

自律分散制御に基づく環境制御システム

星 岳彦¹・林 泰正²・横井真悟³・長谷川智行³・古在豊樹³

¹東海大学開発工学部 410-0395 沼津市西野 317

²エヌアイシステム 331-0047 さいたま市指扇 1300-26

³千葉大学園芸学部 271-8510 松戸市松戸 648

An Environmental Control System Based on the Decentralized Autonomous Control

Takehiko HOSHI¹, Yasumasa HAYASHI², Shingo YOKOI³,
Tomoyuki HASEGAWA³ and Toyoki KOZAI³

¹*School of High-Technology for Human Welfare, Tokai University, Nishino 317,
Numazu, Shizuoka 410-0395, Japan*

²*NI-System Inc., Sashiougi 1300-26, Saitama, Saitama 331-0047, Japan*

³*Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo 648, Matsudo, Chiba 271-8510, Japan*

Abstract

An environmental control system proposed here was named the decentralized autonomous production management system(DAPMS). It was constructed based on the idea that each plant individual itself could require the desirable environment to the plant production equipments and growers to attach small computer chips. In the DAPMS, each plant individual is an element whose production state and goal are known. A potential function based on this information expresses how well the goals of each element are satisfied. The global discipline in the DAPMS was kept using the potential function in each plant individual. A simulation model of the DAPMS was developed to test this idea. In the simulation, different parts of the growing room were characterized by different environmental variables to reflect the situation in a real transplant production facility. Each plant individual was moved (for example, by a robot) to the place within the growing room that was best suited for its growth. A reasonable arrangement of the plant individuals was obtained by the DAPMS, even when changes were made in the scale of the facility, the number of plants, and other variables. The DAPMS was applied to cell tray production of sweetpotato transplants in a closed-type transplant production system. Even though the growing room had uneven environmental conditions and a variety of transplant individuals, the DAPMS was able to provide a desirable environment to the transplant individuals and to produce transplants with a uniform number of leaves.

Keywords: computer system, decentralized autonomous system, plant production, sweetpotato, transplant

緒 言

施設植物生産の目的で現在普及している環境制御シス

テムの制御対象は、施設内の物理的環境にほぼ限定されており、施設内の植物は制御対象に含まれていない。このため、環境制御システムで環境制御による植物の育成制御を直接扱うことは困難である。また、環境制御システムによって広い施設内空間の環境を制御することは、間接的に植物周辺の環境に影響を与え、最終的に植物の育成を制御することになる。このため、均一な品質の植

2002年 3月 1日受付

2002年 5月10日受理

物を生産するためには、施設内環境の均一性を高める必要がある。しかし、実用生産規模の施設内環境を空間的・時間的により精密・均一に制御しようとする開発の方向には、コスト面・技術面で、ある程度の限界があることも考えられる。例えば、環境制御された温室内の水平・垂直方向で5°C程度の気温差があるのは珍しくない¹⁾。このことは、環境制御システムだけでは植物育成を均一にできない本質的問題点である。結局、マイクロコンピュータを用いた環境制御システムが実用化されてから15年以上経過した今も、植物の育成制御を考慮した環境制御設定値の決定や、植物育成均一化のための微細な環境制御などの仕事は生産者に依然として残されたままである。

従来の環境制御システムは、「植物には意志が無く、自ら行動できないので、生産者や機器が主体になって管理しなくてはならない。」という観念で設計・製作されている。そこで、この観念を見直して、新たな環境制御システム構築の可能性の検討を試みた。植物の個体ごとに通信機能を有するコンピュータを添付し、そのソフトウェアの機能によって、植物個体ごとに仮想的な意志を持たせる。つまり、「植物は自ら意志を持ち、自分がうまく育つために施設や生産者に要求する能動的存在である」という観念に基づいた自律分散的な環境制御システムを構築する。すなわち、添付されたコンピュータの働きによって、各植物個体は、植物個体の状態や周辺環境を測定して判断でき、かつ、育成目標や履歴を記憶でき、加えて、他の植物個体、灌水装置や移動装置などの施設の機器、生産者の持つ端末装置などと自由に通信できるようになる。この自律分散的な環境制御システムが実現すれば、ラフな環境制御が実現されている施設内空間で、植物個体は、移動装置と通信して自分の好む環境の場所へ移動し、水分欠乏すれば灌水装置の近くへ移動し、収穫可能になれば生産者の端末装置に収穫を要求することも可能になる。

施設植物生産の環境制御において、このような自律分散システム(DAS: Decentralized Autonomous System)の応用は可能であろうか。DASは、システムを構成する各要素が個々に自律性を保ちつつ行動しながらお互いに協調し、全体として秩序を生成するシステムと定義され、従来のシステムと比較して、即応性、対故障性、柔軟性、多様性、拡張性が高いなどの利点が認められる²⁾。生体システムは基本的にDASであると考えられ³⁾、生体を扱う植物生産システムにおいても、DASによる考え方は、植物主体のシステムを構成する上で親和性が高いと予想される。植物個体ごとにコンピュータを添付

する点についても、低コスト超小型の多数のコンピュータから構成されるシステムは、半導体技術、情報処理技術、移動体通信技術などの急速な発展に伴い、技術的にもコスト的にも近い将来に実現可能であると考えられる。このような考えのコンピュータシステムは、トロン(Tron: The Real-time Operating system Nucleus)⁴⁾や、ユービキタス・コンピューティング⁵⁾などの1980年代後半から開始されたプロジェクト研究で検討され、いくつかの産業・民生分野で実際のシステム開発が始まっている。また、半導体素子の小型化についても、2001年6月には一枚の紙にも埋め込むことが可能な0.4mm角の粉末状ICチップが開発される⁶⁾など、着実に進歩している。

提案する新しい環境制御システムは、生産計画や育成制御までを含んでいるので、以下では自律分散型生産管理システム(DAPMS: Decentralized Autonomous Production Management System)と呼ぶ。本稿では、将来の実現可能性を検証しながら、必要な要件の提案と、この提案に基づいた方式による閉鎖型苗工場用DAPMSの試作と動作試験結果を報告する。

材料および方法

1. DAPMS 構築可能性の検証

施設植物生産においては、植物個体、収容施設、栽培管理装置、作業者がDASの各要素として考えられる。DASに最低限必要な理論的枠組みとして、伊藤²⁾が提示した3点についてDAPMSの場合について検討し、以下の方針でシステムの概念設計を行った。

第一に、全体としての秩序を生成するために、大域的秩序を表すポテンシャル関数を持つ勾配系を設定する必要がある。DAPMSでは、植物個体が意志を持った主体的存在である。植物個体は、育成度、栽培開始からの経過時間、栽培開始からの使用コストの自己状態情報(SSI: Self Status Information)を持つ。さらに、生産目標値(PGV: Production Goal Value)のSSIに対する達成度を算出するポテンシャル関数をも持つ。植物個体の立場からは、目標達成に対する満足度の度合いを示すように見えるので、この関数の出力値を満足度(SD: Satisfaction Degree)と名付けた。植物個体の要素のSDは次式で定義される。

$$SD = \min\left(1 - \frac{PGV - SSI}{PGV}, 1\right) \quad (1)$$

DAPMSの各要素は、全ての植物個体のSDをより高くするように行動する。そして、DAPMS全体の大き

の秩序はSD算出関数によって表現する。このことは、SD算出関数の引数である、成育度、消費時間、消費コストのSDへの寄与度の配分を変化させることで、DAPMSの生産特性を変更できることをも意味する。

第二に、各要素の結合関係およびその相互作用とポテンシャル関数との関係を明らかにする必要がある。DAS内の活動を経済モデルとしてとらえると、DASの各要素は、サービスの需要者(D: Demander)と供給者(S: Supplier)に大別できる。すなわち、植物個体がDに、収容施設、栽培管理装置、作業者がSに相当する。Dは、Sからサービスの提供を受け、代価としてDAPMS内の通貨をSに支払う。一つのDに対して、競合するSがあった場合、Dは、制限のある予算の範囲内で、最も良質のサービスを提供するSを選定する。一方、一つのSに対して競合するDがあった場合、SDの最も低いDが優先する。各要素の相互関係と結合関係は、サービス、通貨、SDの媒介によって次式のように示せる。ここで、 O_D はDの要素、 O_S はSの要素、 ΔSD_D はその O_D のSDの変化、 ΔSD_S はその O_S のSDの変化である。ここで、 $\Delta SD_D + \Delta SD_S$ が極大になる要素間で取引が行なわれることになる。

$$\begin{aligned} &O_D(\Delta \text{サービス}, -\Delta \text{通貨}, \Delta SD_D) \\ &= O_S(-\Delta \text{サービス}, \Delta \text{通貨}, \Delta SD_S) \quad (2) \end{aligned}$$

最後に、ポテンシャル関数とシステムの目的および取り巻く環境との関係を明らかにする必要がある。DAPMSは、外界からエネルギー、資材、種苗の供給を受け、外界に植物を出荷する。エネルギー、資材、種苗の価値は、経済的には、通貨で統一できる。また、出荷植物の価値についても代金として通貨で表現できる。DAPMSの目的は、外界からDAPMS方向への正味の通貨移動速度を大きくする経済活動として表現できる。そして、DAPMS内での通貨単位を外界と一致させれば、外界との関係も明確化できる。SSIの成育度は品質と、消費時間は納期と、それぞれ結びつき、消費コストとあわせて、植物個体のSDと出荷植物の経済価値とは密接に関係する。したがって、全ての植物個体のSDをより高くする秩序は、DAPMSの目的と合致する。

これらの要件で動作するシステムが構築可能かどうかをシミュレーションで検証した。シミュレーションモデルの仕様を決定する時には、例えば、「もし、最も満足度の低い植物個体の要素があり、本日の通貨使用限度額以下で現在よりも望む環境要素を提供できる収容場所の要素があるならば、その植物個体の要素の移動可能先リストに、その収容場所の要素を加える」と、記述するだけで実行可能なプロダクションルール型の開発環境が迅

速な開発に適していた。そこで、プロダクションルール型リアルタイムシステム開発環境であるGensym G2 ver. 5.1を用いた。そして、仕様がほぼ定まった時点で、パソコンでより高速な実行が可能な、Objective Pascal開発環境であるBorland Delphi 3.1Jを用いてシミュレーションモデルを作成した。シミュレーションモデルは、Microsoft Windows NT 3.5およびMicrosoft Windows 95 OSR2のOSを搭載したパソコンで実行した。

2. 閉鎖型苗工場への適用

概念設計の完了したDAPMSを実証する目的で、千葉大学園芸学部にて2000年2月に設置された閉鎖型植物生産研究施設(CTPS: Closed-type Transplant Production System)^{7,8)}におけるサツマイモのセルトレイ苗生産に使用するためのDAPMS(DAPMS-ST: DAPMS for Sweetpotato Transplant)を開発した。

2.1 ハードウェア

設計時点での技術水準および開発コストから、植物個体全てに半導体素子を取り付けたDAPMSを試作することは困難であった。そこで、基本モジュール(BM: Basic Module)⁹⁾と名付けた自律環境計測制御が可能な56のセルトレイを収容できる棚、セルトレイ搬送車、セルトレイ入室・退出口、灌水装置、苗工場の各要素にはコンピュータハードウェアを添付し、植物個体の要素はパソコンのソフトウェアを用いて仮想的に実現した。また、作業員には、無線式携帯端末機を所持させて、これを作業員の要素とした。10台のBMの添付ハードウェアは分散型制御ネットワーク用LSI(ニューロンチップ)¹⁰⁾を用いた分散環境計測制御ユニットで構成した。各要素のハードウェアは、コンピュータネットワークで接続した。ハードウェアシステムの詳細については、林ら¹¹⁾で報告した。

2.2 ソフトウェア

今回の試作では、苗生産はセルトレイ単位で行われるため、1枚のセルトレイ(72個体)の植物個体群を最小の要素とした。そこで、DAPMS-STでは、DASにおける植物個体の要素を植物個体群の要素と呼び代えることにする。パソコンのソフトウェアによる仮想的植物個体群と現実の植物個体群を一致させるために、セルトレイには、バーコードで表現したユニークな植物個体群番号を貼付して識別を行った。そして、該当の植物個体群が収容されているBMで、収容場所に最も近い棚の気温、相対湿度、光合成光量子束(PPF: Photosynthetic Photon Flux)の測定値または推定値を、その植物個体群の環境データとした。また、植物個体群にはハードウェアを添付しなかったため、センサを用いて各植物個体群

の成育度を直接測定することも不可能であった。そこで、その植物個体群の望ましい環境値(気温, 相対湿度, PPF)と、計測された環境データの履歴値とを比較して、その差が小さいほど、予定通りの成育度が得られているとした。差の履歴値は、一次の忘却係数を用いて、より最近の影響が大きく出るように平均化した。この履歴環境差の平均が小さくなるような補正を望ましい環境値に行い、それに近い環境が実現されている場所へ移動する要求を出すようにした。さらに、植物の成育状態を示す指標として、Kubotaによるサツマイモセル苗の成育モデル¹²⁾を用いた成長度の計算も行い、履歴値と比較した。

また、CTPSで実際に生産せずに、DAPMS-STの動作を検証可能にする目的で、仮想苗工場(V-CTPS: Virtual CTPS)と名付けた、CTPSのソフトウェアシミュレータも作成した。以上のソフトウェアは、オブジェクト指向プログラミング技術を用いて、Borland Delphi 5.0のObject Pascalで記述し、Windows NT 4.0のOSを搭載したパソコンに実装した。

2.3 実証試験

開発したDAPMS-STをV-CTPSに接続して、育苗の最適気温が18°Cから32°Cまで、2°Cごとに異なる8種の苗を同時に生産する試験を実施した。各植物個体群は、1日に1回まで、BMの空いている場所へ移動できることとした。14日間の育苗期間中における植物個体群の挙動および植物個体群が履歴した日平均気温と日平均最適気温との差の絶対値(Td)についての特性を調べた。

次に、サツマイモ(*Ipomoea batatas* L.(Lam.)), 品種:ベニアズマ)の苗生産試験を実施した。基本モジュールが4台配置してあるCTPSの育苗室に、サツマイモを単節挿した植物個体群を1日に4セルトレイ、土日を除いて10回、計40セルトレイ入室させ、DAPMS-STで管理した。入室から14日間育成した後にセルトレイを退室させた。入室する植物個体群に望ましい

PPF, 気温, 相対湿度をTable 1に示した。サツマイモ苗の成育状況を把握するため、退室時に葉身長10 mm以上の葉枚数をセルトレイ単位で測定した。

結果および考察

1. DAPMS 構築可能性の検証

1.1 シミュレーションモデルで指摘された問題点とその解決

モデルの作成にあたり、多数あるDとSが、ネットワークおよびソフトウェアインターフェースを介して個別に総当り的な取引相手の検索を行うと、大きなトラフィックが発生して効率的なサービス取引が不可能だった。さらに、DASにおいては、個々の要素が局所的な情報だけに基づいて非同期に行動するとデッドロックが不可避なことが指摘されている¹³⁾。そこで、SとDの取引の間に入るサービス仲介者(B: Broker)の要素を導入した。Bは、SDが最も低いDを検索し、続いて、SDを上昇させることが可能なSをその代価とともにDに提示する。DがBの提示した条件を受け入れれば、取引が成立し、Sからサービスを受ける。この方法はシステム全体の最適解を必ずしも求めることはできないが、システムの取引を同期させてデッドロックを解消するとともに、システムの制約条件として秩序形成のための探索範囲を小さくすることができた。

ところが、この方法による解決を行うと、(1)SDの上昇に反映される前に、その植物個体に対して次のサービス探索がなされる場合と、(2)どのような操作を行っても、もはやSDの上昇はほとんど見込めない植物個体があった場合に、その植物個体が極めて低いSDであったとすると、その植物個体だけが繰り返しサービスを受ける問題点が発生した。これらに対して、一度サービスを受けた植物個体は、結果がSDに反映される十分な時間を経過するまで、新たなサービスを受ける対象から除外される条件を付加すること、また、SDが極めて小さい値になった植物個体があった場合、それを事故植物個体として管理の対象から除外することで、問題を回避した。

1.2 シミュレーション結果

開発したシミュレーションモデルを用いて、生産環境条件の異なる3種類、合計300植物個体を、環境制御のばらつきがある植物生産施設へ入室させ、DAPMSによる管理を模擬した。植物個体は、空いている場所への移動、周辺の環境制御設定値変更のサービスを受けることができるようにした。シミュレーションシステムのアルゴリズムおよび構成については、Hoshiほか^{14,15)}で検

Table 1 Optimum Photosynthetic Photon Flux (PPF) for sweet potato transplants in a growing test to verify the DAPMS*. At each stage, the desired air temperature is 30°C and the desired relative humidity is 80%.

Stage	Period (days after transplanting)	PPE ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
1	0- 4	140
2	5- 9	200
3	10-13	300

*DAPMS: Decentralized Autonomous Production and Management System, **PPF: Photosynthetic Photon Flux.

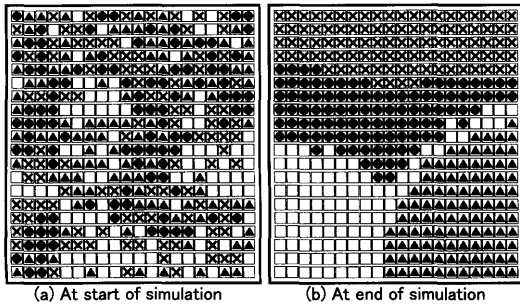


Fig. 1 An example of plant arrangement maps produced by the DAPMS simulation software. Three kinds of plants(A, B and C), which desirable environment was different from each other, were assumed in the simulation. Desirable environment of plants; A: symbol-●, air temperature 25°C, relative humidity 75%, PPF 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, B: symbol-▲, 20°C, 90%, 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and C: symbol-×, 30°C, 75%, 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, each.

討された。

動作結果の一例を Fig. 1 に示した。Fig. 1 の(a) に示す入室直後の植物個体の分布状態が、時間が経過するに伴って、(b) に示すような一定のパターンを持った分布状態に自律的に変化していった。施設内の環境条件の空間的ばらつきを利用するように、同じ生産環境条件を持つ植物個体が群れを形成した。各群れの間で生産環境条件が大きく異なる場合には、それらの群れの間で緩衝地帯が形成された。施設規模、植物個体数、入室時期、生産環境条件の組合せを変化させても、時間経過とともに合理性を持った秩序が施設内に形成された。個々の DAS 要素自身をオブジェクトとしてソフトウェアで規定するだけで、施設全体を管理するソフトウェアを用意しなかったが、全体的な秩序を形成することが可能であった。植物施設生産が大規模化しても、ソフトウェアオブジェクトを要素数分コピーするだけで生産管理が可能になる DAPMS は、システムの開発・保守労力を軽減し、生産規模・構造の変化に対応できる柔軟性を持つと推察できた。また、この検討によって、実際の施設植物生産に応用できる見通しが得られた。

2. 閉鎖型苗工場への適用

2.1 DAPMS-ST 動作検証

4 台の BM を持つ V-CTPS において、160 セルトレイの植物個体群を育苗した場合に得られた植物個体群分布を Fig. 2 に示した。Fig. 2 の(a) に育苗開始日の植物個体群の分布を、(b) に 13 日目の分布を示した。BM は、空調の配風特性によって、下段の気温が高くなる傾向があった。また、BM に存在する植物個体群の希望す

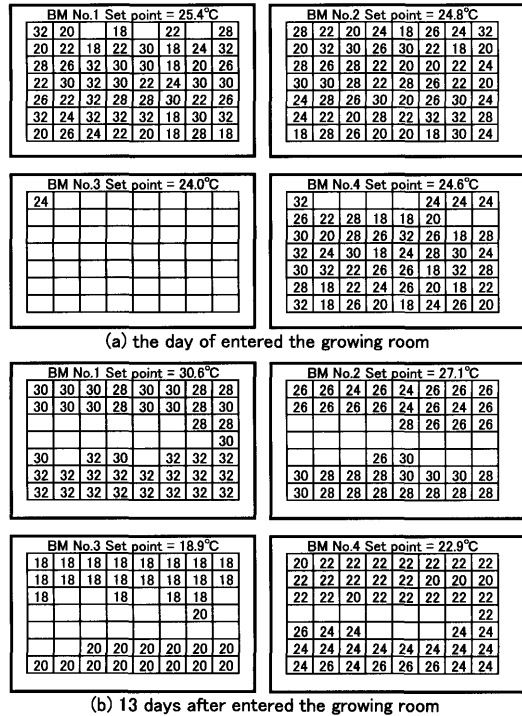


Fig. 2 An example of simulation results by the DAPMS-ST*with the V-CTPS**.

Numerical value in each box shows desirable air temperature of the plant unit (on one cell-tray). Each empty box shows no plant unit in the position.*DAPMS - ST: Decentralized Autonomous Production and Management System for Sweetpotato Transplant. **V-CTPS: Virtual Closed-type Transplant Production System.

る気温の平均値を、その BM の制御設定気温とした。日数経過につれて、BM の制御設定気温に差が生じ、また、BM の気温むらにうまく適合して、植物個体群が住み分けするようになった。BM 単位しか気温を制御できない CTPS においても、DAPMS の適用可能性が示された。育苗開始日の各植物個体群の日平均気温と希望する最適気温日平均値との相関係数自乗値(r^2)は 0.34 であったが、13 日目には 0.99 になった。これは、DAPMS が最適気温の異なる 8 種の植物個体群に、4 基の BM でほぼ希望する最適気温どおりの平均気温が与えられることを示している。植物個体群数を 32 セルトレイから 196 セルトレイまで変化させた場合の平均 Td の経日変化を Fig. 3 に示した。植物個体群数が少ないほど育苗初期から Td が小さくなる傾向を示した。しかし、いずれの植物個体群数においても、Td は日数の経過とともに減少し、6 日目以降はほぼ一定化し、1.1°C

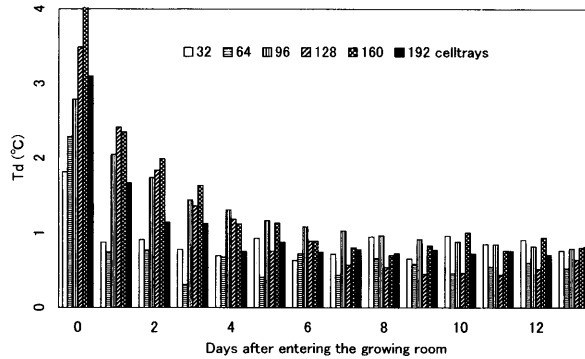


Fig. 3 A result of Td simulation by the DAPMS-ST with the V-CTPS as affected by the passing days after entering the growing room and the number of celltrays in the growing room.

Td: Absolute value of the daily averaged difference between desirable air temperature and actual air temperature.

以下になった。

2.2 DAPMS-ST 実証試験

各植物個体群の日平均気温と日平均 PPF の育苗開始後の日数による履歴を Fig. 4 に示した。望ましい環境値をほぼ満足する制御が実現された。退室時の各植物個体群の日積算気温は $417.6 \pm 1.7^\circ\text{C d}$ になり、望ましい気温が保持された場合の日積算気温 420°C d との差は、 -2.4°C d (-0.57%) になった。また、積算 PPF は $161.6 \pm 6.4 \mu\text{mol m}^{-2}$ になり、望ましい積算 PPF $166.6 \mu\text{mol m}^{-2}$ との差は $-5 \mu\text{mol m}^{-2}$ (-3.00%) になった。積算値で比較すると植物個体群間で比較的正確な環境制御が実現できたと考える。育苗終了後のサツマイモ苗は、植物個体群あたりの葉数で 383 ± 25.1 枚 (1 個体あたり 5.3 ± 0.3 枚) で、変動係数は 6% であった。むらのある施設内環境下で、なおかつ、育苗ステージの異なる植物個体群が混在する条件においても、DAPMS は各植物個体群が希望する環境設定値を満足し、かつ、葉枚数を揃えた育苗を可能にすることが実証された。

DAPMS-ST では、成育度を履歴環境差で代替した。この方法は、気温、相対湿度、PPF の環境要素ごとに計算された差の積を用いているので、各環境要素が複雑に関連し合っている成育度に代替するには無理がある。実証試験においても、Kubota によるサツマイモセル苗の成育モデルを使って得た成育度と比較すると、成育モデルのほうが、実際の成育調査結果との相関がより高い傾向が観察されたので、今後は、植物成育モデルを組み込んで成育度を得る方法が望ましいと考える。この方法を用いると、得られた成育度を是正するため、植物成育モデルを用いた予測値を使って、具体的にどの環境要素をどのように変更するか調べる目的にも利用できるかと考

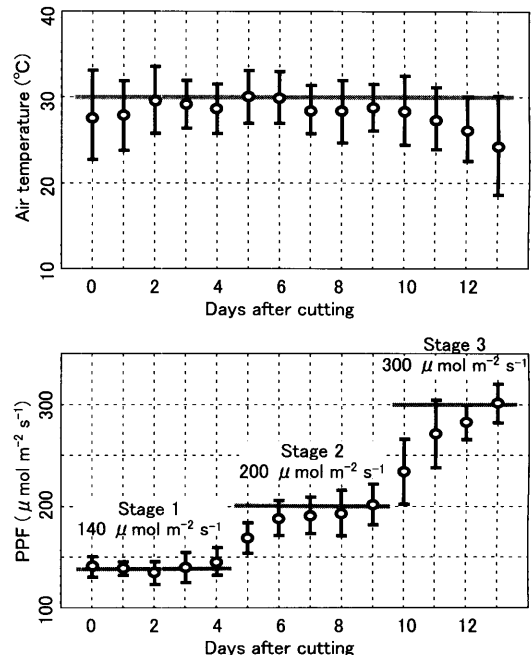


Fig. 4 Distributions of daily averaged air temperature and PPF to the celltrays by the DAPMS-ST. Circles: means, vertical lines with stops: standard deviations, Hatched horizontal lines: desirable environment.

える。

3. DAPMS の可能性

今回提案した DAPMS は、植物移動¹⁶⁾が可能な施設で利用可能である。植物移動装置を DAPMS のために新たに設置することは、施設の建設コストをかなり増加させてしまう欠点がある。養液栽培施設、植物工場、種

苗工場では、省通路や植え広げ(スペーシング)の目的であらかじめ植物移動装置が装備されることが多くになっており、ハードウェア的にDAPMSが設置可能な施設は今後増えていくのではないかと考える。植物移動が不可能な施設においても、植物個体ごとに詳細な生産情報を付加して出荷できるDAPMSの考え方は、生産植物のトレーサビリティを向上させて安全性を高めることにも貢献し、また、国際規格が普及しつつあるLCAなどの環境マネージメント手法の積算基礎データ管理方法としても有用であろう。この点においては、植物移動が伴わないDAPMSの提案が、普及のためには重要であるかもしれない。

また、CTPSにおけるDAPMS-STを含む生産支援システムの開発労力は、関係者との打合せや現場調整などを含めて延べ約650日・人だった。そして、記述したプログラムソースコードは、約68,000行になった。従来型の開発と具体的な比較はできなかったが、DASはソフトウェア開発効率の良いオブジェクト指向プログラミング環境のクラスやインスタンスなどの考え方¹⁷⁾と親

和性が高いので、開発労力はある程度軽減できたと考える。

DAPMSの採用は、全て施設植物生産において最良の方法とは言えない。施設に単一の品種・同一の栽培ステージの個体を収容する場合には、施設内の均一度を高める方法がより有効であろう。しかし、独立環境制御できる分割した空間の数以上の品種群・栽培ステージ数の植物を生産する必要がある時や、環境制御のむらが大い施設を管理する時などには、有効な方法であると考えられる。

これまででは、気温や湿度などの環境制御設定値を施設に設定してから、植物を施設に収容して生産を行ってきた。しかし、DAPMSでは、生産に望ましい環境についての情報が添付された各植物個体を、必要な時に必要な数だけ施設に入室させれば、全ての植物個体に望ましい環境制御が自動的に実現できるようになった。また、Fig.5に示すように、特定の植物個体のSSI, PGV, SD, 生産コストなどをリアルタイムに表示できた。施設内環境のむら、生産植物の多様性を許すDAPMSは、施設植物生産における環境制御システムの新たな考え方を示すものであると考える。次のステップとしては、セルトレイや植物個体などに半導体チップを直接貼付できるようになった時点で、植物個体に添付したコンピュータにセンサをつけて各個体の多様な生体情報の取り出し・処理が可能な、当初構想したとおりのDAPMSのハードウェア環境による試作・検証が必要になるろう。

謝 辞

本研究の実施にあたり、株式会社テクノバ、および、文部科学省科学研究費(閉鎖型植物苗工場の実用化に関する研究)からご支援をいただいた。ソフトウェアの開発にあたり、株式会社イー・エス・ディ、および、新菱冷熱株式会社のご協力をいただいた。千葉大学園芸学部の久保田智恵利前助教授(現在、アリゾナ大学植物学部)、全 昶厚助教授、ならびに、酒見幸助氏からは、CTPS実証試験に対してご協力・ご助言を賜った、記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 板木利隆：暖房機器と効率の利用，施設園芸，誠文堂新光社，pp.104-132(1983)
- 2) 伊藤正美：自律分散システムはいかにして構成されるか，計測と制御，29(10)：877-881(1990)

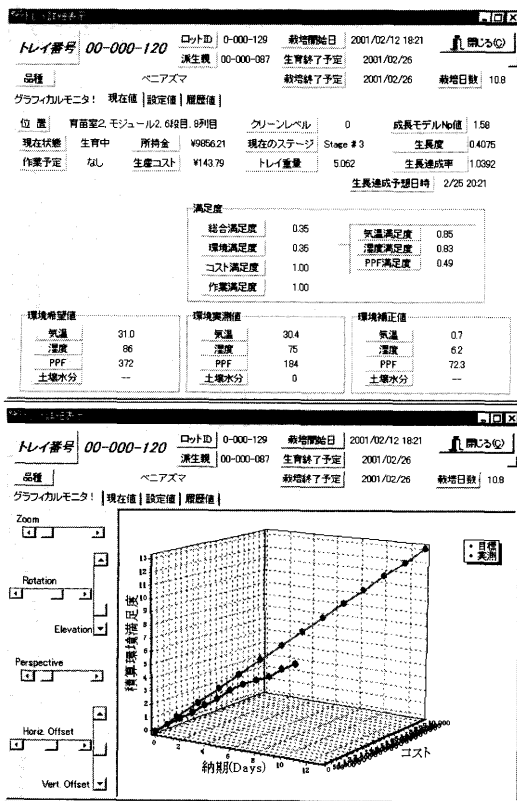


Fig.5 Indication of the producing condition(plan, growth, environment and cost etc.) on a celltray by the DAPMS-ST.

- 3) 戸川達男：生体における暗黙の群知能，計測と制御，31(11)：1190-1193(1992)
- 4) 坂村 健：電脳未来論(トロンの世紀)，角川書店，pp. 1-244(1989)
- 5) Weiser, M. : Some computer science issues in ubiquitous computing, Communications of the ACM, 36(7) : 75 - 84, <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiCACM.html>(1993)
- 6) 日立製作所：世界最小の非接触ICチップ「ミューチップ」を開発，ニュースリリース(新規事業ほか)，2001年6月28日，<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/2001/0628b/0628.pdf>(2001)
- 7) Kozai, T., Ohyama, K., Afreen, F., Zobayed, S., Kubota, C., Hoshi, T. and Chun, C. : Transplant production in closed systems with artificial lighting for solving global issues on environmental conservation, food, resource and energy, Proc. of ACESYS III Conference, Rutgers University, CCEA(Center of Controlled Environment Agriculture) : 31-45(1999)
- 8) Chun, C. and Kozai, T. : Closed transplant production at Chiba University, Transplant Production in the 21st Century(Kubota, C. and Chun, C. eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 20-27(2000)
- 9) 古在豊樹，星 岳彦：閉鎖型苗生産システム・基本モジュールの概念設計，閉鎖型苗生産システムの開発と利用(古在豊樹編著)，養賢堂，pp. 112-128(1999)
- 10) 東芝：ニューロンチップ TMPN3150/3120 Data Book, 0752DIAG, pp. 1-239(1998)
- 11) 林 泰正，星 岳彦，古在豊樹：大規模植物苗生産施設のための受注・生産管理システム，農業および園芸，75(11)：1165-1174(2000)
- 12) Kubota, C. : Modeling and simulation in transplant production under controlled environment, Transplant Production in the 21st Century (Kubota, C. and Chun, C. eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 47-52(2000)
- 13) 坂尾知彦，近藤伸亮，南都 寛，梅田 靖，富山哲男：細胞型機械の研究(第1報)，精密工学会誌，65(5)：673-677(1999)
- 14) Hoshi, T. and Hayashi, Y. : Support systems for large-scale transplant production, Proc. of the Korea-Japan joint symposium on transplant production in horticultural plants, Chunbuk National University, Korea : 61-79(1999)
- 15) Hoshi, T., Hayashi, Y. and Kozai, T. : Design concept of computerized support systems for large-scale transplant production, Transplant Production in the 21st Century(Kubota, C. and Chun, C. eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands : 38-43(2000)
- 16) 星 岳彦，岡野利明，関山哲雄，高辻正基：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)合併号：15-22(1994)
- 17) Meyer, B. : Object-oriented software construction 2nd. Ed., Prentice Hall PTR, U.S.A., pp. 1-1296(2000)