

植物生産のためのコンピュータ支援システムの開発  
Development of Computer Based Support Systems for Plant Production

星 岳彦

東海大学開発工学部生物工学科

Takehiko HOSHI

*Department of Biological Science and Technology,*

*School of High-Technology for Human Welfare, Tokai University*

(mailto:hoshi@fb.u-tokai.ac.jp)

(http://www.fb.u-tokai.ac.jp/)

## 1.はじめに

限定された資材およびエネルギーを有効に活用して、高品質な植物生産を行うためには、高度な環境制御と適切な管理作業が必要である。これらを実施するためには、常に環境計測制御や植物の生育に注意を払う必要があり、持続的な注意力と多数の要因についての総合的な判断力が不可欠である。このため、人力だけでこれらを実施しようとすると、労力が及ばず不完全になり、また、生産規模の拡大が人件費の上昇に直接的に結びつきスケールメリットが得られにくい。そこで、これら環境制御と管理作業をコンピュータに代替または支援させることによって、高品質で省資源的な植物生産を行うためのシステムを検討している。特に、施設生産では、制御可能な環境条件が多くなり、また、集約的な生産が行われているので、コンピュータの利用は不可欠になりつつある。

現在使用されているか、または、開発途上にある植物生産のためのコンピュータ支援システムを、用途別に分類すると、以下の通りである。

### (1)環境制御システム

温度や湿度などの物理的環境設定値に基づいて正確に環境制御するだけでなく、植物生育の知見に従って物理的環境設定値自体も変更することが、コンピュータを利用すると容易に実現できる。たとえば、変夜温管理や、DIF などである。施設生産では、複合環境制御を行うコンピュータ制御装置が各社から市販されている。日本では、1993年に1718台が260haの施設で使用されており、生産企業からの1995年までの累計出荷台数は5688台に上っている。一方、施設生産以外では、コメの灌漑水位制御システムなどが開発されている。

### (2)環境計測解析システム

圃場の気象観測や施設の環境計測データを解析し、栽培管理に応用するためのシステムである。たとえば、果樹の霜害監視システムや積算温度による収穫適期判定システムなどである。コンピュータ技術の進歩に伴って、低コストで大量のデータが処理可能になった。そこで、単に計測されて保存されるだけであった環境データを生産者レベルでも有効活用できる見通しが立ってきている。

### (3)作業計画システム

生産が大規模化するに従い、それぞれの生産管理作業量も膨大になる。植物の生育状況、労働力、天候などから適切な作業計画を策定して、効率的な労働力の配分を行えば、省力的な生産に大きく貢献する。たとえば、圃場作業計画システムや植物工場の作業支援システムなどがある。

### (4)生産管理作業システム(作業ロボット)

これまでの農業機械に加えて、多少の判断力が必要な作業をコンピュータを使ったメカトロニクスで代替するシステムで、作業ロボットとも呼ばれている。たとえば、収穫ロボットや選果ロボットなどが開発されている。今後、人件費の高騰、危険・不潔・単純作業への嫌悪の増大などから、さらに、開発と普及に拍車がかかるものと考えられる。

### (5)生産情報システム

コンピュータネットワークとデータベース技術の向上に伴い、分散データベースをコンピュータで手軽に扱えるようになってきている。気象情報、栽培情報、病虫害情報、市況情報など、植物生産に関する情報を、望む形で迅速に入手するシステムが利用可能になりつつある。たとえば、インターネットにおける WWW システムなどである。

本稿では、我々の研究室で研究と開発を行っているいくつかの植物生産のためのコンピュータ支援システムについて、その概略を紹介する。

## 2.植物工場生産における支援システム

### (1)目的

植物工場など、多数の植物を集約的に連続して生産する施設では、空間の利用効率を向上するために無通路栽培や立体栽培が不可欠になっている。また、その栽培方法に適した植物管理方法が望まれる。さらに、施設の設備機器の少々の不調で、多数の植物が影響を受け、経済的に大きな損失をこうむる危険性が高い。ここでは、それらに対応するために、自動化植物工場のための植物移動システム、運転支援オンラインエキスパートシステムを開発した事例について述べる。

### (2)装置およびシステム

植物移動システムを検討した植物工場(図 1)では、湛液式養液栽培で葉菜類を栽培した。この方法による植物生産では、ベッドの片方の端部を作業領域とし、作業員または作業機械を必要とする作業はこの作業領域で行うことにした。葉菜類生産に必要な作業は、栽培架台設置(定植)、株間調整、栽培架台撤去(収穫)になった。作業領域に栽培架台を単位にして植物を移動するのに必要な操作として、2つの要素を考えた。すなわち、任意の場所から栽培架台を引き出して作業領域に運搬する操作と、作業領域で作業が完了した栽培架台を作業領域から押し出す操作である。これらの操作を実現する装置を、それぞれ、栽培架

台移動装置と栽培架台圧送装置と名付けた。この植物移動方法による株間調整作業の作業イメージを図2に示した。植物移動システムを使用するために、植物の生育、作業員スケジュール等に基づいて、植物移動作業の計画を立案する作業計画システムも開発した。

栽培架台移動装置の動力は鉛蓄電池を電源とした直流モーターにした。作業員が制御端末で設定した栽培架台の場所まで装置が移動し、その栽培架台をフックで吊り上げ、作業領域まで自動的に運搬し、栽培架台を設置する一連の作業を自動的に行う。動作の制御装置としてマイクロコンピュータによるプログラムコントローラを用いた。栽培架台圧装置は油圧シリンダを使っている。

植物工場の運転支援オンラインエキスパートシステムは、植物工場が普及した場合の緊急操作やメンテナンスに用いることを目的に開発を行った。これは、植物工場に設置されている環境制御コンピュータとルールベース型のエキスパートシステムを通信回線で結合し、異常発生時の応急処置、機器の異常診断、点検部位の指示などを行うものである。システムの構成を図3に示す。

### (3)結果および考察

試作した装置の植物工場における使用状況を図4に示した。栽培架台移動装置1台と栽培架台圧送装置2台の開発・試作費は、約550万円であった。本装置を利用して600m<sup>2</sup>の栽培面積での葉菜類の生産を行った場合の労働時間配分を図5に示した。労働時間の約半分が収穫・出荷調整になり、重労働の割合は約13%になって、軽作業中心になった。植物移動装置の動作時間の実測から、試作した1組の装置によって1日8時間の就業時間内で栽培面積1640m<sup>2</sup>(ハウレンソウ19,000plants・day<sup>-1</sup>の生産規模)まで対応できる能力があった。また、毎日の作業計画を管理し、栽培架台の位置を管理する作業計画システムの実行例の一部を図6に示す。作業計画システムを使用することによって、本植物移動システムによる作業計画の立案、収穫量の把握が容易になった。

また、運転支援オンラインエキスパートシステムは、109個のルールを格納し、結論として、62種類の操作・作業方法の指示を可能にした。ルールの構成(一部)を図7に示す。基本的な性能を試験する目的で、(1)冷凍機の故障が原因の室内気温の上昇、(2)熱交換機からの水もれによる室内気温の上昇、(3)(2)と同じ原因による室内気温の低下、(4)強風による栽培室の破損、(5)乾湿球の水切れによる湿度制御の異常、の5件の異常を想定して動作試験を行った。それぞれ5分程度の所要時間で適切な緊急操作方法を指示することが可能であった。

各種の設備が装備された、集約的施設による植物生産においては、以上述べたようなコンピュータを利用した、作業装置、支援システムを用いることが、生産の効率化と安定化に不可欠であると考えられた。また、植物生産のためのエキスパートシステムとしては、この他に、カラー画像を用いた病害診断エキスパートシステム等をすでに開発している。

## 3.植物形態情報に基づく環境制御システム

### (1)目的

施設の環境を制御する環境制御システムは、環境を正確に制御するだけでなく、希望し

た品質の植物の計画的生産を支援する機能を備えることが今後重要になろう。なぜならば、経営面からは、単に生産物の重量の評価だけでなく、販売価格面で大きな影響を及ぼす生産物の品質面についても制御が望まれているからである。そのためには、現在の環境制御状態でどのような品質の植物が生産できるかを示す機能が必要である。さらに、生産したい植物の品質を入力すれば適切な環境制御方法を実施するような、生産 CAD 的な機能を備えることが望ましい。これらの品質に関する情報を、環境制御システムと生産者としてインターフェースするために、数値やグラフを介する方法だけでは限界があることは明らかである。植物生産の分野において、色や形態などの視覚情報は特に重要である。特に、市場評価、病害診断、栽培管理においては、視覚情報が大部分を占めていると言っても過言ではない。近年、コンピュータ技術の進歩によって、視覚情報などの定量化しにくい情報を、そのままの形で人間と対話的に交換する技術が開発されつつある。現実をシミュレートすることによって臨場感豊かな情報を人間に伝え、人間の日常の挙動を通じてコンピュータが情報を得る。このような目的を持ったシステムは仮想現実感(VR: Virtual Reality)システムと呼ばれている。植物生産分野においても、VR 技術を応用した植物の育成予測画像を用いて、生産者がイメージする育成状態を制御方法の決定にそのまま使用することができる環境制御システムを今後考えることができる。

一つの方法として、最小限の環境条件の組み合わせだけの栽培試験を行い、蓄積された実写画像に画像処理を加えることで、栽培試験を行っていない条件の育成状態の画像を合成する方法がある。この方法は、パソコンレベルのコンピュータで容易に実現することが可能である。ここでは、実写画像として、明期の光強度を変えたハウレンソウの画像を使用し、モーフィング変換による画像処理によって補間を試みた。そして、植物育成に関する視覚情報をユーザーインターフェースに利用することによって、植物生産 CAD システムとしての機能を備えた環境制御システム構築の可能性について検討を加えた。

## (2)材料および方法

ハウレンソウは湛液式養液栽培を行った。平均光合成有効光量子束密度(Photosynthesis Photon Flux Density: PPF)は約  $150 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  で育成したハウレンソウを弱光条件下のハウレンソウ画像(弱光区)とし、約  $350 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  で育成したハウレンソウを強光条件下のハウレンソウ画像(強光区)として、ほぼ収穫適期の播種後 23 日目の育成画像を収録した。画像の収録には、8mm カラービデオカメラを用いて行った。

ビデオテープに収録された画像は、ビデオデジタイザによって色情報 24bits のフルカラー-TIFF 画像ファイルに変換し、画像処理によって補正処理を行い、標準化した。モーフィング変換のための着目点とその点の結合を図 8 に示した。両者の画像の間を 24 等分し、それぞれの分割点である 23 枚の中間的な画像データをモーフィング変換によって生成した。

## (3)結果および考察

画像を補間した結果を図 9 に示した。図の上端の 2 枚の画像以外は、モーフィング変換によって合成した画像である。今回の収録画像例では、強光区のハウレンソウの子葉が、

本葉の下に隠れてしまったために、子葉周辺部での乱れが少々見られる。しかし、全体的には強光形態から弱光形態への変化がほぼ満足できる品位で表現されていると考える。

さらに、ハウレンソウの形態変化画像を 25 枚の動画像ファイルとして作成した。このファイルを利用して、植物生産 CAD 的な機能を備えた環境制御システムによる光条件の設定場面をイメージした試作プログラムの動作例を図 10 に示した。図の下部のバーをマウスによってスライドさせると、画面のハウレンソウの形態を光条件に合わせて瞬時に変化させることが可能である。このプログラムによって、生産者は、生産される植物を見ながら、消費電力量(生産コスト)と共に光強度を設定することができた。

今回の補間は、色彩変化および着目点の座標変化の両方を直線で補間した。しかし、光強度によるハウレンソウ形態の変化が直線的であるかどうかは今後の実験が必要である。今後は、中間的な光条件において実際の栽培試験結果と比較し、最適な補間関数を求める必要があると考える。

同時に、ハウレンソウが生育する過程の形態変化を図 11 の装置で立体的に連続して計測し、解析した。この結果では、たとえば、葉は、基部から直線的に伸長していくわけではなく、上下に運動しながら伸長していくことが示された。さらに、光強度などの環境条件によって、運動パターンに違いがあることも確かめられた(図 12)。また、葉柄と葉身の長さを連続的に測定しても、その違いを知ることができた(図 13)。これらの知見を用いて、画像入力によって植物の生体情報を連続的に計測し、環境制御に応用するシステムの開発が今後可能であると考ええる。

## 4. 灌水支援ロボット

### (1) 目的

土壌を培地とした高品質植物生産において、土壌水分の管理は不可欠であり、作物の品質に大きな影響を与える。生産者は、毎日多くの労力を水管理に費やしている。また、植物の一株毎(個体毎)の水管理が可能になれば生産物の品質の均一化が確実に行えるが、さらに多くの労力が必要である。チューブ灌水装置など、これまで市販された灌水自動化装置のほとんどは、施設単位で一括して灌水するようになっている。日本においては、温室メロンなど、高価な作物を生産する場合には、人手で個体毎に灌水するか、自動灌水装置で最低限の灌水を行い、後に人手で個体毎の灌水量を微調整している。

そこで、高品質かつ均一な作物の省力的生産を行う目的で、個体毎の水管理を行う自走式灌水ロボットを開発した。現在、非植栽での評価試験を行った段階である。

### (2) 構成

開発したロボット(図 14)は、マイクロコンピュータを内蔵し、予め走路を記憶して、車軸の回転数と走路に取り付けられた赤外線反射板からの赤外線反射信号とを補助的な情報として用いて、自動無人走行する。ロボットは植物の各個体の株元付近の土壌水分を計測し、灌水が必要であれば灌水を行うようにプログラムされている(図 15)。

### (3)結果および考察

試作したロボット(図 16)を使って、土壌水分にばらつきのある土壌を管理させる実験を行った。実験開始時に、土壌の含水率には約 16%のばらつきがあったが、6 時間後の実験終了時には 7%にまで是正された(図 17)。このロボットは、1 時間に 220~360 個体の処理速度を持ち、一回の充電で 5.2~3.4 時間の動作が可能である。たとえば、1000m<sup>2</sup> のメロン温室では、一作 80~90 日で 2800 人時間の労働力で 2400 個体のマスクメロンを栽培し、1 日 3 回程度、これらの個体への水管理を手作業で行っている。今回試作したロボットを 4 台使用すれば、手間のかかる灌水作業が、ロボットのタンクへの水給水作業と蓄電池への充電作業だけになると試算された。

農作業のロボット化という、たとえば、コンピュータビジョンを用いたり、高精度なロボットアームが必要で、高価になりがちである。しかし、本灌水ロボットは、比較的簡単な構造で約 70 万円の製作コストであり、単調で手間のかかる高級作物の個別別水管理作業を軽減する現実的可能性が示唆された。このほかにも、我々の研究室では施設内の気象環境の分布測定にロボットを用いる実験など、高価なセンサおよびアクチュエータを必要としないロボットの植物生産への応用について研究している。

## 5.環境計測データの高度利用システム

### (1)目的

植物生産のためのコンピュータを使った環境計測制御システムが普及しはじめており、分単位で各種の環境の計測データや制御データが記録されるようになってきている。しかし、これまでは、それらを単に記録するだけで、せいぜいトレンドグラフとして眺める以外に利用されず、死蔵されていることが多かった。近年のコンピュータの性能の向上は、生産者が購入可能な価格程度のコンピュータでこれらのデータ処理がほぼ可能なレベルに到達している。そこで、環境データを単に記録するだけのシステムでなく、記録したデータを解析し、整理して生産者に提示するシステムの必要性があると考えます。また、これらのデータの通信形式を統一して、ソフトウェアの汎用性を高めることが急務であると考えます。

### (2)システム構成

データを記録・検索するための仕組みとして、リレーショナルデータベースと SQL(Structured Query Language)の組み合わせを利用した。大学構内に構築した図 18 のコンピュータネットワークに図 19 の実験システムを構築した。ネットワークに接続されたコンピュータでデータを自由に扱うために、マイクロソフト社による ODBC(Open Data Base Connectivity)というデータベースをアプリケーションソフトウェアで利用するための標準規格を利用して、アプリケーションプログラムの開発を行った。または、コンピュータネットワークを介して、直接 SQL 文を発行することによってデータの操作を行なうアプリケーションプログラムの開発を行った。使用した OS は、Windows-NT、Windows95、SunOS(UNIX)、Open Windows で、リレーショナルデータベースには、マイクロソフトの SQL-Database を用いた。

使用した環境計測制御データは、我々の研究室が使用している実験温室の自作の環境制

御システムとコンピュータネットワークに接続しているコンピュータとをシリアル回線で接続し、ゲートウェイプログラムを作成して、収集した。

### (3)結果および考察

このシステムの応用例は多数あり、現在も開発中であるが、その一部の結果を紹介する。図 20 は、SmallTalk というオブジェクト指向言語を利用して開発した専門家向けの解析プログラムである。各種の環境データを積算処理し、植物の生育データと比較することが可能である。たとえば、実験温室で生産したホウレンソウの成長する最低気温が約 5.0℃で、気温に対する成長速度の推定がほぼ瞬時に行えた。

また、図 21 と図 22 は、Windows95 が動作するパソコン用に開発したプログラムである。ネットワークを通じて施設の状況を刻々と表示する従来から使われている機能はもちろん、積算温度の曲線を示して収穫日の推定を可能にしたり、過去の特定の環境条件が生じた日を瞬時に検索して、病害発生との関係を解析することが容易に実現できた。しかも、データ処理の部分は簡単な命令で記述できるので、従来のプログラム開発と比較して、半分以下の労力で開発することが可能になった。

これまで、専門家が長期間にわたって手作業で解析して、特定の栽培実験の結果として、環境と生育との関係が求められ、それが、研究の成果として一般化されて植物生産に利用されてきた。

しかし、今後は、生産者の自宅の安価なコンピュータで自分の畑の特定の環境条件に対する生育との関係を手軽に解析することが可能になると考える。また、市販の表計算ソフトウェア、データベースソフトウェアを利用して、それらのマクロ機能やオブジェクト間の通信機能を利用したプログラムを記述するだけで、数十万個にのぼる環境データと実測した生育量のデータとの相関をとって、それらを集計してグラフで表示することも、2 時間程度で完全に自動的に行えた。これまでは、アルバイトを使って数ヶ月から 1 年を費やす必要があった作業が、簡単に自動化できる環境が整ってきた。現実には、生産が行われている特定の施設の実際のデータに基づいた、特定条件における環境と生育に関係する興味深い関係がいくつも見付かりつつある。このことは、一般化による精度の低下を心配することなく、個々の生産者専用の高精度な生育モデルや収穫予測システムが構築可能なことを示している。

このような機能を実現するためにまず大切なことは、圃場の気象観測システムや施設の環境制御システムに入力されているデータを、コンピュータネットワークを使ってリレーショナルデータベースに自動的に入力できるようにすることである。また、環境データ解析用プログラム開発の低コスト化を目指すために、生育モデル構築用プログラムなどが、各種の施設環境計測制御システムで収録されている環境データに共通して使用できることが不可欠である。そこで、日本においては、農水省、大学、製造メーカーが参画して、2 年後を目処に施設の環境制御システムのデータ通信規格の標準化を推進している。

## 6. インターネットを利用した植物生産情報システム

### (1) インターネットの利用状況

政府機関、試験場、大学、民間企業などでは、植物生産に役立つ各種の最新情報を保持している。これらは、最近急速な成長を遂げているインターネットを通じて公開されるようになってきている。農業分野のインターネット利用状況について、まず簡単にまとめてみることにする。

インターネットに接続されているコンピュータは、1996年7月現在世界で12,880,699台であった(Network Wizards, 1996, <http://www.nw.com/zone/WWW/report.html>)。インターネットに接続された1台のコンピュータに、平均10人ぐらいの利用者がいると一般的に考えられており、それに従うと約1億3千万人が利用していたと考えられる。また、年率約2倍の驚異的な成長率を維持している。日本においては、1996年7月現在496,427台のコンピュータが接続されており、世界4位で約5%を占めていた(Network Wizards, 1996)。

また、最近流行しているWorld Wide Web(WWW)での情報提供量は、各サーチエンジンの統計資料を参考にすると、1996年1月現在、世界で少なくとも2000~3000万ページの情報が提供されていると考えられる。日本では、インターネットのコンピュータ数から換算すると、約60~80万ページが提供されていたことになる。

私は、1995年からインターネットにおいて提供されている植物生産分野関連の情報を調査・収集している。メーリングリストのアドレス、ニュースのグループ、ファイル転送のホスト名、WWWのホーム(メインメニュー)ページを単位として、これまでに収集した植物生産関連の情報は、1996年3月13日現在で、616個であった。このうち、日本語で提供されているものが162個で、日本からの発信と確認できたものが181個あった。

植物生産分野で使用されているインターネットを利用するソフトウェアの種類としては、電子メール、ニュース、ファイル転送、WWWの4種類が主なものである。そして、WWWによる場合が、全体の95%を占めている。この理由として、現在では、電子メール、ニュース、ファイル転送の機能はWWWのソフトウェアに全て含まれていることが普通であり(たとえば、NetScape NavigatorやInternet Explorerなどの商標のソフト)、他のソフトウェアを使用する必要がないためである。また、情報を受信する側ではコンピュータキーボード操作がほとんど必要ないことも、多くの人に好まれる原因になっている。

先の1996年3月13日の調査から、農業関係の情報は、世界で約12,920個提供されていると推定できた。これは、インターネットに接続されているコンピュータのうち、1000台に約1.5台の割合で農業に関する情報を提供していることになる。また、農業分野のWWWは約122,700ページ提供されていると推定でき、これは、インターネット全体のページ提供数の約0.44%に相当した。

インターネットで公開されている情報の種類には、各種のものがある。植物生産に関するものでは、品種情報、栽培方法、電子図鑑、病虫害の発生予察、人工衛星画像、気象情報、農業文献検索、電子農業雑誌、電子掲示板、各種農業機器の販売情報、市況情報、圃場監視カメラ、農産物販売情報、農業政策情報などである。



## (2)インターネットにおける植物生産情報の整理

インターネットで提供されている植物生産情報は、近年、量の増加が著しい。これらの情報を収集して整理し、使いやすく提供していくことは、インターネットを有効に活用するために必要不可欠である。このような考えに基づいて、植物生産関連情報のディレクトリサービス、「植物生産のためのインターネット道しるべ (Internet Guidepost for Plant Production)」、略して IGPP を制作し、提供している(図 23)。植物生産に関する日本のほとんどの情報と世界の主要な情報を集録しており、1996 年 10 月現在、日本語版・英語版あわせて約 70 ヶ国、約 100 件/日の参照がある。もし、IGPP に掲載されていない植物生産に関連する情報がある場合には、ページから登録申請することも可能である。

IGPP を運営している理由のもう一つは、日本の植物生産の情報を世界に発信する窓口にしたと考えているためである。インターネット先進国であるアメリカでは、農業の分野でも進んでおり、さまざまな有益な情報提供を実施している。我々は、それらの情報を覗き見ているだけで良いのであろうか。情報泥棒と軽蔑されないためにも、また、日本の農業とそれを取り巻く状況を理解してもらうためにも、日本の農業情報を世界にもっと発信していく必要があると考える。このような哲学から、IGPP では、掲載の希望があった情報については、たとえ、それが日本語だけで提供されていても、英文の説明を付加して公開している。

IGPP は WWW を使って利用する。WWW ブラウザのプログラムを起動し、URL (Uniform Resource Locator) という欄に、<http://www.fb.u-tokai.ac.jp/plant/production> と半角文字で入力すると、図 23 の画面が現れる。ここから、植物生産に関する世界中のさまざまな情報に到達することができる。この他、我々の研究室では、JavaScript、ShockWave などによる植物生産支援ソフトウェアのインターネットによる汎用化の試み、オンライン気象ロボット CGI、SMTP による環境制御システムの遠隔操作実験などを行っている。

## 7.さいごに

植物生産におけるコンピュータの利用について、我々の研究室で取り組んできた事柄について概略を述べた。情報をうまく活用することによって、省資源(低コスト)な生産、計画的な生産、高品質な生産の実現が可能になると考える。今後も、コンピュータ利用の重要性は増加することはあっても、減少することはないと考える。

## 文 献

- 星 岳彦、1996: インターネット時代における農業情報提供の現状と課題、システム農学、12(2)、126-12.
- 星 岳彦、1996: インターネットにおける農業情報整理の重要性と植物生産情報の探し方、農業情報利用、増刊号、50-55.
- 星 岳彦、1996: 農業におけるインターネット利用の現状と展望(1)、農業および園芸、71(7)、797-801.
- 星 岳彦、1996: 農業におけるインターネット利用の現状と展望(2)、農業および園芸、71(8)、

- 900-906.
- 星 岳彦、1996: JavaScript によるインターネットを介した植物生産支援システムの可能性、日本植物工場学会平成 8 年度大会学術講演要旨集、79-80.
- 布施順也・星 岳彦、1996: データ操作方法標準化に ODBC を用いた環境計測制御システムの検討、日本植物工場学会平成 8 年度大会学術講演要旨集、69-70.
- 星 岳彦・瀧口 武・高辻正基、1995: 環境制御システムのユーザインターフェースのための植物成育画像の応用.
- 林 泰正・星 岳彦、1995: 植物個体毎の土壌水管理のための自走式灌水ロボットの開発、植物工場学会誌、7(4)、204-209.
- 星 岳彦・高辻正基、1995: インターネットの SMTP を用いた環境計測・制御情報システム、日本植物工場学会平成 7 年度大会学術講演要旨集、5-6.
- 星 岳彦・布施順也、1995: 積算環境計測値に基づいた生育モデル作成支援システム、日本農業気象学会 1995 年度全国大会・日本生物環境調節学会第 33 回集会・平成 7 年度農業施設学会大会合同大会講演要旨、214-215.
- 布施順也・星 岳彦、1995: SQL を用いた環境制御システム操作プロトコルの標準化、日本植物工場学会平成 7 年度大会学術講演要旨集、3-4.
- Hoshi, T. and J. Fuse, 1995: An object-oriented plant growth modeling support system based upon cumulation of environments, Proceeding of 2nd IFAC/IFIP/EurAgEng Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture, 47-52.
- 星 岳彦・岡野利明・関山哲雄・高辻正基、1994 自動化植物工場のための植物移動システムの開発、植物工場学会誌、5(2)/6(1)、15-22.
- 星 岳彦・布施順也、1994: 植物生産環境制御システムプロトコルの標準化、日本農業気象学会 1994 年度全国大会・日本生物環境調節学会第 32 回集会合同大会講演要旨、146-147.
- 星 岳彦、1993: 病虫害診断システム、農業および園芸、68(1)、123-127.
- 星 岳彦、1992: 植物工場における環境制御装置のオブジェクト指向ソフトウェア開発支援システム、植物工場学会誌、3(2)、129-136.
- Hoshi, T., 1992: Expert system for maintenance and environmental control of plant growth factories, Proceedings of IFAC workshop on expert systems in agriculture, International Federation of Automation Control, 15-19, China.
- Hoshi, T., T. Abe and K. Nuki, 1992: Development of an Expertsystem Using Image Database for Diagnosing Plant Protection, Acta Hort., 319, 635-640.
- 星 岳彦・平藤雅之・本條毅編著、1990: バイオエキスパートシステムズ、コロナ社、208pp.

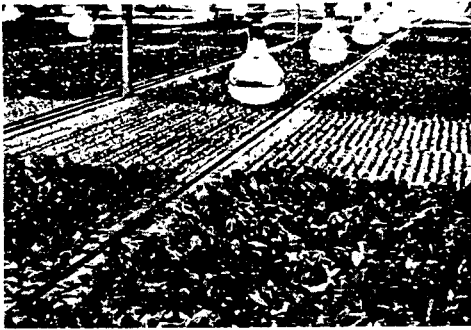


図1 植物移動システムの実験のための植物工場  
Fig.1 A plant factory for experiment of the plant transportation system.

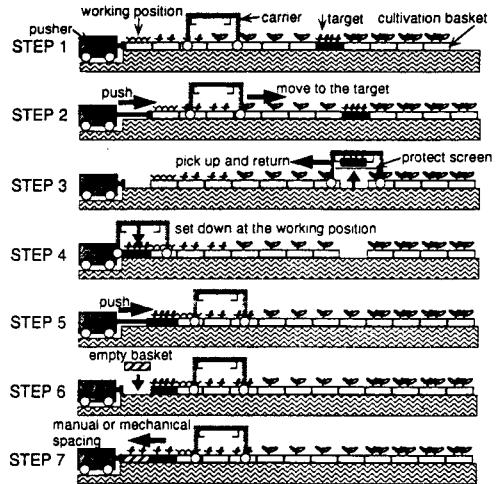


図2 本植物移動方式による株間調整の作業概念図  
Fig.2 Schematic diagram showing the way of plant spacing by the plant transportation system.

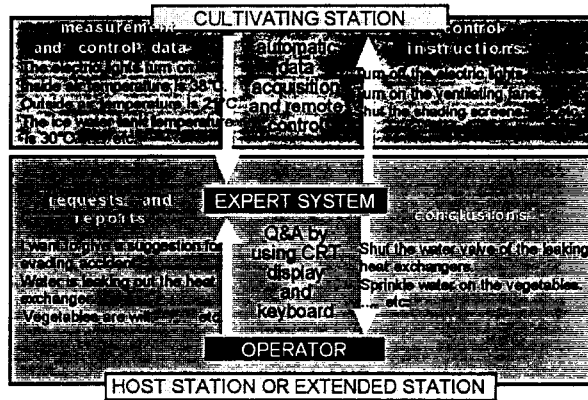


図3 開発したオンラインエキスパートシステムの動作概念  
Fig.3 Schematic diagram of the developed on-line expert system.

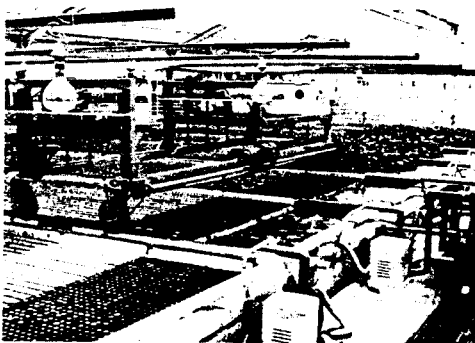


図4 試作した植物移動装置  
Fig.4 Developed the plant transportation system.

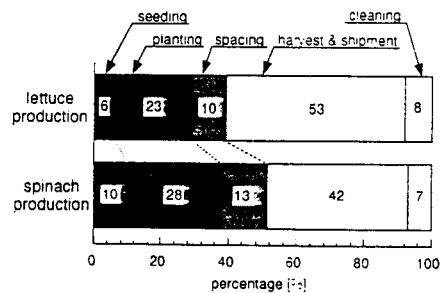


図5 本植物移動方式を適用した植物工場における作業時間配分  
Fig.5 Working hours distribution in application of the plant transportation system to the testing plant factory.

<<07年10月2日>>

●●栽培機台状況●●  
 加勢V777, カササ77, クワリソ77, セン77  
 左の数字は稼働調整の稼働、右側の数字は定機後の日数  
 ---ベッド1---  
 81(0808)02(1001)03(0802)04(0803)05(0804)06(0805)07(1013)08(1013)  
 09(1013)10(2013)11(2014)12(2014)13(2014)14(2015)15(2015)16(2015)  
 17(2015)18(2016)19(2016)20(2016)21(2016)22(2017)23(2017)24(2017)  
 25(2017)26(2018)27(2018)28(2018)29(2018)30(2018)31(2021)32(2021)  
 33(2021)  
 ---ベッド2---  
 41(2017)42(2017)43(2018)44(2018)45(2018)  
 施設面積利用率88.8%

●●作物別稼働状況●●  
 ホウレンソウ  
 ベッド1 27架台( 5612株)  
 ベッド2 27架台( 5612株)  
 ベッド3 21架台( 4844株)  
 ベッド4 27架台( 4257株)  
 合計 96架台( 28124株)  
 稼働稼成比39.1% 面積占有率26.7% 稼働調整率約率100.3%

サラダナ  
 ベッド4 16架台( 2580株)  
 .....(略).....  
 稼働稼成比3.8% 面積占有率3.3% 稼働調整率約率400.8%

●●本日の作業●●  
 ---出稼---  
 ホウレンソウ(採穫残り 3kg)  
 ベッド1 4架台 774株 23kg  
 ベッド2 4架台 774株 23kg  
 ベッド3 4架台 774株 23kg  
 ベッド4 4架台 774株 23kg  
 合計 16架台 3896株 92kg

サラダナ  
 .....(略).....  
 ---稼働調整---  
 .....(略).....  
 クリーンリーフ  
 第1号稼働稼成調整 2架台  
 ベッド3 2架台  
 ベッド7 2架台  
 ベッド8 6架台  
 小計 10架台  
 第2号稼働稼成調整 1架台  
 合計 11架台 5架台  
 ---定植---  
 .....(略).....  
 センボウサイ  
 ベッド1 1架台  
 ベッド2 1架台  
 .....(略).....  
 合計 2架台  
 ---ベッド満杯による栽培架台撤去---  
 ベッド8 1架台  
 合計 1架台

図6 作業計画システムの出力例(一部)  
 Fig.6 An example of the working plan management system output (in part).

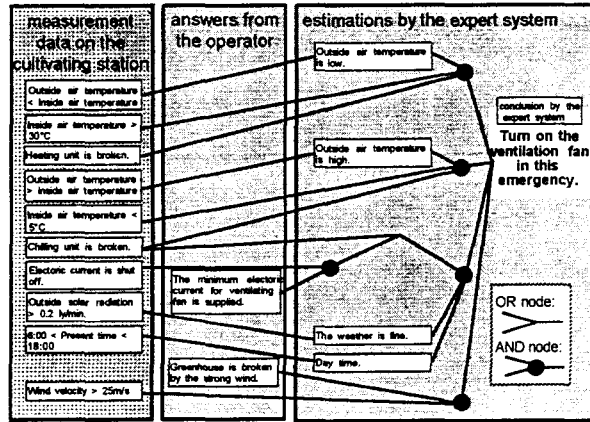


図7 オンラインエキスパートシステムにおけるルールの構成(一部)  
 Fig.7 Rule compositions in the on-line expertsystem (in part).

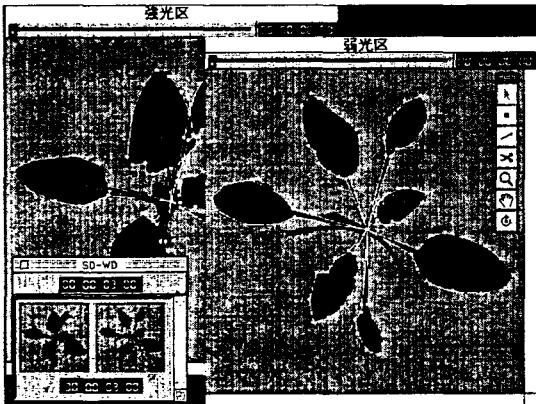


図8 モーフィング変換におけるキーポイントの設定画面(画像ウインドウの白い点がキーポイントを示している)  
 Fig.8 Screen output for setting the key points in the morphing transformation (White dots in the image windows show the key points).

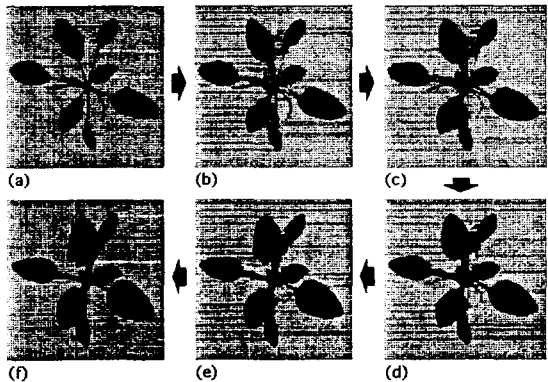


図9 弱光条件(a)と強光条件(f)で収録したホウレンソウ画像と生成した中間画像(b-e)  
 Fig.9 Captured images of spinach growth under low PPF condition (a) and high PPF condition (f), and generated intermediate images (b-e).

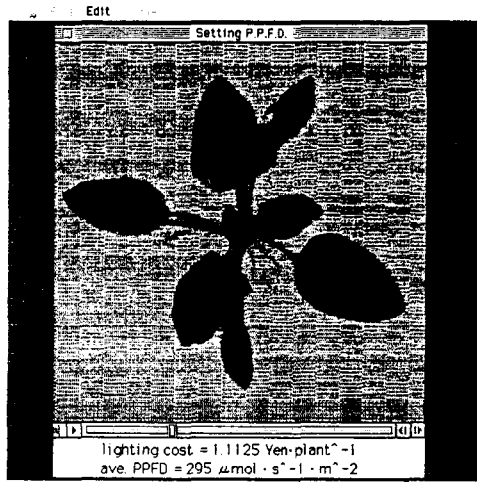


図 10 合成されたホウレンソウの画像を用いた PPFD の設定画面

Fig.10 Screen output for setting the PPFD using the synthesized spinach images.

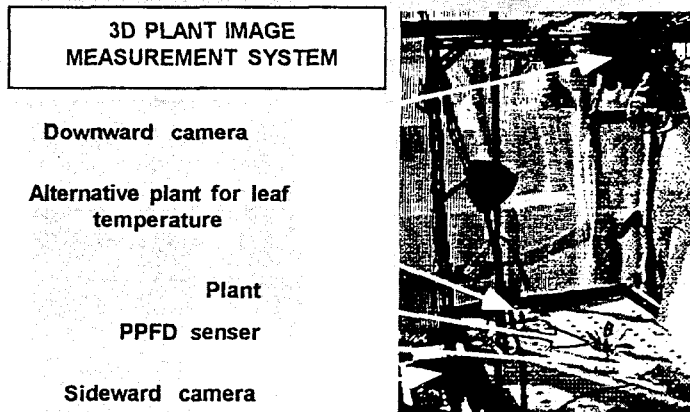


図 11 三次元植物画像計測システム

Fig.11 3D plant image measurement system.

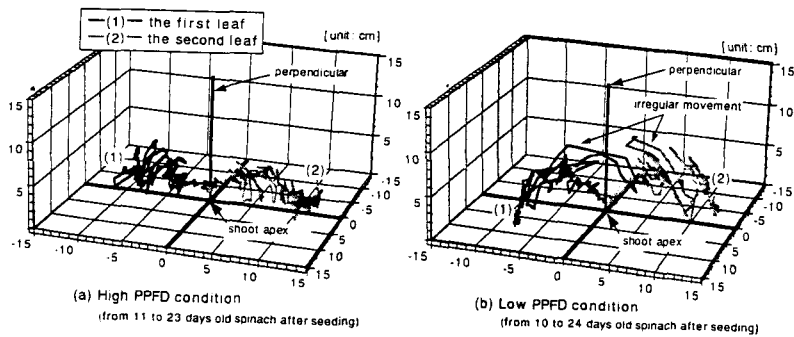


図 12 異なる PPFD における生長と運動に伴うホウレンソウ葉先端部の軌跡

Fig.12 Locus of the leaf tops with growth and movement at different PPFD.

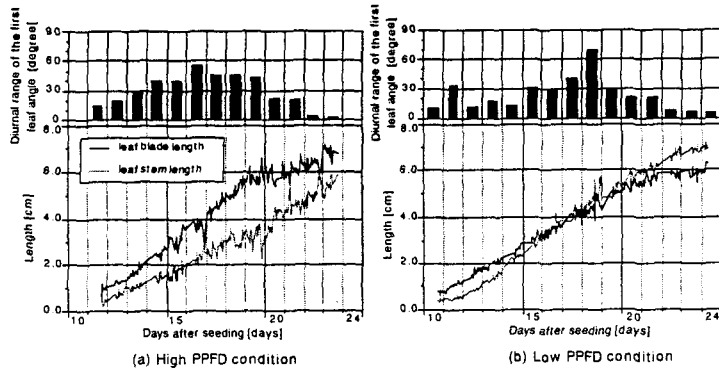


図 13 異なった PPFD における本葉第 1 葉の角度と葉身長と葉柄長の経時変化

Fig.13 Time-courses of the diurnal changes of the first leaf angle and the length of the first leaf blade and petiole at different PPFD.

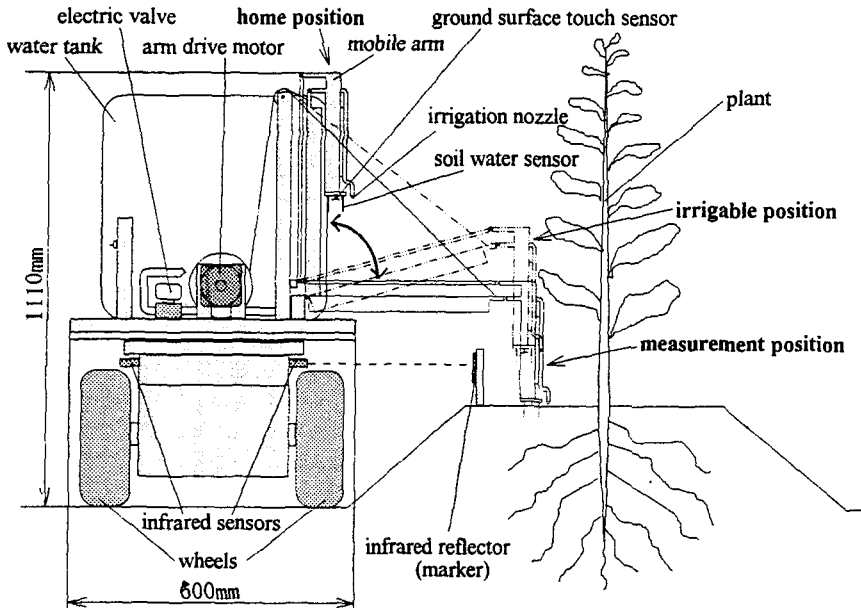


図 14 土壤水管理ロボットの概要

Fig.14 Outline of the soil water control robot.

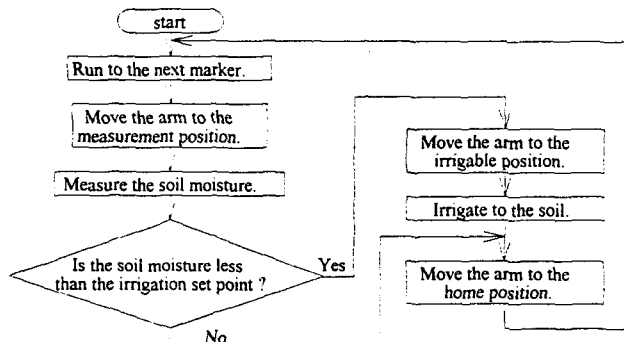


図 15 土壤水管理ロボットの概略フローチャート

Fig.15 General flowchart of the soil water control robot.

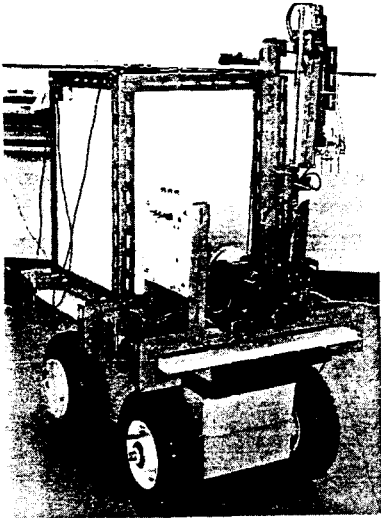


図 16 試作ロボットの概観

Fig.16 Outside view of the robot on a trial basis.

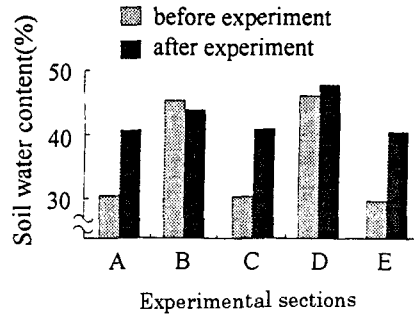


図 17 ロボットによる土壌水管理実験の結果の一例  
Fig.17 A result of the soil water control experiment by the robot.

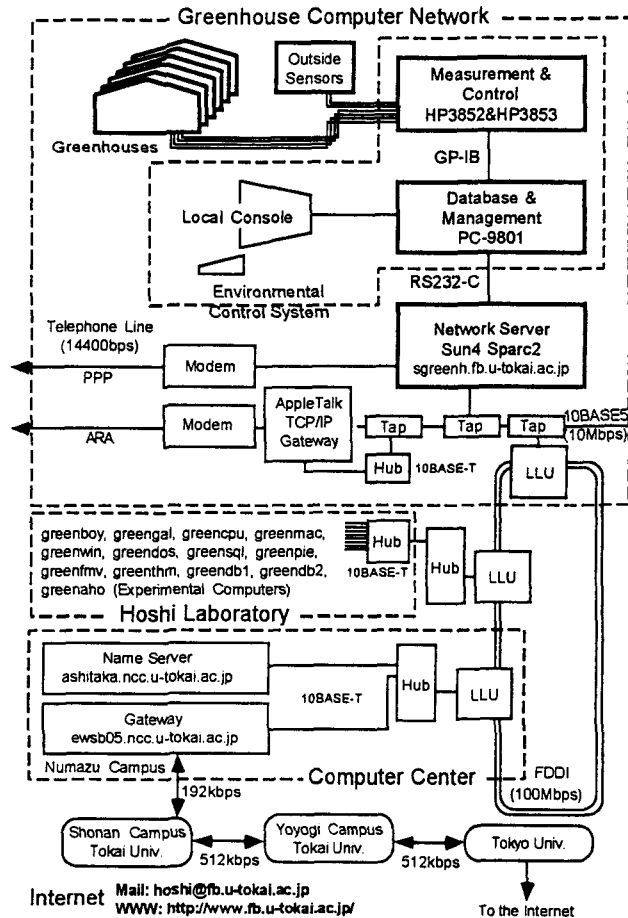


図 18 コンピュータネットワークの概略

Fig.18 Outlines of our computer network

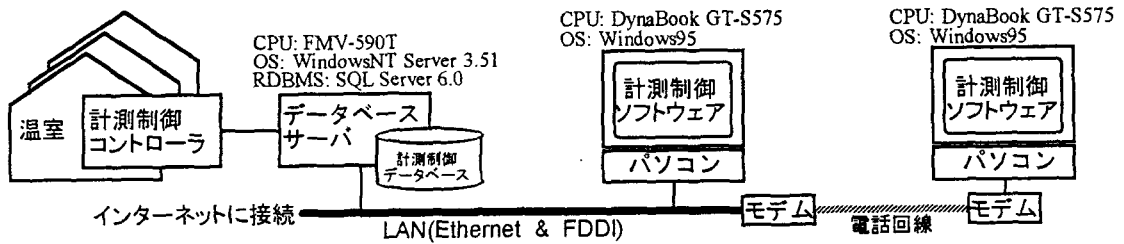


図 1. システム構成

図 19 環境計測データ高度利用システムのための実験システム

Fig.19 Experimental system for advanced using systems on measured environmental data.

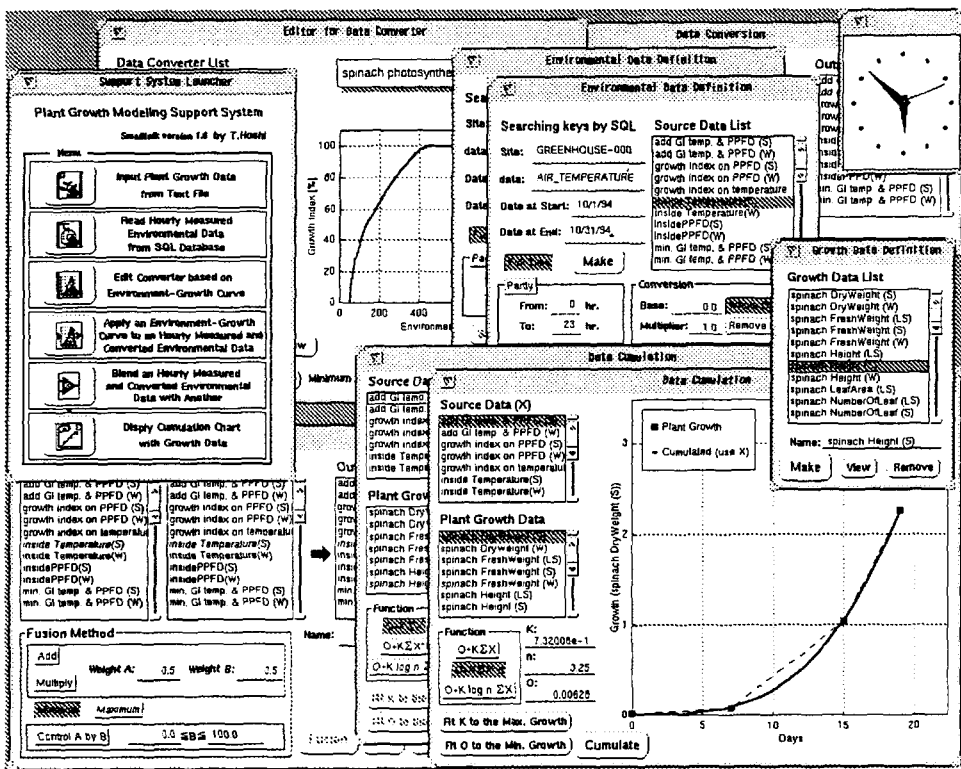


図 20 SmallTalkによる環境計測データの解析システム

Fig.20 Analyzing system of measured environmental data by SmallTalk.



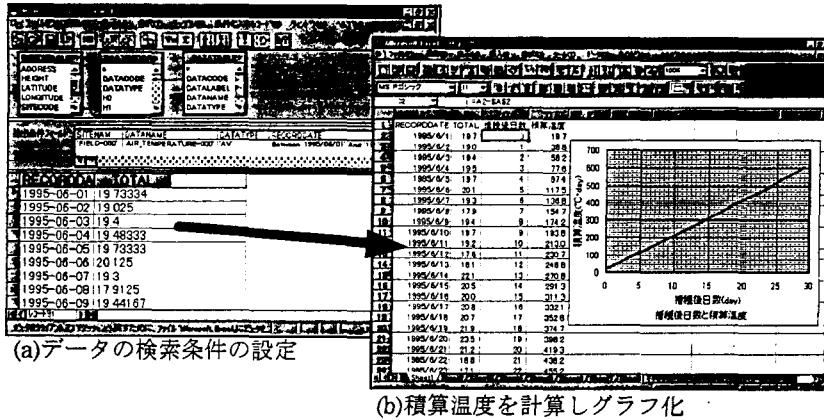


図 21 Excel による積算温度計算システム  
 Fig.21 Calculating system for cumulative temperature by Excel.

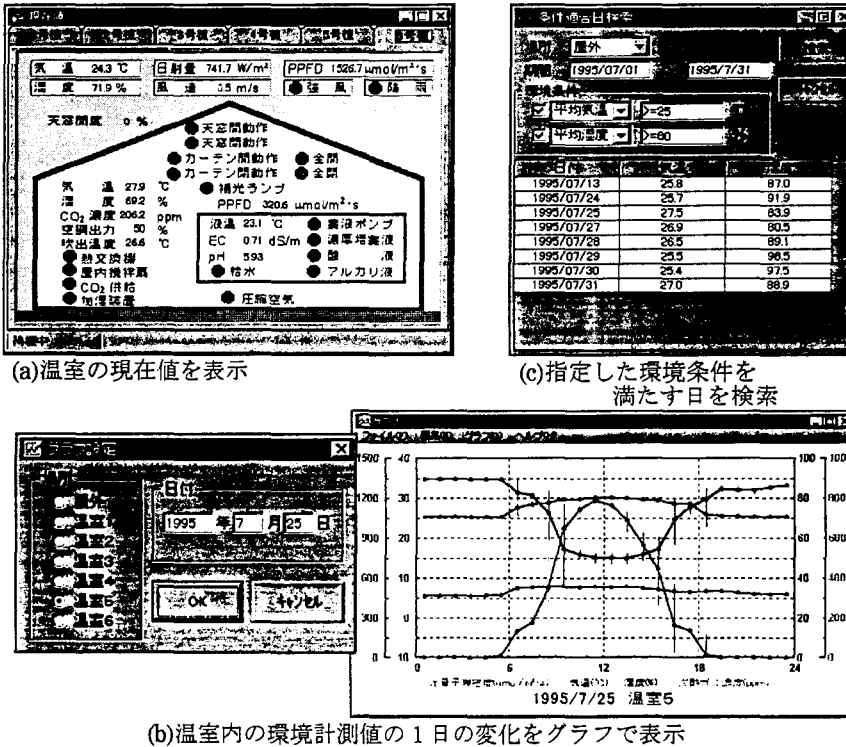


図 22 VisualBasic による環境計測制御データ処理システム  
 Fig.22 Data processing system for environmental measurement and control by VisualBasic.

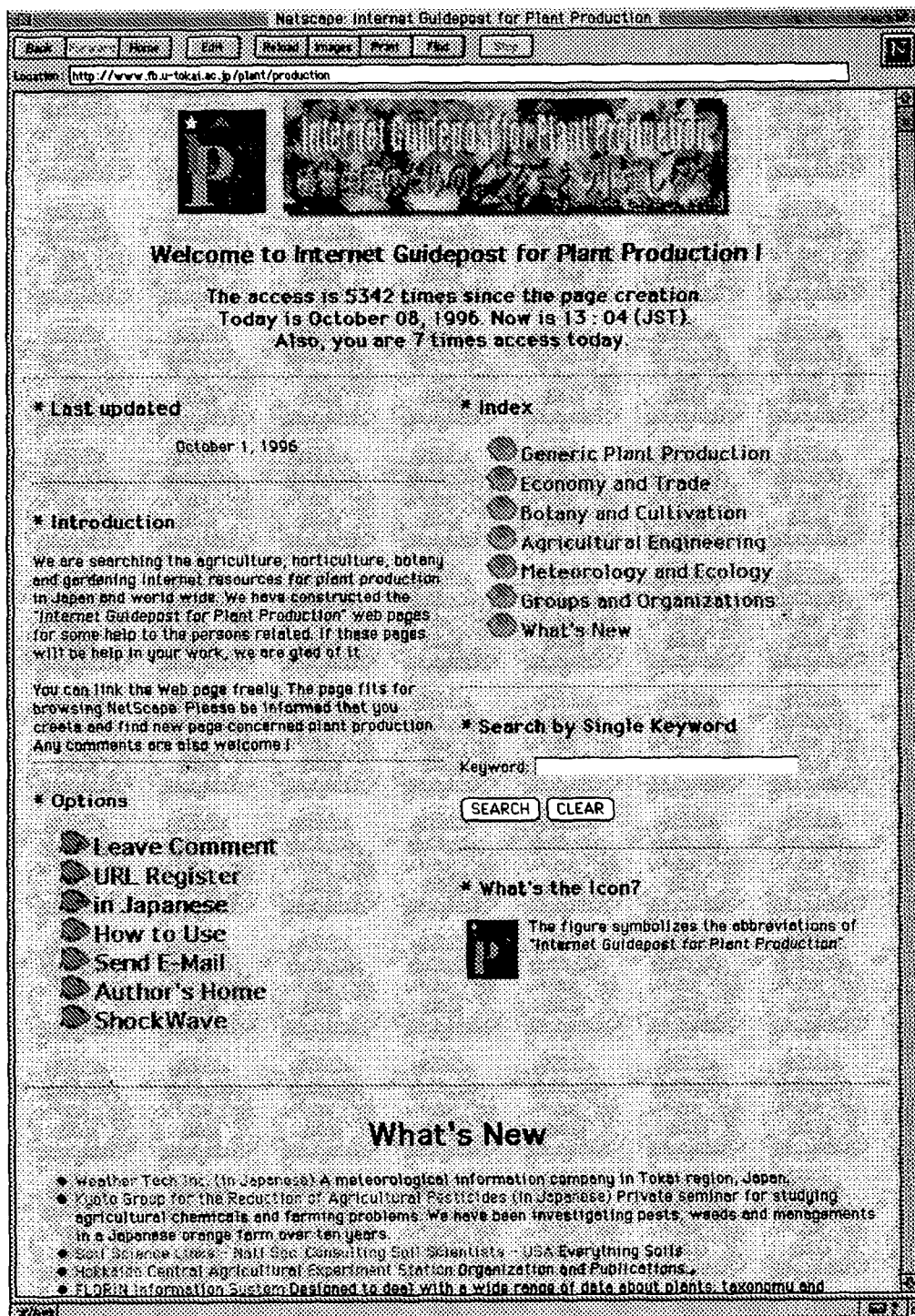


図 23 植物生産のためのインターネット道しるべのウェブのページ

Fig.23 Web page on the Internet Guidepost for Plant Production.

식물생산을 위한 컴퓨터 지원시스템 개발  
Development of Computer Based Support Systems for Plant Production

토카이대학 개발공학부 생물공학과  
星 岳彦(호시 타케히코)

1. 서언

한정된 자재 및 에너지를 유효히 활용하여 고품질의 식물생산을 위해서는 고도의 환경제어와 적절한 관리작업이 필요하다. 이를 실시하기 위해서는 환경계측제어나 식물생육에 항상 주의를 기울일 필요가 있으며 지속적인 주의력과 다수의 요인에 대한 종합적인 판단력이 불가피하다. 이를 위해 인력만으로 이것들을 실시하려고 하면 노력이 못미치어 불안정하게 되며, 또한 생산규모의 확대가 인건비 상승에 직접적으로 연관되어 규모화의 이점을 얻기 힘들다. 이러한 이유에서 환경제어와 관리작업을 컴퓨터로 대체 또는 지원시스템으로서 고품질의 생자원적(省資源的)인 식물생산을 위한 시스템을 검토하고 있다. 특히 시설생산에서는 제어가능한 환경조건이 많아 지고 있고, 또한 집약적 생산이 이루어지고 있기 때문에 컴퓨터의 이용은 불가피한 실정이다.

식물생산을 위해서 현재 사용되고 있거나 개발단계에 있는 컴퓨터 지원시스템을 용도별로 분류하면 다음과 같다.

(1) 환경제어시스템

컴퓨터를 이용하면 온도나 습도 등의 물리적 환경설정치를 기초로 하여 정확하게 환경제어를 할 뿐 아니라 식물생육의 지식에 따라서 이 설정치 자체를 변경하는 일도 쉽게 실현할 수 있다. 예를 들어 야간 변온관리나 DIF 등이다. 시설생산에서 복합환경제어를 수행하는 컴퓨터 제어장치가 각 회사에 의해 시판되고 있다. 일본에서는 1993년에 1718대가 260ha의 시설에서 사용되었고 1995년까지 생산기업의 누계출하대수는 5688대를 넘고 있다. 시설생산이외의 분야에서는 비의 관개수위 제어시스템 등이 개발되고 있다.

(2) 환경계측해석시스템

포장의 기상계측이나 시설의 환경계측 데이터를 해석하여 재배관리에 응용하기 위한 시스템이다. 그 예로 과수의 상해(霜害)감시시스템이나 적산온도에 의한 수확적기 판정시스템 등이 있다. 컴퓨터기술의 진보에 따라서 저비용으로 대량의 데이터가 처리가능해 졌다. 따라서 단순히 계측, 보존밖에 안되었던 환경데이터를 생산자 수준에서도 유효하게 활용할 수 있는 전망이 보이고 있다.

### (3) 작업계획시스템

생산이 대규모화 함에 따라서 각각의 생산관리작업량도 방대하여 진다. 식물의 생육상황, 노동력, 날씨 등에서 적절한 작업계획을 책정하여 효율적으로 노동력을 배분하면 생력생산에 크게 공헌한다. 그 예로 포장작업 계획시스템이나 작업지원시스템 등이 있다.

### (4) 생산관리작업시스템(작업로봇)

기존의 농업기계에 부착시켜 다소의 판단력이 필요한 작업을 컴퓨터를 사용한 메카트로닉스로 대체하는 시스템으로서 작업로봇이라 불리어 지고 있다. 그 예로 수확로봇이나 선과로봇 등이 개발되고 있다. 금후 인건비의 높은 상승, 위험·불결·단순작업 등에 대한 기피추세로 인하여 개발과 보급에 더욱 더 박차가 가해지리라 생각된다.

### (5) 생산정보시스템

컴퓨터 네트워크와 데이터베이스 기술의 향상과 더불어 분산데이터베이스를 컴퓨터로 손쉽게 다룰 수 있도록 되고 있다. 기상정보, 재배정보, 병해충정보, 시장상황정보 등 식물생산에 관한 정보를 원하는 형태로 신속하게 입수하는 시스템이 이용가능하여 지고 있다. 그 예로 인터넷에서의 WWW시스템 등이 있다.

본고에서는 저자의 연구실에서 연구와 개발을 하고 있는 몇 개의 식물생산을 위한 컴퓨터 지원시스템에 대하여 개략적으로 소개하고자 한다.

## 2. 식물공장생산에서의 지원시스템

### (1) 목적

식물공장 등 다수의 식물을 집약적으로 연속해서 생산하는 시설에서는 공간의 이용효율을 향상시키기 위하여 무통로재배나 입체재배가 불가피해 지고 있다. 또한 이와 같은 재배방법에 적합한 식물관리방법이 요구된다. 게다가 시설 설비 기기의 사소한 고장으로 인하여 다수의 식물이 영향을 받아 경제적으로 큰 손실을 입을 위험성이 높다. 여기에서는 이것들에 대응하기 위하여 자동화 식물공장을 위한 식물이동시스템, 운전지원 온라인 엑스퍼트 시스템을 개발한 사례에 대하여 서술한다.

### (2) 장치 및 시스템

식물이동시스템을 검토한 식물공장(그림1)에서는 담액식 양액재배로 엽채류를 재배하였다. 여기에서의 식물생산 방법으로는 베드의 한쪽 끝부분을 작업영역으로 하여 작업자 또는 작업기계를 필요로 하는 작업은 이곳에서 하는 것으로 하였다. 엽채류생산에서 필요한 작업은 재배가대 설치(정식), 주간조정, 재배가대 철거(수확)였다. 재배가대를 단위(單位)로 하여 작업영역으로 식물을 이동하는데 필

요한 조작으로서 2개의 요소를 생각하였다. 즉 임의의 장소에서 재배가대를 끌어 내어 작업영역에 운반하는 조작과 작업영역에서 작업이 끝난 재배가대를 작업영역에서 끌어 내는 조작이다. 이들 조작을 실행하는 장치를 각각 재배가대 이동장치와 재배가대 압송장치라 명하였다. 식물이동방법에 의한 주간조정 작업의 작업개념도를 그림2에 나타냈다. 식물이동시스템을 사용하기 위하여 식물생육, 작업자의 일정 등에 근거해서 식물이동작업의 계획을 입안하는 작업계획시스템도 개발하였다.

재배가대 이동장치의 동력은 연축전지를 전원으로 하는 직류모터로 하였다. 작업자가 제어단말기에서 설정하면 재배가대 장소까지 장치가 이동하고 그 가대를 고리로 들어 올려서 작업영역까지 자동으로 운반하여 설치하는 일련의 작업을 자동으로 할 수 있는 것을 기본사양으로 하고 있다. 동작의 제어장치는 마이크로컴퓨터에 의한 프로그램 콘트롤러를 사용하였고 재배가대 압송장치는 유압실린더를 사용하였다.

식물공장의 운전지원 온라인 엑스퍼트 시스템은 식물공장이 보급됐을 경우의 긴급조작이나 상태유지에 이용하는 것을 목적으로 개발하였다. 이것은 식물공장에 설치된 환경제어컴퓨터와 룰 베이스형 엑스퍼트 시스템을 통신회선으로 결합시켜 이상발생시의 긴급처리, 기기의 이상진단, 점검부위의 지시 등을 행하는 것이다. 시스템구성을 그림3에 나타냈다.

### (3) 결과 및 고찰

시작장치의 식물공장에서의 사용상황을 그림4에 나타냈다. 재배가대 이동장치 1대와 재배가대 압송장치 2대의 개발·시작비는 약 550만엔이었다. 본 장치를 이용하여 600m<sup>2</sup>의 재배면적에서 엽채류생산을 했을 경우의 노동시간배분을 그림5에 나타냈다. 노동시간의 약 1/2이 수확·출하조정에 충당되었고 중노동의 비율은 약 13%를 차지하여 경작업 중심이 되었다. 식물이동장치의 동작시간의 실측결과로부터 본 시작기 1조의 관리능력은 1일 8시간의 취업시간내에서 재배면적 1,640m<sup>2</sup>(시금치 생산량 19,000주/일)까지 대응할 수 있었다. 하루의 작업계획을 관리하고 재배가대의 위치를 관리하는 작업계획시스템의 실행일례를 그림6에 나타냈다. 작업계획시스템을 사용함으로써 본 식물이동시스템에 의한 작업계획의 입안, 수확량의 파악이 용이하여 졌다.

또한 운전지원 온라인 엑스퍼트 시스템은 109개의 룰을 집어 넣어 결론적으로 62종류의 조작·작업방법의 지시를 가능하게 하였다. 룰 구성의 일부를 그림7에 나타냈다. 기본적인 성능을 시험할 목적으로 (1) 냉동기 고장에 의한 실내기온 상승, (2) 열교환기의 누수에 의한 실내기온 상승, (3) (2)와 같은 원인에 의한 실내기온 저하, (4) 강풍에 의한 재배실 파손, (5) 건습구의 물 부족에 의한 습도제어의 이상 등 5건의 이상조건을 가정하여 동작시험을 하였다. 제각기 5분정도의 소요시간에서 적절한 긴급조작방법을 지시하는 일이 가능하였다.

각종설비가 구비된 집약적 시설에 의한 식물생산에서는 지금까지 서술한 바와 같이 컴퓨터를 이용한 작업장치 및 지원시스템을 도입하는 것이 생산의 효율화와

안정화에 불가피하다고 생각된다. 이밖에 식물생산을 위한 엑스퍼트 시스템으로서 컬러영상을 이용한 병해진단 엑스퍼트 시스템 등을 개발하고 있다.

### 3. 식물형태 정보에 근거한 환경제어시스템

#### (1) 목적

시설의 환경을 제어하는 환경제어시스템은 환경을 정확히 제어할 뿐 아니라 희망하는 품질로 식물의 계획적 생산을 지원하는 기능을 구비하는 일도 급후 중요해 질 것이다. 왜냐하면 경영면에서는 단지 생산물의 중량평가 뿐 아니라 판매가격에 큰 영향을 미치는 생산물의 품질면에서도 제어가 요구되고 있기 때문이다. 이를 위해서는 현재의 환경제어 상태에서 어떠한 품질의 식물이 생산할 수 있는가를 나타내는 기능이 필요하다. 더 나아가서는 생산하고 싶은 식물의 품질을 입력하면 적절한 환경제어방법을 실시할 수 있도록 생산 CAD적인 기능을 갖추는 것이 바람직하다. 환경제어시스템과 생산자와의 사이를 인터페이스하기 위해서 이와 같은 품질에 관한 정보를 수치나 그래프화하는 방법만으로는 한계가 있음이 분명하다. 식물생산분야에서 색이나 형태 등의 시각정보는 매우 중요하다. 특히 시장평가, 병해진단, 재배관리에 있어서는 시각정보가 대부분을 차지하고 있다고 해도 과언은 아니다. 근년 컴퓨터기술의 진보에 의해서 시각정보 등의 정량화하기 힘든 정보를 원래의 형태에서 인간과 대화식으로 교환하는 기술이 개발되고 있다. 현실을 시뮬레이트함으로써 현장감을 살린 정보를 인간에게 전달하고 인간의 일상적인 거동을 통하여 컴퓨터가 정보를 얻는다. 이와 같은 목적을 지닌 시스템을 가상현실감(VR; Virtual Reality)시스템이라 부르고 있다. 식물생산분야에 있어서도 VR기술을 응용한 식물의 생육예측영상을 이용해서 생산자가 예상하는 생육상태를 제어방법의 결정에 그대로 사용하는 일이 가능한 환경제어시스템을 급후 생각할 수 있다.

하나의 방법으로서 최소한의 환경조건의 조합만으로 재배시험을 하여 축적된 실제영상에 영상처리를 가하는 것으로, 재배시험을 하지 않는 조건의 생육상태의 영상을 합성하는 방법이 있다. 여기서는 실제영상으로서 명기(明期)의 광강도를 바꾼 시금치의 영상을 사용하여 morphing변환에 따른 영상처리에 의해서 보간(補間)을 시험하였다. 그리고 식물생육에 관한 시각정보를 사용자 인터페이스에 이용함으로써 식물생산 CAD시스템으로서의 기능을 갖춘 환경제어시스템 구축의 가능성에 대하여 검토를 하였다.

#### (2) 재료 및 방법

시금치는 담액식 양액재배를 하였다. 평균 광합성 유효광량 자속밀도(Photosynthetic Photon Flux Density; PPF)가 약  $150 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 생육한 시금치를 약광조건하의 시금치 영상(약광구)으로 하고, 약  $350 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 생육한 시금치를 강광조건하의 시금치 영상(강광구)으로 하여 파종후 23일째(거의 수확적기)의 생육영상을 수록하였다. 영상수룩에는 8mm비디오카메라를 사용하

였다.

비디오테이프에 수록된 영상은 비디오 digitizer에 의해 색정보 24비트의 풀 컬러 TIFF 영상파일로 변환시키고 영상처리에 의해서 보정처리를하여 표준화하였다. morphing변환을 위한 착목점과 그 점의 결합을 그림8에 나타냈다. 양쪽의 영상사이를 24등분하여 각각의 분할점인 28매의 중간 영상데이터를 morphing 변환에 의해서 생성하였다.

### (3) 결과 및 고찰

화상을 보간한 결과를 그림9에 나타냈다. 그림상단의 2매의 영상을 제외하고는 morphing변환에 의해 합성한 영상이다. 금번 수록영상의 예에서는 강광구의 시금치 자엽이 본엽 아래에 숨겨져 있었기 때문에 자엽주변부에서 혼란을 조금 볼 수 있었다. 그러나 전체적으로는 강광형태에서 약광형태로의 변화가 거의 만족할 수 있는 품위로 표현되고 있다고 생각된다.

또한 시금치의 형태변화 영상을 25매의 동(動)영상 파일로 작성하였다. 이 과일을 이용하여 식물생산 CAD적인 기능을 갖춘 환경제어시스템에 의한 광조건의 설정장면을 가상한 시작프로그램의 동작례를 그림10에 나타냈다. 그림 밑의 바를 마우스에 의해 슬라이드시키면 화면의 시금치 형태를 광조건에 맞추어서 순시간에 변화시키는 일이 가능하다. 이 프로그램에 의해 생산자는 생산되는 식물을 보면서 소비전력량(생산비용)과 함께 광강도를 설정하는 일이 가능하였다.

금회의 보간은 색채변화 및 착목점의 좌표변화의 양쪽을 직선으로 보간하였다. 그러나 광강도에 따른 시금치 형태변화가 직선적인지 아닌지에 대해서는 금후 실험이 필요하다. 또한 중간적인 광조건에서 실제의 재배시험 결과와 비교하여 최적보간관수를 구할 필요가 있다고 생각한다.

동시에 시금치가 생육하는 과정의 형태변화를 그림11의 장치에 의해 입체적으로 연속해서 계측하여 해석하였다. 그 결과로서, 예를 들어 잎은 기부에서 직선적으로 신장해 가는 것이 아니라 상하로 운동하면서 신장해 가는 것으로 나타났다. 더구나 광강도 등의 환경조건에 의해서 운동패턴에 차이가 있는 것도 확인되었다. 또한 엽병과 엽신의 길이를 연속적으로 측정하여도 그 차이를 파악할 수 있었다. 금후에 이와 같은 지건을 사용해서 영상입력에 의한 식물의 생체정보를 연속적으로 계측한다면 환경제어에 응용하는 시스템 개발이 가능하리라 생각된다.

## 4. 관수지원 로봇

### (1) 목적

토양을 배지로 한 고품질 식물생산에 있어서 토양수분의 관리는 반드시 필요하며 작물의 품질에 큰 영향을 준다. 생산자는 매일 많은 노력을 물관리에 허비하고 있다. 또한 식물 1주별(개체별) 물관리가 가능해지면 생산물의 품질균일화를 확실히 할 수 있으나 더 많은 노력이 필요하다. 튜브관수장치 등 지금까지

시판된 관수자동화장치의 대부분은 시설단위에서 일괄적으로 관수하도록 되어 있다. 일본에서는 온실멜론 등 고가인 작물을 생산할 경우에는 인력으로 개체별 관수를 한다거나 자동관수장치로 최소한의 관수를 하여 나중에 인력으로 개체별 관수량을 미세조정하고 있다.

따라서, 고품질이면서 균일한 작물의 생력적 생산을 수행할 목적으로 개체별 물관리를 하는 자주식 관수로봇을 개발하였다. 현재, 재식이 안된 상태에서 평가 시험을 하고 있는 단계이다.

## (2) 구성

개발한 로봇(그림 14)은 마이크로컴퓨터를 내장하여 미리 주행로를 기억하고 차축의 회전수와 주행로에 부착된 적외선 반사판에서의 적외선 반사신호를 보조 정보로 이용하여 자동무인주행한다. 로봇은 식물의 각 개체의 지체부 부근의 토양수분을 측정하고 관수가 필요하면 관수하도록 프로그램되어 있다(그림 15).

## (3) 결과 및 고찰

시작한 로봇(그림 16)을 사용하여 토양수분의 불균일한 토양을 관리시키는 실험을 하였다. 실험개시시의 토양함수율에는 약 16%의 불균일이 있었으나 6시간 경과후의 실험종료시에는 7%까지 시정되었다(그림 17). 본 로봇은 1시간에 220~360개체의 처리속도를 가지며 1회의 충전으로 5.2~3.4시간 동작이 가능하다. 예를 들어 1000m<sup>2</sup>의 멜론온실에서는 1작기 80~90일, 2800시간의 노동력으로 2,400개체의 머스크 멜론을 재배하며 이들 개체에 대한 물관리는 1일 3회정도 수작업으로 하고 있다.

금번 시작한 로봇을 4대 사용하면 노력이 소요되는 관수작업이 로봇탱크로의 급수작업과 충전지로의 충전작업만으로 가능하다고 시산되었다. 예를 들어 농작업의 로봇화라 하면 컴퓨터 비전을 사용한다거나 높은 정밀도의 로봇 팔이 필요로하여 고가로 되어지기 쉽다. 그러나 본 관수로봇은 비교적 간단한 구조로서 약 70만엔의 제작비용으로 단조롭고 노력이 많이드는 고급작물의 개체별 물관리작업을 경감할 수 있는 가능성을 현실적으로 시사하고 있다.

이외에도 저자의 연구실에서는 시설내 기상환경의 분포측정에 로봇을 이용하는 실험 등 고가센서 및 액츄에이터를 필요로 하지 않는 로봇의 식물생산에의 응용에 대해서 연구하고 있다.

## 5. 환경계측데이터의 고도이용시스템

### (1) 목적

식물생산을 위해서 컴퓨터를 사용한 환경계측제어시스템이 보급되기 시작하여 분단위로 각종 환경의 계측데이터나 제어데이터가 기록되도록 되고 있다. 그러나 지금까지는 이것들을 단지 기록하는 자체만으로, 기껏해야 경향의 추이를 알기 위한 그래프 이외로는 이용되지 않아서, 사장(死藏)되는 일이 많았다. 근년의



컴퓨터의 성능향상은 생산자가 구입가능한 가격대의 컴퓨터로도 이들 데이터처리가 거의 가능한 수준에 도달하고 있다. 따라서 환경데이터를 단지 기록하는 자체의 시스템이 아니라 기록한 데이터를 해석하고 정리하여 생산자에게 제시하는 시스템일 필요성이 있다고 생각한다. 또한 이들 데이터의 통신형식을 통일하여 소프트웨어의 범용성을 높이는 일이 급선무라고 생각한다.

## (2) 시스템 구성

데이터를 기록·검색하기 위한 방법으로 relational 데이터베이스와 SQL (Structured Query Language)의 조합을 이용하였다. 대학구내에 구축한 그림 18의 컴퓨터 네트워크에 그림 19의 실험시스템을 구축하였다. 네트워크에 접속된 컴퓨터로 데이터를 자유롭게 처리하기 위하여 마이크로소프트사의 ODBC(Open Data Base Connectivity)라고 하는 데이터베이스를 응용소프트웨어로 이용하기 위한 표준규격을 이용해서 응용프로그램을 개발하였다. 또한 컴퓨터 네트워크 사이에 넣어 직접 SQL문을 발행함으로써 데이터처리를 하는 응용프로그램의 개발을 하였다. 사용한 OS는 Windows-NT, Windows 95, SunOS(UNIX), Open Windows이고 relational 데이터베이스에는 마이크로소프트사의 SQL-Database를 사용하였다. 사용한 환경제어데이터는 저자의 연구실이 자체 개발하여 사용하고 있는 실험실용 환경제어시스템과 컴퓨터 네트워크에 접속하고 있는 컴퓨터를 serial회로를 접속하여 gateway 프로그램을 작성해서 수집하였다.

## (3) 결과 및 고찰

본 시스템의 응용례는 다수 있고 현재도 개발중인데 결과의 일부를 소개한다. 그림 20은 Small Talk라 하는 객체지향언어를 이용하여 개발한 전문가용 해석프로그램이다. 각종의 환경데이터를 적산처리하여 식물의 생육데이터와 비교하는 일이 가능하다. 예를들어 실험실에서 생산한 시금치의 최저생장기온은 약 5.0℃로 기온에 대한 성장속도의 추정이 거의 순간적으로 가능하였다. 또한 그림 21과 그림 22는 Windows 95가 동작하는 퍼스널컴퓨터용으로 개발한 프로그램이다. 네트워크를 통하여 시설의 상황을 실시간 나타내는 기존의 기능은 물론 적산온도의 곡선을 나타내어 수확일의 추정을 가능하게 한다거나 과거의 특정환경조건이 생긴 날을 순식간에 검색하여 병해발생과의 관계를 해석하는 일이 용이하게 실현될 수 있었다. 더구나 데이터처리의 부분은 간단한 명령으로 기술할 수 있기 때문에 종래의 프로그램 개발과 비교하여 반이하의 노력으로 개발하는 일이 가능해졌다.

지금까지 특정의 재배실험결과로서 전문가가 장기간에 걸쳐서 수작업으로 해석하여 환경과 생육과의 관계를 구명하고 그것이 연구성과로서 일반화되어 식물 생산에 이용되어 왔다.

그러나 앞으로는 생산자의 자택에서 저렴한 컴퓨터로 자신의 밭의 특정환경조건에 대한 생육과의 관계를 손쉽게 해석하는 일이 가능해지리라 생각된다. 또한 시판의 표계산 소프트웨어, 데이터베이스 소프트웨어를 이용하여 그것들의

macro기능이나 객체간의 통신기능을 이용한 프로그램을 기술하는 것만으로, 수십 만개에 이르는 환경데이터와 실측한 생육량 데이터와의 상관을 취하여 그것들을 집계해서 그래프로 표시하는 일도 2시간정도로 완전히 자동으로 할 수 있었다. 지금까지는 아르바이트를 고용하여 수개월에서 1년을 소비할 필요가 있었던 작업을 간단히 자동화할 수 있는 환경이 갖추어졌다.

실제로 생산이 이루어지고 있는 특정시설의 실제데이터를 근거로 한 특정조건에서의 환경과 생육에 관계되는 흥미깊은 사실들이 몇 개씩이나 발견되고 있다. 이것은 일반화에 따른 정도의 저하를 걱정할 필요없이 생산자 개개인전용의 정도가 높은 생육모델이나 수확예측시스템의 구축가능성을 시사하고 있다.

이러한 기능을 실현하기 위해서 우선적으로 중요한 일은 포장의 기상관측시스템이나 시설의 환경제어시스템에 입력되어 있는 데이터를 컴퓨터 네트워크를 사용하여 relational 데이터베이스에 자동으로 입력할 수 있도록 하는 일이다. 또한 환경데이터 해석용 프로그램 개발의 저비용화를 꾀하기 위해서 생육모델 구축용 프로그램 등이 각종 시설환경계측 제어시스템에 의해 수록되어 진 환경데이터를 공용할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이러한 이유에서 일본에서는 농림수산성, 대학, 제조업체가 계획하여 2년후를 목표로 시설의 환경제어시스템의 데이터통신 규격의 표준화를 추진하고 있다.

## 6. 인터넷을 이용한 식물생산정보시스템

### (1) 인터넷의 이용상황

정부기관, 시험장, 대학, 민간기업 등에서는 식물공장에 도움되는 각종 최신정보를 갖고 있다. 이것들은 최근 급속한 성장을 하고 있는 인터넷을 통해서 공개되어지고 있다. 농업분야의 인터넷 이용상황에 대해서 간단히 정리해 보기로 한다.

인터넷에 접속되어 있는 컴퓨터는 1996년 7월현재 세계에서 12,880,699대였다. (Network Wizards, 1996, <http://www.nw.com/zone/WWW/report.html>). 인터넷에 접속된 1대의 컴퓨터에 평균 10명정도의 이용자가 있다고 일반적으로 알려지고 있고 이에 따라 약 1억 3천만명이 이용하고 있다고 생각된다. 또한 매년 2배의 경이적인 성장률을 유지하고 있다. 일본에서는 1996년 7월현재 496,427대의 컴퓨터가 접속되어 있고 세계 4위로 약 5%를 차지하고 있다(Network Wizards, 1996).

또한 최근 유행하고 있는 World Wide Web(WWW)에서의 정보제공량은 각 Search Engine의 통계자료를 참고로 하면 1996년 1월현재 세계에서 적어도 2,000~3,000만페이지의 정보가 제공되고 있다고 생각된다.

일본에서는 인터넷 컴퓨터 대수에서 환산하면 약 60~80만페이지가 제공되고 있는 것이 된다.

필자는 1995년부터 인터넷에서 제공되고 있는 식물생산분야 관련의 정보를 조사·수집하고 있다. Mailing list의 주소, 뉴스의 그룹, 파일전송의 호스트명,

WWW의 홈(메인 메뉴)페이지를 단위로하여 지금까지 수집한 식물생산관련의 정보는 1996년 3월 13일 현재로 616개였다. 이 중에서 일본어로 제공되어 있는 것이 162개이고 일본으로부터의 발신이라고 확인할 수 있었던 것이 181개였다.

인터넷을 이용한 식물생산분야에서 사용되고 있는 소프트웨어의 종류로는 전자메일, 뉴스, 파일전송, WWW의 4종류가 주된 것이다. 그리고 WWW에 의한 것이 전체의 95%를 차지하고 있다. 그 이유로서 현재는 전자메일, 뉴스, 파일전송의 기능은 WWW의 소프트웨어에 전부 포함되어 있는 것이 일반적이어서(예를 들어 Net Scape Navigator나 Internet Explorer 등의 상표소프트) 다른 소프트웨어를 사용할 필요가 없기 때문이다. 또한 정보를 수신하는 측에서는 컴퓨터 키보드조작이 거의 불필요한 것도 많은 사람들이 좋아하는 원인이 되고 있다.

앞에서의 1996년 3월 13일 조사에서 농업관계의 정보는 세계에서 약 12,920개가 제공되고 있음을 추정할 수 있었다. 이것은 인터넷에 접속되어 있는 컴퓨터 중에서 1,000대에 약 1.5대의 비율로 농업에 관한 정보를 제공하고 있는 것이 된다. 또한 농업분야의 WWW는 약 122,700페이지 제공되고 있음을 추정할 수 있는데 이것은 인터넷 전체 페이지 제공수의 약 0.44%에 상당하였다.

인터넷에서 공개되어지는 정보의 종류에는 여러종류의 것이 있다. 식물생산에 관한 것으로는 품종정보, 재배방법, 전자도감, 병충해의 발생예찰, 인공위성 영상, 기상정보, 농업문헌검색, 전자농업잡지, 전자계시판, 각종 농업기기의 판매정보, 시장상황 정보, 포장감시 카메라, 농산물 판매정보, 농업정책정보 등이 있다.

## (2) 인터넷에서의 식물생산정보의 정리

인터넷에서 제공되고 있는 식물생산정보는 근년 그 양의 증가가 현저하다. 이들 정보를 수집해서 정리하여 사용하기 쉽게 제공해 가는 일은 인터넷을 유효하게 활용하기 위해서 필요불가결하다. 이러한 사고에 근거하여 식물생산 관련 정보의 디렉토리 서비스, 「식물생산을 위한 인터넷 이정표(Internet Guidepost for Plant Production)」, 생략해서 IGPP를 제작하여 제공하고 있다(그림 23). 식물생산에 관한 일본의 대부분의 정보와 세계의 주요정보를 수록하고 있고 1996년 10월 현재 일본어판, 영어판 합쳐서 약 70개국, 1일당 약 100건이 참조되고 있다. 만약, IGPP에 게재되어 있지 않은 식물생산에 관련한 정보가 있을 경우에는 페이지에서 등록신청하는 일도 가능하다.

IGPP를 운영하고 있는 또 하나의 이유는 일본의 식물생산의 정보를 세계로 발신하는 창구로서의 역할을 하고 싶어서였기 때문이다. 인터넷 선진국인 미국에서는 농업분야에서도 앞서 있어서 여러 가지 유익한 정보제공을 실시하고 있다. 우리들은 그들 정보를 훑쳐보는 것만으로 좋은 것일까. 정보도둑이라고 경멸받지 않기 위해서도 일본의 농업정보를 세계에 더욱 발신해 나갈 필요가 있다고 생각한다. 이러한 철학에서 IGPP에서는 게재희망이 있었던 정보에 대해서는 설령 그것이 일본어만으로 제공되어 지더라도 영문설명을 부가해서 공개하고 있다.

IGPP는 WWW를 사용해서 이용한다. WWW browser의 프로그램을 기동하여

URL(Uniform Resource Locator)이라는 난에 <http://www.fb.u-tokai.ac.jp/plant/production>이라고 입력하면 그림 23의 화면이 나타난다. 여기에서 식물생산에 관한 세계 속의 여러 가지 정보에 도달할 수 있다. 이외에 저자의 연구실에서는 JavaScript, ShockWave 등에 의한 식물생산지원 소프트웨어의 인터넷에 의한 범용화 시도, 온라인 기상로봇 CGI, SMTP에 의한 환경제어시스템의 원격 조작실험 등을 수행하고 있다.

## 7. 결 언

식물생산에 있어서의 컴퓨터 이용에 대해서 저자의 연구실에서 수행하여 왔던 것들을 개략적으로 서술하였다. 정보를 능수능란하게 활용함에 따라서 생자원(저비용)적 생산, 계획적 생산, 고품질 생산의 실현이 가능하리라 생각한다. 앞으로도 컴퓨터 이용의 중요성은 증가하는 일은 있어도 감소하는 일은 없다고 생각한다.