

流通システム研究レポート No.23

青果物人工環境栽培施設用機材

——土耕・砂耕・礫耕・水耕から植物工場へ——

1983

固執するならば、前述のとおり果菜類では、収穫・調製と栽培管理作業の合計だけで1,000時間を超過する。また、これらの作業は、現状では機械化・装置化は非常に困難と思える。そこで、施設野菜の1つの試みとして、倉田が試みた循環式栽培装置や英国で実施しているガントリー方式はどうだろうか。これらの方式が、わが国の現場にすぐ導入できるとは思えないが、わが国の実情にアレンジしてみることは有益だと思える。以下にガントリーの概要を紹介する。

英国のNIAE(国立農業工学研究所)では、1971年から温室内の作業を装置化する研究を開始した。研究の中心は、6.2m幅のガントリーで、暖房用パイプをレールとして温室内を自由に走行できる。供試温室は、間口6.4mのものを17連棟とし、長さ108mで約1haの面積である。この温室に3月から11月にかけて連続的にレタスを栽培する。本圃における作業は、ガントリーに装着できる機械で行う。ガントリー用の作業機は、耕起作業機(動力はエンジン)、均平機、半自動移植機、収穫機および防除機からなっている。ガントリーを用いると次のような利点がある。①レール上を走行するため、圃場を踏みかためることがない、②走行が安定する、③正確な位置決めができ、作業の精度が向上する、④通路が不要となり、つぶれ地がなくなる、⑤作業の合理化により規模拡大ができる。

ガントリーは以上のようなものであるが、今後の施設内装置化の1つの方向を示すものと思われ、これに類する発想でより実現可能な方式を考案する必要がある。

(伊藤 茂昭)

4.6 環境制御機器

近年の省エネルギー、省力、生産性の向上を目的とした施設栽培の近代化あるいは大規模化により、環境制御の必要性が、暖房、換気、カーテンの駆動といった基本機能に対してだけでなく、湿度調節、かん水、太陽熱利用、

薬剤散布といったように拡大し、それに伴って必要とされる制御機能が複雑化している。

他方、マイクロエレクトロニクス(ME)の進歩により、安価で高い信頼性をもつマイクロコンピュータ(マイコン)が市販されるようになり、工業に比べて生産性の低い農業の分野においても計算機制御が導入できる状態になってきている。

このような背景から、施設栽培における環境制御機器は、従来のアナログコントローラに代って環境要因の制御機能が拡大されるかたちでマイコンを用いた計算機制御に移りつつある^{1,2)}。また、研究段階は、環境要因の制御だけでなく植物を対象とした計算機制御もみられるようになり^{3,4)}、施設栽培より一歩考え方を進めた植物工場⁵⁾に関する研究も始まっている。そこで、本稿では、今後の施設栽培さらには植物工場における計算機制御にフォーカスをあてて環境制御機器開発の考え方について述べる。

4.6.1 計算機制御システムの目的と機能

施設栽培に計算機制御を導入する目的は何であろうか？ 大きな理由の1つは、MEの発達によりマイコンがおどろくほど安くなったので、アナログコントローラの代りに使っても採算が合うようになったことであろうか、その程度なら何も計算機制御などとおおげさなことはない。やはり、計算機制御に期待するものは、アナログコントローラではできない施設全体を1つのシステムとしてとらえ、省エネルギー、省力、生産性の最適化を図るとともに、生産管理や経営などに関する多角的情報を得ることにあると考える。これを体系的にとらえると図4・25のような階層に分けられる。

(a) DDC(Direct Digital Control) 施設の各末端機器を直接制御する。制御ループ数が多ければ計算機で時分割制御するので経済的に有利になる。アナログ計装でよく用いられるオン・オフ制御やPID制御が可能であるばかりでなく、各種デジタルフィルタ、プロセス特性の変動に応じた設定モードの自動調整、さらにフィードフォワード制御などが可能であるので

制御性の改善が期待できる。最近、マイコンの低廉化により、1台の計算機ですべての末端器を制御するのではなく、複数のデジタルコントローラにより、融通性、拡張性をもつシステムの構成が可能になってきている。

(b) SCC (Supervisory Computer Control) 施設およびそれを構成する設備として集中監視、最適化制御、栽培管理、スケジューリングなどの総合管理を行い、省エネルギー化、省力化、制御の安定化および生産性の向上を図る。この機能を充実することにより、計算機制御の効果が顕に発揮される。

(c) MIS (Management Information System) 施設運転上発生する操業状態、生産量、出荷量、その他のデータ収集を自動的に行う。また、公衆電話回線などを利用した広域相互情報交換ネットワークシステムと接続され、栽培管理、教育、経営に関する多角的な情報交換機能を持つ。

DDC, SCCおよびMISの機能は1つの計算機にもたせてもよいが、能力的に無理が生じるので複数の計算機に機能を分離することが望ましい。最近のMEの進歩とそれに伴うマイコンの低廉化は、これらの各階層のマイコンを分散配置し、データハイウェイで相互に結合することにより、末端機器の制御から経営までの機能を持つハイアラキシステムを構成することが近い将来夢でないことを思わせる。

4.6.2 短期的にみた場合の機器開発

1980年代という短期的にみた場合の機器開発の対象は、現在、広範に普及しているプラスチックハウスやガラス室などの施設の近代化あるいは大規

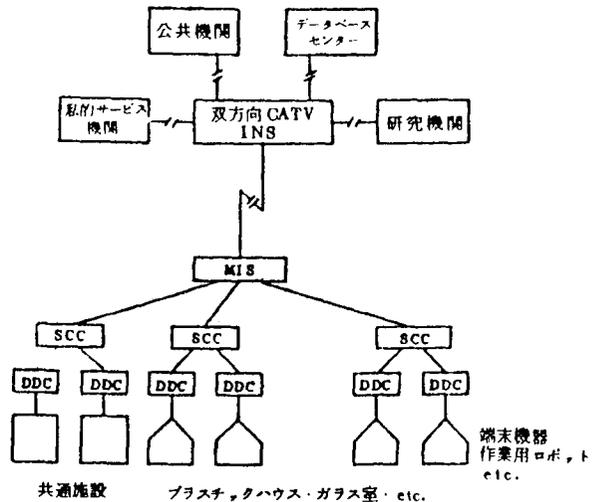


図 4・25 施設栽培あるいは植物工場におけるコンピュータ・ハイアラキシステム

表 4・23 施設における複合環境制御機器の基本機能

機 能	目 的	設 備・機 器	計 測 要 素
換 気	温湿度調節 CO ₂ 濃度調節 空気の浄化 風速の調節	天窓・側窓開閉モータ 換気扇・送風機	室内外温湿度 日射量 風向・風速 降雨量・その他
保 温 遮 光	温度低下の防止 温度上昇の防止 (熱負荷の軽減) 日長調節	保温・遮光用カーテン 開閉モータ	室内外温湿度 日射量 カーテン近傍温度 その他
暖 房	温湿度調節	温風・温水暖房機 ボイラ・ポンプ 温排水・太陽熱・地熱 利用のための熱交換器 その他	室内外温湿度 日射量 土中温度 設備・機器の 制御量・その他
冷 房 (加湿)	温湿度調節	細霧冷房用ノズル 冷房用熱交換器 ポンプ・その他	室内外温湿度 日射量 設備・機器の 制御量・その他
CO ₂ 施用	CO ₂ 濃度調節	CO ₂ 発生器	CO ₂ 濃度・日射量
かん水 (施肥)	土壌水分調節 肥料成分の調節	ポンプ・かん水装置	土壌水分含有量 室内温湿度 日射量・かん水量 肥料成分・その他
水 耕		ポンプ・施肥装置 その他	養液槽水位・流量 養液温・pH 肥料成分・その他
薬剤散布		ポンプ・散布装置	散布量

模化に伴う複合環境制御機器であろう。表 4・23 に橋本³⁾や古在⁶⁾の報告をもとにまとめた複合環境制御機能の一覧を示す。複合環境制御とは、表 4・23 に示した複数の環境制御の機能を 1 つのシステムとしてとらえ省エネルギー、省力および生産性の向上を図ろうとするものである。それゆえ、先に述べた

階層の機能で見れば、DDCとSCCを結合したハイアラキシステムである。

このシステムを開発する際の基本的考え方について整理すると

(a) 各機器の規格化とモジュール化により、互換性、保守性および経済性を追求する。また、故障検知診断機能の強化や計算機の分散化を図ることによりシステムの信頼性を高める。

(b) 各機器、施設を対象とした多変数制御、フィードフォワード制御、適応制御など、より高度な制御機能の充実を図る。また、アプリケーションプログラムの追加、変更が容易なシステム設計にする。

(c) 異常監視、施設の運転、栽培管理などのためのCRTを介したマンマシンのコミュニケーションの機能の充実を図る。さらに、施設の運転と栽培管理に関する知識ベースと簡単な推論機構をもつ初歩的なガイダンスシステムを開発し、知識工学的色彩をもつシステム制御の導入を図る。

図4・26に複合環境制御を対象としたシステムの構成の概念を示す。

DDC用とSCC用の計算機は、1台で共用してもよいが、先にも述べたように能力的に無理が生じるので、機能を分離して規格化した方が融通性、拡張性の面で優れている。また、即事性を要求される多重ループ化部分（例えば計算機）が故障すると施設の運転停止につながる。このため、システムの中で重要な部分はデュアルにするかあるいは、バックアップを設けるなどの対策が必要である。

例えば、DDC用およびSCC用の計算機では、緊急時に他の計算機が運

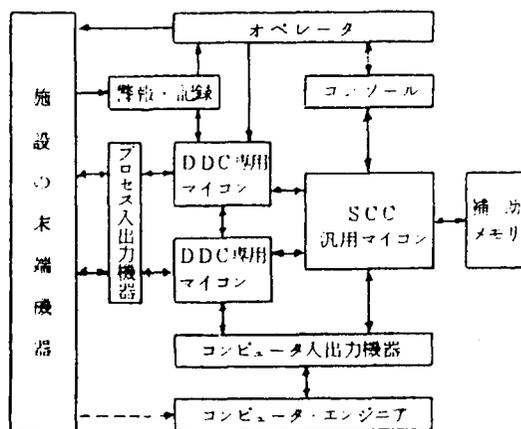


図4・26 複合環境制御を対象としたシステムの構成の概念

転に必要な最低限の機能を受けもつなどの対策が必要であろう。各計算機間の結合は、RS232CやGP-IBにより標準化できるがGP-IBの方が転送速度50~100 kbyte/sと約1 kbyte/s程度のRS232Cに比べて高速転送ができる。また、比較的安価な多成分系やプラスチック系光ファイバーの導入により、現在でも数km程度離れた場所での相互情報交換が中継機なしで可能である。

農家を対象としてプラスチックハウスやガラス室の複合環境制御機器を開発する場合には、特に開発に関する基本的考え方の(c)で述べた機能の充実が必要であろう。計算機制御により得られるメリットは、基本的には利用者の技術水準に依存しているもので、大きなメリットを得ようとするれば当然高い技術水準が要求される。しかし、一般農家において機器や制御などに関する高い技術水準を期待するのは困難であるので、この点に対する対策が十分になされる必要がある。この機能に関しては、長期的にみた場合の機器開発に関連深いので次項において詳述する。また、MEの発達によりマイコンをはじめとしたデジタル機器は、昔に比べて急速に安くなってきてはいるが、小規模の施設では、特殊な場合を除いて経済的メリットを得ることはむづかしい。それゆえ、適性規模のモデルを想定した開発と拡張の際に上位互換性をもつシステムにすることが必要であろう。

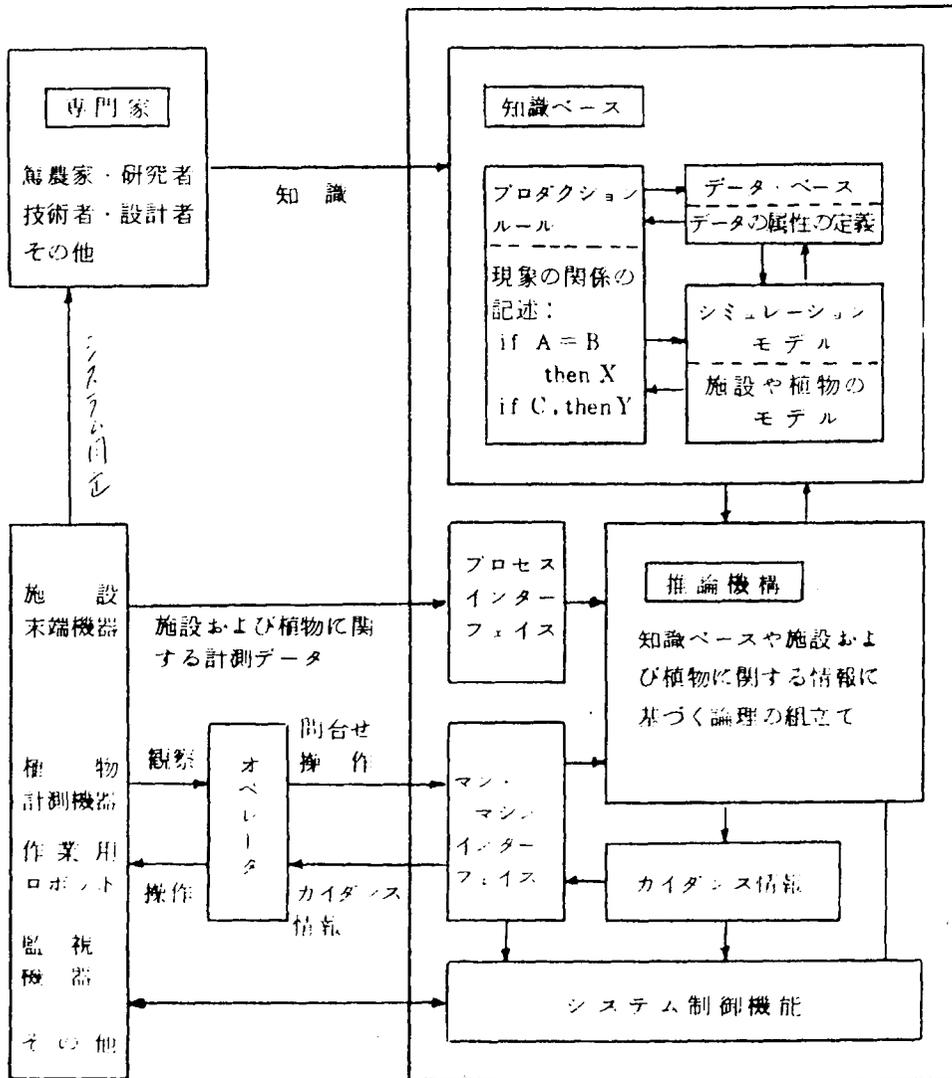
4.6.3 長期的にみた場合の機器開発

1990年代さらに21世紀をめざした機器開発の対象は、人工知能を持つ環境制御機器やロボットにより高度に自動化された施設であろう。短期的にみた機器開発が主に環境情報に基づくプロセスオートメーションであったのに対し、植物情報をも加えた総合的なプロセスオートメーション化とロボットの導入による種苗生産から、栽培、収穫、貯蔵、加工、流通に至るまでのメカニカルオートメーション化である。また、MISの導入による管理の自動化や、双方向CATV（有線テレビ）、さらに電々公社が開発を目指している高度情報通信システム、INS（Information Network System）などと結

合した管理，教育，経営などに関する情報の広域相互情報交換ネットワークシステムの開発である。これは，もはや施設栽培というよりは，植物工場というに相応しい。これらの機器開発は多岐にわたるので，開発の基幹である知識工学を導入したシステム制御に限定してその考え方について述べる。

知識工学とは，人工知能の応用分野であり，専門家が問題を解決する際に使用する知識（経験を含む）を計算機に知識ベースとして蓄え，その知識ベースに基づく推論によって問題を解決していこうとする新しい手法である。すなわち，第5世代の計算機開発にみられるように，計算機が従来の数値計算のみを行う機能から脱して，考える機能，推論する機能を持つのが特徴である。そして，知識の構造化と論理過程を計算機に組込むことによって専門知識を非専門家が利用するための意志決定支援システムとなる。最近，工学，医学，教育など多くの分野において，種々の複雑な問題の解決に有効で魅力あるアプローチとして注目を浴びている⁷⁾。

農業に対してこの考え方をあてはめてみると，農民が作物の栽培をしているとき，自分の知っている知識を最大限に活用して，今どのような生育状態にあるか，次にどうなるのか，今後どうしなければならないかなどを推論するに違いない。篤農家と呼ばれる人達は，一般の農民に比べて高度の知識を有している。それゆえ，まず考えられることは，この篤農家の知識を知識ベースに蓄え，簡単な推論機構を計算機に仕組むことにより，一般の農民さらには，今まで農業に関係しなかった非専門家でも栽培管理ができるような意志決定支援システムである。勿論，栽培管理だけでなく，施設の管理も含まれる。このシステムは，開発にそれ程の時間・労力を要しないですむので，短期的な機器開発の範疇に入る。しかし，この推論に用いられる知識は，篤農家といえども原因—結果の断片的な関係に関する知識である場合が多く，必ずしも論理的なものではない。このため，省エネルギー，省力，生産性，運転の安定性といった指標を総合的に評価した管理はできない。それゆえ，原因—結果の因果関係だけでなく，施設や植物などの対象の物理的，化学的，



園芸施設・植物工場

計算機システム

図 4.27 施設栽培あるいは植物工場における論理的な推論機能をもつエキスパートシステムの概念

生理的機能に関する知識を加え、論理的な推論機能をもつエキスパートシステムの開発が必要である。

図 4.27 に、従来のシステム制御と融合したエキスパートシステムの概念を示す。この図の知識ベースと推論機構の構成については、元田ら⁸⁾の報告

を参考にした。知識ベースは、篤農家や研究者のノウハウ、施設や植物などのシステム解析の結果に基づく運転管理方法に関する知見などであり、プロダクションルールで表わす。

また、施設や植物などの動特性を評価するためのシミュレーションモデルやデータベースも知識ベースの構成要素である。推論機構は、施設や植物の実測あるいは観察データと知識ベースの知識に基づき論理を組み立て、ガイダンス情報を生成する。得られたガイダンス情報は、マンマシンインターフェイスを介してオペレータに提供されるとともに、システム制御機能でも利用される。観察データは、画像計測や生体計測などを導入することにより、できるだけオンラインの実測データとする方向で機器の開発を進める。また、オペレータの作業も、プロセス制御機器やロボットで置き換え、可能な限り自動化する。このような方向でのエキスパートシステムの開発は、わが国においてすでに橋本³⁾や高辻⁵⁾らによって始まっている。高倉^{4,9)}は、このように高度な機能を持つエキスパートシステムではなく、マンマシンのコミュニケーションと篤農家のノウハウのデータベース化に重点をおいたガイダンスシステムの開発を目指している。これらの研究は、まだ緒についたところであるので、実用化には至っていないが、今後、従来の自動制御手法と互いに欠点を補うかたちで実際のシステムに組み入れられ、発展していくであろう。

<引用文献>

- 1) 古在豊樹：温室環境制御へのコンピュータ利用に関する国際ワーキング・パーティー 農業気象 35：263-266(1980)
- 2) 船田周：施設栽培の現状，施設栽培，植物工場における計測と制御講習会テキスト 1-10 計測自動制御学会(1983)
- 3) 橋本康：植物生体情報による植物生育 プロセスの制御 遺伝 35(1) 18-24(1981)
- 4) 高倉直：施設栽培の地上環境制御 施設栽培 植物工場における計測と

制御講習会テキスト 11-18 計測自動制御学会(1983)

- 5) 高辻正基：野菜工場の進展 計測と制御 22：522-528(1983)
- 6) 古在豊樹：施設栽培におけるマイコン利用 施設栽培，植物工場における計測と制御講習会テキスト 36-45 計測自動制御学会(1983)
- 7) 榎木義一：システム制御工学と知識工学の融合 計測と制御 22：505-507(1983)
- 8) 元田浩・木口高志・小林節雄：知識工学の原子力システムへの応用 システムと制御 27：448-454(1983)
- 9) 高倉直・庄野浩資・本条毅：知識工学的手法による栽培管理システム化
(1)促成トマトの栽培管理システム 39：113-116(1983)

(大政 謙次)

4.7 人工環境栽培施設用機材としての新素材・新技術の応用

4.6節において述べたように人工環境栽培施設における自動化は，現在，複合環境制御にマイコンを導入するという段階にある。これは，施設のプロセスオートメーション化の初期の段階であり，今後，環境要因だけでなく植物の情報をも加え，知識工学的色彩をもったシステム制御の導入により，より高度で総合的プロセスオートメーション化に向うであろう。また，種苗生産から，栽培，収穫，貯蔵，加工，流通に至るまでのメカニカルオートメーション化や双方向CATV，INSなどと結合した管理，教育，経営などに関する情報の広域相互情報交換ネットワークシステムの開発も進むであろう。

これらの施設を対象とした技術の進歩は，マイクロエレクトロニクス(ME)とその応用機器，ロボット，光ファイバーなどといった最先端技術に依存するところが大きい。そこで，ここでは，これらの最先端技術について簡単に解説するとともに，人工環境栽培施設用機材としての可能性について述べる。

4.7.1 ME技術の進歩とその応用