型名
百葉箱	温度	白金測温抵抗体	神栄製温湿度発信器THT-SD
	湿度	高分子抵抗式	神栄製温湿度発信器THT-SD
	CO ₂ 濃度	非分散型赤外吸収方式	ダイレック特性CO ₂ 濃度計
観測ポール	日射量		小糸工業日射計IKS-35
	紫外線強度		ダイレック特性
ガラス室	温度	白金測温抵抗体	神栄製温湿度発信器THT-SD
	湿度	高分子抵抗式	神栄製温湿度発信器THT-SD
	CO ₂ 濃度	非分散型赤外吸収方式	ダイレック特性CO ₂ 濃度計

表1-2 各測器の仕様(続き)

測定項目	単位	計測範囲・精度
気温	℃	0~50±0.5℃
湿度	%	0~95±3%
CO ₂ 濃度	ppm	0~2000ppm
日射量	KWm ⁻²	0~2.0KWm ⁻² 感度0~0.2KWm ⁻² /mV±10%
紫外線強度	Wm ⁻²	0~700Wm ⁻² 感度150μV/Wm ⁻²
気温	℃	0~50±0.5℃
湿度	%	0~95±3%
CO ₂ 濃度	ppm	0~2000ppm

表2-1 上部ハイブリット記録計の表示および出力

チャンネルNo.	表示項目	単位	出力	チャンネルNo.	表示項目	単位	出力
1	A室温度	℃	6V(1-5)	16	D室湿度	%	6V(1-5)
2	C室温度	℃	6V(1-5)	17	E室湿度	%	6V(1-5)
3	D室温度	℃	6V(1-5)	18	G室湿度	%	6V(1-5)
4	E室温度	℃	6V(1-5)	19	H室湿度	%	6V(1-5)
5	G室温度	℃	6V(1-5)	20	I室湿度	%	6V(1-5)
6	H室温度	℃	6V(1-5)	21	J室湿度	%	6V(1-5)
7	I室温度	℃	6V(1-5)	22	K室湿度	%	6V(1-5)
8	J室温度	℃	6V(1-5)	23	L室湿度	%	6V(1-5)
9	K室温度	℃	6V(1-5)	24	M室湿度	%	6V(1-5)
10	L室温度	℃	6V(1-5)	25	N室湿度	%	6V(1-5)
11	M室温度	℃	6V(1-5)	26	百葉箱湿度	%	6V(1-5)
12	N室温度	℃	6V(1-5)	27	A/E室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)
13	百葉箱温度	℃	6V(1-5)	28	C/D室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)
14	A室温度	℃	6V(1-5)	29			
15	C室温度	℃	6V(1-5)	30			

表 2-2 下部ハイブリット記録計の表示および出力

チャンネルNo.	表示項目	単位	出力	チャンネルNo.	表示項目	単位	出力
1	G室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	16	I室湿度	V	6V(1-6)
2	H室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	17	J室湿度	V	6V(1-6)
3	I室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	18	K室湿度	V	6V(1-6)
4	J室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	19	L室湿度	V	6V(1-6)
5	K室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	20	M室湿度	V	6V(1-6)
6	L室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	21	N室湿度	V	6V(1-5)
7	M室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	22	日射量	V	6V(1-5)
8	N室CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	23	G室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
9	百葉箱CO ₂ 濃度	ppm	6V(1-5)	24	H室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
10	A室試験用予備	V	6V(1-5)	25	I室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
11	C室試験用予備	V	6V(1-6)	26	J室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
12	紫外線強度	V	6V(1-6)	27	K室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
13	E室試験用予備	V	6V(1-6)	28	L室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
14	G室試験用予備	V	6V(1-6)	29	M室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
15	H室試験用予備	V	6V(1-6)	30	N室CO ₂ 積算流量	L/H	6V(0-2.08)
40	A室試験用予備	平均	6V(1-5)	47	I室試験用予備	平均	6V(1-5)
41	C室試験用予備	平均	6V(1-6)	48	J室試験用予備	平均	6V(1-5)
42	紫外線強度	平均	6V(1-6)	49	K室試験用予備	平均	6V(1-5)
43	E室試験用予備	平均	6V(1-6)	50	L室試験用予備	平均	6V(1-5)
44	G室試験用予備	平均	6V(1-6)	51	M室試験用予備	平均	6V(1-5)
45	H室試験用予備	平均	6V(1-6)	52	N室試験用予備	平均	6V(1-5)
46	H室試験用予備	平均	6V(1-6)				

注) 40~52は、演算結果を記録するチャンネルである。なお、日射量(22)を求めるには、出力値 E (V) のとき、 $\text{日射量} = E - 1.005 \times 400$ (単位: W/m^2)。また、紫外線強度(12)を求めるには、出力値 E (V) のとき、 $\text{紫外線強度} = (E - 1.022) \times 80 / 3$ (単位: W/cm^2)。チャンネル10, 11, 13~15は予備チャンネルであり、測定機器を持ち込みデータを記録することができる。付属のポータブル紫外線強度計を接続した場合、出力値 E (V) のとき、 $\text{紫外線強度} = (E - 0.998) \times 19.9 / 3$ (単位: W/cm^2)となる。なお、この紫外線強度計は、紫外線の強度によりレンジが変わるので、デジタル表示部分の単位表示を確認する必要がある。上記式はレンジが「Max」の場合である。

(4) データ解析システム

このシステムは、前記した計測データ記録システムで得られたデータの解析や24時間データのチェック、さらに、制御・監視用コンピュータで使用するシミュレートパターンの作成ができる。なお、データ解析では、ICメモリーカードに収録されたデータをロータス1-2-3のワークシートに読み取り、解析できるように設計されている。詳しい操作方法については付録の操作マニュアルp.65を参照のこと。

システムの構成は、次の通りである。

- | | |
|---------------------------------------|-------|
| 1. コンピュータPC-9801DX2 (SCSI インターフェース付き) | 日本電気製 |
| 2. ハードディスクドライブ PC-HD40 | 日本電気製 |
| 3. プリンタ PC-PR201GS | 日本電気製 |
| 4. メモリーカードリーダー CM-2 | 横河電機製 |

(5) 遠隔制御・監視システム

このシステムは、電話回線を使ってリモート用コンピュータとエコトロン制御・監視用コンピュータを接続し、エコトロンの状況を監視したり、また各ガラス室の設定条件を変更することができる。さらに、24時間データの点検・解析、シミュレートパターンの作成、統計処理、データのグラフィック化などが可能である。

このリモート用コンピュータでは、作業フローチャート(図7)に従って作業を行う。詳しい操作法については付録の操作マニュアルp.74を参照のこと。

システムの構成は、次の通りである。

- | | |
|---|--------|
| 1. リモート用コンピュータ (PC9801DS) | 日本電気製 |
| 2. ハードディスクドライブ (STRIDE) | ICM製 |
| 3. プリンタ (PC-PR201GS) | 日本電気製 |
| 4. 3.5インチフロッピーディスクドライブ
(VERY KMF-35twin) | ポップ通商製 |
| 5. インテリジェントモデム | オムロン製 |

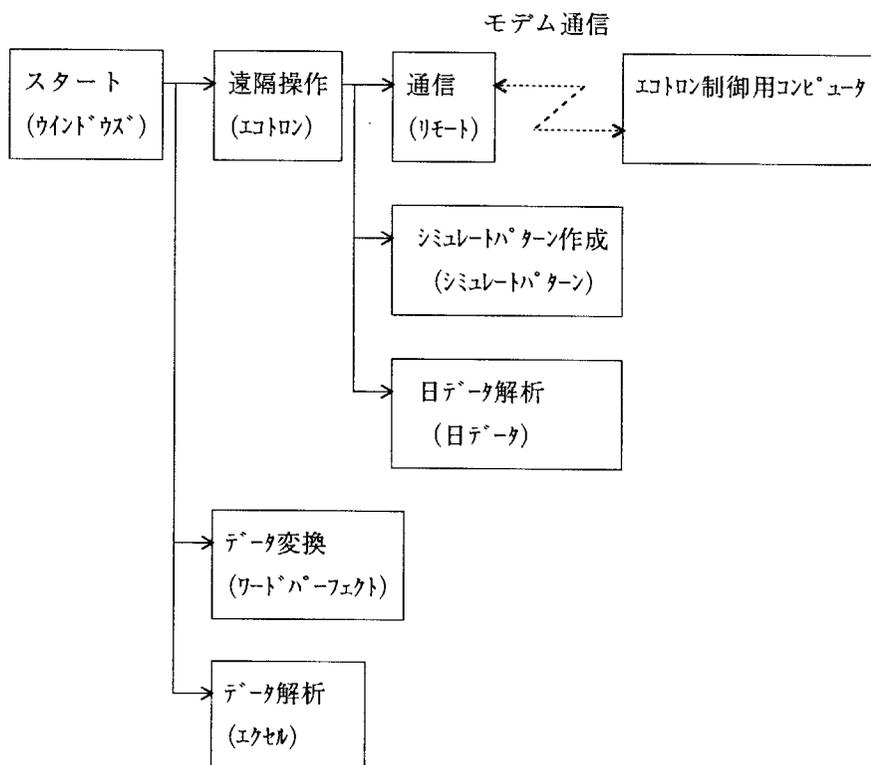


図7 遠隔制御・監視システムの作業フローチャート

(6) CO₂供給システム

このシステムは、CO₂ポンベ室の原料CO₂を2段階流量混合方式により所定の濃度に希釈コントロールし、ガラス室G～Nの8室に分配供給するシステムである。

原料CO₂は、30kgボンベ10本1組で2組あり、ガス交換は電磁弁で自動的に切り替えられるように設計されている(図8)。

原料CO₂は、マスフローメータで計測されたのち、ミキシングトンネルで二酸化マンガンフィルタによりオゾン等を除いた空気によって所定の濃度に希釈され、各ガラス室に供給される(図9)。

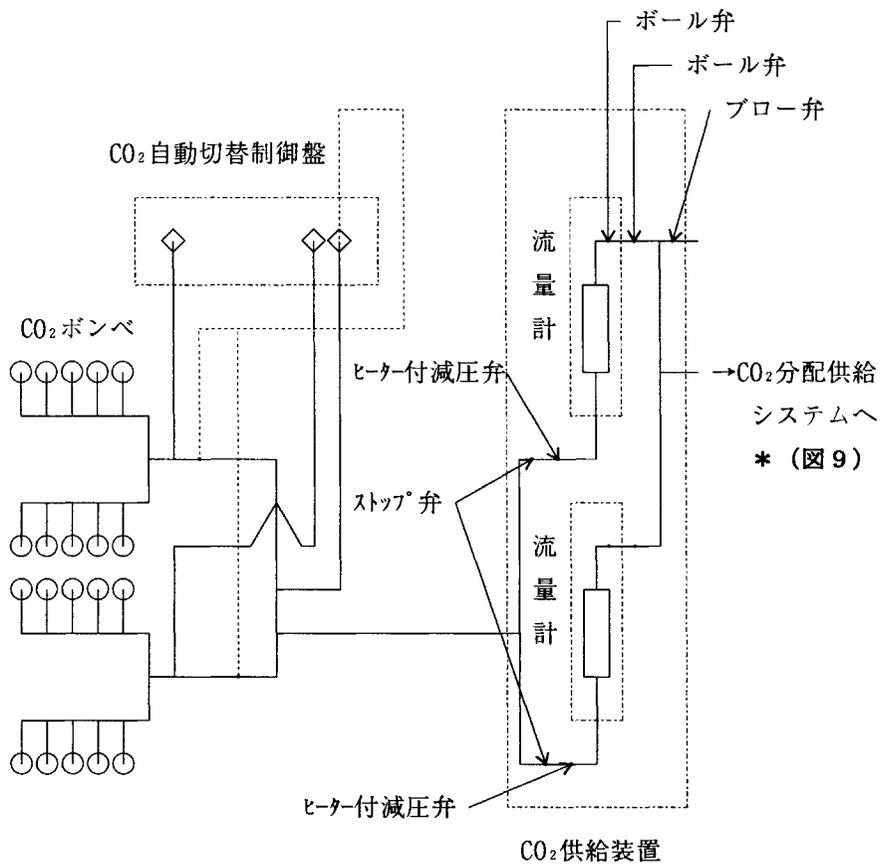


図8 CO₂供給システム1

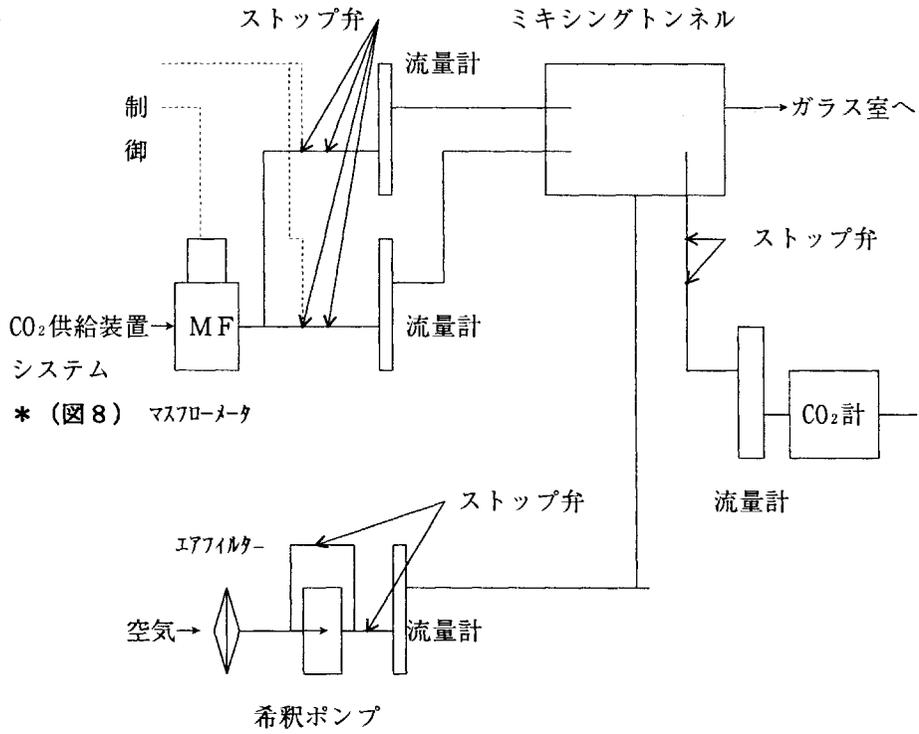


図9 CO₂供給システム2

(7) 空調機および冷凍機ユニット

各ガラス室には、空調機（電気ヒータ含む）および冷凍機ユニットが設置されており、前記した温度コントローラからの制御信号のON、OFFにより空調機と冷凍機ユニットが稼働してガラス室内の温度を制御する。なお、ガラス室A～Hは空調機ユニットIおよび冷凍機ユニットIを、ガラス室I～Nは空調機IIおよび冷凍機ユニットI、IIを使用している。

下記にそれぞれの性能を示す（表3）。

【空調機ユニットおよび冷凍機ユニットの性能】

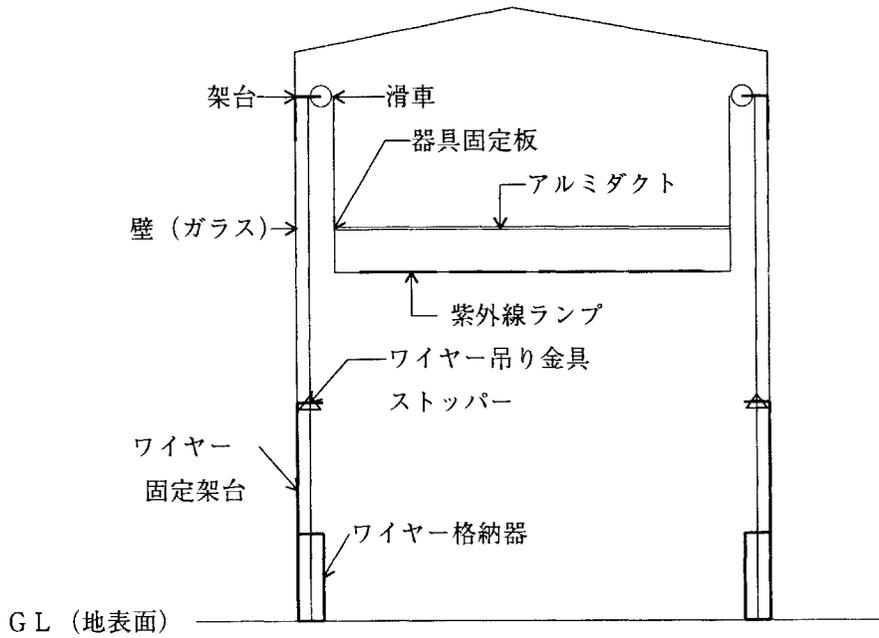
1. 空調機ユニットI 送風機0.69KW 電気ヒータ3KW 冷却コイル8,960Kcal/h 6台
2. 空調機ユニットII 送風機0.69KW 電気ヒータ5KW 冷却コイル14,800Kcal/h 6台
3. 冷凍機ユニットI 空冷式3.75KW 冷却能力10.900Kcal/h 12台
4. 冷凍機ユニットII 冷却式2.2KW 冷却能力4,800Kcal/h 6台

表3 設計温度条件

	夏季		冬季	
	外気が33℃のとき		外気が-6.6℃のとき	
	冷房性能	暖房性能	冷房性能	暖房性能
ガラス室I, II	27℃	38℃	-1.6℃	20℃
ガラス室III	27℃	38℃	-1.6℃	15℃

(8) 紫外線照射装置

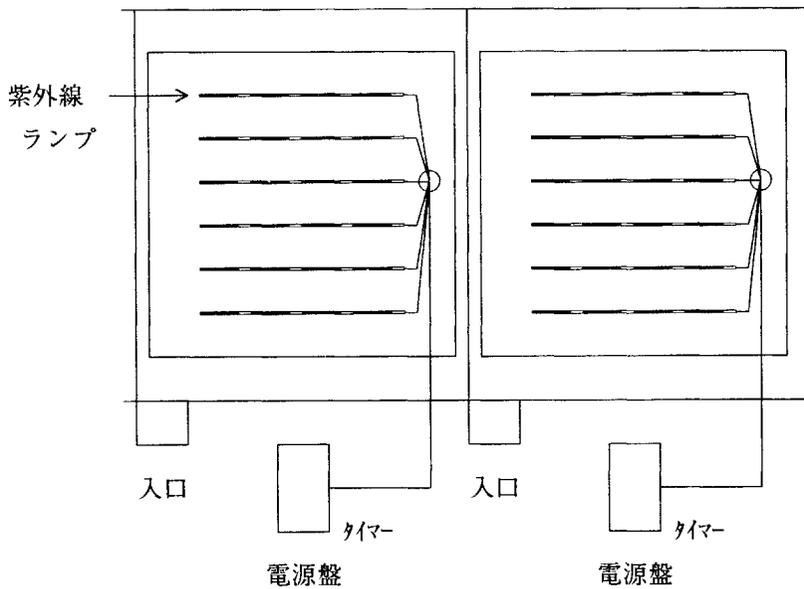
紫外線照射装置は、東芝健康線用蛍光灯（FL20SE）6組（4本で1組）からなり、ガラス室IIIのI、Jの2室に設置されている（図10）。この照射装置は装置を上下することにより照射強度をコントロールする構造になっている。照射時間は、屋外の配電盤内に設置されたタイマーで調節できる。なお、この蛍光灯は、310nmをピークに270～400nmの紫外線を放出する。植物に最も影響を与えるUV-Bは290～320nmであり、この波長の紫外線を得るにはカットリングフィルタを必要とする。



(断面図)

ガラス室 J

ガラス室 I



(平面図)

図10 紫外線照射装置の構造と配置

3. ライシメータおよびガラス室

(1) ライシメータの構造

ライシメータは、コンクリート製であり、防水モルタルコテ仕上げされたのちに、その表面に塩ビ系の防水シートで被覆処理を施してある。

ライシメータの充填土壌は、DおよびHは西日本の台地、丘陵地土壌に多い黄色土（愛知県知多郡南知多）で、その他のライシメータはつくば市島名に分布する黒ボク土である。これらの土壌の化学特性を分析した結果を表4に示す。なお、これらの土壌統は、黒ボク土は表層腐植質黒ボク土で桜統であり、黄色土は細粒黄色土で矢田統である。

土壌の充填方法は、まず、土壌充填に先立ち、ライシメータの底部に砂礫（25mm以下）を敷均し（250mm）、その上に厚さ150mmの川砂を水締めしながら充填した。次に、あらかじめ粉碎しながら5～10mm目のフルイで篩別した充填土壌を厚さ約100mm程度を投入し、山中式土壌硬度計で測定しながら均平に鎮圧した。次に投入する土壌と馴染みを良くするため、鎮圧土壌の表面約10～20mmをレーキでほぐしたのち、次の土壌を投入して同様な行程を行いながら高さ1100mmまで充填した。

これらのライシメータには、充填土壌の表面から深さ350mmと700mmの位置に土壌浸透水を採取するために設けられた採水口があり、深さ1500mmの位置に排水口がある。それぞれの採水口は、充填土壌に設置セットされた直径500mmの有孔塩ビ管に連結している。さらに、有孔塩ビ管の周囲には深さ150mm、幅200mmの砂礫が施された構造になっている（図11～13）。なお、ライシメータへの給水は、ライシメータ脇に取り付けられた蛇口から水道水を給水する。

表4 充填土壌の化学特性

土 壌	土性	pH		EC	水可溶性 (mg/100g乾土)					
		H ₂ O	KCl	(μ S/cm)	NO ₃ -N	SO ₄ -S	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
表層腐植質 黒ボク土 (桜 統)	L	6.12	5.15	46.5	51.5	218.7	71.6	26.6	99.6	123.3
細粒黄色土 (矢田統)	LiC	5.49	4.21	28.2	8.0	61.4	56.2	6.6	53.6	89.1

注) 黄色土は1993年11月中旬に黒ボク土と入れかえた。

(2) ガラス室の構造

ガラス室は、ガラス室Ⅰ、ガラス室Ⅱ、ガラス室Ⅲの3棟で構成されている。ガラス室ⅠとⅡは同型であり、東西棟の4連棟ガラス室が南北2列に配置されている(写真6)。ガラス室Ⅲは東西棟の単棟で6室が東西に配置されている(写真7)。



写真6 ガラス室ⅠおよびⅡの外観



写真7 ガラス室Ⅲの外観

なお、これらのガラス室ⅠおよびⅡの1室の容積は約 26m^3 (圃場面積 $2.9\times 2.9\text{m}^2$)であり、ガラス室Ⅲの1室の容積は約 35m^3 (圃場面積 $3.0\times 2.9\text{m}^2$)である。なお、使用されているガラスの厚さは3mmである。各部屋の隔壁はコウキング処理を行った構造となっているが、その他の部分は完全な閉鎖構造にはなっていない。

ガラス室内への CO_2 の供給は、前記した CO_2 供給システムからガラス室内の空調機およびファン(シロッコファン 風量: $2\text{N m}^3/\text{min}$)に導き、ガラス室内に拡散させる方法で行っている(p.4, 図2参照)。

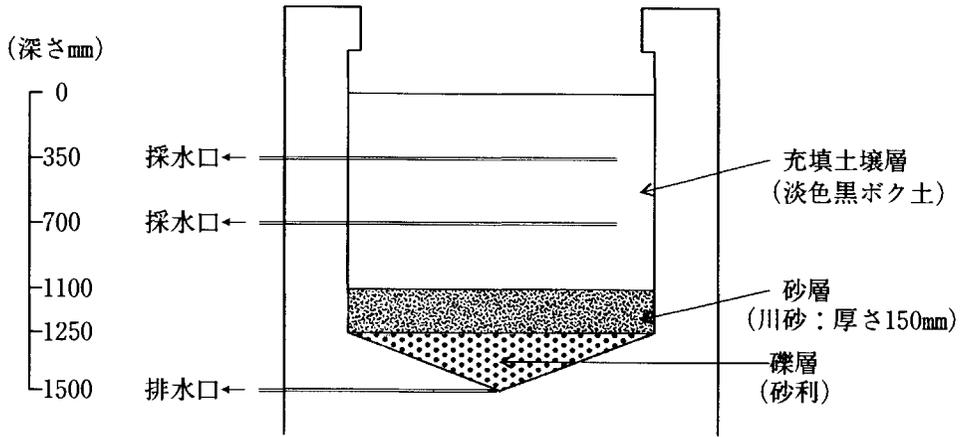


図11 ライシメータ断面図

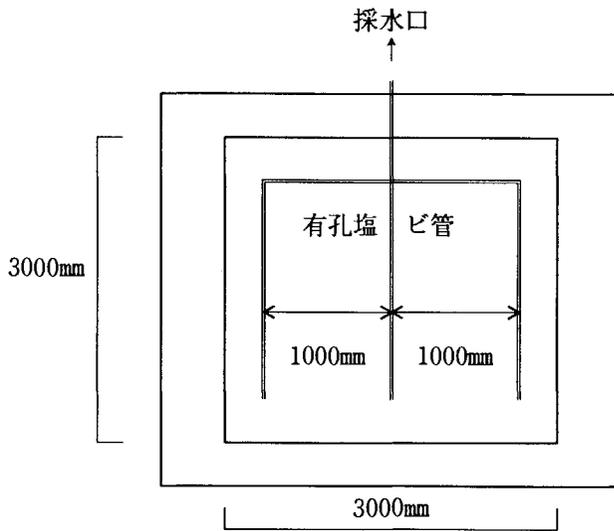


図12 ライシメータ平面図

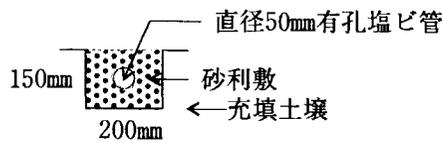


図13 採水用有孔塩ビ管の埋設状況 (断面図)

Ⅲ. エコトロンの性能試験

(1) ライシメータの均一栽培試験

ライシメータの充填土壌が安定した後、均一性を確認するために水稲およびソルガムの試験栽培を行った。水稲栽培では黒ボク土を充填したライシメータを用い、ソルガム栽培では黄色土を充填したライシメータを用いた。水稲栽培は、1991年7月24日にロータリー耕うん機を用いて深さ10~15cmの代かきを行い、あらかじめ5月20日播種した水稲刈込み苗を畦間30cm、株間15cmで1株ずつ移植した。栽培期間中、ガラス室の気温は、27℃に設定した。なお、本栽培では充填土壌の肥沃度の均一性を確認するために一切の施肥を行わなかった。水稲を栽培したライシメータは9月13日に落水し、9月24日に収量調査を行った。収量調査では、ライシメータを36地点（4株/地点）に分け、それぞれの地点における水稲の草丈および地上部新鮮物重を調査した（図14）。他方、ソルガム栽培は、1991年8月1日にライシメータの土壌に粒状化成肥料8-8-8 720g（80kg/10a）を均一に散布したのち、ロータリー耕うん機を用いて深さ10~15cmまで耕うんして全層基肥とした。さらに、畦幅50cm、3m畦を東西に6畦作条し、この畦にソルガム種子を4.5g/畦（3kg/10a）条播した。その後、水稲と同様に、ガラス室の気温を27℃に設定して栽培した。収量調査は、水稲の収量調査日と同じ9月24日に行った。ライシメータを27地点に分け、それぞれの地点のソルガムの草丈および地上部新鮮物重を調査した（図15）。

水稲およびソルガムの収量調査結果を表5および6に示した。

ガラス室I~Nの6室の草丈についてt検定によって比較すると、I、J、K、Mの4室間

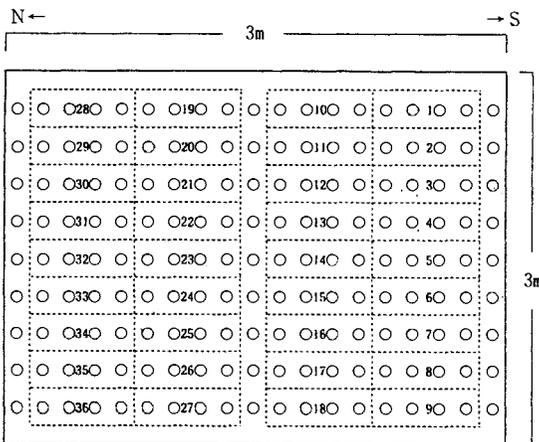


図14 水稲の植栽位置および収量調査位置

注) ○：植栽位置，---：収量調査位置

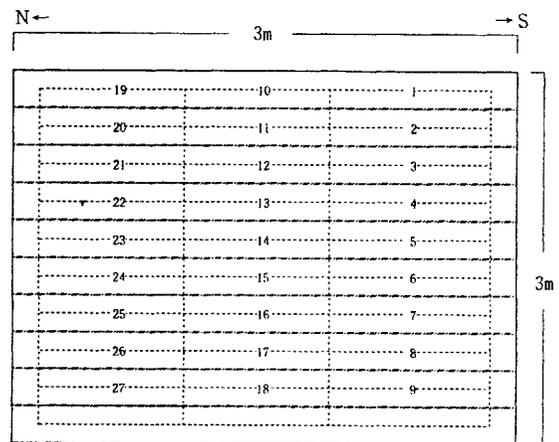


図15 ソルガムの植栽位置および収量調査位置

注) ○：植栽位置，---：収量調査位置

に有意な差は見られなかった。またL, K, Mの3室, さらにL, Nの2室間にも有意な差は認められなかった。この結果, 草丈を指標とした場合, N室が他の部屋と少しはなれた値を示したが, L室との組み合わせにより, 6室各室間の比較が可能である。図16に, I~Nの各室内における草丈の分布状況を示した。この図に見られるように, 各室内の草丈の分布には一定の傾向が認められず, 光条件が収穫時の草丈に及ぼす影響はないものと考えられる。また, 他のガラス室の草丈は, A室を除いたC, E, G室にも有意な差は認められず。E, G室とI~N室とも有意な差は認められなかった。しかし, 新鮮物重については, ほとんどのガラス室で有意差が認められた。この理由として, 本試験では土壌にいつさいの施肥を行っていないため, 土壌の肥沃度の差が新鮮物重に反映したためと考えられる。肥料を施してソルガムを栽培したDおよびH室は, 新鮮物重に有意な差が見られなかったが, 草丈には顕著な差が認められた。これらの草丈の有意差は, 栽培初期における土壌水分の管理の差に由来するものと考えられる。

以上に示したように, 本ライシメータの水稲およびソルガムの均一栽培によって, 草丈および新鮮物重を指標として各ライシメータを調べたところ, 草丈については各ライシメータ内にバラツキはあるものの, ライシメータ間で有意な差は認められなかった。また, 新鮮物重については, ライシメータ間の差は有意なものであり, これは土壌肥沃度の差が原因と考えられる。今回の水稲栽培は無施肥で行っており, 各ライシメータの土壌の肥料成分の大半は収穫されたと考えることができるため, 今後の実験では, ライシメータ間の土壌肥沃度の差は無視できる程度のものであると考えられる。

表5 水稲およびソルガムの均一栽培における収量調査日
(9月24日)の草丈 (cm)

	水稲							
	A室	B室	C室	E室	F室	G室	I室	J室
平均値	68.6	57.9	61.2	63.1	54.4	64.4	66.9	67.9
標準偏差	5.5	6.8	5.7	6.3	7.1	8.6	9.4	9.7

	水稲				ソルガム	
	K室	L室	M室	N室	D室	H室
平均値	64.2	61.4	65.9	62.0	123.9	111.3
標準偏差	8.6	7.6	8.8	6.8	20.0	11.0

注) サンプル数は36 (ただし, D, H室の2室のみ27)

表6 水稲およびソルガムの均一栽培における収量調査日
(9月24日)の地上部新鮮物重 (g/株)

	水稲							
	A室	B室	C室	E室	F室	G室	I室	J室
平均値	47.6	30.6	32.0	37.7	30.7	29.9	30.6	22.5
標準偏差	11.7	6.4	6.2	7.2	6.4	5.9	7.1	5.5

	水稲				ソルガム	
	K室	L室	M室	N室	D室	H室
平均値	18.7	17.7	33.7	31.8	166.9	169.4
標準偏差	6.6	7.1	7.0	6.1	75.0	41.8

注) サンプル数は36 (ただし, D, H室の2室のみ27)

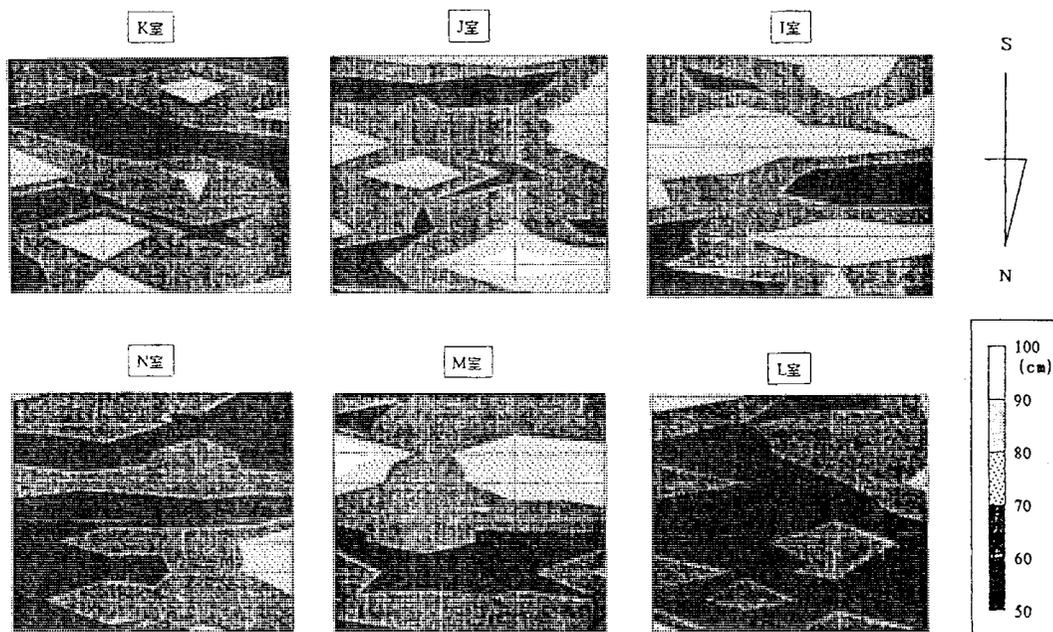


図16 水稲均一栽培における各ガラス室 (I ~ N) の草丈の分布

- * 各室東西4点, 南北9点の合計36点のデータを各位地にプロットし, 面に拡張した。
- * I ~ N室は実際には東西方向に一列に並んでいる。
- * 南方に遮光物はない。

(2) ガラス室の日射量・紫外線強度

1) ガラス室内の日射量

ガラス室 I ~ N の室内の日射量を調べるために、各ガラス室のライシメータ中央の地表面から25cmの高さと、屋外の百葉箱に隣接した観測ポールの先端（高さ150cm）に日射計を設置して1992年5月6日の午前11時30分から午後0時40分の間に90秒毎に各室10回ずつ日射量を調査した。その結果、屋外との相対日射量で示すと、各ガラス室内の日射量は屋外の約80%であった。

2) ガラス室内の紫外線強度

ガラス室 J を用いて室内の紫外線強度を調査した。すなわち、上記した日射量の調査と同様に、ライシメータ中央の地表面から25cmの高さと、屋外の百葉箱に隣接した観測ポールの先端（高さ150cm）に紫外線強度計を設置し、1993年1月13日から16日までの4日間、紫外線強度の変化を調査した。図17は、13日午前0時から16日午後11時までの紫外線強度（10分間の平均値）の日変化を示したものである。日中におけるガラス室内の紫外線強度は野外の10~20%である。積算紫外線量をみると、13日は屋外：425.5 (W/m^2)、室内：70.9 (W/m^2)、14日は屋外：77.9、室内：13.3、15日は屋外：145.4、室内：23.6、16日は屋外：155.9、室内：24.2であり、ガラス室内の紫外線量は平均すると屋外の16.4%となる。ガラスによって80%以上が遮断されていることがわかる。

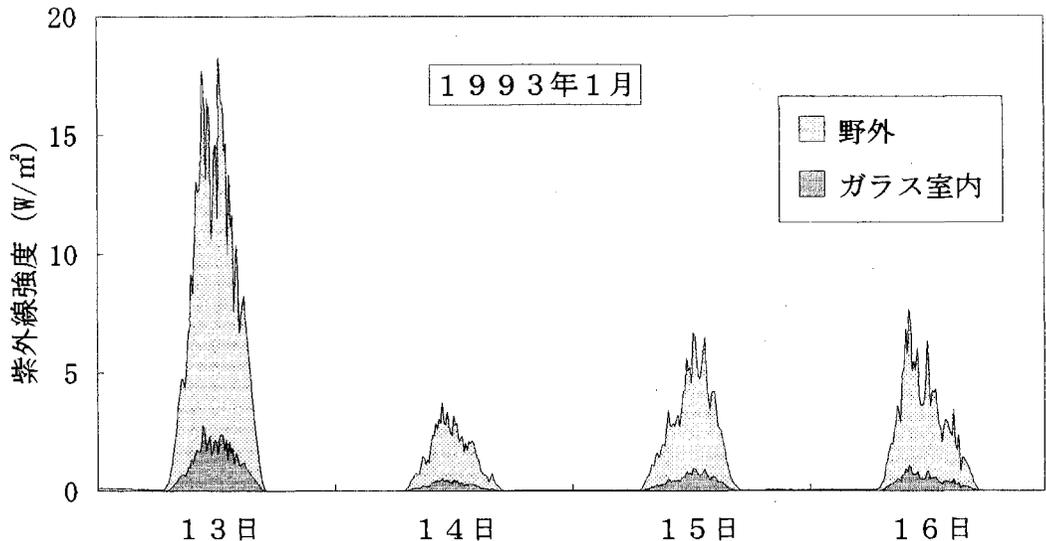


図17 屋外およびガラス室内の紫外線強度の日変化
(1993年1月13日から1月16日)

(3) ガラス室の気温とCO₂濃度の制御

1) 冬季および夏季の温度制御の例

図18は、冬季（1991年12月20日）におけるリモートモードを用いた測定機器追従（外気温追従）の例である。図中の太実線は百葉箱で5分毎に計測された外気温の値（瞬時値）であり、追従制御の場合この値が日標温度となる。細実線はガラス室の温度であり、外気同様5分毎に計測された瞬時値を記録している。図19は、同制御による夏季（1992年9月3日）の例である。冬季および夏季ともに、よく追従制御されていることがわかる。なお、冬季の下限は3℃で、これ以下の制御は冷凍機が凍結するため制御不可能となる。夏季は冷凍機的能力によるが、9月3日の例に見られるように、外気温が37℃でも制御が可能である。この日は、この夏一番の暑さで、甲府で38℃、上浦および水戸で37℃を記録した。

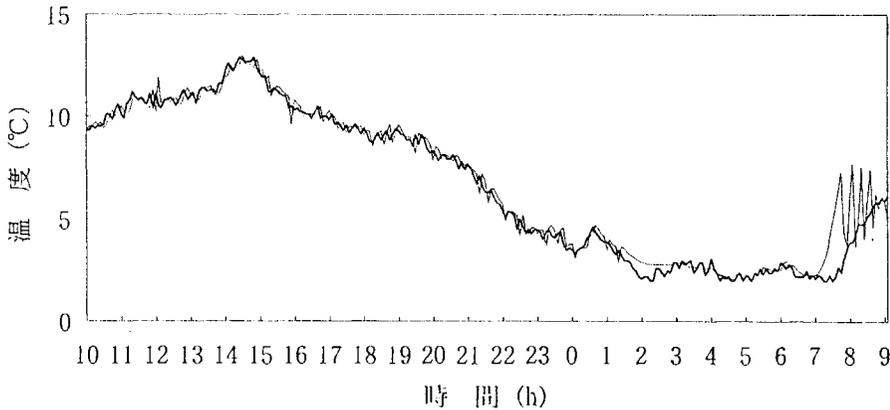


図18 冬季のリモートモードによる外気温追従制御例
注) 太実線は外気温（設定値），細実線は実測値を示した。

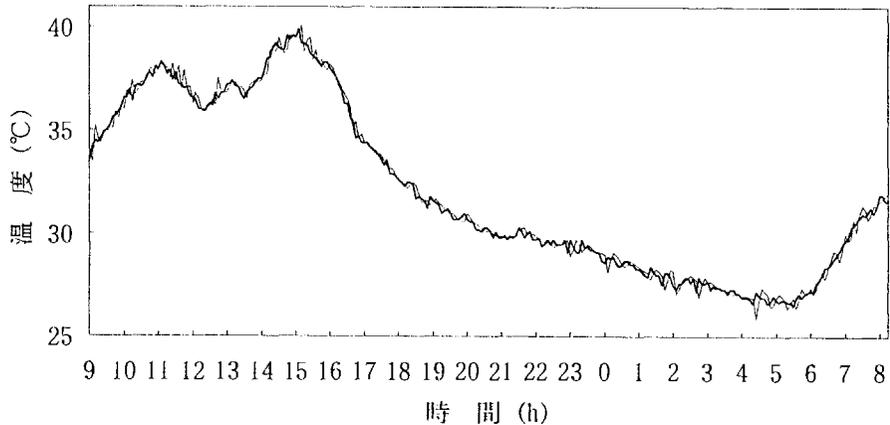


図19 夏季のリモートモードによる外気温追従制御例
注) 太実線は外気温（設定値），細実線は実測値を示した。

2) 温度およびCO₂濃度制御例

図20および21は、ガラス室の温度を外気温より2℃高く、また、大気中のCO₂濃度より350ppm高く制御するように設定された例である。図20は温度制御の例であり、外気温+2℃の設定条件によく追従制御されていることがわかる。図21はCO₂濃度の制御状況を示したもので、気温同様、5分毎に計測されたCO₂濃度の瞬時値が記録されている。

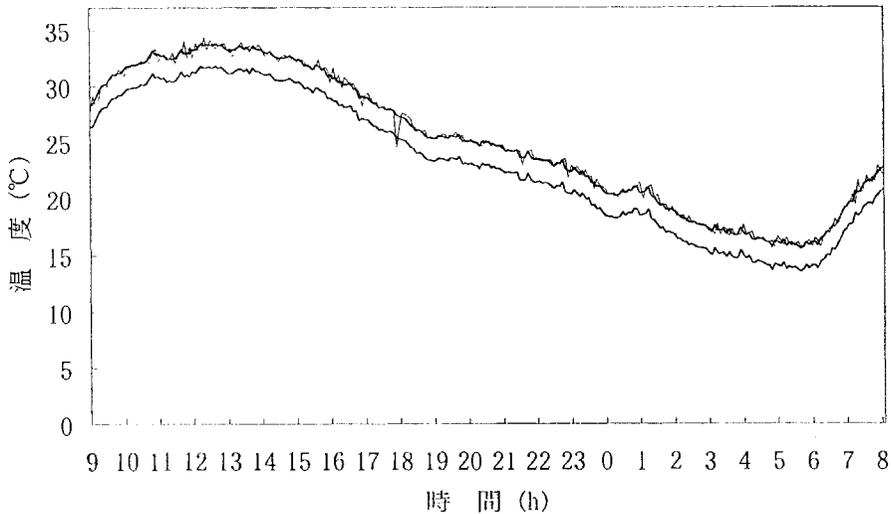


図20 リモートモードによる外気+2℃制御例

注) 太実線は外気温および外気温+2℃の目標値，細実線は実測値を示した。

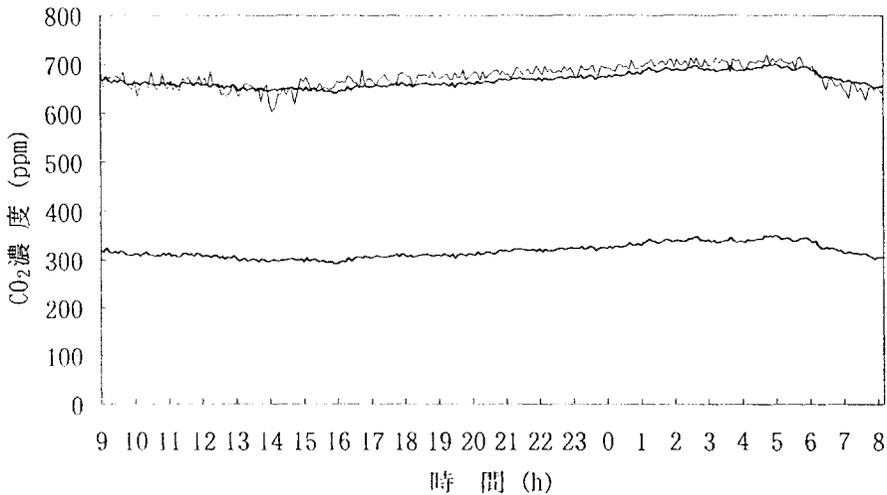
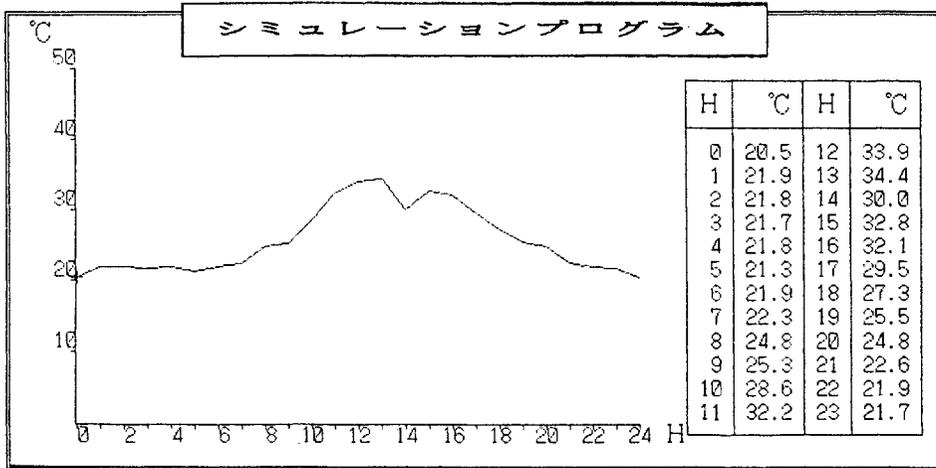


図21 リモートモードによるガラス室のCO₂濃度制御例

注) 下段太実線は大気中のCO₂濃度，上段太実線は大気中CO₂+350ppmの目標値，上段細実線は実測値を示した。

3) シミュレーションプログラムによる温度制御例

図22は、つくば市で観測された夏至直後の快晴日（1980年6月24日）における1日の気温をシミュレーションプログラムにしたものである。図23は、このプログラムを用いて1992年9月12日にガラス室Iの温度を制御した例である。図中の太実線はコンピュータから指示された目標温度であり、細実線はガラス室の実測値である。コンピュータの指示値に高精度に再現されていることが示されている。



↑ ↓ R,UP R,DOWN : 設定値変更 / ← → : 時間移動 / ESC : 終了
 (リターン : 設定)

図22 シミュレーションプログラムの例

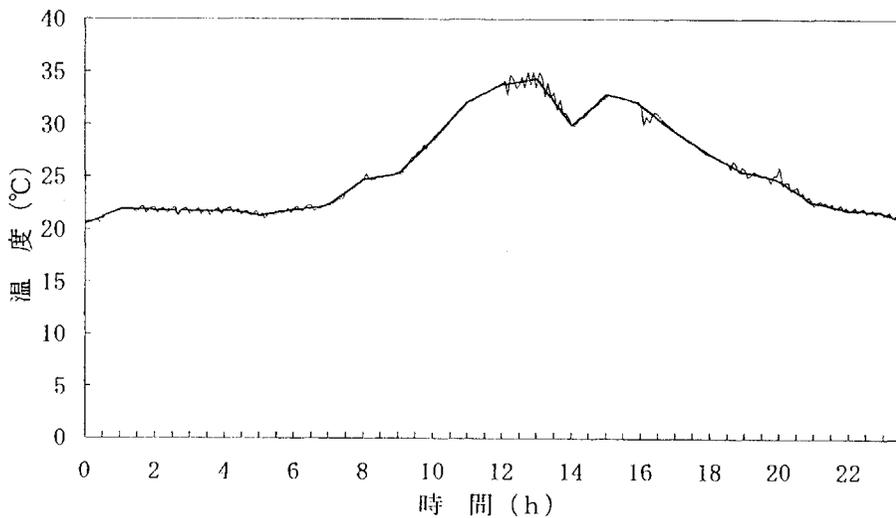


図23 シミュレーションプログラムによる温度制御例（1993年2月23日）

注) 太実線は設定値，細実線は実測値を示した。

4) シミュレーションプログラムによるCO₂濃度の制御例

図24は、シミュレーションプログラムによってガラス室内のCO₂濃度を24時間350ppmに、また、24時間650ppmに設定した例である。

図中の太実線はCO₂設定濃度（350ppm、650ppm）を、細実線はCO₂実測値を示した。350ppm設定の場合、ガラス室内のCO₂濃度は17時以降、翌朝の6時まで若干高めに制御されたが、CO₂実測値は平均378.6±38.3ppmに制御された。650ppm設定の場合、CO₂実測値は平均638.4±11.2ppmに制御された。

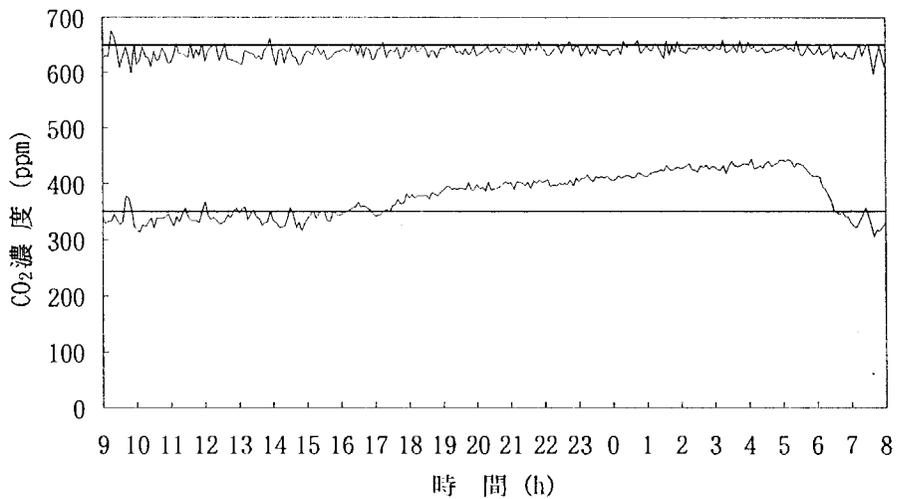


図24 シミュレーションプログラムによるCO₂濃度制御例

注) 太実線はCO₂設定濃度（350ppm、650ppm）、
細実線はそれぞれのCO₂濃度実測値を示した。

7) ガラス室内の温度分布例

ガラス室ⅠおよびⅡは南北棟であるため、南方のガラス室の空調機および植物による影の影響が予想される。そこで、ガラス室Ⅱを用いて室内の温度分布を調査した。

ガラス室Ⅱ内に5地点を設け、各地点の高さ0cm, 100cm, 200cmに白金測温体センサを設置して室内の温度分布を測定した(図25)。なお、調査時、ガラス室Ⅱ内には小麦が栽培されていた。

図26および27はガラス室Ⅱの温度分布を示したものである。このガラス室の平面温度分布について、各地点の平均値で示すと、朝方から2時頃までは⑤と④が高く、③②①が比較的低い傾向を示し、午後から夜にかけては逆に①が高くなっている(図26)。

また、ガラス室Ⅱの高さ別温度分布では、日中に高さ200cmの温度が高く、太陽の放射熱の影響を受け、対流が起きた結果、このような分布になったと考えられる。一方、夜間は、0cm>100cm>200cmとなり、熱が地中より空気中へ伝播・放射されていることがわかる(図27)。

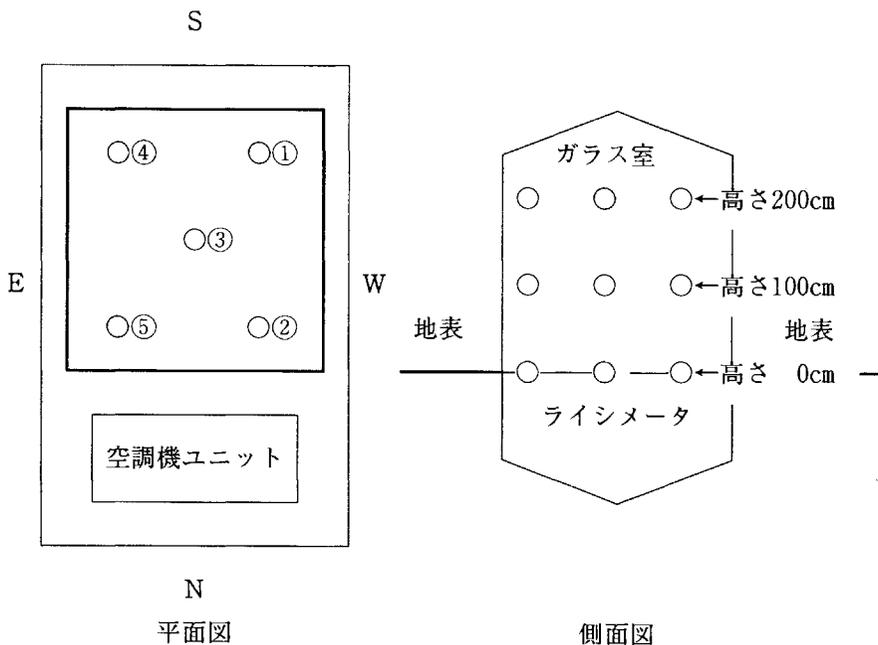


図25 ガラス室Ⅱの温度分布測定位置

注) ○：温度測定位置

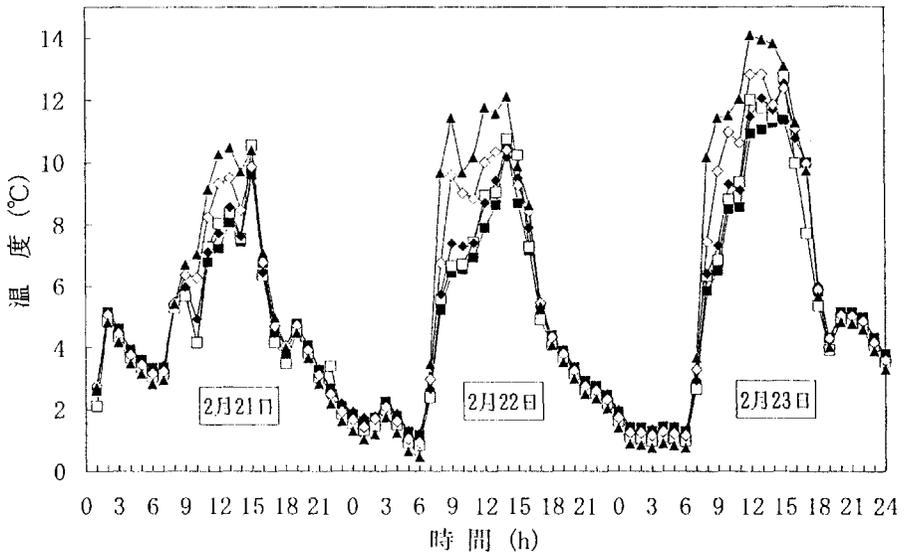


図26 ガラス室Hにおける方位別温度分布 (各高さの平均値)
 注) ■:①, □:②, ◆:③, ◇:④, ▲:⑤
 (各点は図25参照)の温度変化を示す。

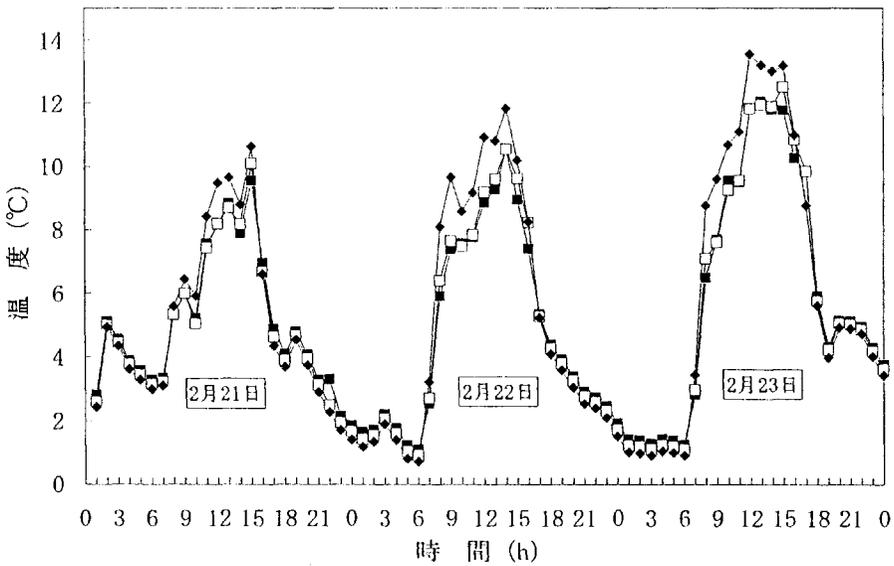


図27 ガラス室Hにおける高さ別温度分布 (①~⑤の平均)
 注) ■: 0cm, □: 100cm, ◆: 200cmの高さの温度変化を示す。

IV. エコトロンを用いた研究例

(1) 高温・高二酸化炭素濃度条件下の小麦栽培試験

1. はじめに

小麦は、わが国において主要生産穀物の一つである。この小麦は、やや冷涼、乾燥した気候に適する穀物であり、国内の主な生産地は北海道、北関東、九州北部である。近年、単位面積あたりの生産量（1990年全国平均365kg/10a）は関東が安定して高く（同年、茨城・栃木・群馬・埼玉の平均365kg/10a）、九州は不安定でやや低く（同年、福岡・佐賀・熊本・大分の平均331kg/10a）、北海道は高い（同年、414kg/10a）が年次変動が大きい（野口ら、1987；農林水産省統計情報部、1991）。

最近、大気大循環モデルを用いて検討された地球温暖化時におけるわが国の気温分布予測では、現在より2～4℃上昇するといわれている。この予測を単純に当てはめると、21世紀半ばには、現在の鹿児島気候が東京に、21世紀末には現在の東京気候が仙台に出現することになる。このような環境の変化が作物に与える影響については各国で注目されている。GISS、GFDLおよびUKMOなどの各種気候モデルによると、北海道を除く地域で小麦の減収が示され（清野、1991）、温暖化に伴う作物の生産地の移動や生産量の変動が憂慮されている。

山口ら（1991）は、農業環境技術研究所のクライマトロン¹⁾を用いたポット試験により高温・高CO₂濃度時の冬小麦の生育について検討し、大気中のCO₂濃度の増加とそれに伴う気温の上昇は、関東地方においては、冬小麦の穂重、すなわち収量の増加をもたらすことを示唆する結果を報告した。

ここでは、エコトロン実験施設を用いて実施された高温・高CO₂条件下における冬小麦の栽培試験を紹介する。

2. 実験方法

栽培期間は1991年10月から1992年4月までであり、試験区の設定は、気温およびCO₂濃度の組み合わせにより、①通常区 {外気温, CO₂濃度350ppm}, ②高温区 {(外気温+2℃), CO₂濃度350ppm}, ③高温・高CO₂区 {(外気温+2℃), CO₂濃度650ppm} の3区であった。土壌は、つくば市島名に分布する黒ボク土の表土を使用した。この土壌が充填されたライシメータ（有底枠）は縦・横3m、有効土層1mで、高さ3mのガラス室内に設置されている。施肥量は粒状化成肥料(8-8-8)120kg/10a、熔リン80kg/10a、苦土石灰180kg/10aであった。これらの肥料を土壌表面に均一に散布したのち、ロータリー耕うん機を用いて

注) ¹⁾クライマトロン・・・温度と二酸化炭素を同時に制御できるガラス室でポット試験を行う施設である。

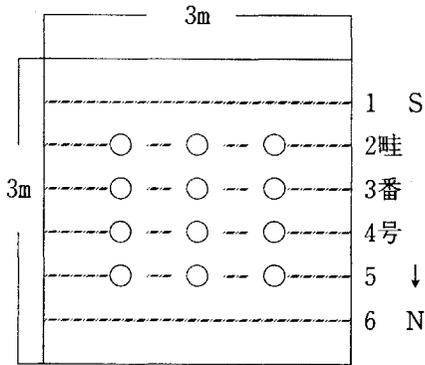


図28 小麦の播種位置および生育調査位置

注) -- は畦位置, ○は調査位置を示す。

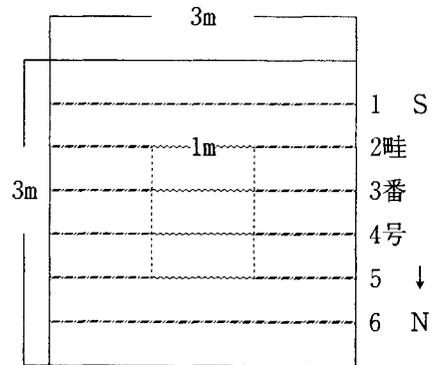


図29 小麦の収量調査位置

注) --- は小麦の刈り取り位置を示す。

深さ10~15cmまで耕うんして全層基肥とした。さらに、畦幅50cmで3mの畦を東西に6畦作条したのち、各畦に硫酸を21g/畦 (3kg/10a) を施肥した。次に、この畦に小麦品種「農林61号」の種子を9g/畦 (6kg/10a) 条播した。栽培経過は以下の通りである。1991年10月8日ライシメータ土壤の耕うん、同月21日施肥・耕うん、同月23日作条・施肥、同月24日播種、11月18日第1回生育調査、12月18日第2回生育調査、1992年1月17日第3回生育調査、2月18日第4回生育調査、4月18日収穫、収量調査であった。なお、栽培期間中の水管理は、各畦間に灌水チューブを設置して、土壤の乾燥状態を見ながら適宜行った。

生育調査は、6畦のうち中央4畦を調査対象として、1畦 (3m) につき3ヶ所 (1ヶ所3個体)、計4畦12ヶ所36個体の草丈および分けつ数を調べた (図28)。収量調査では、生育調査と同様に、中央4畦を調査対象として、各畦につき中央部分1mを1サンプルとし、地際で刈り取った後、草丈、莖葉新鮮物重、穂数、穂新鮮物重を調査した (図29)。莖葉部および穂部の乾物重は、調査畦の南側から2番目畦の1個体について70℃で48時間通風乾燥後に、各部の乾物重を測定して含水率を求め、この値を用いて同試験区内の各部乾物重を求めた。また、根部については、各調査畦の中央部分25×25cm²、深さ約20cmを掘り起こし、水洗した後、70℃で48時間通風乾燥して乾物重を測定した。なお、得られた乾物重は1m²あたりに換算して示した (表7)。

3. 結果および考察

図30に小麦栽培期間中の日平均気温の経過を示した。日平均気温の最低値は1992年1月14日であり、最高値は同年の4月2日であった。

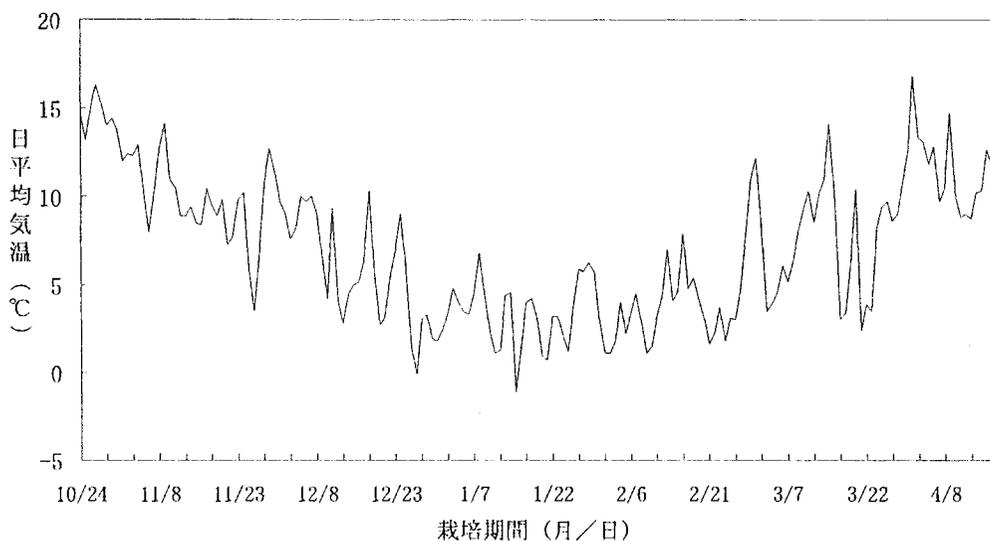


図30 栽培期間中の気温の変化（日平均気温）

I. 生育調査結果

1) 草丈

小麦の草丈は、11月18日（幼苗期）には通常区より高温区および高温・高CO₂区で高く、その後、12月18日（分けつ初期）から2月18日（最高分けつ期）にかけても高温区と高温・高CO₂区が高い値を示した。3月（出穂期）はガラス室内の小麦が繁茂し、立ち入ると小麦が倒伏するために生育調査は行わなかった。4月18日（登熟初期：収量調査時、表7参照）には、3区の顕著な差は認められなかった。すなわち、小麦の草丈の伸長には気温の影響が顕著であり、高温の影響は幼苗期から有効分けつ終期から最高分けつ期の栄養成長期間に生育ステージの促進として発現した（表7および図31）。

2) 分けつ

分けつ数は、11月18日には高温・高CO₂区が通常区と高温区よりやや高い傾向を示し、12月18日にも同様な傾向がみられた。これは高CO₂濃度がとくに生育ステージを促進したと考えられる。高温・高CO₂区と高温区では12月18日頃に最高分けつ期を迎えたのに対し、通常区では、同時期にまだ分けつ数は増加中であった（表7および図32）。

3) 出穂

出穂期は、通常区は3月5～6日、高温区は2月17～18日、高温・高CO₂区は2月19～20日であり、高温区と高温・高CO₂区の出穂は、通常区より約16日以上も早かった。写真8は小麦の出穂状況を3月2日に撮影したものであり、手前側は高温区の小麦で、写真の奥は通常区の小麦である。通常区では出穂がみられないが、高温区では出穂がみられる。

表7 生育調査結果

試 験 区	11月18日		12月18日		1月17日	
	草丈cm	分けつ数	草丈cm	分けつ数	草丈cm	分けつ数
通常区	24(2.2)	2.7(0.6)	50(3.4)	4.5(0.9)	67(4.8)	4.8(1.4)
高温区	28(2.5)	2.4(0.6)	59(4.8)	4.5(1.4)	82(4.9)	4.3(1.1)
高温・高CO ₂ 区	27(1.9)	3.3(0.6)	57(4.7)	5.6(1.5)	81(3.7)	4.9(1.1)

試 験 区	2月18日	
	草丈cm	分けつ数
通常区	95(4.8)	—
高温区	113(2.8)	—
高温・高CO ₂ 区	109(2.8)	—

注) 数値は36個体の平均値, () 内は標準偏差

II. 収量調査結果 (表8)

1) 根部

根部の乾物重は高温・高CO₂区>高温区≥通常区となり、高温・CO₂濃度では、根部での植物量の増加がみられた。

2) 茎葉部

茎葉部乾物重は高温・高CO₂区>通常区=高温区となり、高温・高CO₂区が他の区に比べ明らかに高く、CO₂濃度の影響が強く認められた。しかし、通常区の含水率が他の2区よりも高く、これは生育ステージの遅れによるものと考えられた。

3) 穂部

穂部乾物重は高温・高CO₂区>通常区≥高温区で、茎葉部と同様にCO₂濃度の影響が顕著に認められた。なお、調査時の穂部の含水率は通常区>高温・高CO₂区=高温区であり、

通常区は未登熟であったと考えられる。通常区での登熟が進むと更に穂重が大きくなることが予想される。穂数も高温・高CO₂区≧通常区≧高温区の順であった。

4) 全重および分配比

一定期間の植物の生産量を比較すると高温・高CO₂区で高いといえる。また、根部、茎葉部、穂部への生産量の分配をみると通常区で穂部への分配がいちばん高いという結果がでた。高温区および高温・高CO₂区では地下部への分配が大きくなる傾向がみられた。

表 8 収量調査結果 (1992年 4月18日)

試験区	草丈 (cm)	穂数 (/m ²)	乾物重(g/m ²)				乾重分配比(%)		
			根部	茎葉部	穂部	全体	根部	茎葉部	穂部
通常区	138 (0.8)	400 (56)	22.7 (2.9)	1096 (111)	104 (11.9)	1211 (123)	1.9	90.5	8.6
高温区	139 (3.1)	336 (46)	27.4 (4.6)	1096 (77)	99 (5.1)	1209 (82)	2.3	90.7	8.2
高温・高CO ₂ 区	140 (0.9)	420 (45)	41.1 (8.3)	1416 (130)	130 (8.8)	1567 (140)	2.7	90.4	8.3

試験区	含水率(%)*		
	根部	茎葉部	穂部
通常区	85.5	68.2	66.1
高温区	83.7	60.5	54.2
高温・高CO ₂ 区	85.1	61.7	54.6

注) 数値は4サンプルの平均値から換算, ()内は標準偏差

*含水率は生重ベースで示した。

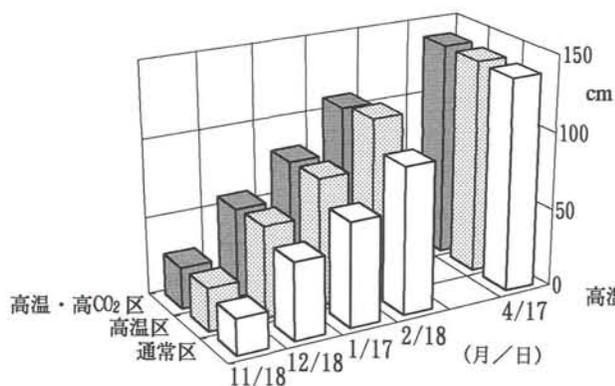


図31 小麦の草丈

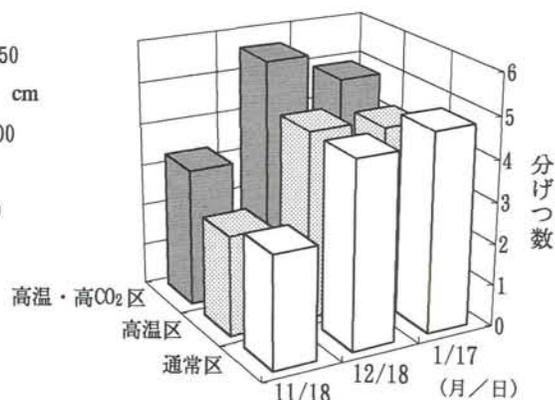


図32 小麦の分けつ数



写真8 小麦の出穂の状況

手前は高温区，奥は通常区の小麦である。

4. まとめ

以上に示したように、CO₂濃度の増加と気温の上昇が冬小麦の生育に及ぼす影響は、茎葉部の生育を促進し、生育ステージを早めるとともに、茎葉部、根部の生産力を高めることが確認された。本実験では、登熟度に差を残したまま実験を打ち切ったので、通常時と高温・高CO₂時の登熟後期時の穂重、すなわち収量の比較はしなかったが、一定期間の生産量としては、大気中のCO₂濃度の増加とそれに伴う地球の温暖化は小麦の生産量を増加するという結果が得られた。今後は収量を考慮した登熟後期までの調査が必要である。また、高温障害や病虫害の発生などマイナスの要因の検討も必要と考えられる。

(2) 高温・高CO₂濃度条件下の水稻の栽培試験

1. はじめに

大気中のCO₂濃度の上昇に伴う地球の温暖化が、農業の分野に与える影響について、特に食料供給の面からその将来が懸念されている。現在、高温、高CO₂条件下で植物がどのような生育特徴を示すのかについて、さまざまな研究が行われている(矢島ら, 1990)。これらの研究は、実験室レベルのものから人工気象室を用いたポット試験、フィールドに設置する施設を用いた試験など様々な施設や実験手法を用いて行われており、それぞれに植物の生育特徴を明らかにしてきている。ここで例えば、温暖化で予想される高温、高CO₂濃度条件下で、農作物の収量がどのような影響を受けるかという問題になると、各実験結果を用いる際、野外条件の再現ができていないかどうか重要な点になってくる。しかし、実験による影響をすべて排除して野外と同じ条件にすることは困難であり、いずれの実験においても、施設または実験上の制限による影響を多かれ少なかれ含んでいるといえる。様々な切り口からの実験を組み立てていくことが、この問題の解決に向けて必要と考える。

今回、ライシメータ上に設置されたタイプの施設：エコトロン(山口ら, 1992a)を用いて、高温、高CO₂条件下での水稻栽培実験を行った。エコトロンは人工気象室に比べ、より圃場に近しい土壌環境を実現できる点が特徴である。従来のポット試験でみられるような根域の制限を排除した実験の一例として、その生育結果について報告する。

2 実験方法

本試験は農業環境技術研究所のエコトロンを用いて行った。試験区は気温とCO₂濃度の組み合わせから以下の4区を設けた。①通常区 {外気温, CO₂濃度350ppm}, ②高温区 {(外気温+2℃), CO₂濃度350ppm}, ③高CO₂区 {外気温, CO₂濃度650ppm}, ④高温・高CO₂区 {(外気温+2℃), CO₂濃度650ppm}。栽培品種には「日本晴」を用い、供試土壌はつくば市島名に分布する黒ボク土の表土を用いた。

水稻の栽培方法を以下に示す。まず、各ライシメータに充填された黒ボク土の作土表面をロータリー耕うん機を用いて深さ10~15cmまで代かきし、肥料を均一に散布した。施肥量は粒状化成肥料NPK(13-13-13) 46kg/10a(N:6kg/10a)、苦土石灰100kg/10a、熔リン80kg/10aで、すべて基肥で施肥した。つぎに、水稻のポット苗を畦間30cm、株間15cmで1株(中苗3本)ずつ植え付けた。これらの栽植密度は22株/m²である。

栽培経過は、1992年4月18日にポット苗播種、5月8日に代かきおよび施肥、同月11日に移植、そして10月12日に最終収穫であった。なお、田面水の管理には、各ライシメータ付設の水道蛇口にボールタップ弁を設置し、水面高を一定に保つようにした自動灌漑方式を用いた。

生育調査は、6月25日、7月24日、8月27日に行い、各ライシメータの水稲9株について、草丈および出穂数を調査した。

収量調査は、試験区により水稲の登熟度が異なっていたため、9月3日から10月12日までに各区2回以上、それぞれの登熟後期を含むように実施した（ただし、根部の調査は9月3日のみ）。調査の方法は、各ライシメータから無作為に3ヶ所（1ヶ所3株）抽出して、水稲を根部より掘り起こし、根を流水で洗浄したのち、草丈、穂数の計測、茎葉部、根部および穂部の新鮮物重を測定した。さらに、これらを70℃で48時間通風乾燥後、各部の乾物重を測定した。

また、穂重については、各室18株の抜き取り調査をしたサンプルを用いて精玄米重、千粒重等の収量構成要素および不稔率について調べた。

3. 結果および考察

図33に水稲栽培期間中の日平均気温および有効積算気温、日平均気温に2℃加えた場合の有効積算気温の経過を示した。日平均気温の最低値は10.9℃（1992年5月11日）であり、最高値は29.6℃（同年9月3日）であった。

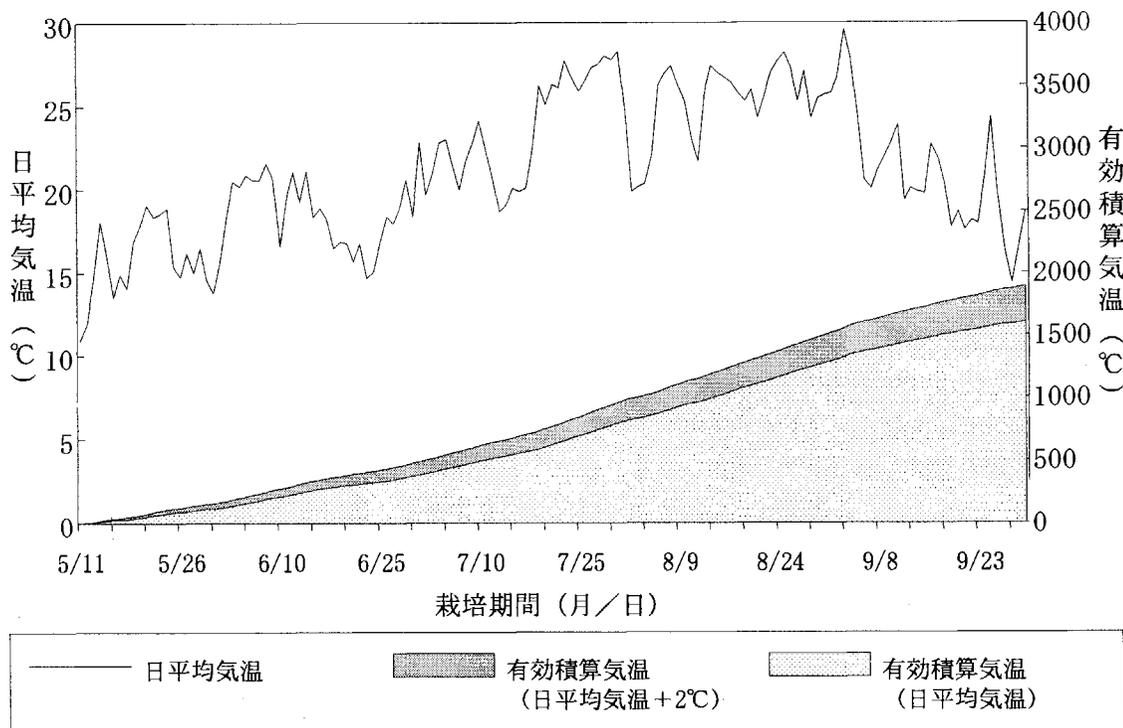


図33 栽培期間中の気温の変化および有効積算気温

(ただし、有効積算気温は10℃基準で示す)

1) 草丈

水稻の草丈は、6月25日には、通常区より高温区、高CO₂区および高温・高CO₂区が高かった。しかし、7月24日以降は、通常区、高CO₂区および高温・高CO₂区の間には有意な差はみられず、高温区のみが他の区より高かった(図34)。伸長率を比べると、移植後の1カ月は通常区に比べて他の3区が有意に大きく、さらにその後の1カ月は高温区で他の3区よりも伸長率が高かった。8月に入ると、他の3区で伸長生長が低下し始め、出穂期を迎えるが、通常区では盛んに伸長生長が行われていた。すなわち、高温および高CO₂濃度は水稻の伸長生長のステージを早めたといえる。また、高温で通常CO₂濃度の場合、出穂前の伸長生長が著しく大きかったため、最終草丈は、高温区が他の3区より高いという結果になった。

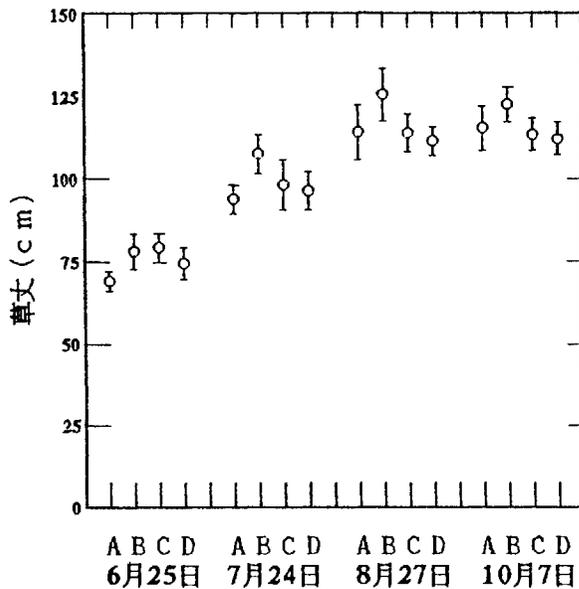


図34 水稻の草丈の変化

注) Aは通常区, Bは高温区, Cは高CO₂区, Dは高温・高CO₂区を示す

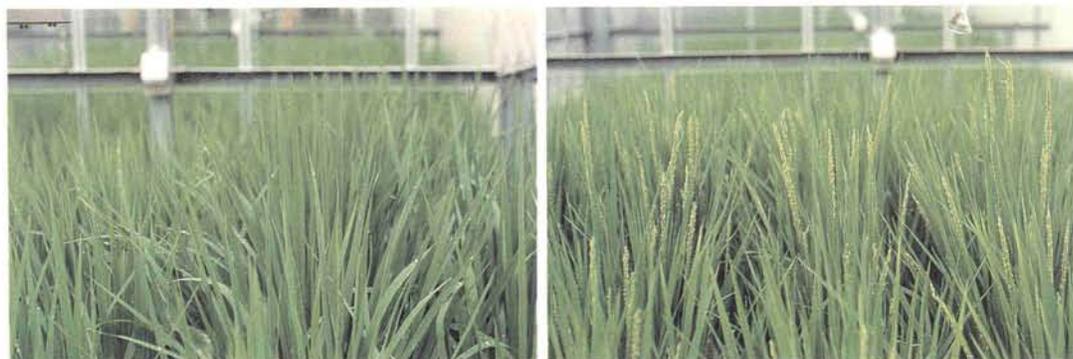
図中のバーは標準偏差を表す。

2) 出穂

水稻の出穂は高温・高CO₂濃度条件下で早められることが知られている (Imai et al.1985; 矢島ら, 1990)。本試験においても高温・高CO₂区では7月31日に全穂が出穂が始まり、8月10日には全穂が出穂した。高温区は8月2日に全穂が出穂し始め、8月12日に全穂が出穂した。高CO₂区は8月7日、通常区は8月11日にそれぞれ出穂を開始し、8月17日には全穂が出穂した。最も出穂の早い高温・高CO₂区と高温区の差は2日であり、高CO₂区との差は8日、通常区との差は12日であった。

写真9は水稻の出穂状況を8月5日に撮影したものである。この時期、通常区はまだ出

穂が認められないが、高温・高CO₂区では約80%以上が出穂していた。このように、高温・高CO₂濃度および高温条件下では、水稻の出穂が早められることが確認できた。



通常区

高温・高CO₂区

写真9 出穂状況 ('92.8.5撮影)

3) 根部

根部の乾物重は、高温・高CO₂区で他の区より有意に大きい値を示し(表9)、気温とCO₂濃度の影響が顕著に認められた。根部の植物量の拡大の原因として、高温という光合成速度を増加させる条件のもとで、地上部のC供給量の増加に対応して土壤中からのN吸収量を増加させるために根域を拡大したと考えられる。もしこの推論が正しければ、根重は施肥量(N)に大きく影響されることになる。今後は、施肥量と土壤空間量を吟味する実験が必要である。

前作の小麦でも高温・高CO₂濃度条件下で根部の植物量が増加するという同様の傾向が確認されている(山口ら, 1992b)。

4) 茎葉部

茎葉部の乾物重は、9月3日の調査では、高温・高CO₂区と高温区で他の2区より大きい値を示した。10月12日の調査でも、高温・高CO₂区と高温区とで大きい傾向はあったが、4区の間には有意な差は認められなかった(表9)。矢島ら(1990)は自然光型グロースチャンパーを用いて温暖化時における水稻の生育を検討し、外気温より2~3℃高温になると葉面積の拡大が促進され、乾物量が高まることを示している。これは今回の9月3日の結果と一致する。つまり、短期間の生長率は増加するが、生育期間全体でみると総生産量は変わらないということである。

5) 穂部

穂部の乾物重は、9月3日には高温・高CO₂区>通常区=高温区>高CO₂区という順位であったが、10月12日には通常区=高温・高CO₂区>高温区=高CO₂区の順を示し、通常

区と高温・高CO₂区との間に顕著な差は認められなかった。これは、生育ステージの差から生じた登熟期のズレのためであり、9月3日は高温・高CO₂区の登熟後期に当たり、10月12日は通常区の登熟後期にあたる(表9)。したがって、高温・高CO₂条件により登熟期が早まったものの、それぞれの登熟後期で比べると、単位面積あたりの穂重は通常区とほぼ同じとなった。

穂数は、9月3日および10月12日の調査ともに、高温・高CO₂区が他の区より高い値を示した(表9)。また、各室18株の抜き取り調査(サンプル数1のため検定不能)では、高温区でも高温・高CO₂区に次いで総穂数が増加する傾向が認められた。このことから、高温条件により、穂数すなわち有効分けつ数が増加する傾向があるといえる。しかし、1穂あたりの籽数は、通常区と高温区で他の2区より多い傾向を示し、また、不稔率は、高温区で大きく、次いで高温・高CO₂区、高CO₂区となり、通常区では低い値を示した。この不稔率が収量に大きな影響を与えており、精玄米重を比較すると、通常区>高温・高CO₂区>高温区>高CO₂区の順となり、通常区の収量が最も高い値となった。不稔の原因はいくつか考えられるが、今回の場合、高温区で特に不稔が多かったことから、高温による花粉障害が原因の一つと考えられた。

米粒の特徴を千粒重で比較した結果、通常区>高CO₂区>高温・高CO₂区>高温区となり、通常区では他の区より完全粒の割合が多かった(表10)。

6) 全重および分配比

全重については、茎葉部同様9月3日には通常区、高CO₂区で低かったが、全区が登熟後期に達した10月12日には4区の間には有意な差はみられなかった。

分配比については、最終段階で通常区でいちばん穂への分配比が高く、高温・高CO₂濃度区で根への分配比が大きかった(表9)。

表9-1 収量調査結果

試験区	9月3日									
	穂数 (/m ²)	乾物重 (g/m ²)			含水率 (%)		全乾重 (g/m ²)	分配比 (%)		
		穂部	茎葉部	根部	穂部	茎葉部		穂部	茎葉部	根部
通常区	271.3 (35.9)	350.5 (48.7)	746.3 (112.4)	60.1 (8.1)	39.3	78.8	1156.9	30.3	64.5	5.2
高温区	310.4 (66.0)	324.4 (57.2)	942.3 (212.4)	65.3 (7.3)	33.7	74.5	1332.0	24.4	70.7	4.9
高CO ₂ 区	259.1 (49.5)	266.0 (49.4)	735.8 (194.7)	41.8 (13.0)	35.0	75.3	1043.6	25.5	70.5	4.0
高温・ 高CO ₂ 区	393.6 (87.0)	436.1 (120.6)	1107.1 (284.5)	85.8 (6.5)	32.6	74.0	1629.0	26.8	68.0	5.3

表9-2 収量調査結果

試験区	10月12日								
	穂数 (/m ²)	乾物重 (g/m ²)		含水率 (%)		全乾重 (g/m ²)	分配比 (%)		
		穂部	茎葉部	穂部	茎葉部		穂部	茎葉部	根部
通常区	293.3 (52.9)	473.5 (128.1)	977.3 (254.4)	25.9	73.2	1510.9	31.3	64.7	4.0
高温区	320.2 (68.1)	360.6 (71.0)	1159.9 (267.9)	30.9	71.8	1585.8	22.7	73.1	4.1
高CO ₂ 区	278.7 (57.7)	312.4 (60.8)	1022.5 (215.5)	28.2	71.6	1376.7	22.7	74.3	3.0
高温・ 高CO ₂ 区	352.0 (45.2)	387.2 (50.9)	1103.4 (160.6)	28.4	71.0	1576.4	24.6	70.0	5.4

注) 数値は9サンプルの平均値から換算したもの(ただし、根部はサンプル数3)。

()内は標準偏差, 含水率は生重ベースで示す。

10月12日は根重データがないため、全重および分配比には9月3日の根重データを用いた。

表10 収量構成要素

試験区	籾数 (g/1穂)	不稔率 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (g/m ²)
通常区	64.8	4.9	20.7	326.3
高温区	64.4	30.8	18.3	291.9
高CO ₂ 区	54.5	13.5	19.1	250.6
高温・高CO ₂ 区	54.9	17.7	18.6	307.3

注) 各室18株の抜き取り調査値から換算

不稔率 = 稔実粒数 / 全粒数 × 100

4. まとめ

CO₂濃度の増加を伴わない、気温の上昇のみの影響は、草丈の伸長を促進させた。これは生育ステージを早めるにとどまらず、最終草丈においても他の区より高いという結果になった。また有効分げつ数を上昇させたが、生育ステージの進行が早まったために生育期間が短縮し、その結果、茎葉重の増加が顕著でなく、分げつ数の増加は穂重の増加に単純には結びつかなかった。さらに今回、高温区および高温・高CO₂区では不稔粒が多くみら

れた。夏作における気温の上昇は、光合成速度の増加というプラスの面以外に、一般に言われている呼吸量の増加や高温による生理的な障害などのマイナス面が懸念されることが示唆された。

気温の影響ほど顕著ではないが、CO₂濃度の増加の影響が、移植直後の草丈の伸長の促進としてみられた。

CO₂濃度の増加と気温の上昇との複合影響として、出穂などの生育ステージが早められることが小麦（山口ら、1992b）と同様に水稻でも確認された。収量は通常区とほぼ同じという結果になった。そのほか地下部の生長の促進が確認された。また高温区に比べ高温・高CO₂区で草丈の伸長が抑えられたことから、徒長の抑制効果が推測される。今後、CO₂濃度と気温との複合作用のメカニズムの解明が必要であると考えられる。また、CO₂濃度と窒素の供給量との関係が、収量や植物量の分配比に与える影響についての解明も今後の課題である。

V. あとがき

現在、世界の多くの科学者によって気候変動シナリオが提案されている。各気候モデルによってそのシナリオは多少異なるが、大気中のCO₂濃度の上昇やそれに伴う気温の上昇、オゾン層破壊による紫外線照射量の増大などの地球環境の変化は、近未来には現実に起こることが確実視されている。食糧問題について考える時、地球の温暖化によって作物生産がどのように変化するのか、その適確な予測が対策を考える上で必要となる。現在、各国から出されている作物生産予測は、その精度が粗い点、また植物への間接的な影響の考慮が不十分な点で改良の余地がある。

エコトロンは気温やCO₂濃度などの環境要因が植物の生育および農業生態系に及ぼす影響を評価するためにつくられた施設である。大型ライシメータの上部に設置されたガラス室内の気温とCO₂濃度を制御するという方法で栽培環境を制御している。この施設を用いて温暖化を想定した栽培環境を実現することも可能である。エコトロンの大きな特徴のひとつは土壌部分にあり、同所の先行施設クライマトロンが、ポット等を持ち込んで実験する施設であるのに対し、エコトロンでは、3×3 m²、深さ約1 mの土壌空間をもち、直接に植物を植え付けることができる。1991年3月末に農林水産省の共同利用施設として竣工したエコトロンでは、同年4月から、施設の制御システムの制御性能や栽培環境に関する基礎試験が行われてきた。その詳しい結果は本文Ⅲ章で紹介したとおりであり、エコトロンが農業環境研究において、おおいに利用できることが明らかとなった。

今後は、この施設を用いて温度やCO₂濃度および紫外線照射量の各条件が①植物の光合成活性、②土壌の水分・蒸発量、③土壌有機物の分解、④病害虫の発生、⑤水田および畑地からのメタン、亜酸化窒素の発生量に及ぼす影響をはじめとして、各専門分野の詳細な研究が行われることを期待する。エコトロンを用いた実験の特徴のひとつは、予期しない

派生現象を提起してくれる点にあると考える。それらを解明していくことが、生態系全体を念頭においた各論的研究となり、農業生態系の変動予測モデルの構築、さらには、これらに対応した農業技術の開発へとつながることと考える。

文 献

- 小林和彦 (1994) : 国際会議報告 第一回FAIR研究会, 農業気象, 50 (1), 65~67.
- 内嶋善兵衛 (1991) : 農林業への地球温暖化の影響—IPCC報告を中心に—, 農業および園芸, 66 (1), 79~84, 養賢堂
- 清野 裕 (1991) : 地球温暖化による農業植物への影響, 遺伝, 45, (9), 25~29
- 農林水産省統計情報部 (1991) : 農林水産統計 平成3年度版, p.185, 農林統計協会
- 野口弥吉・川田信一郎監修 (1987) : 農学大事典, 528~533, 養賢堂
- 堀江 武 (1988) : 二酸化炭素の上昇による気候変化と北海道の水稲生産, 大気環境の変化と植物生産, 農業環境技術研究所昭和61年度気象研究会, 67~79.
- 矢島正晴・川方俊和 (1990) : 高CO₂濃度大気と水稲の生育・収量, 農業気象学会1990年度大会講演要旨, 106~107.
- 山口武則・山田一郎・山川修治・竹澤邦夫 (1991) : 高温・高二酸化炭素濃度時の小麦栽培実験 (I), NIAES地球環境研究チーム研究集録, 1, 45~50.
- 山口武則・湯畑典子 (1992a) : エコトロンの制御システム, NIAES地球環境研究チーム研究集録, 2, 13~22.
- 山口武則・湯畑典子・山田一郎・山川修治・竹澤邦夫 (1992b) : 高温・高二酸化炭素濃度が小麦の生育に及ぼす影響, NIAES地球環境研究チーム研究集録, 2, 23~28.

謝 辞

エコトロンの建設にあたり, 建設ワーキンググループ委員長としてご指導・ご尽力をいただいた前環境研究官の宇田川武俊博士, 設計および建設にご尽力をいただいた前企画調整部企画科長の真弓洋一博士, 本資料作成にご協力いただいた前地球環境研究チーム主任研究官の山田一郎博士, 小麦の栽培管理をしていただいた業務科河村惣一郎氏ならびに関係者の皆様, また, 水稲の栽培管理をしていただいた業務科松本公吉氏, 大水豊司氏, 坂本邦男氏ならびに関係者の皆様, 本資料を作成するにあたって協力をいただいた地球チームの奥谷昭子氏, 今泉純子氏, ならびに地球環境研究チームの皆様にお礼申し上げます。

VI. 追記

平成3年の竣工時以降に実施された施設の変更について追加説明を行う。

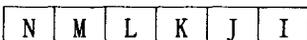
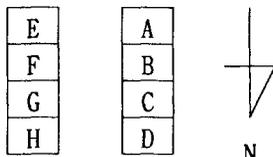
1) CO₂濃度のモニタリングおよび制御機能の変更を行った(表11)。CO₂濃度のモニタリングについては、A室とE室、C室とD室の切り替えで可能であったが、変更工事によりA室、C室、E室、G室、各室が可能となった。加えてA室、C室、E室のCO₂濃度の基盤制御が可能となった。なお、E室は追値制御も可能となったが、コンピュータのソフト変更は行っていないためE室のデータはH室の欄に表示される。

2) 土壌は、D、H室のみ黄色土(愛知県知多半島南知多)であったが、1993年11月中旬に、他のガラス室と同様の黒ボク土(つくば市島名)に入れかえた。

表11 各ガラス室のモニタリングおよび制御状況

<変更前→変更後>

	気 温			CO ₂ 濃度					
	モニタリング	基盤制御	追値	シミュレート	モニタリング	基盤制御	追値	シミュレート	
A室	○	○	×	×	○	×	○	×	×
B室	×	×	×	×	×	×	×	×	×
C室	○	○	×	○	×	○	×	×	×
D室	○	○	×	(○)→×	×	×	×	×	×
E室	○	○	×	(○)→○	×	○	×	○	×
F室	×	×	×	×	×	×	×	×	×
G室	○	○	×	○	○	○	○	×	×
H室	○	○	×	○→×	○→×	○→×	○→×	×	×
I室	○	○	○	○	○	○	○	○	○
J室	○	○	○	○	○	○	○	○	○
K室	○	○	○	○	○	○	○	○	○
L室	○	○	○	○	○	○	○	○	○
M室	○	○	○	○	○	○	○	○	○
N室	○	○	○	○	○	○	○	○	○



[工事内容]

A、C室にCO₂供給装置およびCO₂濃度コントローラを増設。H室のCO₂供給配管およびサンプリング配管をE室に移設。

Ⅶ. 付 録

1. 操作マニュアル

本マニュアルは、現時点でエコトロンを使用した場合のマニュアルである。
次のような項目について参考にいただきたい。

- (1) CO₂濃度および温度制御を設定するには…
 - * ローカル, 追値, シミュレーション
 - * ファンクションキーの使い方
- (2) 計測データ記録システムからデータを読むには…
- (3) エコトロンの遠隔操作を行うには…
 - * 日データを解析する

(1) CO₂濃度および温度制御を設定するには・・・

ガラス室の温度およびCO₂濃度は温度コントローラ, CO₂濃度コントローラから成る制御システムと, これらを制御する制御・監視用コンピュータシステムによって設定・制御できる。各温度およびCO₂濃度コントローラからの制御をローカルモード, 制御・監視用コンピュータシステムからの制御をリモートモードとよぶ。

制御・監視用コンピュータシステムでは, プログラムが立ちあがると, ディスプレイに表示されたファンクションキーによって操作を行うことができる。

CO₂濃度および温度制御を設定するには主に「f 1 : 運転モード変更」を使う。以下に, 他のファンクションキーの作業内容と操作法も併せて説明する。

- f 1 : 運転モード変更, f 2 : プリント, f 3 : データコピー
- f 4 : シミュレートパターン, f 5 : 通信プロテクト, f 6 : 回線

1) 運転モード変更 (f1)

f1キーを押すと各ガラス室の運転モードを変更することができる。この時ディスプレイ画面のタイトル「ECOTRON」は赤表示となり, CO₂濃度コントローラおよび温度コントローラ間の通信は停止する。

モードは追値, シミュレーション, ローカルの3つから選ぶ。

操作は, 下部メッセージ欄の指示にしたがって操作する。

- ①→←↑↓キーにより、ガラス室の赤枠表示を変更希望の位置に移動する。
- ②リターンキーを押すとそのガラス室の現状モード（追値、シミュレート、ローカル）がメッセージ欄に表示される。
- ③→←↑↓キーにより変更するモードを選択し、リターンキーで決定する。ただし、変更しない場合は、キャンセルを選びリターンキーを押す。

《追値の場合》

バイアス値（温度 0～5℃，CO₂ 0～1000ppm）を入力した後、リターンキーを押す。

《シミュレートの場合》

B：ドライブにあるシミュレートのパターン番号を入力し、リターンキーを押し決定する。

なお、データ解析用コンピュータを用いて、あらかじめシミュレートパターンを作成しておく必要がある（このことについては後述する）。

《ローカルの場合》

ローカルを選択し、数値の設定は温度およびCO₂濃度コントローラで行う（p.53およびp.59参照）。

- ④以上で1つのガラス室の設定は終了する。さらに、別のガラス室を変更する場合は、
 - ①に戻って、同様な操作を繰り返して設定する。
- ⑤全ての設定が終了したらESCキーを押す。この操作が終わるとCO₂コントローラおよび温度コントローラとの通信が再開される。

（シミュレートパターン作成法）

- ①データ解析用コンピュータを起動する。
- ②B：ドライブにシミュレートパターン用のフロッピーディスクをセットする。
- ③A：>SIMと入力する。
メニュー画面が表示される。
- ④温度、CO₂濃度のいずれかをカーソルで選ぶ。
B：ドライブにある8種類のパターンが表示される。
- ⑤希望のパターンにカーソルを移し、リターンキーを押す。
選択したパターンの詳細画面となる。
- ⑥ROLL UP, ROLL DOWNキーでグラフ上の+マークを上下させる。
右欄に+マーク位置の数値がでるので、希望する値になったらリターンキーを押す。
その時刻の目標値が決定され+マークが次の時刻に移動する。
- ⑦23時までの登録が完了したらリターンキーでフロッピーディスクに保存する。

- ⑧すでに登録されているデータを変更する場合も、同様にパターンを呼び出した後、+マークを移動し、リターンキーで決定する。
- ⑨時刻の設定は→←キーで、値の設定は↑↓キーで最小桁から、ROLL UP, ROLL DOWNキーで2桁目からの変更ができる。
- ⑩フロッピーディスクに保存するとき、リターンキーを押さずにESCキーを押すと保存されずに終了するので注意が必要である。

以下に具体例を示す。

①運転モードの変更 (温度)

1. メッセージ欄表示

【データ測定】

f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
ESC : 終了

2. メッセージ欄表示

【運転モード変更】 (濃度 A・C・D・E 除く)

矢印キーで撰択してリターンキーを押して下さい (ESC : 終了)

* 変更したい部屋を選択する

《追値の場合》例) 外気温より2℃高く制御

3. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 追値 シミュレート ローカル キャンセル
 リターンキーを押して下さい

4. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 バイアス値を入力してリターンキーを押して下さい。2 (0~5℃)
 (リターンのみ:変更)

5. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 バイアス値を入力してリターンキーを押して下さい。
 追値モードバイアス2に設定します。設定 キャンセル

6. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 矢印キーで撰択してリターンキーを押して下さい (ESC:終了)

* 全ての変更が終わったらESCキーを押し通信を再開する。

7. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

《シミュレートの場合》 例) シミュレーとパターン1で気温を制御

3*. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 追値 シミュレート ローカル キャンセル

4*. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度G・Hは追値及びローカル作動のみ)
 T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8
 矢印で撰択してリターンキーを押して下さい

5*. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度G・Hは追値及びローカル作動のみ)
 シミュレートパターン 1 に設定します。 設定 キャンセル
 矢印で撰択してリターンキーを押して下さい

6*. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 矢印で撰択してリターンキーを押して下さい (ESC:終了)

* 全ての変更が終わったらESCキーを押し通信を再開する。

7*. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f1: 運転モード変更 f2: プリント f3: データコピー
 f4: シミュレートパターン f5: 通信プロテクト f6: 回線
 ESC: 終了

《ローカルの場合》例) 気温コントローラで気温を20℃一定に制御

3**. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 追値 シミュレート ローカル キャンセル

4**. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度G・Hは追値及びローカル作動のみ)
 ローカルモードに設定する 設定 キャンセル

5**. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 矢印キーで撰択してリターンキーを押して下さい (ESC:終了)

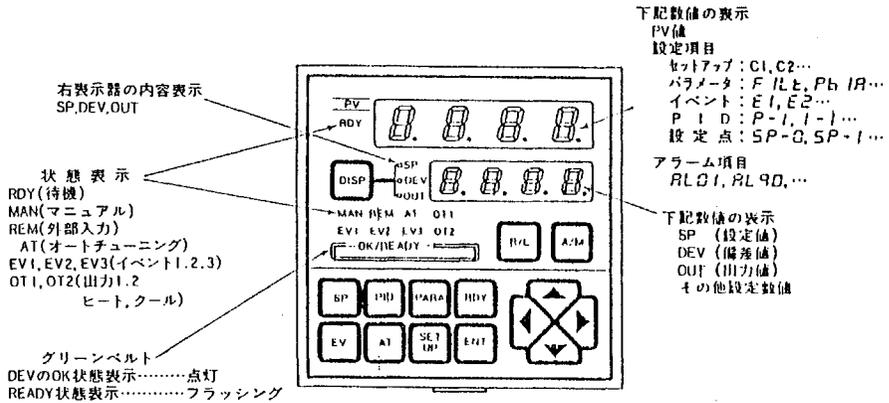
*全ての変更が終わったらESCキーを押し通信を再開する。

6**. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

以下にローカルを選択したときの温度コントローラによる温度設定法を示す (図35)。

- ①温度コントローラのSPキーを押す。SPキーを押して上段にSP表示が出ない時は DISPキーを押して再度SPキーを押す。
- ②SP表示の後はSPキーを押すとSPのみを表示する。
- ③ENTキーを押すと数値設定の準備になり設定するところがフラッシングする。この時フラッシングの場所が数値以外の時がある。その時は再度ENTキーを押すと数値の場所がフラッシングされる。
- ④⊠左右キーで必要な桁にフラッシングを移し、上、下のキーで数値 (例：20) を設定する。
- ⑤数値が設定できたらENTキーを押し、その数値を保存する。



- | | | | |
|------|--------------------------|--------|-----------------|
| DISP | 表示選択の変更
設定動作等の中断 | RDY | RUN/READY切り替え |
| R/L | REMOTE SP/LOCAL, SPの切り替え | EV | イベント設定・種類選択 |
| A/M | AUTO/MANUALの切り替え | AT | オートチューニングの実行・中断 |
| SP | SPの設定・選択
PID組選択 | SET UP | 計器セットアップの設定・変更 |
| PID | 制御定数の設定・変更 | ENT | 置数の準備・格納 |
| PARA | パラメータの設定・変更 | ⊠ | 置数の変更, 設定項目の移動 |

図35 温度コントローラの表示と各キーの説明

③運転モードの変更 (CO₂濃度)

1. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : **運転モード変更** f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

2. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 矢印キーで選択してリターンキーを押して下さい (ESC : 終了)

*変更したい部屋を選択する

《追値の場合》 例) 外気CO₂濃度より350ppm高く制御

3***. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
追値 シミュレート ローカル キャンセル
 リターンキーを押して下さい

4***. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 バイアス値を入力してリターンキーを押して下さい **350** (0~1000ppm)
 (リターンキーのみ: 変更)

5***. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 バイアス値を入力してリターンキーを押して下さい。
 追値モードバイアス350に設定します **設定** キャンセル

6***. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 矢印キーで撰択してリターンキーを押して下さい (ESC:終了)

*全ての変更が終わったらESCキーを押し通信を再開する。

7***. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

《シミュレートの場合》例) シミュレートパターン1でCO₂濃度を制御

3****. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
 追値 シミュレート ローカル キャンセル
 リターンキーを押して下さい

4****. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度G・Hは追値及びローカル動作のみ)
 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8
 矢印で撰択してリターンキーを押して下さい

5****. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度G・Hは追値及びローカル動作のみ)
 シミュレートパターン 1に設定します。設定 キャンセル
 矢印で撰択してリターンキーを押して下さい

6****. メッセージ欄表示

【運転モード変更】（濃度A・C・D・E除く）

矢印キーで選択してリターンキーを押して下さい（ESC：終了）

*全ての変更が終わったらESCキーを押し通信を再開する。

7****. メッセージ欄表示

【データ測定】

f 1：運転モード変更 f 2：プリント f 3：データコピー

f 4：シミュレートパターン f 5：通信プロテクト f 6：回線

ESC：終了

《ローカルの場合》例) CO₂濃度コントローラで650ppm一定に制御

3*****. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
追値 シミュレート ローカル キャンセル

4*****. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度G・Hは追値及びローカル作動のみ)
ローカルモードに設定する 設定 キャンセル

5*****. メッセージ欄表示

【運転モード変更】(濃度A・C・D・E除く)
矢印キーで選択してリターンキーを押して下さい (ESC:終了)

*全ての変更が終わったらESCキーを押し通信を再開する。

6*****. メッセージ欄表示

【データ測定】
f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
ESC : 終了

次に、CO₂濃度コントローラの基盤を直接操作して制御値を設定する。

ローカルモードによるCO₂濃度の変更操作方法

- ①前記した制御コンピュータによるCO₂濃度の変更操作法に従って該当するガラス室のCO₂濃度制御モードをローカルに設定する。
- ②CO₂濃度コントローラの電源を切り、前面パネルから該当するガラス室の基板を注意しながら取り出す。
- ③基板に設置された4個のロータリースイッチ【DS1（零）、DS2（十）、DS3（百）、DS4（千）】（図36）で精密用ドライバーをもちいて目標濃度を設定する。
- ④個々のロータリースイッチには、中央の円形内に矢印があり、円形の外には数字が表示されている。
- ⑤例えば、650ppmにセットする場合、DS1：→0、DS2：→5、DS3：→6、DS3：→0となるように矢印の先端を合わせる。
- ⑥濃度設定終了後、基板をもとの位置に戻す。
- ⑦CO₂濃度コントローラの電源を入れ、パネル前面にあるリモート・ローカルスイッチをローカル側に倒して設定し、さらにロータリースイッチをSVに合わせる。この時、前設定の設定値がデジタル表示される。
- ⑧設置した基板のRSTおよび ENT-KEYの操作を行い易くするため、右隣の基板を注意して抜き取る。ここから手を差し込み、設置した基板のRSTボタンを押す。次に、ENT-KEYを押す。この操作が終了すると前面に設定した濃度がデジタル表示される。
- ⑨隙間を取るために引き抜いた基盤をもとに戻す。

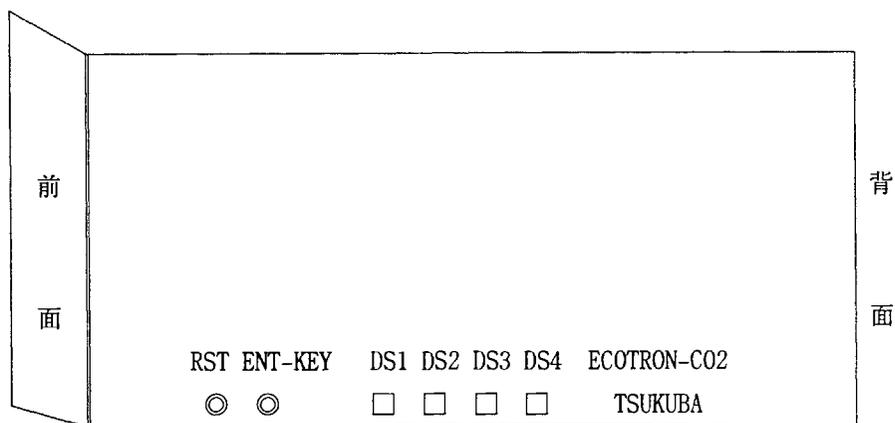


図36 CO₂濃度コントローラ 各室の基盤の側面

以下に、その他のファンクションキーの機能と操作法の説明を行う。

2) プリント (f 2)

f 2 キーを押すと各ガラス室の現在の動作モードを印字することができる。なお、この時は必ずプリンタをREADYの状態にしておく。下に印刷例を示す (表12)。

1. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : 運転モード変更 f 2 : **プリント** f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

2. メッセージ欄表示

【プリント】 自動モードをプリントアウトします
 プリンターをセットしてリターンキーを押して下さい(ESC:キャンセル)

3. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

表12 各ガラス室の動作モードの印刷表示例

E C O T R O N		動作一覧	92.07.07	11:25:23	
《温度制御》					
室名	モード	シフトパターン	SP	PV	備考
A	追値	2	24.8	25.1	
C	追値	0	22.8	27.1	
D	追値	0	22.8	23.1	
E	追値	0	22.8	22.9	
G	追値	2	24.8	24.9	
H	追値	2	24.8	24.7	
I	追値	2	24.8	24.7	
J	追値	0	22.8	22.5	
K	追値	0	22.8	22.9	
L	追値	2	24.8	25.0	
M	追値	0	22.8	22.1	
N	追値	2	24.8	24.9	
《CO2制御》					
室名	モード	シフトパターン	SP	PV	備考
A				149	
C				190	
D				0	
E				0	
G	追値	350	696	676	
H	追値	350	696	626	
I	シフト	C2	650	616	
J	シフト	C2	650	447	
K	シフト	C1	350	355	
L	シフト	C1	350	608	
M	シフト	C1	350	350	
N	シフト	C2	650	627	

3) データコピー (f 3)

f 3 キーを押すと過去24時間までの野外の気温、CO₂濃度、各ガラス室の温度およびCO₂濃度の制御記録をC：ドライブのフロッピーディスクに保存することができる。

データ確認は、データ解析用コンピュータで、ITIRAN.BASプログラムを起動して行う。

注) 過去にf 1 キーによるモード設定が行われた場合は、それ以前のデータは失われる。

(操作法)

- ①データ解析用コンピュータを起動する。
- ②A：>ITと入力する。一覧用プログラムがスタートする。
- ③A～Nのガラス室のうち、希望するガラス室をカーソルで選び、リターンキーを押すとその室の制御履歴が表示される。
- ④ROLL UP, ROLL DOWNキーで画面ページを前後させることができる。
- ⑤このプログラムは、ガラス室の温度およびCO₂濃度制御の履歴をチェックするためのものであり印刷機能はない。印刷記録が必要な場合はCOPYキーを押してハードコピーで行う。

1. メッセージ欄表示

【データ測定】

f 1：運転モード変更 f 2：プリント f 3：データコピー
f 4：シミュレートパターン f 5：通信プロテクト f 6：回線
ESC：終了

2. メッセージ欄表示

【データコピー】 24時間データをフロッピーにコピーします
Cドライブにフロッピーをセットしてリターンキーを押して下さい
(ESC：キャンセル)

3. メッセージ欄表示

【データコピー】 24時間データをフロッピーにコピーします

データコピー中

4. メッセージ欄表示

【データ測定】

f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

4) シミュレートパターン (f 4)

f 4 キーを押すと、B : ドライブのシミュレートデータディスク上に温度およびCO₂濃度制御用のシミュレートパターンを作成することができる【1) 運転モード変更 : シミュレートパターン作成法参照 p.49】。

パターン作成中は、外部計器に対する制御が停止するので、実際には同プログラムが入っているデータ解析用コンピュータを使って作成する。

1. メッセージ欄表示

【データ測定】

f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

5) 通信プロテクト (f 5)

f 5 を押すと、リモート用コンピュータからのモード変更を各ガラス室ごとに独立に禁止することができる。

- ① このモードを選ぶと、A室の表示欄が赤枠で囲まれる。→←↑↓キーで希望する室を選びリターンキーを押す。現在のその室のリモート制御状況(可能/禁止)がメッセージ欄に表示される。
- ② カーソルをリモートOFFに移し、リターンキーを押せば、その室のリモート制御は禁止となり、ディスプレイ画面表示の室番号(A~N)が赤く表示される。

1. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

2. メッセージ欄表示

【通信プロテクト】 リモートからの制御をプロテクトします
 A C D E G H I J K L M N
 矢印キーで撰択してリターンキーを押して下さい (ESC : 終了)

3. メッセージ欄表示

【通信プロテクト】 リモートからの制御をプロテクトします
 A C D E G H I J K L M N
 プロテクト 解除

4. メッセージ欄表示

【通信プロテクト】 リモートからの制御をプロテクトします
 A C D E G H I J K L M N
 矢印キーで撰択してリターンキーを押して下さい (ESC : 終了)

5. メッセージ欄表示

【データ測定】
 f 1 : 運転モード変更 f 2 : プリント f 3 : データコピー
 f 4 : シミュレートパターン f 5 : 通信プロテクト f 6 : 回線
 ESC : 終了

6) 回線 (f 6)

f 6 キーを押すと、遠隔操作に利用されている電話回線に割り込みが可能となり、この回線を利用して電話通信ができる。

(操作法)

- ① f 6 キーを押すとディスプレイ画面のECOTRONの文字が緑色に変わり、電話使用が可能になる。
- ②電話使用后、f 6 キーを押すとリモートモードに復帰する。

(2) 計測データ記録システムからデータを読むには・・・

計測データ記録システムでは、計測されたデータは、ハイブリッド記録計で記録され、その一部がICメモリーカードに収録される。

野外における①気温、②湿度、③CO₂濃度、④日射量、⑤紫外線強度および、ガラス室内における①気温、②湿度、③CO₂濃度のデータは、ハイブリッド記録計に記録され、5分毎の瞬間値がICメモリーカード(512KByte)に保存される。メモリーカードリーダーで読み取りロータス1-2-3で解析できる。

1) ICメモリーカードのフォーマット

データ解析用コンピュータは、起動時にメモリーカードリーダーの電源をONにしておく
とカードリーダーのドライブは、それぞれD：，E：ドライブとなるように設定してある。

(操作法)

- ①コンピュータを起動するとディスプレイは、MS-DOSのコマンドメニューが表示される。次にf9キーを押す。
- ② A：>DIR /W リターンキーを押す。(ディレクトリー表示)
- ③ A：>MFORMAT D リターンキーを押す。
- ④ A：> 終了

【画面表示】

1. ICメモリーカードフォーマットユーティリティ (for PC-9801-55L) Ver1.70
(C) Copyright 1987.90 U-Systems,Ltd
 2. 装置 (ID) を入力してください (0-7) :0を入力してリターンキーを押す。
 3. ドライブNo.を入力して下さい (0/1) :0を入力してリターンキーを押す。
 4. ICメモリーカードの全データが失われます
よろしいですか<Y/N>? Yを入力し、リターンキーを押す。
 5. フォーマットは、終了しました。
 6. フォーマットを続けますか<Y/N>? Nを入力し、リターンキーを押す。
- ④ A：> 終了

2) ICメモリーカード装着の操作法

- ①上記ICメモリーカードのフォーマットにしたがってICメモリーカードをあらかじめフォーマットしておく。
- ②ICメモリーカードをハイブリッド記録計のメモリーカードドライブに装着する。
- ③設定パネルのMEMORYキーを押す。

表示パネルの表示

MEMORY=DATA-WRITE			
SET	WRITE	READ	INFO
F1	F2	F3	F4

④F2 (WRITE) キーを押し、続いてENTRYキーを押す。

表示パネルの表示

WRITE=DIRECT			
TRIG	DIRECT	STOP	CH-SET
F1	F2	F3	F4

④F2 (DIRECT) キーを押し、続いてENTRYキーを押す。

表示パネルの表示

WRITE FILE=			
F1			
F1	F2	F3	F4

本記録システムでは、ハイブリッド記録計が2台設置されており、上部のハイブリッド記録計のファイルネームはF1、下部はF2とあらかじめ設定されている。

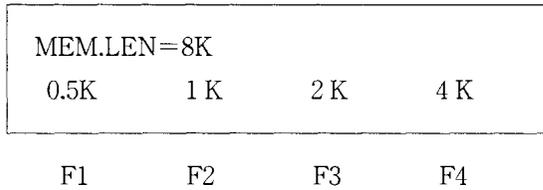
⑤ENTRYキーを押す。

表示パネルの表示

SAMPLE=10min			
INTVL	1min	2min	10min
F1	F2	F3	F4

⑥ENTRYキーを押す (1993年3月より30minに変更された。ここではENTRYキーを押すだけでよい)。

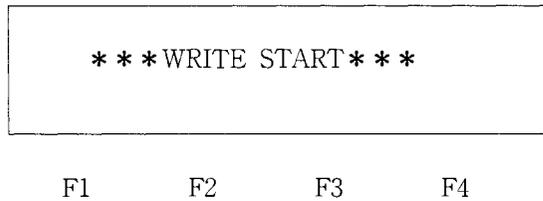
表示パネルの表示



上部ハイブリッド記録計の場合は8K、下部の場合は4Kにあらかじめ設定されている。

⑦ENTRYキーを押す。これでデータの書き込みが開始される。

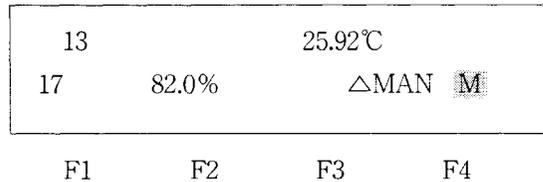
表示パネルの表示



⑧UPPER DISPLAYキーを押すと測定データが表示される。

表示パネルの表示

例えば

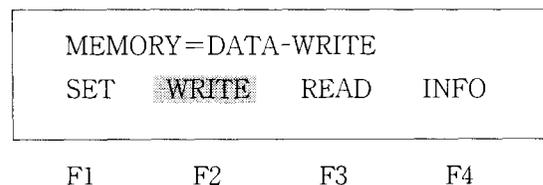


なお、Mのマークは記録中であることを示すので表示されていることを確認する。

3) ICメモリーカード取り出しの操作法

①設定パネルのMEMORYキーを押す。

表示パネルの表示



- ④ F 2 (WRITE) キーを押し、続いてENTRYキーを押し。

表示パネルの表示

WRITE=DIRECT			
TRIG	DIRECT	STOP	CH-SET

F1

F2

F3

F4

- ④ F 3 (STOP) キーを押し、続いてENTRYキーを押し。

表示パネルの表示

WRITE STOP			
------------------	--	--	--

F1

F2

F3

F4

- ⑤ ***WRITE STOP***の表示を確認してからICメモリーカードをハイブリッド記録計のメモリーカードドライブから取り外す。

4) ICメモリーカードのバックアップ

バックアップ用のフロッピーディスクはあらかじめMS-DOSでフォーマットされていることが必要である。

(操作法)

- ①データ解析用コンピュータを起動する。
- ②ICメモリーカードをカードリーダーのD：ドライブに挿入し、フロッピーディスクをコンピュータのB：ドライブにセットする。
- ③A：>COPY D：*.* B： /V と入力する。

ICメモリーカードの内容がフロッピーディスクにコピーされる。

注意 1 B：ドライブ内にICメモリーカードと同じ名前のファイルがあると、もとのデータが新しいデータに書き換えられる。前もって別のファイル名に換えておく必要がある。

注意 2 コピーしたディスクはマスターとして保存しておく。

5) 計測データの解析

A. マスターディスクをロータスで読む

(操作法)

- ①ロータスを起動する。
- ②B：ドライブにMEMORIAのディスク，C：ドライブにマスターディスクをセットし，LOTUSと入力する。
LOTUSの起動画面が表示される。
- ③1-2-3にカーソルを合わせてキーを押すと，まずLOTUSのタイトルが表示され続いてMEMORIAが組込まれる。
- ④メモリーカード側にカーソルを置き，リターンキーを押すと次に範囲指定となる。
- ⑤範囲はA 1 のままでリターンキーを押すと編集画面に変わる。
- ⑥このままではA：の内容が読み込まれるのでESCキーを押し，A：¥123を消す。
- ⑦次にf.9キーを押して，入力文字を半角にする。
- ⑧C：リターンキーを押すと，C：ドライブの全ファイルが表示される。
- ⑨希望するファイル名にカーソルを移動し，リターンキーで選択する。
- ⑩マスターデータ30CHの内どのCHのデータを選ぶかを指定する。○CHリターンキーと入力する。
- ⑪次は同時に何個のCHデータを読み出すのかを指定する。1リターンキーと入力する。
- ⑫次にScan Numberを入力する。
これは全データ必要で，Startに対しリターンキーを，続いてScan Countに対してもリターンキーを押す。
- ⑬次のCheck ErrorとStart Processに対しても，それぞれリターンキーを押す。
- ⑭これで指定したCHのデータがロータスに読み込まれワークシートに表示される。
- ⑮メモリーカードにあるカーソルをQuitに移してリターンキーを押す。

B. マクロ命令ファイルの結合

- ①カーソルをR 1セルに移動し、次の順に入力する。

f.1	(メニュー)
F	(ファイル)
C	(結合)
C	(複写)
N	(一部)
- ②ここで結合範囲指定の指示ができるので，R1.Z250と入力し，リターンキーを押す。

- ③結合するファイル名の指定となり、B：ドライブのファイル一覧が表示される。
マクロファイルは A：ドライブにあるのでESCキーを2回押して入力部を消し、
A：¥123¥MACリターンキーを入力する。
- ④カーソルをR5セル（¥Mの表示セル）に移し、次の順に入力する。
- | | |
|-----|---------|
| f.1 | (メニュー) |
| R | (範囲) |
| N | (範囲名) |
| L | (文字位置) |
| R | (右詰め) |
| | (リターン) |
- ⑤これでマクロファイルが結合される。

C. マクロ命令の実行

マクロファイルを結合した後は、CTRL+Mキーでマクロ命令を実行することができる。

イ. 時刻の設定

MEMORIAによりマスターデータをLOTUSに読みだした場合、ワークシートの測定時刻欄は空白になっている。

マクロ命令Sにより、時刻データを書き込むことができる。

- ①マクロメニュー画面で、S（時刻）の位置にカーソルを置き、リターンキーを押す。A列に測定時刻が書き込まれる。
- ②ファイル名入力の指示に対してはB2セルに記入したい名称を入力する。
- ③拡張子はWJ2とする。
- ④B：ドライブに保存との確認表示がでる。
B：ドライブにワーク用ディスクをセットし、リターンキーを押す。
- ⑤保存するファイル名 B：の表示に対しファイル名を入力し↓キーを押すとB：ドライブに保存される。

ここで、平成5年よりデータの集録時間が30分毎に変更されたため、次頁に示す変更が必要である。

画面表示例えば

	A	B	C	D
1				
.				
.				
.				
13	15:15:00	5.1	7.1	350
14	15:20:00	5.2	7.2	360
15	15:25:00	5.3	7.3	370
16	15:30:00	5.4	7.4	380

【時刻変更操作法】

- ①カーソルをA14に移動する。
- ②f 2 キーを押すと上部画面に'A14:(D9)+A13+@TIME(0, 5, 0)が表示される。
- ③カーソルを移動して'A14:…@TIME(0, 5, 0)を“A14:…@TIME(0, 30, 0)に変更してリターンキーを押す。

Aカラムの14番目がTIME(0, 30, 0)に修正される。

- ④/キーを押し、TIME(0, 30, 0)を複写する。
 - イ. /キーを押す。
 - ロ. 複写キー（C）を選択し、リターンキーを押す。

画面表示

複写元を指定してください：A14..A14を表示する。

ハ. そのままA14..A14を複写するためリターンキーを押す。

- ⑤カーソルをA15に移動し、/キーを押す。

A15..A15が表示されるので↓キーを押し、Aカラムの最終時刻まで移動する。
- ⑥リターンキーを押すとA14以下の時刻が30分毎におきかわる。

ロ. 印刷

- ①マクロメニューからP印刷を選択する。
- ②プリンタに用紙をセットし、リターンキーを押す。
- ③ワークシートのデータがプリンタに印字される。

ハ. グラフ

- ①マクロメニューからGグラフを選択する。
- ②Xの範囲：A13の表示となるのでA列セル（時間データ）の範囲を指定する。
まずピリオド. を入力し、続いて↑↓キーで表示範囲を選び、リターンキーで決定する。
- ③A：の範囲：C13の表示となる。
C列セル（測定データ）の範囲を指定する。
ピリオド. を入力し、↑↓キーで表示範囲を選び、リターンキーで決定する。
- ④1行目指定にはグラフタイトルなどを記入する。
- ⑤2行目指定にはサブタイトルなどを記入する。
- ⑥Y軸指定にはグラフ縦軸の名称を入力する。
- ⑦下限指定にはグラフ縦軸の下限の値を入力する。
- ⑧上限指定にはグラフ縦軸の上限の値を入力する。
- ⑨指定範囲のグラフが画面に表示され、A4用紙大で印刷のメッセージができる。
カーソル1は1/1の寸法
2は1/2の寸法
3は1/3の寸法
- ⑩リターンキーで印刷が開始される。

ニ. 日報の作成

- ①マクロメニューからD（日報）を選択する。
- ②リターンキー>セル移動>CTL+Aの表示となるので、そのままリターンキーを押す。
- ③次に、作成する日報の開始時刻を指定するため、カーソルをA列の開始時刻に合わせる。
- ④CTL+Aキーで開始点が認識される。
- ⑤↓キーで日報終了時刻までセルを移動し、リターンキーを押す。指定された範囲のデータが集計され、新しく日報データがワークシート上に表示される。
- ⑥日報データを保存しますか。Y/Nと表示される。保存する場合はYを、そうでない場合はNを入力する。
- ⑦保存する場合、あるいは一部保存する場合、ファイル名を聞いてくる。この場合、ドライブ名とファイル名を入力する。なお、この場合、日報データファイルのみが保存される。
- ⑧印刷する場合、印刷するか。Y/Nと表示される。印刷する場合、YそうでなければNを入力する。なお、印刷する場合、用紙をセットして下さいなどの表示が画面に表示されるので、それらの指示にしたがう。

⑨印刷が終了するとマクロメニューに戻る。

ホ. 月報の作成

- ①マクロメニューからF（月報）を選択する。
- ②リターン>セル移動>CTRL+Bの表示となるので、そのままリターンキーを押す。
- ③月報を作成する範囲の先頭を指定するため、A列の集計開始日のセルに↓キーでカーソルを合わせる。
- ④CTRL+Bキーを押す。
- ⑤作成する範囲の終了日のセルまでカーソルの範囲を↓キーでひろげリターンキーで決定する。指定された範囲の日報データが集計され、新しく月報がワークシート上に表示される。
- ⑥月報データを保存するか。Y/Nと表示される。保存する場合はY、そうでない場合はNを入力する。
- ⑦保存する場合、あるいは一部保存する場合、ファイル名を聞いてくる。この場合、ドライブ名とファイル名を入力する。なお、この場合、月報データファイルのみが保存される。
- ⑧印刷する場合、上記の日報と同様である。
- ⑨印刷が終了するとマクロメニューに戻る。

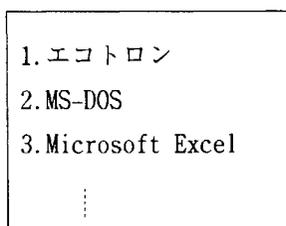
(3) エコトロンの遠隔操作をするには・・・

あらかじめ、エコロン遠隔操作システムをインストールしてあるパソコンを用いて、制御・監視室以外からエコロンを制御・監視できる。ここでは、ウインドウズ上での操作手順を説明する。

1) エコロンの遠隔制御・監視

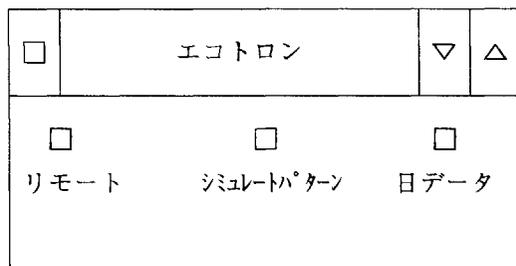
- ① コンピュータを起動するとウインドウズが立ち上がる。
- ② プログラムマネージャのメニューバーからウインドウズを選択する。

画面表示



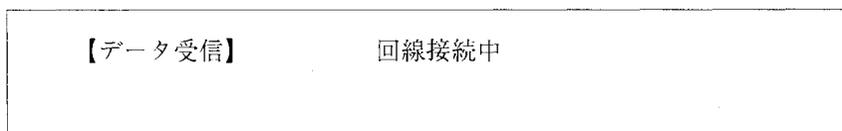
- ③ マウスでエコロンを選択する。

画面表示



- ④ マウスでリモートを選択する。
- ⑤ 電話回線を経由して自動的にエコロンの制御・監視コンピュータに接続される。
- ⑥ ディスプレイにエコロンの温度およびCO₂濃度のモニター画面が表示され、下部メッセージ欄に作業内容が表示される。

1. メッセージ欄表示



2. メッセージ欄表示

【データ受信】	回線接続中 データ受信待機中
---------	-------------------

3. メッセージ欄表示

【データ受信】	データ表示 データ受信中
---------	-----------------

⑦各ガラス室の温度およびCO₂濃度と野外の気温、大気中のCO₂濃度が表示され、下部メッセージ欄は下記の通りに変わる。

4. メッセージ欄表示

【データ受信】	f 1 : 運転モード変更 f 2 : 終了
---------	---------------------------

⑧ガラス室の設定条件を更新する場合は f 1 キーを押す。

操作方法は、上記したモード変更にしたがって行う。

⑨作業終了の場合は f 2 キーを押すと電話回線が自動的に切れて作業終了となる。

2) シミュレートパターンの作成

④マウスでリモートを選択する。以後の操作は、1) 運転モード変更のシミュレーションパターン作成法参照 (p.49)。

3) 日データ (24時間データのチェック)

制御・監視用コンピュータで得られた24時間データをチェックすることができる。

上記の①から③までの作業を実施し、マウスで日データを選択すると24時間データのチェックが可能である。以下の操作方法は、3) データコピーの24時間データのチェックを参照 (p.61)。

イ. データのコピー

制御・監視用コンピュータで得られた24時間データをエクセルやロータスで解析することができる。

- ① 5インチフロッピーディスクに収録された24時間データを3.5インチフロッピーディスクにコピーする。

(操作法)

1. 本リモート用コンピュータを起動したのち、ウインドウズを終了する。
 2. 5インチフロッピーに24時間データフロッピーディスクをセットする。
 3. あらかじめ初期化した3.5インチフロッピーディスクを3.5インチフロッピードライブにセットする。
 4. キーボードから、A:>COPY D:*.* B:を入力したのちリターンキーを押す。なお、5インチから3.5インチに変換されたデータはN88BASICの形式で書き込まれている。
- ② 上記の作業を実施し、プログラムマネージャの画面表示からウインドウズを選択する。

画面表示

1. エコトロン
2. MS-DOS
3. Microsoft Excel
⋮

- ③ マウスでMS-DOSを選択する。

画面表示

<input type="checkbox"/>	MS-DOS	▽	△
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ワードパーフェクト	ロータス123	一太郎	

- ④ マウスでワードパーフェクトを選択する。
 ⑤ マウスでFファイルキーを押す。

画面表示

Fファイル E編集 S検索 Mレイアウト ツール Oフォント Gグラフィック Hヘルプ

⑥マウスでFファイルリストを選択する。

画面表示

R呼出	SHIFT-f10	M概要
S保存		P印刷
Tテキストイン	CTRL-f5	T環境設定
Oテキストアウト	CTRL-f5	GDOS
Wハワード	CTRL-f5	X終了
Fファイルリスト	f5	

作業メッセージに Dir A:¥WP51J¥*.* が表示される。

⑦Dir B:を入力したのち、リターンキーを押す。

画面表示

カレント	<Dir>
DA	72.960 92/07/28 08:37
DB	
DO	

⑧例えば、DO (百葉箱データ)を選択する。

⑨I/R呼出を入力する。変換中が表示される。

⑩S検索を入力する。

⑪R置換を選択し、リターンキーを押す。

画面表示 確認後置換しますか? Nいいえ (Yはい)

Nを選択し、リターンキーを押す。

⑫XFERキーを押し、半角文字にする。

検索:計測された年を入力する。例えば92/を入力する。

⑬f 7を押す。

⑭R置換:リターンキーを押す。

画面表示 1 置換:〔強改行〕92/を入力したのち、f 7を押す。

画面表示 2 しばらくお待ち下さい(かなり時間がかかる)

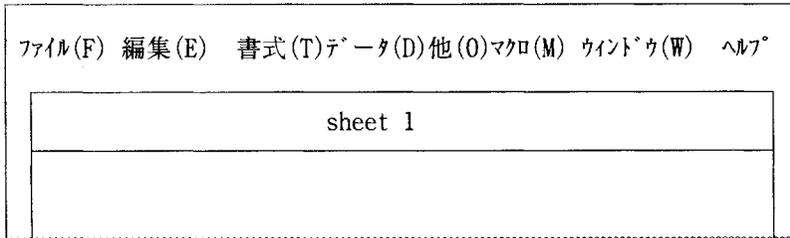
画面表示 3 データが表示される。

- ⑮カーソルをデータの先端に合わせ、GRPHキーとQキーを押す（マクロ命令の開始）。
なお、マクロ命令が途中で終了した場合、カーソルを未処理のデータの先端に合わせ、GRPHキーとQキーを押し、マクロ命令を実行する。
- ⑯マクロ命令が終了したら、データ保存を選択する。
- ⑰Fファイルを選択し、続いてOテキストアウト（CTRL-f 5）、T DOSテキストを選択したのち、リターンキーを押す。
画面表示1 保存文書（DOSテキスト）：
B:DO.CSVを入力し、リターンキーを押す。
画面表示2 保存中 B:¥DO.CSV
- ⑱ガラス室の場合、上記した①から⑦まで同様に実施したのち、DA～DNのうち希望するデータを選択し、⑨～⑭まで同様に操作する。
- ⑲カーソルをデータの先端に合わせ、GRPHキーとCキーを押す（マクロ命令の開始）。
なお、マクロ命令が途中で終了した場合、カーソルを未処理のデータの先端に合わせ、GRPHキーとCキーを押し、マクロ命令を実行する。
1. マクロ命令が終了したら、データ保存を選択する。
 2. Fファイルを選択し、続いてOテキストアウト（CTRL-f 5）、T DOSテキストを選択したのち、リターンキーを押す。
 3. 画面表示1 保存文書（DOSテキスト）：
B:DA～DN.CSVを入力し、リターンキーを押す。
 4. 画面表示2 保存中 B:¥DA～DN.CSV

ロ. エクセルで読む

- ①上記の①から②までの作業を実施し、プログラムマネージャの画面表示からエクセルを選択する。
- ②フロッピーに上記でCSV形式に変換したデータディスクをセットする。
- ③エクセルが起動したら、ファイルを選択する。

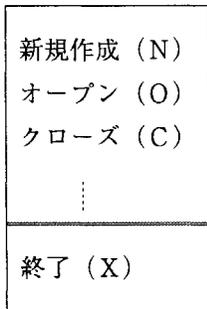
画面表示



- ④マウスでファイル(F)を選択する。

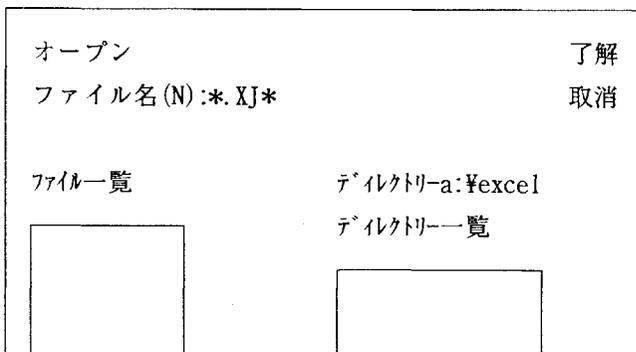
画面表示

作業欄



- ⑤マウスでオープンを選択する。

画面表示



- ⑥ディレクトリ一覧から [-b-] を選択する。

画面表示 1

ファイル名 (N) : b : * . XJ *

b : * . CSVを入力する。

画面表示 2

ファイル一覧 (F)

DO. CSV
DA. CSV
<u>DC. CSV</u>

- ⑦例えば、マウスでDO.CSVを選択する。

画面表示 DO.CSVが黒く変わる。

- ⑧了解キーを選択する。

画面表示

ファイル(F) 編集(E) 書式(T)データ(D)他(O)マクロ(M) ウィンドウ(W) ヘルプ
sheet 1
百葉箱のデータが表示される

ハ. ロータスで読む

- ⑨⑧で表示されたデータをロータス123の形式に変換したい場合、
ファイル(F)を選択し、④で示した作業欄から新規保管を選択する。

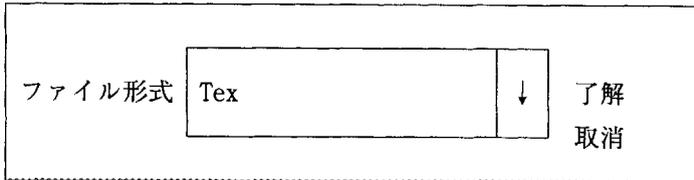
画面表示

ファイル名 (S) : ディレクトリ一覧 (D) オプション
--

⑩ディレクトリ一覧(D)の欄からbを選択する。

⑪続いて、オプションを選択する。

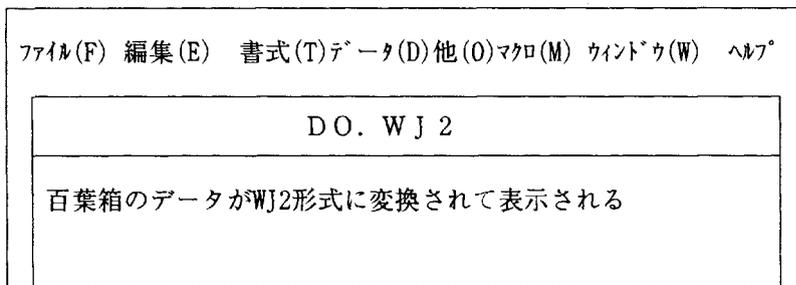
画面表示



⑫↓印を下げると、ファイル形式が変わり、WJ2を選択する。

⑬B:DO.WJ2に設定されたら、了解を選択する。

画面表示



⑭WJ2形式のデータは保管される。

以上、エクセル形式およびロータス形式に変換されたデータを用いてエクセルやロータスでデータ解析を行うことができる。

2. トラブル対応

停電時の対策・・・

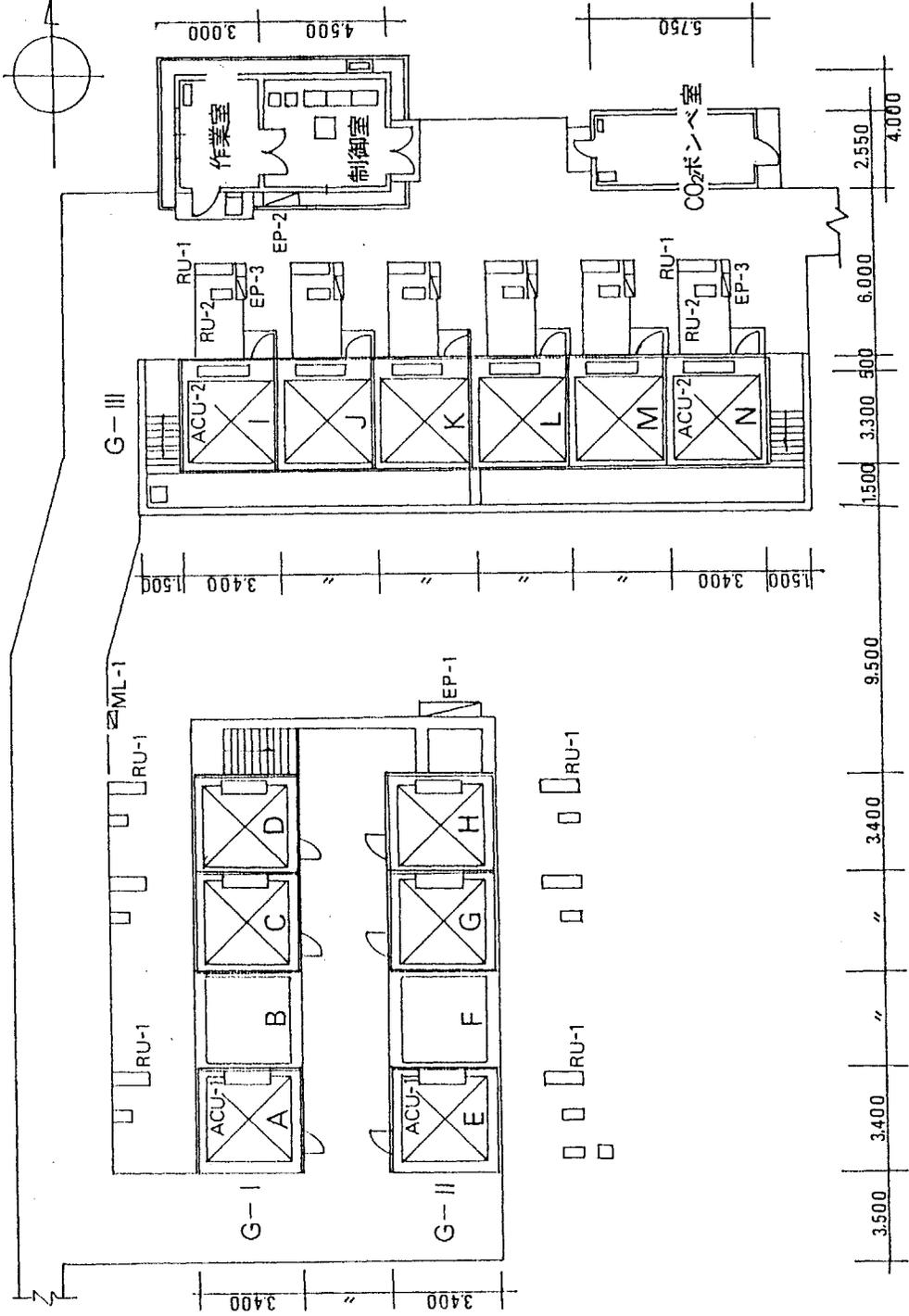
本施設では、瞬間停電対策として無停電電源装置（オムロンBU351）4台を制御・監視コンピュータ及び周辺機器に設置して対処している。したがって、瞬間停電に対しては問題がない。しかし、停電補償時間は約5分である。停電補償時間以上経過し、停電が復帰した場合は、各ガラス室の空調機、送風機、電気ヒータは自然に復帰するが、制御・監視システム（マイクロコンピュータ）は復帰せず、システムダウンとなる。この場合、速やかに制御・監視システムのリセットボタンを押す。リセットボタンが押され制御・監視システムが立ち上がるまで、各ガラス室の温度制御はローカルモードの設定温度に制御されるように設計されている。

あらかじめ停電日がわかっている場合、以下に従ってエコトロンの稼働を停止する。これは、停電復帰後の過電力の負荷を防ぐためである。

《操作法》

- ①ガラス室Ⅰ・Ⅱは、電源盤（EP-1）においてA, C, D, E, G, H室の送風機、冷凍機、ヒータの電源を切る。ガラス室Ⅲは、電源盤（EP-3）Ⅰ～Ⅳの6台で各々の送風機、冷凍機、ヒータの電源を切る。
- ②次に、制御監視室内の制御・監視コンピュータ、CO₂濃度および温度制御システム、計測データ収録システムの主電源を切る。
- ③電気が復旧したら②、①の順に電源を入れ、それぞれのシステムを稼働させる。

資料 1



平面配置図

図37 施設平面配置図

資料2

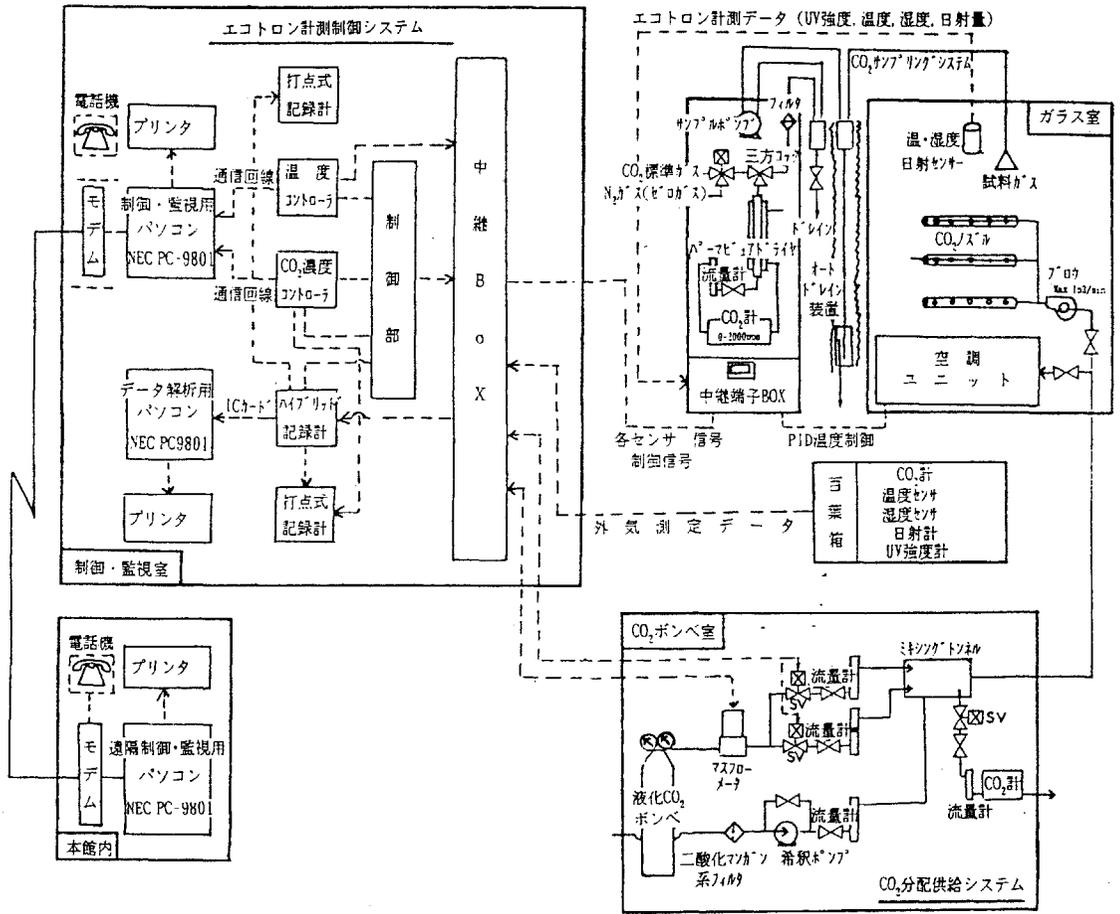


図38 エコトロン計測・制御系統図

MISCELLANEOUS PUBLICATION OF THE NATIONAL
INSTITUTE OF AGRO-ENVIRONMENTAL SCIENCES

No. 18

EDITORIAL BOARD

Chairman

Yosio TAMAKI

Director General

Editors

Jiro HARADA

Director, Department of Research Planning and Coordination

Muneo OKADA

Environmental Research Coordinator

Toshio SAITO

Director, Administration Department

Ken OHTA

Director, Department of Environmental Management

Michio ARARAGI

Director, Department of Natural Resources

Reiichi YOSHINO

Director, Department of Environmental Biology

Masayoshi KOSHINO

Director, Department of Farm Chemicals

農業環境技術研究所資料 第18号 平成7年3月20日印刷 平成7年3月30日発行
発行 農業環境技術研究所 〒305 茨城県つくば市観音台3-1-1 発行者 所長 玉木佳男
電話 0298-38-8186 (情報資料課広報係)
印刷 東日本印刷株式会社 〒305 茨城県つくば市上ノ室283-1

February, 1995

MISCELLANEOUS PUBLICATION
of the
NATIONAL INSTITUTE OF AGRO-ENVIRONMENTAL SCIENCES
No. 18

ECOTRON

THE GLOBAL CHANGE MODELING HOUSE

Takenori YAMAGUCHI, Noriko OURA, Shuji YAMAKAWA
Kunio TAKEZAWA and Michikazu FUKUHARA
DIVISION OF CHANGING EARTH AND AGRO-ENVIRONMENT

THE NATIONAL INSTITUTE OF AGRO-ENVIRONMENTAL SCIENCES
Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305
JAPAN