農業気象 (*J. Agr. Met.*) 35(4): 263–266, 1980

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

古 在 豊 樹
(千葉大学園芸学部)

International Working Party on Computers
for Environmental Control in Greenhouses

Toyoki KOZAI

(Faculty of Horticulture, Chiba University,)
Matsudo, Chiba 271

1. はじめに

1979年6月18日から6月22日までの5日間、オランダのワーヘニンゲンにある国際農業センタ (International Agricultural Centre) において表記の集会が開催され、筆者も参加する機会を得た。

集会の目的は、温室環境制御へのコンピュータ利用に関する研究の現状について意見を交換し、かつ、将来の方向を探ることにある。温室環境制御へのマイクロ・コンピュータの利用は、現在、オランダを中心に西ヨーロッパで急速に普及し、温室研究者のみならず各界の注目を集めている。この社会的背景としては、高度化する環境制御技術、大型化する園芸施設、マイコンの低価格化、暖房用燃料価格と人件費の上昇に起因する省エネルギーと省力への強い要請などがある。上記の社会的背景は我国においても同様であり、事実、我国においても商業温室の環境制御へのマイコン利用が既に始まっている。

本稿では、表記集会での研究発表とオランダでのマイコン利用の実状について概要を報告する。

2. 集会の概要

2.1 組 織

この集会は国際園芸学会 (ISHS) が主催し、欧州共同体 (EEC) およびワーヘニンゲンの農業工学研究所 (IMAG) と農業大学が後援して開催された。集会を組織したのは IMAG の W. P. Mulder 氏と農業大学の G. A. Bot 氏である。

2.2 参加者

参加者は計 40 名足らずで、国際集会としては小規模である。これは、一人当りの研究発表と質問の時間を十分に確保し、討論会的雰囲気盛り上げるために、参加人数を制限したためである。

オランダ人以外の参加者の国別内訳は、西独 7 名、スウェーデン、日本各 3 名、デンマーク、英国、イスラエル、フランス各 2 名、アイルランド 1 名である。日本からの 3 名は、愛媛大学の橋本康氏、農業土木試験場の奈良誠氏および筆者である。

余談になるが、日本人以外の参加者の中の 10 名は、1978年8月末に日本で開催された施設園芸国際シンポジウムに参加した人々であった。日本でのシンポジウムは外国人参加者に好評であったようで、多くの方から賛辞を受けた。

2.3 日 程

- 1 日目 午後より参加者登録、IMAG の見学、マイコンシステムの展示説明会、夜は懇親パーティー
- 2 日目 夕刻まで研究発表、その後ディナーパーティー
- 3 日目 朝 6 時半よりアールスメーアの花市場、花卉試験場および付近のコンピュータ温室の見学、午後は研究発表、夜はバーベキュー・パーティー
- 4 日目 朝から夕刻まで研究発表、昼休みを利用して農業大学物理・気象学科を見学、夕刻より夜 9 時まで総合討論、9 時から懇親パーティー
- 5 日目 朝 7 時にバスで出発してアイゼル湖での帆船遊び、夜はさよならパーティー

研究発表もさることながら、毎日のスケジュールに組

み込まれた各種パーティーやエキスカーションは参加者同志の懇親と情報交換にきわめて有意義で、実り多い集会であった。

2.4 研究発表プログラム

研究発表は全部で 25 題で、一人当りの発表時間は 18 分、質問・討論時間は 12 分で、討論時間を十分に設けたのが本集会の特徴である。各セッションの終りには Chairman が 2, 3 の問題点を取り上げて討論した。

研究発表者名、国籍、発表題目を以下に掲げる。本集会の最終報告は国際園芸学会発行の *Acta Horticulture* の 1 分冊として 1980 年春頃に出版の予定である。

Session 1 (Chairman: G. Germing)

1. G. Germing (Holland), Opening address on behalf of I.S.H.S.
2. W.P. Mulder (Holland), Some questions and remarks on the use of computers in greenhouse climate control.
3. K. Schockert, C.v. Zabeltitz (West Germany), Energy consumption.
4. J. Damagnez (France), Solar systems and storage.
5. J.v.d. Vooren (Holland), Data Analysis.
6. A.J. Udink ten Cate (Holland), General remarks on greenhouse climate control.

Session 2 (Chairman: T. Kozai)

7. H.J. Tantau (West Germany), Climate control algorithms.
8. P. Konradsen (Denmark), Studies on the aspects of digital control of greenhouse crops.
9. T.H. Gieling (Holland), Commercial greenhouse computer systems: inventorisation and implementation of research.
10. G.S. Weaving, R.P. Hoxey (United Kingdom), The climate control computer system at the NIAE, Silsoe.
11. W.T.M.v. Meurs (Holland), The climate control computer system at the IMAG, Wageningen.

Session 3 (Chairman: J. Damagnez)

12. R.A. Langers (Holland), Determination of the dynamics of the greenhouse system.
13. O'Flaherty (Ireland), A first step in micro-computer control of greenhouse environment.
14. J. Valentin (Holland), Adaptive split range control of a glasshouse heating system.
15. J.v.D. Vooren, T. Strijbosch (Holland), Glasshouse ventilation control.
16. T. Kozai, S. Sase, M. Nara (Japan), A modeling approach to greenhouse environmental control by ventilation.

Session 4 (Chairman: C.v. Zabeltitz)

17. M.G. Amsen (Denmark), Is leaf temperature

a suitable parameter for environmental control in greenhouses.

18. Y. Hashimoto (Japan), Computer control of short term plant growth by monitoring leaf temperature.
19. J.P. Chiapale (France), Optimization of radiation and climate.
20. V. Amdursky (Israel), Computer model for short wave radiation and general thermodynamic considerations in greenhouses.
21. G.P.A. Bot (Holland), A validated dynamical model of greenhouse climate.

Session 5 (Chairman: M. Amsen)

22. H. Challa, J.v.d. Vooren (Holland), A strategy for climate control in greenhouses in early winter cultivation.
23. L. Borjesson, O. Hellgren (Sweden), Ideas of climate control computer systems based upon a dynamic plant development model.
24. I. Seginer (Israel), Optimization and control of greenhouse operation.
25. H. Krug, P. Liebig (West Germany), Plant physiological models, specifying climate for optimal crop response.

3. 主な発表内容と討論

温室環境制御は次の 3 つのレベルから成る階層システムとして表わされる。すなわち、(I) 環境条件の設定値が与えられた時、それをいかに最適(省エネルギー的に)達成するか、(II) 作物の成長・収量と省エネルギーの両方を考慮していかに環境条件を設定するか、(III) 作物の生育過程全体、価格およびコストの変動などを考慮した作付・栽培管理計画をいかに作成するか、の 3 つのレベルである。

3.1 レベル I

Udink ten Cate 氏は、レベル I では、近代制御理論をそのまま温室制御に応用するのは比較的困難であると述べ、彼自身は適応制御理論の適用例を述べた。

Valentin と van Zeeland の両氏も暖房制御へ適応制御理論を応用し、実験例を述べた。

Bot 氏は温室の熱収支ダイナミックモデルをボンドグラフを用いて表現し、そのシミュレーションと測定例の比較を示した。彼のダイナミックモデルは年々改良されつつあり、将来の発展が期待される。その他、レベル I に関しては、暖房システムに関する Tantau 氏らの発表や換気システムに関する筆者らの発表があった。この分野での研究には、温室の熱および物質の移動機構をブラックボックスとみる立場とそれを可能な限り忠実にモデル化しようとする立場の 2 つに大別される。

Udink ten Cate, Valentin, Zeeland, Botの各氏は大学院で自動制御理論を専攻した若手研究者である。彼らが温室環境制御の分野で活躍するようになると、この分野の学問的レベルは相当高められるであろう。

3.2 レベルⅡ

作物の生長を考慮した環境条件設定値の決定法は、半経験的方法と理論的方法の2つに分けられる。

a. 半経験的方法

Amsen氏は、温室内の気温と葉温の差は冬期暖房時にしばしば4～6℃に達し、また、作物生長に影響するのは気温でなく、葉温であるから、葉温を制御すべきであると述べ、そのためにコンピュータは有用であるとした。

橋本氏は、コンピュータによるオンライン画像処理技術と赤外線カメラを駆使してキュウリ葉の葉温分布を測定し、更に葉温の制御は湿度のPID制御によって可能であることを示した。作物の熱環境をいかに数値化し、それをいかに制御するかは今後の一つの問題になりそうである。

van de Vooren氏は、暖房と換気の設定温度差を6～7℃にとれば(例えば18℃と25℃)、現在のコンピュータ温室で実用化されている室温の光量依存制御は不必要であると述べた。なぜなら、上の例では、18℃と25℃の間では、室温は光量に従属して自然に変化するからである。彼は、温室農家が実際に行なっているように、屋外の風速と気温に応じて、換気窓の最小開度を0～10%の範囲に設定することが、暖房費の節約、換気窓の頻繁な開閉の抑制、湿度の制御という点で重要であるとした。

b. 理論的方法

Challaとvan de Voorenの両氏は作物の生長モデルに基づいて、太陽光を効率良く光合成に利用しつつ、且つ、暖房のための燃料費を最小にするための温度管理法を理論的に考察し、計算例を示した。この種の研究は、まだ初歩的段階にあるが、今後増えるであろう。

3.3 レベルⅢ

KrugとLiebigの両氏、およびSeginer氏は、上記Challaとvan de Voorenの両氏と同様の研究手法に最適計画法の手法も組み入れて、より長期的な栽培管理法や栽培計画法を理論的に策定する方式を示した。KrugとLiebig両氏の研究は、彼等の栽培実験の結果に基づいて作成された生長モデルのシミュレーションを基礎としたものである。未だ、実用になるとは言えないが、5～10年後にはこの手法は実用化され得るようになるであろう。

3.4 研究機関の温室環境制御システム

各研究機関の温室環境制御システムの紹介が、Weaving

とHoxeyの両氏、O'Flaherty氏およびMeurs氏からなされた。Meurs氏の紹介したIMAGのシステムはかなり高級な階層システムである。これらシステムの詳細な紹介は他稿にゆずるが、商業温室のみでなく、温室環境制御の研究そのものが世界的にコンピュータ化されつつあるとの印象を受けた。

3.5 全般的印象

参加者の専門分野は、自動制御工学、農業気象学、栽培学、園芸環境工学、作物生理・生態学、園芸経済学などと実に様々であった。その意味で、きわめて学際的な集会であり、討論は活発で有意義であった。反面、専門分野が異なるため、用語理解の不一致のために議論が空転することもあった。

今回の集会は温室へのコンピュータ利用に関しては世界で最初の催しであり、研究発表といっても、単なる研究進展の現状や計画の紹介にすぎないものがあつたが、むしろ、それ故に、参加者数を制限して、討論の時間を十分にとったことは成功であった。参加者は、自分の研究の問題点や将来の方向について色々と得るところが大であったと思う。

4. オランダの商業用コンピュータ温室

4.1 使用台数

オランダにおける温室環境制御へのコンピュータの利用は1974年に始まった。1975年2月に使用台数は約60台であったのが、1976年2月には約150台に、1977年2月には約1,000台となり、1980年2月には約1,500台になったと推定されている。オランダ以外においても、ベルギー、西独、英国、イスラエル、デンマーク、日本などでコンピュータ利用がなされているが数は未だ少ない。

4.2 システムの規模

現在、温室用コンピュータ・システムの生産・販売会社はオランダだけで十数社を数える。システムの規模は様々であるが次のように大別できる。

- a) 1区画用、 b) 2～6区画用、 c) 4～12区画用、
- d) 10～50区画用、 e) 50区画以上用

ここで、区画(compartment)とは、環境制御を独立に行なう空間的な単位で、単棟温室では、通常、1棟が1区画である。大規模な連棟温室ではそれを数区画に分けて、各区画毎に独立に環境制御している。1区画は、床面積0.3～0.5 ha程度であることが多い。

1区画用

1区画用のシステムは、通常、1枚のカード上にマイクロ・プロセッサと入出力チップの両方が納められている。制御プログラムは、4～8キロバイトの消去可能読

出し専用メモリ (EPROM) に記憶されている。入出力点数の増設は不可能で、また、農家の要求に応じて仕様を変更することもできない。プログラムはアセンブリ言語で書かれている。

外気温、屋外光量およびいくつかの設定条件に基づく暖房および換気の比例制御、さらには保温、遮光用カーテンの位置制御が行なわれる。人とコンピュータとの対話は16進数の記号ボタンを介して行なわれる。価格は、計測センサと信号線を含めて、60～120万円である。

2～6区画用と4～12区画用

このシステムは、温室用アナログ型環境制御システムを従来生産していた会社で主に生産されている。制御の内容という点では、2～6区画用と4～12区画用の間に大差はない。しかし、2～6区画用は、低価格を維持するためにハードウェアとソフトウェアの構成を最小限に抑えているために、温室農家の希望でシステムの仕様を変更することはほとんどできない。このシステムではメモリと入出力装置はマイクロプロセッサとは別のカード上に納められている。

4～12区画用システムのハードウェアでは、農家の希望に応じてシステムの拡張が可能なように、余分の差し込み口が付けられている。このシステムによる主な制御項目は、屋外の気温と光量に依存する暖房と換気、保温・遮光カーテン、かん水、CO₂施用、人工光照射および警報である。

制御用プログラムはコンパイラ言語などの高級言語あるいは豊富なマクロ命令を多く含むアセンブリ言語で書かれている。環境制御のアルゴリズムはかなり複雑で、屋外気象条件の変動が室内環境に影響を及ぼす前に制御動作を開始する、フィードフォワード制御方式も部分的に取り入れられている。農家とコンピュータとの対話はテレタイプ、ビデオディスプレイ装置、プリンタなどを介して、会話的に行なわれたり、符号キーを介して行なわれたりする。

10～50区画用

1974年に最初に開発されたのはこのタイプで、ハードウェアはミニコンピュータあるいは大型のマイクロコンピュータである。メモリや入出力点数の増設は容易で、

ソフトウェアはモジュール化し、プログラムは高級言語で書かれている。

このシステムは、育苗温室や採種温室のように、1区画の面積は小さいが多くの区画を有する農家あるいは3～5 haの温室を有する大規模温室農家に採用されることが多い。価格は、25区画用で、約180万円である。

50区画用

50区画以上を一台のコンピュータで制御するシステムは、特殊な場合を除いて試験・研究用の温室でのみ採用される。この場合は、制御だけでなく、測定や制御の記録や処理などの研究目的にもコンピュータが利用される。そのためにはハードウェアだけでなく、ソフトウェアも特別なものが必要とされる。価格は数千万円以上である。

4.3 将来

オランダには1977年現在で計約8,000 haのガラス温室があり、90%は加温されている。温室農家の総戸数は約16,000戸である。このうち、現在すでにコンピュータを導入している農家は約1,500戸で、面積は約1,500 haと推定されている。専門家の予測によれば、将来、約5,000～10,000戸の温室農家がマイクロコンピュータを導入し、コンピュータ温室の面積は約5,000 haに達するであろうとのことである。

5. おわりに

温室環境制御へのマイクロコンピュータの利用は、従来のアナログ式複合制御機器の機能をコンピュータでそのまま代替するという形で始まった。コンピュータの低価格化により、大規模温室の複合環境制御は、アナログ式よりもコンピュータ利用の方が低価格で実現されるようになったからである。このために、研究よりも商業温室への普及が先行している。すなわち、コンピュータの高速演算、記憶、プログラム内蔵などの諸機能を十分に活かした省エネルギー的複合環境制御法などの研究は始まったばかりである。

我国でもいくつかのグループによって同様な研究が進められているので、その成果を期待すると共に、各国研究者間の国際的交流を期待する。