

特集♣植物研究用環境調節施設／設備例

環境庁国立公害研究所ファイトロンとそのエネルギーの供給システム

相賀一郎*・大政謙次**・松本 茂*

植物研究用環境調節施設の具体例として、環境庁国立公害研究所のファイトロンを例に挙げて、工学的環境調節技術上の特徴および運転のためのエネルギーの供給と管理体制に関する留意点について述べた。

はじめに

環境庁国立公害研究所のファイトロンは、環境政策立案のための基礎資料を得る目的で、昭和50年12月に第1期施設、昭和56年8月に第2期施設が完成した。これらの施設は、世界的にみても最大規模で、かつ最も新しいものである。第1期施設の主要設備としては、自然光形のガラス制御温室、複合大気汚染ガス暴露キャビネットがあり、また、第2期施設の主要設備としては、植物-環境系の解析のためのシミュレータがある。ここでは、これらの設備の概要と、その工学的環境調節技術上の特徴および運転のためのエネルギー供給と管理体制に関する留意点について述べる。

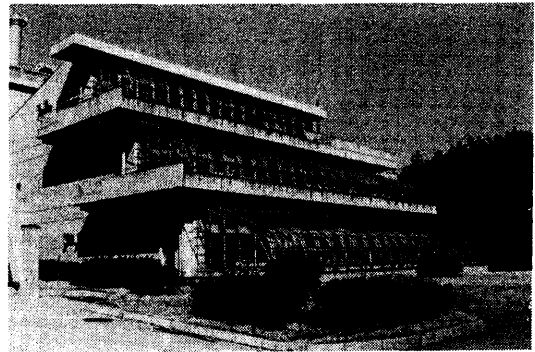
1. 施設の概要

第1期および第2期施設の全景を写真-1に示す。また、図-1に各施設の室配置を示す。第1期施設は、地上3階、塔屋1階(延べ面積3340 m^2)で、各階の南面には、実験植物を供給するための材料提供温室(有効室面積40 m^2 ×3室)、自然光下で温湿度などの環境要因と植物反応の相互関係を試験研究するための実験温室(40 m^2 ×3室)および大気汚染ガスの植物影響を、自然光下で調べるための自然光形キャビネット(4 m^2 ×4台、ダブルチャンパ方式)が立体的に配置されている。本施設内には、さらに、大気汚染ガスの植物影響を人工光下で調べる人工光形キャビネット(4 m^2 ×9台)がある。

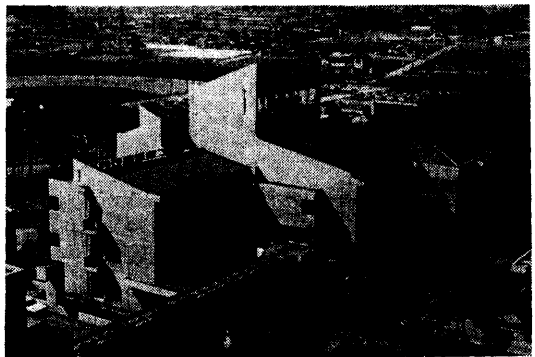
他方、第2期施設は、地上3階、地下1階、塔屋1階

(2090 m^2)である。この施設には、光・大気・土壌についての植物の群落環境を再現し、環境悪化による植物影響や植物の物質輸送現象を植物-環境系として総合的に解析し、植物による環境改善機能の評価に関する研究を行うためのシミュレータ(6 m^2 ×2台)と、人工光下で種類の生育・生理実験をするための人工光形キャビネット(11 m^2 ×3台)がある。

他に、関連施設として、蒸気・冷水などの温冷熱源の供給のためのエネルギーセンターと実験に用いるためのガス貯蔵庫がある。また、各施設は、冷熱源としてのブラインを供給する設備を有している。



(a) 第1期施設



(b) 第2期施設

写真-1 国立公害研究所ファイトロンの全景

* 環境庁国立公害研究所技術部

** 環境庁国立公害研究所技術部 正会員

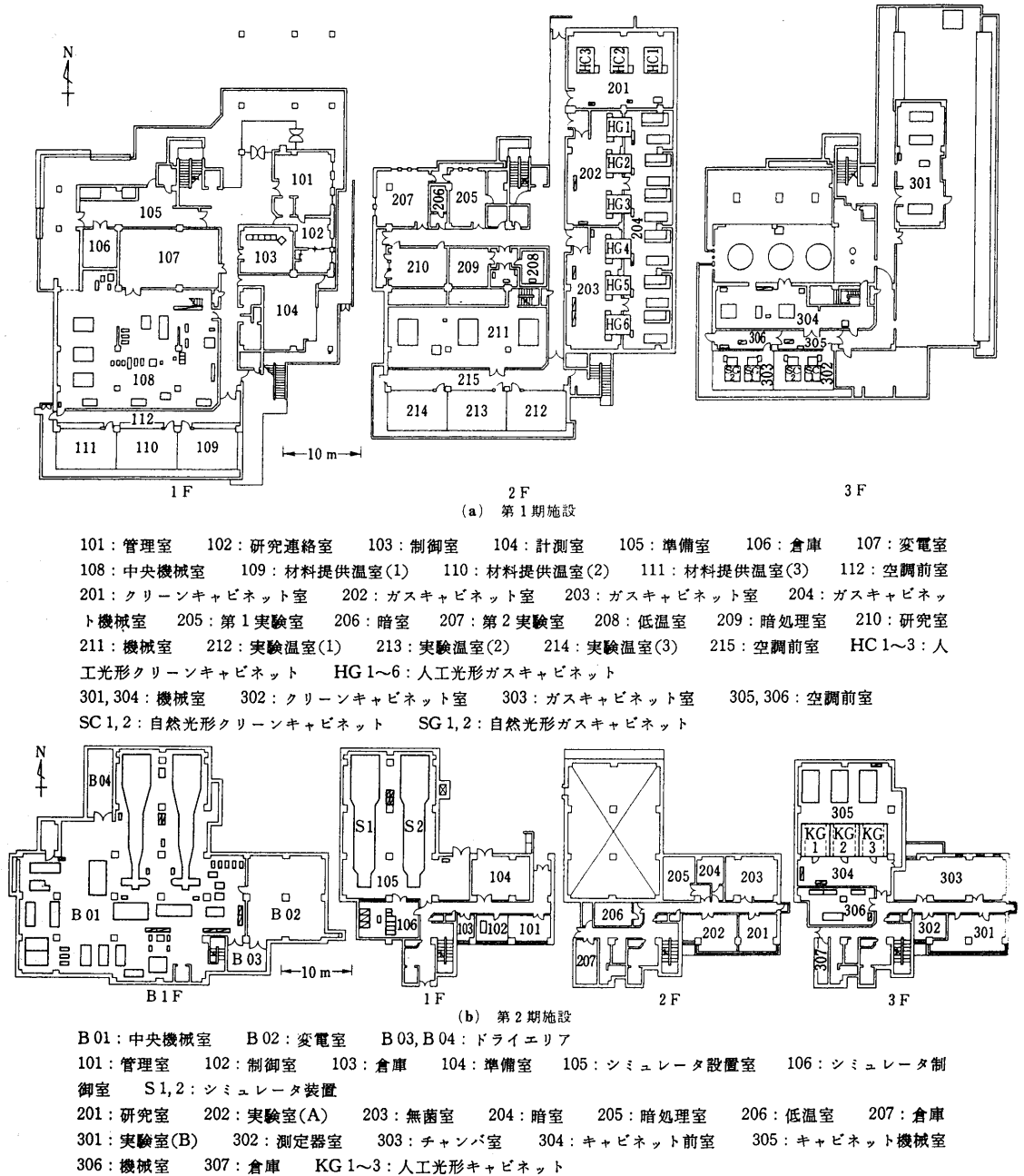


図-1 ファイトトロンの室配置図

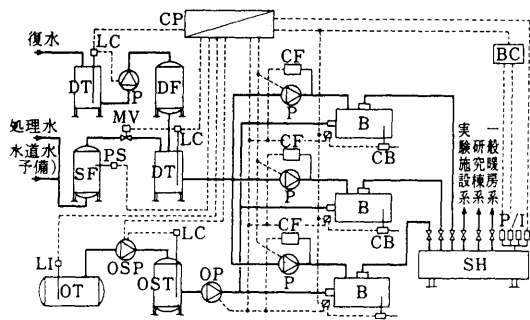
2. エネルギーおよびガスの供給

2.1 エネルギーセンター

当研究所での各施設への温冷熱源の供給は、ラインを除き、エネルギーセンターからの中央集中供給方式を採用している。計画されている施設完成時におけるエネルギーセンターから各施設へ供給されるべき熱源の総量は、温熱源で 1.27×10^7 kcal/h、冷熱源で 8.35×10^8 kcal/h

と推定されている。これらの温冷熱源は、生物系実験施設では、年間を通じて中断することなく安定した供給を、また、理工系実験施設では、変動の大きい間欠的な供給を必要とする。

図-2に、エネルギーセンターの温熱源供給システムの系統図を示す。各施設へ蒸気を供給するためのボイラは、灯油を燃料とする炉筒煙管式である。ボイラ用水は、ドレン回収を行い、用水使用量の低減を図っている。さら



B: ボイラ (5 388 × 10⁴ kcal/h × 3 台) BC: 台数制御装置
 CB: 連続ブロー装置 CF: 連続薬注装置 CP: 中央
 制御室監視盤 DF: ドレンフィルタ DT: 復水槽
 LC: 液面調節計 LI: 液面指示計 MV: 電動弁
 OP: 油圧送ポンプ OSP: 油供給ポンプ OST: 油
 サービスタンク OT: 油貯蔵タンク P: 給水ポンプ
 P/I: 圧力変換器 PS: 検水圧力スイッチ SF: 軟水
 装置 SH: 蒸気ヘッダ

図-2 エネルギーセンターの温熱源供給システム

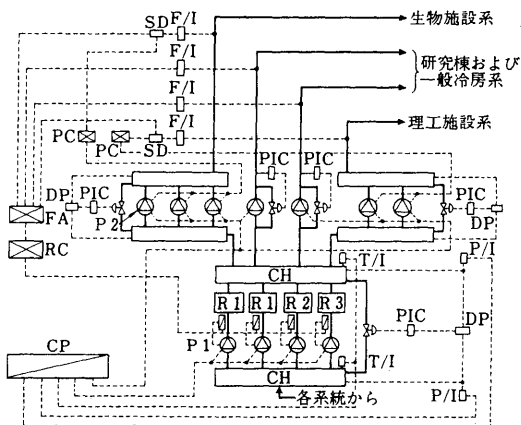
に、実験排水を再処理利用し、軟水装置の負荷軽減を図っている。また、各ボイラは、負荷の変動に対処するため、圧力設定による台数制御を行っている。各研究施設への供給圧力は 5 kg/cm² であるが、各施設では、熱交換あるいは減圧されて利用されている。

図-3 に、エネルギーセンターの冷熱源供給システムの系統図を示す。電動遠心冷凍機 3 台および蒸気吸収冷凍機 1 台が設置され、各施設へ冷水を供給している。負荷変動に対処するため、冷水系内は循環密閉式であり、冷水流量による台数制御を行っている。これらの冷凍機の冷却水は、先に述べたボイラ用水同様、排水処理水の利用によって pH および電導度の管理を容易にしている。各施設への供給冷水温度は 7°C である。

2.2 ファイトロンにおけるエネルギーの供給システム

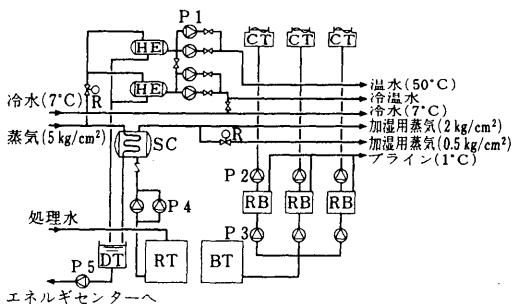
ファイトロンの中央機械室では、エネルギーセンターから供給される蒸気および冷水を利用目的に応じて処理するとともに、自然光形のガラス制御温室、キャビネットおよび植物-環境系の解析のためのシミュレータなどの冷熱源としてのブラインを供給する。

図-4 に、ファイトロンの温冷熱源供給システムの例として第 2 期施設の系統図を示す。エネルギーセンターから供給された蒸気は、熱交換器によって温수에熱交換され、温熱源として、シミュレータあるいはキャビネットに供給される。加湿用蒸気は、植物に有害な物質を含まない処理水を原水として、スチームコンバータで 2 kg/cm² の蒸気を発生させて作られ、シミュレータに供給される。また、0.5 kg/cm² に減圧されてキャビネットに供給される。冷熱源としては、エネルギーセンターからの冷



CH: 冷水ヘッダ CP: 中央制御室中央監視盤 DP: 差圧発信器 FA: 流量加算器 F/I: 流量変換器
 P1: 一次冷水ポンプ (4 050 l/min × 2 台, 10 000 l/min × 2 台) P2: 二次冷水ポンプ (1 870 l/min × 3 台, 3 410 l/min × 2 台, 870 l/min × 1 台, 2 350 l/min × 1 台) PC: 二次冷水ポンプ台数制御装置 P/I: 圧力変換器
 PIC: 圧力指示調節計 R1: 遠心冷凍機 (400 USRt × 2 台) R2: 遠心冷凍機 (1 000 USRt) R3: 吸収冷凍機 (1 000 USRt) RC: 台数制御装置 SD: 信号分配器
 T/I: 温度変換器

図-3 エネルギーセンターの冷熱源供給システム



BT: ブライン槽 CT: 冷却塔 DT: 復水槽
 HE: 熱交換器 (369 000 kcal/h × 2 台) P1: 温水泵
 P2: 冷却水ポンプ P3: ブラインポンプ P4: 給水
 ポンプ P5: 復水ポンプ R: 減圧弁 RB: ブライン
 冷凍機 (244 000 kcal/h × 3 台) RT: 処理水槽
 SC: スチームコンバータ (683 kg/h)

図-4 第 2 期施設の温冷熱源供給システム

水のほかに、温温度の制御範囲が広いシミュレータやキャビネットのために、ブライン冷凍機 3 台が設置されている。ブライン供給システムは、蓄熱槽を設けて四季や実験目的によって変動する負荷を吸収するとともに、蓄熱槽内の温度を検出し、台数制御を行っている。なお、シミュレータやキャビネットの温湿度は高い制御精度を要求されるため、供給温冷熱源の制御方式は、装置側での対応を含めて十分に配慮されている。その結果、温水を ±0.1°C、ブラインを ±0.1°C、蒸気を ±0.1 kg/

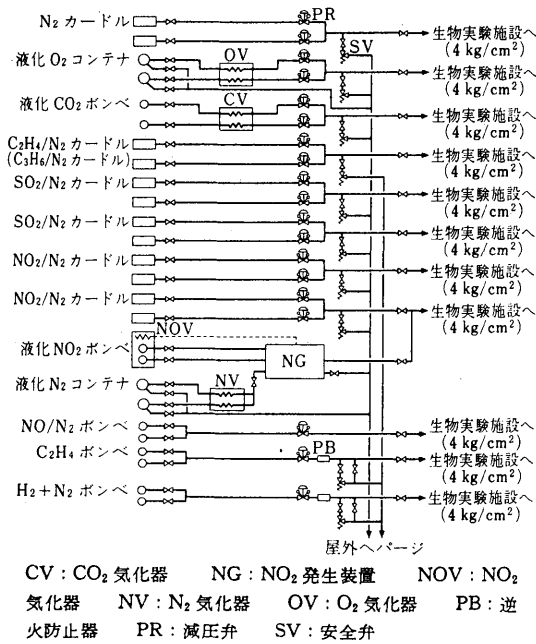


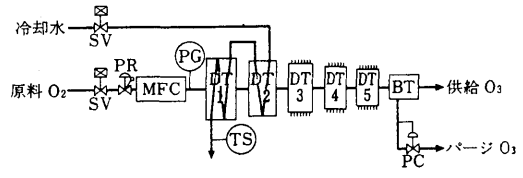
図-5 ガス供給システム系統図

cm²の精度で供給することができる。

2.3 ガス供給システム

生物系実験施設で使用される大量の実験用ガスを貯蔵し、安定した供給を行うためにガス貯蔵庫が設けられている。図-5に、ガス貯蔵庫内のガス供給システムの系統図を示す。植物に対する汚染ガス暴露実験に使用される操作ガスは、実験の信頼性を増すために特に配慮される必要がある。当研究所では、SO₂、NO₂、NO、HC(C₂H₄、C₃H₈)などのガスについては、既知の濃度でかつ等級の高いボンベ詰めガスを用いている。貯蔵容器は、使用量や貯蔵状態などに応じて、ボンベ(47 l)、カードル(47 l × 10本)、コンテナ(175 l)などが選択される。各供給ガスラインには、昼夜に関係なく行われる連続的な実験に対処するため、2系統の容器が取り付けられ、容器内残存量に応じて、自動切替えがなされる。なお、NO₂については、液化NO₂をN₂で希釈して供給することも可能である。

他方、ポンベ供給のできないO₃については、貯蔵庫からのO₂を原料として無声放電を利用したO₃発生器によって供給される。図-6に、O₃発生器の系統図を示す。無声放電方式によるO₃発生濃度が変動する主な原因としては、供給されるO₂の流量の変化、放電管内の圧力変化、放電電圧の変化などが考えられる。そこで本装置では、O₃流量は質量流量計を用いて、放電管内の圧力は上流圧制御弁を用いて、そして放電電圧は、一次側に安定化電源を入れることによって対処している。以上



BT: パッファタンク DT: 放電管 MFC: 質量流量計 PC: 上流圧制御弁 PG: 圧力計 PR: 圧力調整弁 SV: 電磁弁 TS: 温度リミッタ

図-6 O₃発生器系統図

の処置によって、安定した一定濃度のO₃供給が可能である。なお、供給O₃の濃度は、容量の異なる放電管の組合せと各放電管の一次電圧の調節によって任意に選択できる。

そのほかの操作ガスとしてCO₂があるが、実験のガス濃度が高濃度であるため、気化装置で液化CO₂を気化することによって対処している。

2.4 管理システム

ファイトトロンは、昼夜連続稼働形であり、数箇月の連続実験に対処しなければならないので、設備の設計・保守および運転管理についての配慮が必要である。

設備についてはまず、特高変電所を2回線受電とし、落雷などの不時の事故に対処している。また、商用電源の停電を考慮して自家発電機を設置し、施設動力のすべてと一般照明の1/3を確保している。また、ボイラ・冷凍機などの負荷変動に対応した運転管理を厳密に行うことによって、予備機が準備された状態に保たれる。ポンプ系統のように、故障頻度が高いものについては、2系列の設備を用意している。

運転管理は、日常監視と点検および修理に分けられる。監視は、中央制御盤に、動力系統と各制御系統におけるブザーとランプによる異常警報として集中している。異常時には、各所における制御盤の警報を追究ことによって、故障箇所が発見できる。また、随所で、蒸気圧力・冷水圧力・冷水温度・ブライン温度・ガス漏れ・ガス濃度などについての監視を行っている。機器の点検については、項目を毎時・日・週・月・6箇月および1箇年に分けて実施している。法規上の点検記録もこれに含めている。さらに、年1回のオーバーホールを行い、不時の修理とともに機器の正常運転を維持している。また、各環境調節装置の制御機器の調整は、随時行っている。大気汚染ガスの濃度制御については、特に、センサとして用いる各種分析計を中心に、制御機器の常時点検を行っている。

3. 自然光形ガラス制御温室

第1期施設の自然光形ガラス制御温室の全景は、

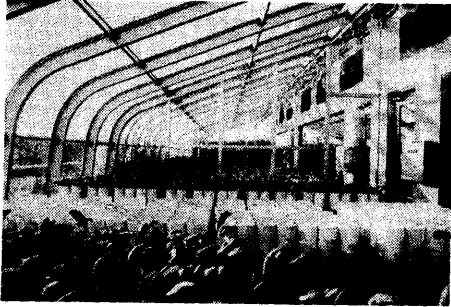


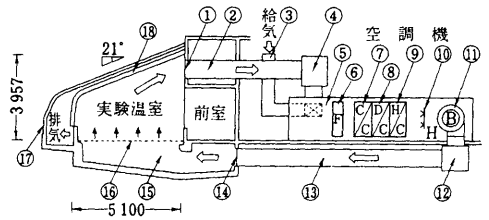
写真-2 実験温室内の概観

表-1 実験温室の基本性能

項目	性能	
温度	制御範囲	昼 15~35°C 夜 10~30°C
	精度	±1°C 以内
	分布	±2°C 以内
湿度	制御範囲	50~70% RH
	精度	±3% RH 以内
	分布	±6% RH 以内
風速	平均風速	0.5 m/s
	分布	±0.35 m/s 以内
新鮮空気取入れ量		500 m³/h

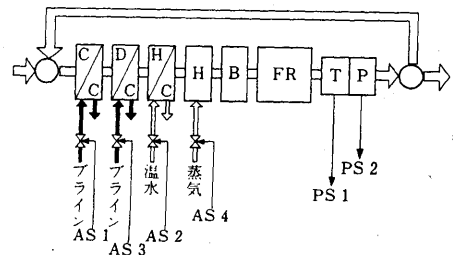
真-1 に示した。自然光形の設備においては、光量は自然界のそれに近付けることが望ましい。それゆえ、各室は南面に面しており、太陽からの光が効率良く入る構造になっている。実験温室や材料提供温室は、側面ガラスによって光透過性が悪くなる領域が、室の全面積に占める割合を小さくするために、室面積を 40 m² と、この種の設備としては比較的大きく設計されている。また、温湿度の空間分布を良くするために、入口側壁面をガラスにし、空調された前室を設けている。さらに、必要に応じてペアガラスを使用することによって、ふく射や熱伝達の影響を最小限にとどめるように配慮されている。

上記の自然光形の設備の中で、温湿度および風速などに関する空調の諸条件が最も考慮されて設計されているのは実験温室である。表-1 に、この設備の基本性能の一覧を示す。また、写真-2 に室内の概観を、図-7 に構成を示す。設備内の空気の流れについてみると、実験温室から循環してきた空気は、還気チャンパを通して混合箱で新鮮空気と混合される。さらに、フィルタでじんあいが除去された後、熱交換器や加湿器などの空調機で適切な温湿度に調節され、送風機によって送風ダクトを通して実験温室の床面から吹き出される。床には、地下チャンパが設けられ、床面の多孔板と合わせて、床全面

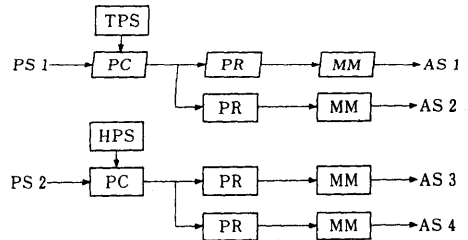


- ① 吸込み口 ② 還気ダクト ③ 新鮮空気ダクト
- ④ 還気チャンパ ⑤ 混合箱 ⑥ フィルタ ⑦ 冷却コイル
- ⑧ 除湿コイル ⑨ 加熱コイル ⑩ 蒸気噴射ユニット
- ⑪ 送風機 ⑫ 送気チャンパ ⑬ 送気ダクト
- ⑭ 吹出し口 ⑮ 地下チャンパ ⑯ 床全面吹出し口
- ⑰ 移動はしご ⑱ 飛来防止アクリル板

図-7 実験温室の構成



(a) 空気の流れを示す系統図



(b) 信号の系統図

- B: 送風機 C/C: 冷却コイル D/C: 除湿コイル
- FR: 実験温室 H: 蒸気噴射ユニット H/C: 加熱コイル
- T: 温度検出器 P: 湿度検出器 HPS: 湿度設定器 MM: モジュトルローモータ PC: PID 調節計
- PR: プロポーションングリレー TPS: 温度プログラム信号発信器

図-8 実験温室の温湿度制御システムの系統図

から均一に吹き出すように考慮された構造設計になっている。また、天井ガラスのこう配、吸込み口の位置などを含めて、室内の風速および温湿度の分布、外側ガラス面からの熱伝達などの影響を考慮した室設計がなされている。なお、屋根には、夏期における日射による室内への熱負荷を減らすために散水装置が設置されている。

図-8 に、この設備の温湿度制御システムの系統図を示す。混合箱内に設置された温度あるいは湿度検出器からの検出信号を、目標値との偏差に基づいて指示調節計によって PID 演算し、その演算結果を制御動作信号として、プロポーションングリレーを介して、熱交換器や加

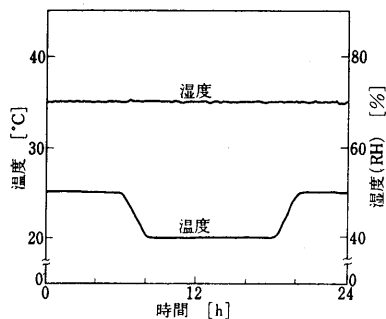


図-9 実験温室の温湿度プログラム制御の例

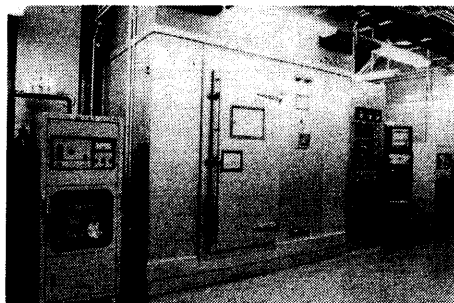


写真-3 人工光形ガス暴露キャビネットの概観

湿器のモジュールモータの開度を調節し、温湿度制御を行う。室の温湿度状態は、実験目的に応じて任意に選ぶことができ、さらに温度については、日変化を含めた任意のプログラム制御が可能ないようにプログラムコントローラが付加されている。図-9に、温湿度のプログラム制御の例を示す。過渡状態をも含めて、温湿度をそれぞれ、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 3\%$ RH 以内の精度で制御することが可能である。

4. 複合大気汚染ガス暴露キャビネット

前述したように、第1期および第2期の施設内には、人工光形あるいは自然光形の各種キャビネットがある。ここでは、当研究所における特徴的な装置である人工光形ガス暴露キャビネットについて述べる。

写真-3に、ガス暴露キャビネットの概観を示す。また表-2に、この装置の基本性能の一覧を示す。この装置の特徴は、複合状態で環境基準値前後のガス濃度を長期間維持し、温湿度・光などの環境要因も含めて、汚染ガスの植物影響を解析できる点にある。

図-10に、装置の構成を示す。この装置は、新鮮空気処理装置、植物のガス暴露実験室であるグロースキャビネットおよび排気処理装置で構成される。換気用新鮮空気は、外気を新鮮空気処理装置内の空調機、活性炭・マンガン両フィルタなどを通して取り入れる。換気回数は、D1~4のダンパによって調節でき、装置内で発生す

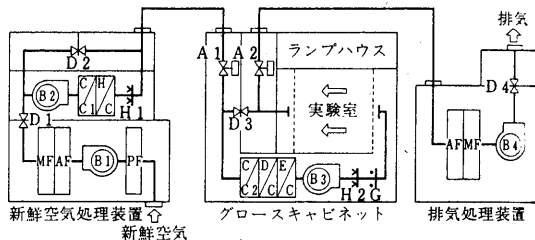


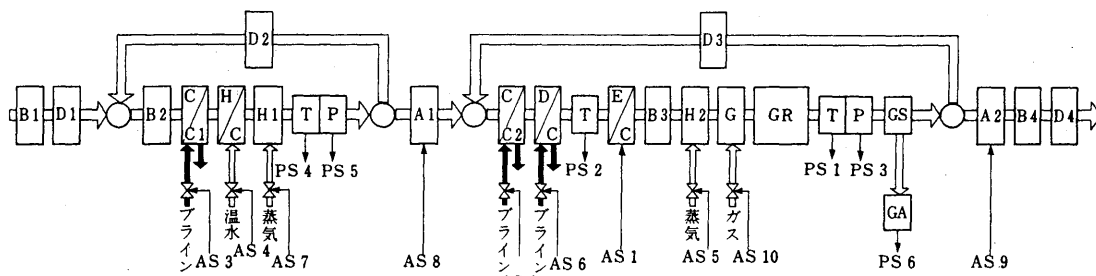
図-10 人工光形ガス暴露キャビネットの構成
A: 自動ダンパ AF: 活性炭フィルタ B: 送風機
C/C: 冷却コイル D: 手動ダンパ D/C: 除湿コイル
E/C: 電気加熱コイル G: ガス噴射ユニット H: 蒸気噴射ユニット MF: マンガンフィルタ PF: プレフィルタ

表-2 人工光形ガス暴露キャビネットの基本性能

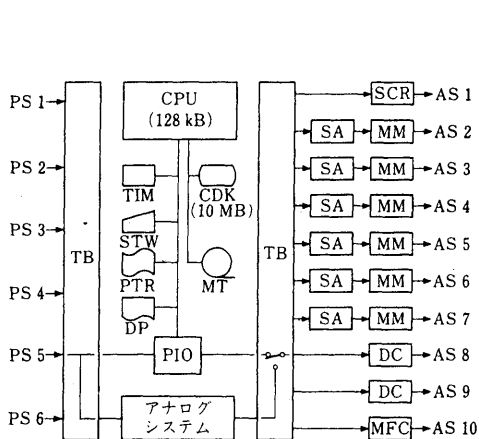
項目	性能	
温度	制御範囲	15~40°C
	精度	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内
	分布	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 以内
湿度	制御範囲	50~80% RH
	精度	$\pm 1\%$ RH 以内
	分布	$\pm 2\%$ RH 以内
ガス濃度	制御範囲	表-3の分析計レンジを参照
	精度	SO ₂ ± 3.2 ppb, 設定値 0.05 ppm NO ₂ ± 0.6 ppb, 設定値 0.05 ppm O ₃ ± 0.2 ppb, 設定値 0.01 ppm CO ₂ ± 1.4 ppm, 設定値 450 ppm HC ± 10 ppb, 設定値 0.2 ppm
風速	平均風速	0.2 m/s
	分布	± 0.1 m/s 以内
光量	最高 40 klx (4段切替え)	
新鮮空気取入れ量	0~2 800 m ³ /h	

る反応生成物を除去するために、0~280回/hまで可変である。

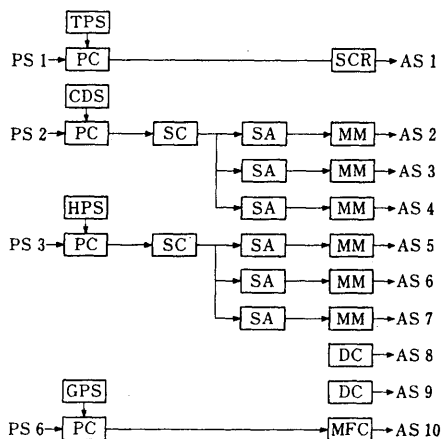
図-11に、この装置の制御システムの系統図を示す。このシステムは、電算機制御とそのバックアップとしてのアナログPID調節計による制御が可能である。温湿度制御についてみると、外気をフィルタを通して取り入れた後、外気の変化に伴う空調負荷分だけ操作し、さらに循環してきた空気と混合し、キャビネット内の冷却および除湿器で一度冷却除湿ベースを作り、最終的に外乱や目標値変化に対して追従性の良い電気ヒータと、蒸気加湿による加熱加湿操作で制御するシステムである。他方、ガス濃度制御についてみると、先に述べたガス貯蔵庫あるいはO₃発生器からの供給ガスが、電算機あるいはアナログ調節計からの指示に従って、質量流量調節弁



(a) 空気の流れを示す系統図



(b) 電算機制御システムの系統図



(c) アナログバックアップ制御システムの系統図

A: 自動ダンパ B: 送風機 C/C: 冷却コイル D: 手動ダンパ D/C: 除湿コイル E/C: 電気加熱コイル G: ガス噴射ユニット GA: ガス分析計 GR: 実験室 GS: ガスサンプリング装置 H: 蒸気噴射ユニット P: 湿度検出器 T: 温度検出器 CDK: カートリッジディスク装置 CPU: 中央演算処理装置 DC: ダンパコントローラ DP: ドットプリンタ MFC: 質量流量計 MM: モジューロールモータ MT: 磁気テープ装置 PIO: プロセス入出力インタフェース PTR: 紙テープ読取り装置 SA: サーボアクチュエータ SCR: サイリスタ電力変換器 STW: システムタイプライタ CDS: 冷却除湿コイル出口温度設定器 GPS: ガス濃度設定器 HPS: 湿度設定器 PC: PID 調節計 SC: 信号変換器 TPS: 温度設定器

図-11 人工光形ガス暴露キャビネットの制御システムの系統図

表-3 運転実績から求めたガス分析計の性能

	NO・NO ₂	SO ₂	O ₃	CO ₂	HC
測定原理	ケミルミネッセンス法	パルス蛍光法	ケミルミネッセンス法	非分散形赤外線検出法	FID法
レンジ [ppm]	0.05~10.0	0.1~10.0	0.01~2.0	500~20 000	1~50
ノイズ [ppb]	2	4	0.5	1 ppm	10
ゼロドリフト [ppb/d]	±0.25	±1.0	±0.4	±1 ppm/d	±20
スパンドリフト [ppb/d]	±0.5	±1.0	±0.5	±2 ppm/d	±20
立上り時間 [min]	2.0	3.5	1.0	0.1	0.1

- 注 1) ノイズおよびドリフトは、分析計最小レンジでの値である。
 2) O₃の測定値は、校正用 O₃発生器を含めた値である。
 3) サンプルガスは、恒温除湿処理された後、分析される。

量によって調節操作される。低濃度のガスを高精度に自動制御する場合、検出部として用いるガス分析計を、信頼性・応答性・検出感度の面から検討する必要がある。表-3に、運転実績から求めたガス分析計の性能を示す。分析計の校正は、校正用の標準ガスを質量流量計によって標準空気で希釈する方式で常時行っている。図-12

に、複合汚染の状態におけるガス濃度のプログラム制御の例を示す。

つぎに、この装置の人工光源について述べる。太陽光は、時々刻々変化するもので、実験の再現性を得るためには、人工光源を用いる必要がある。現在市販されているランプのうち、キセノンランプおよび特殊なメタルハラ

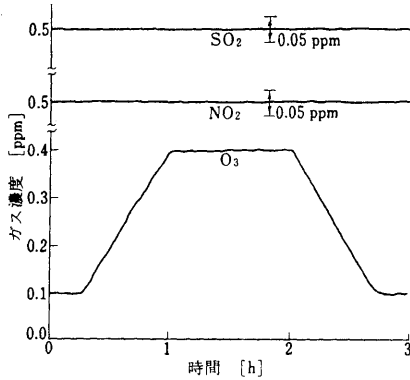
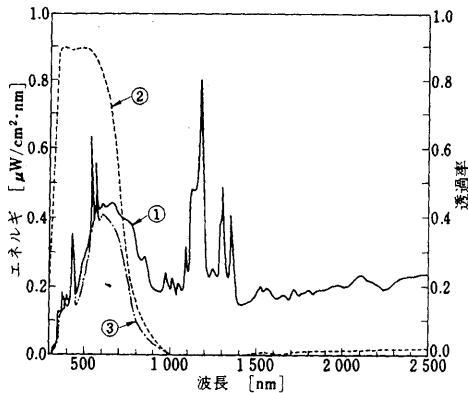


図-12 人工光形ガス暴露キャビネットにおける複合ガスのプログラム制御の例



① メタルハライドランプ(陽光ランプ)の特性
② 熱線カットフィルタの特性 ③ 実験室内の光の特性

図-13 人工光源のスペクトル特性

イドランプのスペクトルは、可視光線域で太陽光のスペクトルに近似している。ここでは、ハロゲン化スズの発光スペクトルを利用したメタルハライドランプを用いている(400 W×24 灯)。そして、赤外線域は、植物の生育に不必要であり、植物温度を異常に上昇させる原因になるので、これを防止するために酸化鉄を含むリン酸ガラスを、熱線カットフィルタとして用いている。図-13に、フィルタの分光透過率曲線、フィルタの有無による光源のスペクトル特性を示す。フィルタによって、赤外線は大部分除去される。なお、キャビネット内壁面は、光量を稼ぐためにステンレス鋼が用いられている。また、ランプハウス内は、ランプ保護のため30°C前後に空調されている。

5. 植物-環境系の解析のためのシミュレータ

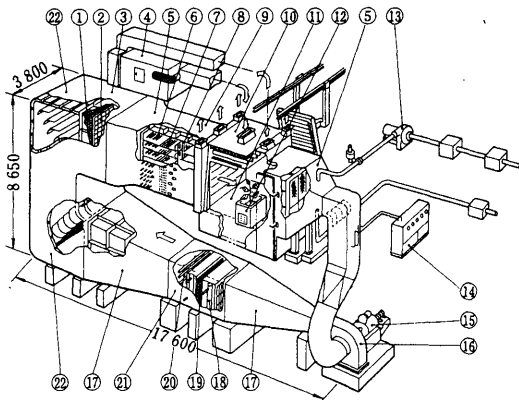
植物-環境系の解析のためのシミュレータの概観を写真-4に、また、この装置の基本性能の一覧を表-4に示す。この装置の特徴は、光-大気-植物群落-土壌系とし



写真-4 植物-環境系の解析のためのシミュレータの概観

表-4 シミュレータの基本性能

項	目	性 能	
大 気 環 境	温 度	制御範囲	10~35°C
		精 度	±0.1°C 以内
		分 布	±0.3°C 以内
		成 層	10 段、実験室内の温度差が10°C 以内
	湿 度	制御範囲	30~80% RH
		精 度	±0.1°C 以内(露点)
		分 布	±0.2°C 以内(露点)
		成 層	10 段、実験室内の湿度差が50% RH 以内
	風 速	制御範囲	0.1~2.7 m/s
		精 度	±0.1% FS 以内(送風機回転数)
		分 布	±3% 以内
		乱 れ度	3% 以内
ガ ス 濃 度	成 層	10 段、実験室内の最高風速が最低風速の8倍以内	
	精 度	表-3 の分析計のレンジを参照 SO ₂ ±3.2 ppb, 設定値 0.05 ppm NO ₂ ±0.6 ppb, 設定値 0.05 ppm O ₃ ±0.2 ppb, 設定値 0.01 ppm CO ₂ ±1.4 ppm, 設定値 450 ppm HC ±10 ppb, 設定値 0.2 ppm	
光 環 境	光 量	制御範囲 4~60 klx(初期値) 精 度 ±0.1% FS 以内(SCR 出力) 分 布 ±10 klx(60 klx の場合)	
	土 環 境	温 度	制御範囲 -5~35°C(ブライン温度) 精 度 ±0.1°C(ブライン温度)
		新 鮮 空 気 取 入 れ 量	制御範囲 50~250 m ³ /h 精 度 ±2 m ³ /h



- ① 整流金網 ② 整流格子 ③ 整流胴 ④ ランプハウス空調機 ⑤ 縮流胴 ⑥ 湿度成層蒸気噴射ユニット
⑦ 温度成層ヒータ ⑧ 速度成層格子 ⑨ 成層装置
⑩ ソーラシミュレータ ⑪ 実験室 ⑫ 土壌環境制御装置
⑬ 給気用送風機 ⑭ ガス供給パネル ⑮ 直流電動機
⑯ 主送風機 ⑰ 拡散胴 ⑱ 冷却コイル ⑲ 加熱コイル
⑳ 蒸気噴射ユニット ㉑ 主空調機 ㉒ 屈胴曲

図-14 シミュレータの構成

ての植物群落環境を再現できる点にある。特に、植物の群落環境を再現するために、高さ方向の温度・湿度および風速の分布を変えることのできる成層装置を有している。また、光環境についても、光量や光質を任意に変えることができる。

図-14に、装置の構成を示す。回流式微風速風洞の下部に主空調機が内蔵され、風洞上部には速度成層・温度成層および湿度成層装置が取り付けられている。また、風洞上部には実験室があり、その上面と側面には、光量および光質が自動制御できるソーラシミュレータがある。実験室下面には、土壌環境制御装置が設置されている。装置内の空気の流れについてみると、実験室から循環してきた空気は、縮流胴を通して主送風機に至る。その際、新鮮空気処理装置を通った外気と操作供給された汚染ガスが混合される。さらに、主送風機から送り出された空気は混合され、拡散胴を通して主空調機に至る。主空調機では、温湿度成層を作るのに必要なベースの温湿度状態が作られ、さらに、拡散胴・屈胴曲を通して、整流胴に至る。整流金網・整流格子を取り付けた整流胴および縮流胴(縮流比1/2)によって、整流された流れを作り、湿度成層・温度成層・速度成層の順に並べられた成層装置を通して実験室に還流する。成層装置は、湿度が蒸気加湿、温度が電気ヒータ、風速が速度成層格子によって作られる。湿度・温度・速度の順に並べたのは、蒸気加湿によるミストの飛散を防ぐためと、速度成層装置によって作られる成層を崩さないためである。

図-15に、この装置の制御システムの系統図を示す。

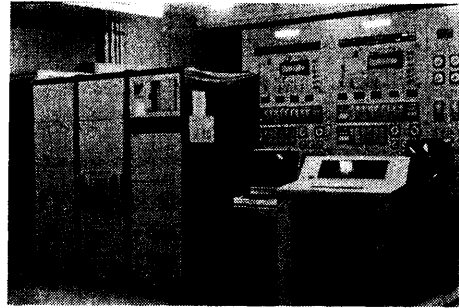


写真-5 シミュレータ制御室の概観

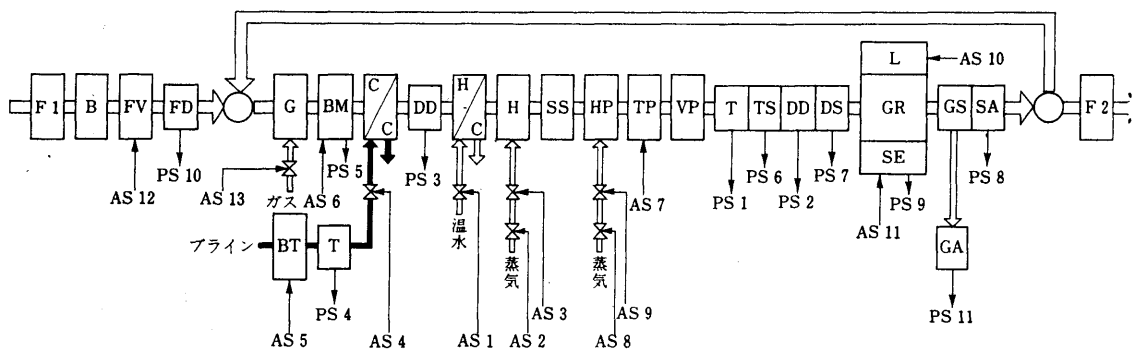


写真-6 シミュレータの実験室内の概観

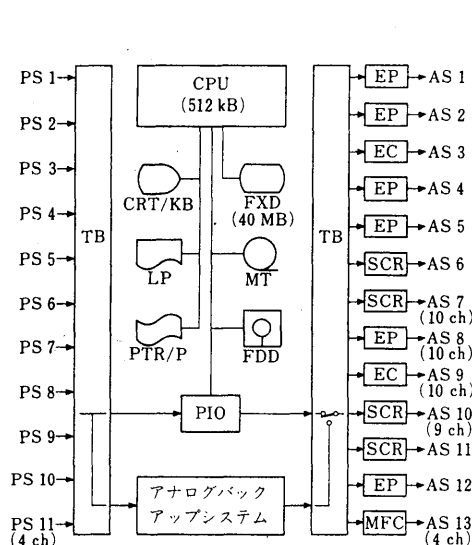
また、写真-5に計装の概観を示す。このシステムでは、電算機制御とそのバックアップとしてのアナログPID調節計による制御が可能である。電算機制御の導入によって、成層制御やソーラシミュレータの制御に必要な高度の制御アルゴリズムの開発が可能である。

具体的に、温湿度制御についてみると、先に述べたように、主空調機によって成層を作るために必要な状態に温湿度を下げ、成層装置の加温加湿によって成層が作られる。成層装置は、10段に分かれており、それぞれ独立に電算機からの信号によって制御が可能で、任意の温湿度分布を得ることができる。成層装置について詳述すると、温度成層装置は、各段12本の電気ヒータを気流と直角方向に配列し、均一な熱交換特性を有するように考慮されている。また、湿度成層装置は、蒸気噴射ノズルを各段28個設け、これらのノズルを4段のヘッドに取り付け、0.8~12 kg/hの蒸気噴射量の連続可変を可能にしている。図-16に、これらの成層装置を用いて、温度および湿度成層を生成した例を示す。

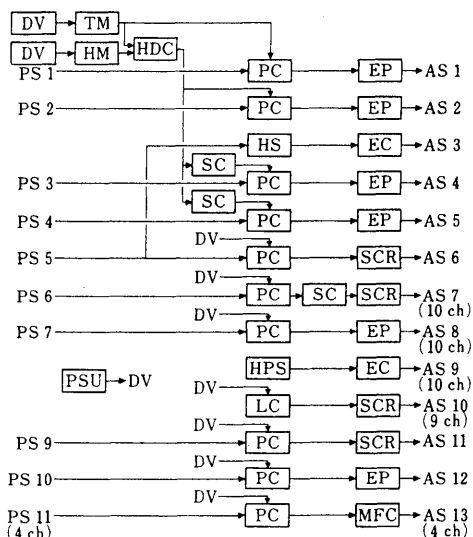
つぎに、風速制御についてみると、主送風機によって成層を作るのに必要な風速状態にした後、速度成層装置によって任意の成層を作ることができる。速度成層装置も10段に分かれており、各段に開口平均50%のスリットを加工した板を各3枚設け、このうち2枚を手動でスライドさせ、投影開口率を0~50%に変化させることによって、任意の速度成層を作ることができる。現



(a) 空気の流れを示す系統図



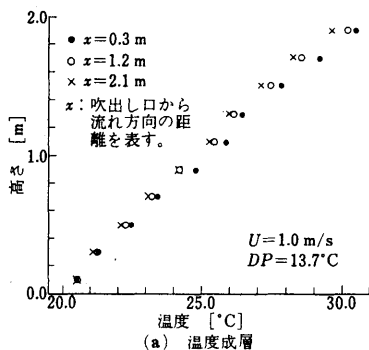
(b) 電算機制御システムの系統図



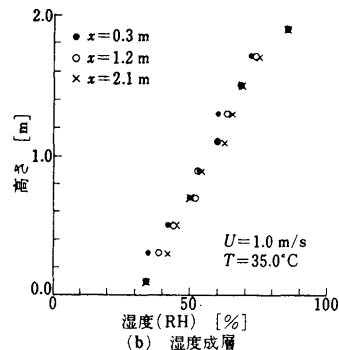
(c) アナログバックアップ制御システムの系統図

B: 給気用送風機 BM: 主送風機 BT: ブライン温度制御装置 C/C: 冷却コイル DD: 露点検出器
 DS: 湿度成層露点検出器 F: フィルタ FD: 給気流量検出器 FV: 給気流量制御弁 G: ガス噴射ユニット GA: ガス分析計 GR: 実験室 GS: ガスサンプリング装置 H: 蒸気噴射ユニット
 H/C: 加熱コイル HP: 湿度成層装置 L: 蛍光灯 SA: 光量光質検出器 SE: 土壌環境制御装置
 SS: 整流胴 T: 温度検出器 TP: 温度成層装置 TS: 温度成層温度検出器 VP: 速度成層装置
 CPU: 中央演算処理装置 CRT/KB: コンソールディスプレイ EC: 電圧接点出力変換器 EP: 電空変換器
 FDD: フロッピディスク装置 FXD: 固定ディスク装置 LP: ラインプリンタ MFC: 質量流量計
 MT: 磁気テープ装置 PIO: プロセス入力出力インタフェース PTR/P: 紙テープ読取りせん孔装置
 SCR: サイリスタ電力変換器 HDC: 相対湿度露点変換器 HM: 湿度設定器 HPS: 湿度成層蒸気噴射ユニットセレクト
 HS: 蒸気噴射ユニットセレクト LC: ソーラ制御装置 PC: PID調節計 PSU: プログラム信号発信器
 SC: 信号変換器 TM: 温度設定器

図-15 シミュレータの制御システムの系統図



(a) 温度成層



(b) 湿度成層

図-16 温度成層および湿度成層の例

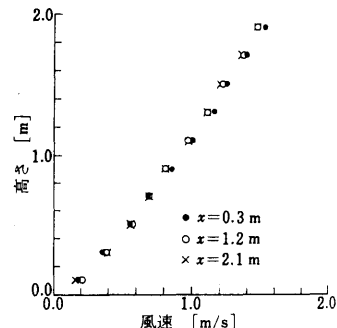


図-17 速度成層の例

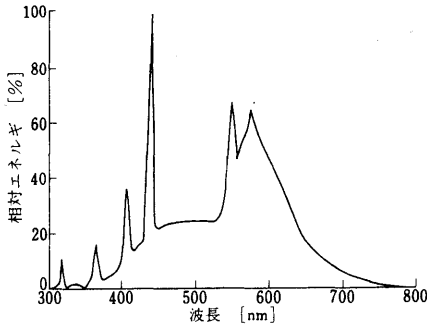


図-18 白色蛍光灯のスペクトル特性

在、速度成層についても、自動制御手法の検討を行っている。図-17に、この成層装置を用いて、速度成層を生成した例を示す。

つぎに、光環境制御のためのソーランシミュレータについてみると、光量および光質の制御は、種々のスペクトルで発光する蛍光灯(110 W×224 灯)を装備し、SCRによる電力の出力制御によって行う方式である。写真-6に、実験室内の概観を示す。蛍光灯の制御系列は、上面6系統、側面3系統に分割し、各系統ごとに独立して出力制御ができるようになっている。図-18に、白色蛍光灯のスペクトル特性を示す。蛍光灯の管表面の蛍光塗料は、種々さまざまなものが開発されており、必要に応じて注文生産してくれるので、実験目的に応じて任意に選択することができる。光質の制御は、これらの有色蛍光灯の組合せとその光量制御によって行う。ランプハウス内の温度は、蛍光灯の発光効率に影響するので、この装置ではランプハウス用空調機を装備して、蛍光管の管壁温度が最適になるように自動制御している。

最後に、土壌環境制御装置について述べる。土壌環境制御装置は、 $0.6 W \times 0.9 D \times 1.2 H m^3$ のキャリア付き可搬ユニットで、実験室に6台設置される。この装置は、土壌容器の周辺にブライン層を設け、土壌温度をブライン温度の設定によって制御する方式である。また、土壌水分の調節のために、自動かん水装置を設けている。土壌水分の制御は、今後の装置開発上の課題である。

おわりに

植物の生育動態と環境要因の因果関係を解明することを目的とした植物研究用環境調節施設には、空調技術を基本として種々の技術が取り入れられている。新しい技術が取り入れられることによって、植物についての新しい知見が増加し、環境科学・農学などの種々の応用分野に取り入れられていく。当研究所の設備、特に、昭和56年8月に完成した植物-環境系の解析のためのシミュレータは、世界に類をみないものであり、今後の研究成

果が期待されている。

ここに紹介した研究施設は、当研究所の研究企画官室の企画調整と建設省筑波研究学園都市営繕建設本部の発注によって建設されたものである。設計監理は、(株)大谷研究室で、第1期施設の主要部分は大糸工業(株)・製鉄化学工業(株)、第2期施設のシミュレータは、三菱重工業(株)がそれぞれ担当した。関係各位に深甚の謝意を表す。

(昭和57. 3. 23 原稿受理)

Phytotron of the National Institute for Environmental Studies and its Energy Supply System

Ichiro Aiga*

Kenji Omasa**

Shigeru Matsumoto*

Synopsis The Phytotron of the National Institute for Environmental Studies is introduced as a practical example of an environment control facility for plant research. The technical features of this facility from the standpoint of environment control engineering and the points in its energy supply and operating system that require special attention are described.

(Received March 23, 1982)

* Division of Engineering, The National Institute for Environmental Studies

** Division of Engineering, The National Institute for Environmental Studies, Member

空気線図

- I 湿り空気 $i-x$ 線図 (NC線図)
- II 湿り空気 $i-x$ 線図 (LC線図)
- III 湿り空気 $i-x$ 線図 (HC線図)
- IV 湿り空気 $t-i$ 線図

4枚1組み袋入り

定 価 会 員 540 円 非 会 員 600 円 送 料 250 円

申込先 空気調和・衛生工学会

〒160 東京都新宿区北新宿1-8-1 (中島ビル)

電話 東京 (03) 363-8261 (代表)