

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：32644
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21580317
 研究課題名(和文) 分散型環境制御システムを基盤にした施設園芸生産ソフトウェアの構築

研究課題名(英文) Establishment of Application Software for Supporting Protected Horticultural Crop Production Based on a Decentralized Environmental Control System

研究代表者

星 岳彦 (HOSHI TAKEHIKO)
 東海大学・開発工学部・教授
 研究者番号：80219162

研究成果の概要(和文)：施設園芸生産の情報化・高度化を図る目的で、普及が進む低コストで自律分散型の環境制御システムであるユビキタス環境制御システムを導入した園芸施設で活用できる生産支援ソフトウェア開発の研究を実施した。開発と普及を促進するためソフトウェアが扱う情報を規格化した。環境データの組み合わせによる病害好発条件や生育好適条件を検出して、その期間をマーキングし、生産者に注意を促すソフトウェアなどを開発した。

研究成果の概要(英文)：To aim informatization and highly-development of the protected horticultural production, development of application software supporting crop production in the greenhouse that was installed a ubiquitous environmental control system was studied. Information format was standardized in order to accelerate the software development and popularization. Some convenience applications, such as environment alerting software that detected conditions of diseases outbreak and insufficient photosynthesis by matching the measured environmental elements, were developed.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 2010年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2011年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学、農業情報工学

キーワード：植物生産、アプリケーション、ユビキタス環境制御システム、ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

環境制御システムが高度な施設園芸生産に貢献するためには、温度や湿度などの物理的な環境条件の制御に範囲を限定した従来の方法を脱却し、その施設で生産する作物の生育、生産コスト等などの高度な目標と連携して動作できるようにする必要がある。つまり、施設園芸のための生産ソフトウェアを構

築し、環境制御システムもそれに連携させる必要がある。これまでの研究で、低コストで自律分散型の新しい環境制御システムであるユビキタス環境制御システム¹⁾が研究開発され、実用化された。このシステムは、園芸施設に設置されたLANを介して、全ての環境計測制御機器(暖房機、天窓開閉機、気象センサ、培養液給液機など)がインターネット

に準拠した規格²⁾で相互に通信し合い、自由自在に連携することを可能にした。そこで、この機能を活用して、LANに接続したパソコンにより、全ての環境計測制御機器を連携し、さらに、天気予報情報、資材納入情報、作物生育情報、作業管理情報、生産出荷情報などもインターネットを介して入手して、それらの情報を統合して環境制御に活用できる総合的な施設園芸生産ソフトウェアの構築の研究を行う。このソフトウェアを実現することによって、生産者による環境制御機器の動作コストなどの把握を可能にし、その一方で、天気予報や植物の育ち具合で今日の環境制御はこのように行いたいという大局的方針を環境制御システムに伝えることも可能になる。これによって、施設園芸生産改善のためのPDCA(Plan-Do-Check-Action)サイクルが有効に機能し、施設園芸のQC(Quality Control)生産を実現する有益な道具となり得る。

2. 研究の目的

収益性のある高品質な高度施設園芸生産のためには、施設や装置の開発だけではなく、それらの有効な活用を図るための栽培・生産ソフトウェアの研究開発が大切であると、以前から言われている。

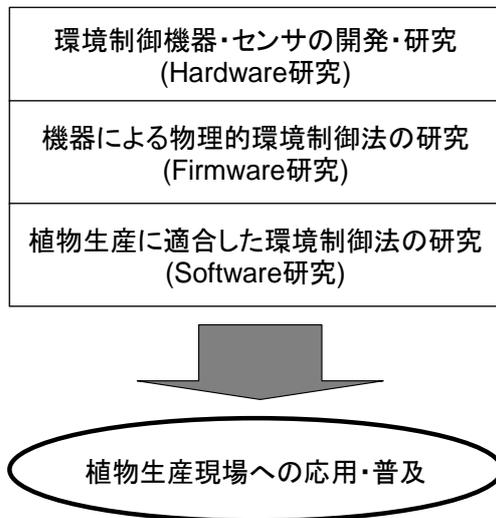


図1 植物生産のための環境制御研究の階層模式的構成

園芸施設の環境制御について、様々な研究開発がこれまでに多数なされてきた。しかし、それらの多くは、実験室や試験圃場で実施することが可能な、暖房機や換気窓などの環境制御機器自体(ハードウェア)の開発・改良や、温度や湿度などの物理的環境をいかにうまく制御するかという設置・運転法(ファームウェア)レベルに留まるものが大部分である。一歩進んで、植物生理学の知見を応用したり、労力とコストを要する栽培試験を実施して植物の生産量を考慮に入れたりした、生産ソ

フトウェアの構築を含む環境制御の研究開発になると、その数はかなり少なくなる。さらに、収益を上げるための経営や販売も考慮に入れて環境制御の戦略を決めるような、施設園芸生産ソフトウェアの構築までを考慮した環境制御の研究は、実際の施設園芸生産現場を対象に実施しなくてはならず、コスト対効果の点からほとんど実施されず、また、成果がほとんど無いのが現状であろう。これを模式的にまとめたのが図1である。図1の最終段階である、施設園芸生産現場で真に役立つ施設園芸生産ソフトウェアを効果的に構築することが、これまで研究されたさまざまな環境制御技術を実際に活用する鍵になると考える。

開発・実用化したユビキタス環境制御システムは、各地の園芸施設への導入が進みつつある。これらの施設園芸生産現場では、ユビキタス環境制御システムによって情報化の基盤整備が完了しているの、生産ソフトウェア構築の開発研究が容易に実施できる環境が実現されている。養液栽培システムまでもユビキタス環境制御システム化されている施設もあり、これを用いると、地上部気象環境だけでなく、地下部環境や、作物栄養まで連携して制御可能な情報化環境が成立している。つまり、施設園芸生産現場で真に役立つ施設園芸生産ソフトウェアを効果的に構築できる基盤を整備し、これを活用して、実際に施設園芸生産ソフトウェアの構築を試みるのが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 開発するソフトウェアをユビキタス環境制御システムと連携させ、さらに、開発ソフトウェアの汎用性を高めるため、扱うデータの標準化を行った。まず、環境制御システムに連携させる目的で、低コストで自律分散型の新しい環境制御システムであるユビキタス環境制御システム(UECS: Ubiquitous Environment Control System; <http://uecs.jp/>)¹⁾を対象にした。このシステムは、園芸施設内にEthernet (IEEE-802.3)によるLANを設置し、それに各種の環境計測センサ機器、環境制御機器を接続する。ネットワークに接続されたこれらの機器をノードと呼ぶ。ノード同士、または、ネットワークに接続されたパソコンとの間で情報通信を実施して、各ノードが自律分散協調して計測制御を実施する。UECS機器(ノード)間通信は、規格化され、公開された、UECS-CCM(Common Corresponding Message)と呼ばれる、XMLで記述されたUDPパケットでリアルタイムに行われる²⁾。

一方、植物生産情報交換規格(BIX-pp: Bio-Information eXchange for Plant Production; <http://bix-pp.info/>)は、生産

支援ソフトウェアなどの植物生産に関する各種応用ソフトウェアへの情報入力の様式を標準化し、1作の植物性生産の全ての情報を一つに集約できる。この規格を採用した応用ソフトウェアは、環境計測データ、労務管理データ、出荷記録、栽培記録など、各種のデータの収集や調整の労力なしに、1つのBIX-pp形式ファイルを指定するだけで動作可能になる³⁾。既に生産記録の解析ソフトウェア、生産モデル構築用データマイニングソフトウェアなど、各種の応用ソフトウェアが開発され、先進的な施設で試用されている。これをBIX-ppの1作の時系列形式に変換するため、パソコンで温室LANに流れるCCMパケットをキャプチャしてRDBに蓄積し、利用者からの指示に基づきBIX-pp形式ファイルを生成するようにした(図2)。

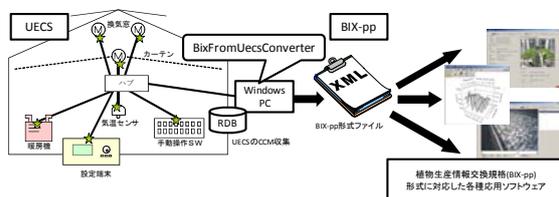


図2 UECSと開発ソフトウェアから得られるBIX-pp形式ファイルのシステム連携の概要

BixFromUecsConverterはWindowsパソコンのソフトウェアとして開発した。開発環境はDelphi2009を使用し、DBMSにはオープンソースのFireBirdを使用した。システムの動作テストは、こもろ布引いちご園南が原ハウスのUECS設置温室のLANにBixFromUecsConverterを搭載したPCを設置して行った。

(2)環境制御システムから出力される情報を整理し、生産管理に有益な情報に整理して示すことのできる、規格化されたソフトウェア開発例として、記録された計測制御データの着目すべき特定の条件に合致した部分に印付けをするパソコン用Javaアプリケーションを開発した。開発したアプリケーションは、グラフに着目点を付加する(マーキング)機能を持つため、BixEnvironmentMarkerと命名した。開発にはJava言語を主体とする統合開発環境であるEclipse Galileo (Ver. 3.5、Eclipse Foundation)を使用した。そして、BIX-ppを扱うために開発されたクラスライブラリ(BIX-pp4J、<http://bix-pp.info/library/BIXpp4J/index-j.htm>)、および、チャートライブラリであるJFreeChart Ver. 1.0.13 (Object Refinery Limited)を用いて開発した(図3)。

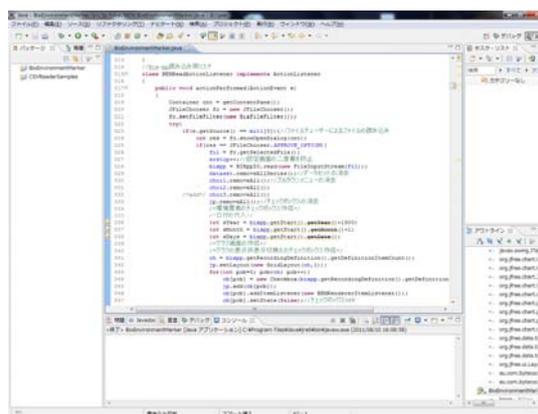


図3 BixEnvironmentMarker 開発中画面

BixEnvironmentMarkerは、BIX-ppの環境情報を折れ線グラフで表示し、さらに、予め設定しておいた特定の条件を満たしたグラフエリアを色付けすることで、利用者に着目点を提示する仕様とした。設定できる条件数は最大3件とし、それぞれの値の範囲と、その継続時間を指定できるようにした。設定画面は別ウィンドウとし、さらに、設定条件をCSV形式ファイルとして記録する機能を付加した。BixEnvironmentMarkerの動作検証に使用する環境計測データは、ユビキタス環境制御システム(UECS)の屋内気象ノード(図4、エヌアイシステム製)で計測され、UECS共用通信子(CCM)でネットワークに配信された。



図4 供試したUECS 屋内気象ノード

そして、パソコンで動作させたBixFromUecsConverterを内蔵したUECSモニタソフトウェア(UECS-Monitor、ステラグリーン製)によってキャプチャされ、BIX-pp形式ファイル出力機能を用いて得られた。そのシステムによって、2011年7月1日から2011年8月1日までの気温や相対湿度など35種類の検証用環境計測データ(ファイルサイズ: 394 kB)を得た。

4. 研究成果

(1)開発したソフトウェアのインストーラを含んだサイズは3568kBであった。2010年1月1日～29日まで動作テストを行った。シス

テムの動作画面例を図5に示した。

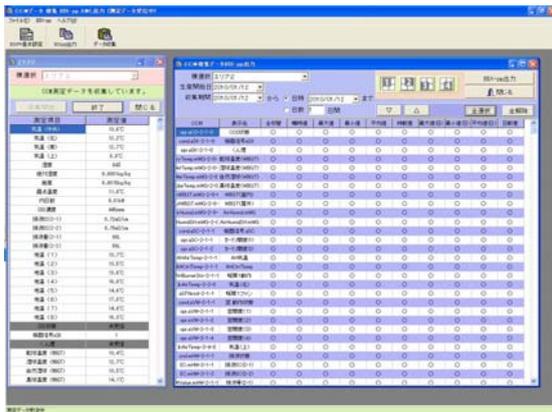


図5 BixFromUecsConverterの動作例(変換項目の選択画面)

環境計測制御データは、1日または1時間ごとの、瞬時、最大、最小、平均、較差値を任意に選択して出力可能にした。このため、保存しておく必要のある環境計測制御要素に限定してBIX-pp形式に出力することができた。ハウスのエリア2のBIX-pp形式ファイル出力値をXSLTによりブラウザで表示させた例を図6に示した。UECSを設置した温室の環境計測データをBIX-pp対応ソフトウェアで処理できるようになり、UECSへの応用ソフトウェアの利用機会が広がった。



図6 出力されたBIX-pp形式ファイルの例

開発されたBixEnvironmentMarkerの研究成果は、ステラグリーン社のUECS用アプリ

ケーションソフトウェア製品であるUECSモニタソフトの一機能として組み込まれ、製品化された(図6、http://www.stella-green.com/business/components_uecs.html)。



図6 BixFromUecsConverterが組み込まれたUECSモニタソフト

(2)BixEnvironmentMarkerのファイルサイズはJarファイルで5.31MBになり、Microsoft Windows 7搭載パソコン、MacOS X搭載パソコンの両方で動作を確認した。検証用環境計測データの読み込みに約6秒かかった。このほかに、欠測期間のあるBIX-pp形式ファイルの読み込みも問題が無いことを確認した。一例として、トマトハカビ病の好発条件である気温20~25℃、相対湿度95%以上の多湿条件に条件設定(図7)した場合の結果を図8に示した。

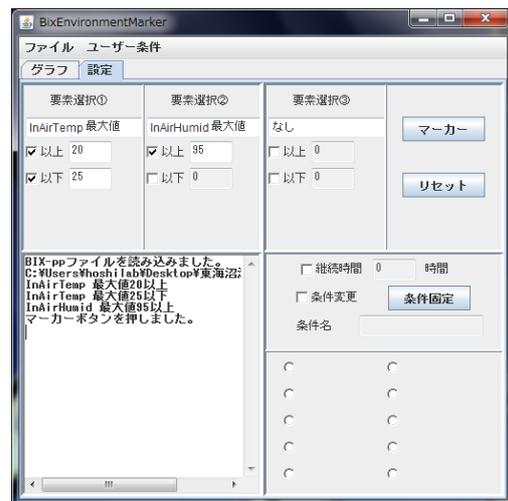


図7 BixEnvironmentMarker設定画面

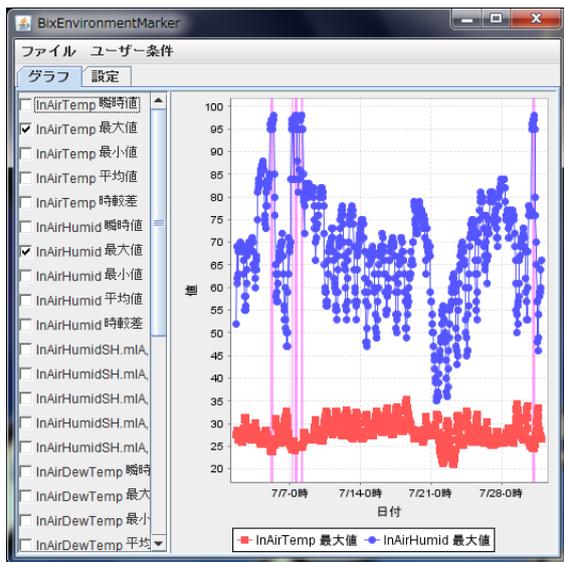


図 8 BixEnvironmentMarker の判定結果(マーキング)画面

図 8 の矩形(桃色)で網かけされている部分が、設定した条件に合致した部分である。BixEnvironmentMarker では、図 7 に示した通り、その条件成立の継続時間が設定できるので、葉に付着した孢子が侵入する時間を 6 時間と設定すると、網かけは消え、条件が成立した時間は全て 6 時間以内であり、感染するまでの時間継続はなかったことが示された。さらに、一度設定した条件は、CSV 形式ファイル(図 9)で記録でき、必要に応じて呼び出しが可能であり、次回からは入力する手間が省けた。病害が発生しやすい環境条件、栽培している植物が最適に生育する環境条件、などを設定することにより、初心者でもその条件に合致した時間帯がどこにあるのかを容易に把握することができるようになった。これによって、自己の植物生産における環境制御の評価ができるようになり、生産性の改善に結びつくと考えられる。

| ユーザーID | InAirTemp 最大値 | InAirHumid 最大値 | InCO2Dens 最大値 |
|--------|---------------|----------------|---------------|
| 1 | 20 | 1 | 50 |
| 2 | 30 | 1 | 90 |
| 3 | 0 | 40 | 1 |
| 4 | 10 | 1 | 30 |
| 5 | 0 | 40 | 1 |
| 6 | 1 | 20 | 1 |
| 7 | 1 | 20 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 5 | 1 |
| 12 | 1 | 20 | 1 |
| 13 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 1 | 20 | 1 |
| 17 | 1 | 10 | 1 |
| 18 | 1 | 40 | 1 |
| 19 | 1 | 40 | 1 |
| 20 | 1 | 5 | 1 |
| 21 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 1 | 22 | 1 |
| 23 | 1 | 22 | 1 |
| 24 | 1 | 22 | 1 |
| 25 | 1 | 20 | 1 |
| 26 | 1 | 20 | 1 |
| 27 | 1 | 20 | 1 |

図 9 BixEnvironmentMarker の条件設定を記録した CSV 形式ファイルの内容表示

BixEnvironmentMarker は、他に開発した BIX-pp 対応アプリケーションと共に、Web ページから無償でダウンロード可能にした(図 10、<http://bix-pp.info/samples/software/index-j.htm>)。

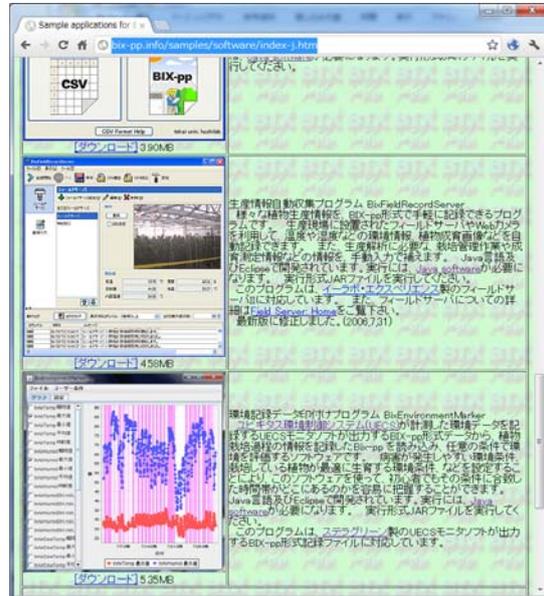


図 10 BixEnvironmentMarker のダウンロードページ

〔引用文献〕

- 1) T. Hoshi, Y. Hayashi and H. Uchino, Development of a Decentralized, Autonomous Greenhouse Environment Control System in a Ubiquitous Computing and Internet Environment, Proceedings of the 4th International Conference of the Asian Federation of Information Technology in Agriculture and the 2nd World Congress of Computer in Agriculture and Natural Resources (AFITA/WCCA), 2004, pp.490-495,
- 2) T. Hoshi, Y. Hayashi and K. Shintani, A communication protocol for collaboration among the measurement and control nodes in a decentralized autonomous environment control system of greenhouses, Proceedings of World Conference on Agricultural Information and IT (AALD/AFITA/WCCA), 2008, pp.127-134
- 3) 星 岳彦、塩沢 栄地、鈴木 隆文、植物生産のための統合化情報交換形式(BIX-pp)のアプリケーションプログラムによる有用性評価、植物環境工学、17(3)、2005、pp. 150-156
5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に)

は下線)

なし

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 星 岳彦、植物工場環境制御、建築設備と配管工事、査読無、50(2)、2012、13-17
- ② 星 岳彦・亀岡孝治、植物工場における環境計測制御および生産管理システムを中心とした現状と展望、化学工学、査読無、75(12)、2011、798-801

〔学会発表〕(計4件)

- ① 大畑 亮輔、山梨 竜一、星 岳彦、標準規格で記録された植物生産環境の着眼点提示ソフトウェアの開発、富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2011、2011年12月13日、ふじさんめっせ(静岡県)
- ② 大畑 亮輔、山梨 竜一、星 岳彦、BIX-ppに対応した植物生産環境の着目点印付けアプリケーションの開発、日本生物環境工学会2011年札幌大会、2011年9月6日、北海道大学
- ③ Takehiko Hoshi、Standardization of Information Exchange Platform for Achieving High-performance Protected Horticulture、Sino-Japan-Korean Symposium on Protected Horticulture & Environmental Control、2010年6月3日、上海(中国)
- ④ 星 岳彦・林 泰正、ユビキタス環境制御システム(UECS)の計測制御情報の植物生産情報交換規格(BIX-pp)形式への変換ソフトウェアの開発、日本農業気象学会2010年全国大会、2010年3月19日、名城大学(愛知県)

〔図書〕(計1件)

- ① 古在豊樹(編著)・星 岳彦(共著)、オーム社、太陽光型植物工場(第6章 ユビキタス環境制御システム)、2010、186 pp.(pp. 97-120)

〔その他〕

ホームページ等

<http://bix-pp.info/>

<http://uecs.jp/>

<http://www.hoshi-lab.info/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

星 岳彦 (HOSHI TAKEHIKO)
東海大学・開発工学部・教授
研究者番号：80219162

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者