温室環境の遠隔計測・制御・解析用ソフトウェアの開発促進を 目的とした環境計測制御システムにおける標準操作規約

星 岳彦¹⁾・布施順也²⁾・渡辺 勉³⁾・奥矢 毅⁴⁾・林 泰正⁵⁾・倉島敏行⁶⁾

¹⁾東海大学開発工学部生物工学科 410-0395 静岡県沼津市西野 317

²⁾太洋興業株式会社 111-0053 東京都台東区浅草橋 4-2-2

³⁾株式会社 山武 150-0002 東京都渋谷区渋谷 2-12-19

⁴⁾横河電機株式会社 163-0650 東京都新宿区西新宿 1-25-1

⁵⁾株式会社イー・エス・ディ 112-0004 東京都文京区後楽 1-7-12

⁶⁾三基計装株式会社 335-0031 埼玉県戸田市美女木 4-19-15

A standard Operation Protocol on the Environmental Measurement and Control Systems Aiming at Promoting Development of Computer Software for Remote Measurement, Control and Analysis of Greenhouse Environment

Takehiko HOSHI¹⁾, Jyunya FUSE²⁾, Tsutomu WATANABE³⁾,
Tsuyoshi OKUYA⁴⁾, Yasumasa HAYASHI⁵⁾ and Toshiyuki KURASHIMA⁶⁾

¹⁾Department of Biological Science and Technology, Tokai University, Nishino 317,
Numazu, Shizuoka 410-0395, Japan

²⁾Taiyo-Kogyo Co., Asakusabashi, Taito-ku, Tokyo 111-0053, Japan

³⁾Yamatake Co., Shibuya, Shibuya-ku, Tokyo 150-0002, Japan

⁴⁾Yokogawa Electric Co., Nishi-shinjyuku, Shinjyuku-ku, Tokyo 163-0650, Japan

⁵⁾ESD Co., Koraku, Bunkyo-ku, Tokyo 112-0004, Japan

⁶⁾Sanki Keiso Co., Mimeki, Toda-city, Saitama 335-0031, Japan

Abstract

Computerized environmental measurement and control systems for greenhouses have been developed and used in Japan since 1974. In 1995, 2566 sets such systems operated for protected plant production in Japan, and the total floor area of computer controlled greenhouses was 3.44 km². The selling systems of more than 20 corporations could not be operated by the same software in the personal computers connected with the systems, because the systems do not have the common remote operation standard from personal computers. We realized that a more convenient measurement and control for advanced plant production is indispensable to develop advanced software in personal computers. Allowing remote operation of any systems by the same software decreases software development costs and increases the usefulness of the systems and software developers. Therefore, we proposed a standard operation protocol for the environmental measurement and control systems. The standard operation protocol was determined by the following process; (1) A questionnaire research, (2) Testing by a prototype system, (3) Hearing from concerned makers, and (4) Verification of the protocol practicality. Elements of the standard operation protocol were (1) Transferal standardization, (2) Identical

standardization, and (3) Semantic standardization. The primary concepts to perform the protocol functions were a virtual controller and a map file. The virtual controller permitted the realization of the protocol by only emulating software. The map file worked unification and localization of measurement and control items easily. The practicality of the standard operation protocol was confirmed by verification tests. It is considered that standard operation protocol contributes to promote development of personal computer software for remote measurement, control, and analysis of the greenhouse environment.

Keywords : communication, computer control, environmental control, protected cultivation, standardization

緒 言

植物工場などの施設園芸の面積は、日本で1995年に510.11 km²に達し¹⁾、普及が始まった1965年と比較すると、10.2倍に増加した。施設の高度化に伴って、その環境の計測制御を行うコンピュータシステム(以下、環境計測制御システムと呼ぶ)が1974年ごろから研究開発されるようになった²⁻⁶⁾。1980年頃からは、数社からの実用機の販売が開始された。最近では、20社程度が販売している。

しかし、その普及は、1995年で設置台数2,566台、設置面積は3.44 km²であり¹⁾、施設園芸面積のわずか0.67%に過ぎない。この理由として、コンピュータ技術の急速な進歩にもかかわらず、市販システムの機能がほぼ研究開発当初のままで、それ以上の進歩がほとんどないこと、わずか2,500台程度の市場に20社程度がそれぞれ独自の規格で製品開発しているため、コンピュータソフトウェア(以下、ソフトウェアと呼ぶ)の開発にコストをかけることが特に難しい現状であること、などが考えられる。このため、コンピュータの持つ情報処理機能が十分に活用されているとはいえず、安価な時間帯別サーモスタット等との差別化が図りにくく、生産者も導入する利点を見出せない。

最近の施設の大規模化・省力化に伴い、コンピュータを用いた環境計測制御システムと、それを基盤にした植物生産支援システムの実用化に期待が高まっている。しかし、この期待に応える、高性能なソフトウェアを低コストで開発することが困難な現状であり、各社ごとの開発では採算に合わないことが大きな問題点である。また、研究機関において、仮にそのようなソフトウェアを開発しても、動作する環境計測制御システムに互換性がなく、普及が限定されてしまう。

環境計測制御システムにおいて、高度な情報処理を行うソフトウェアは、システムに接続されたパーソナルコ

ンピュータ(パソコン)で実行される。そこで、パソコンから、各社の環境計測制御システムを操作する共通の規約を定め、それによって、パソコンで実行できるソフトウェアを共通化することで、これらの問題を解決できると考えた。産官学により3年間にわたって様々な面から共通的な操作規約について検討を加え、その結果、我が国の現状にふさわしい操作規約を策定するに至ったので、ここに報告する。

方 法

1. 意識調査

緒言で述べた考え方が、現場でどのように評価されるかについて、その意識を調査する目的で、1995年3月に、環境計測制御システムのハードウェアまたはソフトウェアの開発・製造・販売に携わる会社、農事情報関連会社、および、団体の計78社を対象に、調査票の郵送による意識調査を実施した¹²⁾。

2. 標準化の技術要素の抽出

東海大学開発工学部生物工学科の実験用温室群に設置されている環境計測制御システムを利用して、パソコンで各種ソフトウェアを実行する場合に、環境計測制御シ

Fig. 1 A testing system for extracting communication elements in the remote operation of environmental measurement and control systems

システムでどのような操作が必要になるか、その技術要素の抽出を行った。Fig. 1 に示した構成のシステムを用いて、サーバ・クライアント型の情報通信が実現できる環境を構築した。環境計測制御システムからは東海大学独自の形式で LAN である FDDI と Ethernet に接続し、そこから、サーバシステムを介して、標準化された各種の遠隔操作方法を実験できるようにした。そして、データ検索用ソフトウェアの Query 2.0 (Microsoft 社製)、表計算ソフトウェアの Excel 7.0 (Microsoft 社製)、および Visual Basic 4.0 (Microsoft 社製) を用いて各種の通信による環境計測制御システム用のアプリケーションソフトウェアを試作・試用して考察した。

3. 規約の策定

抽出した要素に基づいて、暫定的な操作規約を策定した。この、暫定的な規約を、環境計測制御システムの開発・製造・販売に携わる会社 9 社に提示し、農林水産省野菜振興課担当者および大学関係者も同席して、実用化可能な仕様に改良する観点で討議を行った。1 回 4 時間程度の討議は、1995 年 9 月 8 日から 1996 年 11 月 20 日まで、8 回実施した。また、各社の環境計測制御システムで使用している、計測値・制御値・設定値の項目一覧表を提供してもらい、共通化して扱うべき項目について検討を行った。これらの討議・検討を経て、操作規約を策定した。

4. 規約の検証

策定した操作規約に基づいた仮想的な環境計測制御システムをコンピュータソフトウェアとして開発し、仮想コントローラシミュレータと名づけた。この仮想コントローラシミュレータを動作させて、操作規約が実装可能なことを検証した。

結果および考察

1. 意識調査

回答は、48 社から得られた。回答会社の内訳は、ハードウェアの開発・製造が 3 社、ソフトウェアの開発が 9 社、両者の開発・製造が 21 社、営業・販売が 7 社、その他が 8 社であった。開発・製造・販売を担当するスタッフが 10 人以下と回答した会社は、全体の 79% に達した。回答のあった会社での集計によると、環境計測制御システムのハードウェアの累積出荷台数は、25 社 5,688 台、このシステムを操作するソフトウェアの累積出荷本数は、22 社 2,752 本となった。ソフトウェアの開発・製造に関する問題点としては、半数以上の会社が、ソフトウェアの開発コストおよび検証労力の増大を問題

点としてあげている。緒言で述べた問題点は、この意識調査によっても裏付けられた。

共通の操作規約を定めて公開することについて、約 82% の会社が標準化を行うことで何らかのメリットがあると考えている。一方、60% の会社がデメリットも同時にあると考えている。ここで、メリットがあると回答した会社のうち、システムを操作管理するパソコン用ソフトウェアの開発販売がビジネスになる(回答した会社の 54% が指摘、以下同様)、試験研究機関等でソフトウェアをその規約で開発すればすぐ生産現場で実用化できる(51%)、生産団地等でメーカの異なるシステムをパソコンで統合的に管理できる(51%)など具体的根拠として指摘した。一方、デメリットは、独自の機能を付けることが難しくなる(67%)、自社の従来品との互換性がとりにくくなる(59%)、競争が激化して自社のシステムの独自性・優位性が失われる(37%)などの回答があった。

標準化の実施については、66% が賛成、反対が 2%、残りの 32% は、わからないと回答した。回答した会社のうち、過半数が標準化に賛成の意志を表明したと判断できる。また、約 3 割の会社がわからないと答えたのは、標準化の詳細が調査の時点で不明だったので、正確な判断がつきにくかったと考える。標準化の方法については、公的機関が予算を拠出して会社等からも委員を参加させた形式での策定を望んでいるものが約 50% を占めた。

2. 標準化の技術要素の抽出

まず、市販のデータベースソフトウェアや表計算ソフトウェアの機能を利用して、特定の環境条件を満足した日を検索したり、任意の期間の経時変化を図示するアプリケーションソフトウェアを試作した。これらは、パソコン操作に習熟した生産者が独自に解析のためのアプリケーションソフトウェアを構築する場面を想定した試作である。さらに、Visual Basic 4.0 を用いて、温室を図示して現在の計測制御状況を表示したり、積算温度を求めたりするアプリケーションソフトウェアを各種試作した。その一例を Fig. 2 に示した。これは、環境計測制御システムをパソコンに接続して制御状況をわかりやすく図示したり、計測データの解析を行うソフトウェアの開発を想定した試作である。

これらの試作を通じて、環境計測制御システムとアプリケーションソフトウェアとの間の通信で必要になる要素を明らかにした。その結果、共通の操作規約を実現するために必要な 3 要素が得られた。

(1) 移動の標準化 (Transferal standardization)

データの移動が共通の方法で実現できる。

(2) 特定の標準化 (Identical standardization)

Fig. 2 Examples of the developed application software to determine the remote operation protocol (a)Microsoft Excel VBA(Visual Basic for Application)software displays the hourly trend environmental data in chart form. (b)Application software by Microsoft Visual Basic lists dates with specific environmental conditions in the past.

SITETABLE

SITENAME	SITELABEL	ADDRESS	LATITUDE	LONGITUDE	HEIGHT	SITECODE
FIELD-000	屋外	静岡県沼津	35.2	138.8	270	0
GREENHOUSE-001	温室 1	静岡県沼津	35.2	138.8	270	1
GREENHOUSE-002	温室 2	静岡県沼津	35.2	138.8	270	2
GREENHOUSE-003	温室 3	静岡県沼津	35.2	138.8	270	3
GREENHOUSE-004	温室 4	静岡県沼津	35.2	138.8	270	4
GREENHOUSE-005	温室 5	静岡県沼津	35.2	138.8	270	5

DATATABLE

DATANAME	DATALABEL	DATATYPE	UNIT	DATACODE
AIR TEMPERATURE-000	気温	NI	°C	0
RELATIVE HUMIDITY-000	相対湿度	NI	%	1
SOLAR RADIATION-000	日射量	NI	W/m ²	2
PHOTON FLUX DENSITY-000	光子束密度	NI	μmol/m ²	3
WIND SPEED-000	風速	NI	m/s	4
CO2 CONCENTRATION-000	炭酸ガス濃度	NI	ppm	5

DAILYRECORD

SITECODE	DATACODE	RECORDDATE	DATATYPE	H0	H1	H2	H22	H23	TOTAL
0	0	1995/10/01	AV	21.6	21.6	21.8	18.7	19.0	22.5
0	0	1995/10/01	MA	22.2	22.0	22.1	19.7	20.4	26.5
0	0	1995/10/01	MI	20.5	20.5	20.6	18.2	18.2	18.2
3	1	1995/10/01	AV	85.7	87.1	88.3	85.6	86.1	80.1
3	1	1995/10/01	MA	88.3	89.8	90.4	89.8	91.0	91.3
3	1	1995/10/01	MI	83.2	84.8	85.1	78.8	82.1	60.7
6	3	1995/10/01	AV	0	0	0	0	0	236.1
6	3	1995/10/01	MI	0	0	0	0	0	126.6

Fig. 3 A scheme of relational database in the standard operation protocol on the environmental measurement and control systems

Fig. 4 Network of computer systems and concept of the virtual controller in the standard operation protocol

Fig. 5 Summary of technical elements to realize the standard operation protocol

通信したいデータを特定するために、共通の方法で日時・場所・項目を指定できる。

(3) 意味の標準化(Semantic standardization)

特定されたデータの定義・単位が共通になる。

これらの要素が共通化されると、対象とする個々の環境計測制御システムの操作規約を考慮に入れずに、各種のアプリケーションソフトウェアを開発できることが、試作によって確かめられた。これらの要素は、関係データベースをモデルにして Fig. 3 のように表現する事ができた。この方法を用いると、関係データベースで標準的に実装されている SQL (Structured Query Language) を用いて、柔軟度の高いデータ検索も可能になった。この SQL の利用は、データの複雑な検索方法までも共通化できる第 4 の要素になった⁷⁾。

3. 規約の策定

討議において、関係データベースをモデルにした規約の実装では、環境計測制御システムに使用されているコンピュータのハードウェアで実現することは困難で、全て新機種からの適用になってしまうとの指摘がなされた。既設の環境計測制御システムにも対応可能なシステムとして欲しいという意見が強かった。そこで、第 4 の要素を破棄し、さらに、規約の実装法について仮想コントローラ (Virtual Controller) という概念を用いて、操作規約に対応した環境計測制御システムの境界を環境計測制御システムのハードウェアの境界と一致しなくても実現できるようにした。その結果、規約の実装方法は、Fig. 4 に示した通り、パソコンに標準化通信エミュレータを実装することによって、パソコンのソフトウェアの追加

だけでも実現が可能になった。討議の結果、最終的な素案となった標準化の要点を Fig. 5 に示した。以下では、各要素に対応した規格の実装法についての検討結果を示す。

(1) 移動の標準化

環境計測制御システムとパソコンの応用ソフトウェアとの間で通信コネクションの確立のために使用する通信プロトコルと、計測制御データの送受を行う際に利用する問い合わせ言語文法について規定した。

通信プロトコルは TCP/IP を利用した。従って、規約対応の応用ソフトウェアを開発する際に、既に普及が進んでいる TCP/IP 通信ソフトウェアライブラリや市販の開発ツール、通信ドライバがそのまま流用できた。また、インターネットで広く利用されている通信プロトコルでもあるので、農業分野でも利用の進んでいるインターネット^{8,9)}との共存が可能になった。さらに TCP/IP は、使用する通信回線の種類に依存しない規約であるので、Ethernet や電話回線、さらに標準化エミュレータと応用ソフトウェアがマルチタスクの OS によって、同じコンピュータ上で稼働可能であれば、スタンドアロンによる利用も可能であった。

問い合わせ言語については、SQL に代って、簡易な文法のもを新たに作成して規定した。規定したコマン

```
%telnet 192.1.1.1 12411
Trying 192.1.1.1 ...
Connected to 192.1.1.1.
Escape character is '^]'.
UT-CX1001-0001;
tokai,*****!TC000;
24.2977;
Connection closed by foreign host.
%
```

Fig. 6 A screen copy of manual operation by Telnet

Telnet is one of the popular software tools on the Internet. Underlines show user input. In this case, the user ordered a report on the current outside air temperature, and the virtual controller replied with the temperature, 24.2977°C.

```
Map File Sample
Copyright (C) 1997-1998 Tokai Univ. Hoshi Lab.

[SystemInfo]
Prompt=UT-CX1001-0001
StdVersion=2.7
Level=6b
Port=12411
MailAddress=静岡県沼津市
GeoLocation=35.1573,138.7957,270.0
FacilityName=東海大学植物集約生産設備,東海大学温室
FacilitySubName=自然光人工光併用型温室 6 号棟, 6 号棟
Licensee=星研究室
Manufacturer=東海大学星研究室
ProductName=仮想コントローラシミュレータ
ProductNumber=0131
MapTimestamp=19980315220210
NetworkAddress=127.0.0.1
VContMaxComInterval=60

[SDNTTable]
1030010-----IR, 屋外日射, W*m^-2, DV000, 1HA1HG1HL,
1103010-----IR, 屋外気温, C, TC000, 1HA1HG1HL,
110C210-----IR, 屋外相対湿度, %, CV000, 1HA1HG1HL,
H103010-----IR, 屋内気温, C, TC012, 1HA1HG1HL,
H10C210-----IR, 屋内相対湿度, %, CV006, 1HA1HG1HL,
L103010-----00, 冷暖房装置動作, A0005, 1HA1HG1HL,
L104010-----0C, 加湿装置動作, D0069, 1HA,
L1200R0-----0C, カーテン開動作, D0074, 1HA,
L1200S0-----0C, カーテン閉動作, D0075, 1HA,
L1030G0H10301-OR, 冷暖房装置屋内気温現在設定値, C, SP1010,
L1030G0H103011SR, 第 1 時間帯冷暖房装置屋内気温設定値, C, SP1011,
L1030G0H103012SR, 第 2 時間帯冷暖房装置屋内気温設定値, C, SP1012,
L1030G0H103013SR, 第 3 時間帯冷暖房装置屋内気温設定値, C, SP1013,
X000110-----XA, 現在日時, TM000, .
```

Fig. 7 A sample of the map files for standardization

The map file contains information on the environmental measurement control system and a list of operational items.

ドの文法は、値読み込み形式、値設定形式、記録値読み出し形式、システムログ読み出し形式、独自コマンド形式の合計5形式とした。

使用コードセットをテキスト文字に限定したので、例えば、Telnetのような端末ソフトウェアを使ってキーボードからの手入力による操作も可能になった(Fig. 6)。これは、動作テストや緊急時の遠隔操作等で活用できる特長であるとする。

(2) 特定の標準化

アプリケーションソフトウェアが環境計測制御システムと通信を確立して、目的の計測制御データの送受を正しく行うために必要な、環境計測制御システムへの接続方法、利用可能な計測制御データの種類、その計測制御データの指定方法を知る方法を定めた。ここでは、パソコンにあらかじめ接続するシステムで利用可能な計測値や制御値、設定値などの一覧をパラメータファイルとして用意しておく方法を用い、このパラメータファイルをマップファイル(Map File)と名付け、記述方法について規定した。マップファイルを用いて間接的な特定を実現することで、各社まちまちな計測制御データ特定のた

めの指定子を統一することなく、標準化することが可能になり、各社が標準化対応の環境計測制御システムを開発する場合の工数を大幅に軽減することが可能になった。さらに、各項目の呼称の記述欄も用意されているので、ソフトウェアを日本語版から各国版にローカライズする場合に、ほぼマップファイルの変更だけで対応が可能になると考える。マップファイルの例を Fig. 7 に示した。

(3) 意味の標準化

環境計測制御システムを開発・製造している各社に依頼して、計測値や制御値などの計測制御データの名称や意味・単位の一覧表を可能な限り提供してもらった。提供された項目は、延べ約4,000項目になった。その中から、重要度や論理性を判断基準として、各社で表現方法がまちまちであった計測制御データの名称や意味・単位を統一し、約500項目を規定した。また、アプリケーションソフトウェアがその計測制御データを特定するために、標準データ名という、その計測制御データを一意に表す名前を定めた。

4. 規約の検証

仮想コントローラシミュレータと、規約に準拠したマ

Fig. 8 Testing remote operation based on standard operation protocol

The checking software tested all of the remote operations, and reported on their results.

ップファイルを用いて、策定した規約で通信可能なことを確かめた。動作例を Fig. 8 に示した。

結 論

3 年間にわたって様々な面から検討を加え、環境計測制御システムのパソコンからの操作規約の提案を行った。また、提案された規約が実装可能なことも検証した。規約の全文、開発された各ソフトウェア、規約検討会の議事録は、<http://w3.fb.u-tokai.ac.jp/std/> から電子的に入手可能である¹⁰⁾。1998 年 4 月現在、4 社がこの規約に準拠したエミュレータの開発を完了しており、今後の普及によって、施設園芸における環境計測制御データを活用した高度なアプリケーションソフトウェアの開発・普及に弾みがつくものと期待する。本規約の考え方は、屋外気象システム、および青果物流通システム¹¹⁾にも応用が可能であると考ええる。

謝 辞

本研究は、農林水産省の快適生産体制確立対策事業の技術開発小委員会¹²⁾に端を発している。委員長である千葉大学 古在豊樹教授には、研究を奨励していただくと共に、貴重なご意見を賜った。さらに、技術開発小委員会の各委員からも数多くのご指摘を頂いた。研究の実施については、農林水産省農産園芸局野菜振興課ならびに社団法人日本施設園芸協会の園芸施設設置コスト低減事業高度環境制御装置標準化委員会から助成を受けた。本報は、農林水産省一般別枠研究、増殖情報ベースによる生産支援システム開発のための基盤研究、要素モデル間の入出力データのオブジェクト化手法の開発という課題で研究委託された成果の一部を含んでいる。また、株式会社チノー、株式会社東芝、東京ハイテック株式会社（現在、日本オペレータ株式会社）、トピーグリーン株式会社、ネポン株式会社の各担当者の方々にも、規約の策定検討会に出席いただき、貴重なご意見を賜った。これらの方々を記して、謝意を表する。

引用文献

- 1) 農林水産省農産園芸局野菜振興課編：園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況，社団法人日本施設園芸協会，pp. 61-71(1996)
- 2) Takakura, T., Kozai, T., Tachibana, K. and Jordan, J. A.: Direct digital control of plant growth I. Design and operation of the system, Trans. of the ASAE, 17: 1150-1154(1974)
- 3) 高倉 直，岡田益巳，島地英夫，奈良 誠：温室の複合制御用マイクロコンピュータシステムの試作，農業気象，35(2)：97-102(1979)
- 4) 古在豊樹，伊東 正，稲山光男，小林 肇：マイクロコンピュータによる温室環境管理システムの開発と実用化試験，農業気象，38(1)：45-50(1982)
- 5) Hoshi, T. and Kozai, T.: Knowledge-Based and Hierarchically Distributed Online Control System for Greenhouse management, Acta Hort., 148: 301-308(1984)
- 6) 星 岳彦，古在豊樹：制御式を用いたマイクロコンピュータ環境制御装置の開発，農業気象，42(1)：45-50(1986)
- 7) 布施順也，星 岳彦：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6年度大会学術講演要旨集：3-4(1994)
- 8) 星 岳彦：農業におけるインターネット利用の現状と展望，農業および園芸，71(7)：797-801，71(8)：900-906(1996)
- 9) 星 岳彦，高辻正基：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6年度大会学術講演要旨集：5-6(1994)
- 10) 日本施設園芸協会編：園芸施設設置コスト等低減指導事業・高度環境制御装置標準化委員会報告書，pp. 1-63(1998)
- 11) 宮崎清隆，富士原和宏，飯本光雄，星 岳彦：青果物選別計測データのデータベース化とその利用，農業および園芸，72(10)：1103-1110(1997)
- 12) 星 岳彦，布施順也：環境制御システム遠隔操作法標準化の意識調査，施設園芸省力・快適生産体制確立対策事業技術開発小委員会報告書，日本施設園芸協会，pp. 23-35(1996)