

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292157

研究課題名(和文) オープンCPU基板を用いた低コスト自律分散型施設環境計測制御情報システムの構築

研究課題名(英文) Development of Low-cost Decentralized Autonomous Information System Based on Open Architecture CPU Board Use for Environmental Measurement and Control in Greenhouses

研究代表者

星 岳彦 (HOSHI, Takehiko)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：80219162

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：日本の小規模・軽装備園芸施設に導入・普及が可能な、低コストコンピュータ基板を用いた自律分散型の環境制御システムを構築した。Arduinoと呼ばれるオープンアーキテクチャのCPU基板をハードウェアとして採用した。気象計測などに使用するための計測用Shieldと、窓開閉機などに使用するためのアクチュエータ用Shieldを設計・開発した。また、ユビキタス環境制御システム(UECS)の情報通信規格に準拠したソフトウェア開発を可能にするためのミドルウェアであるUARDECSを整備した。研究開発された成果は、自由に活用できるようにWebページを通じて公開した。

研究成果の概要(英文)：A decentralized autonomous environment control system using low-cost computer board was proposed and constructed. This system was designed assuming the introduction and dissemination of Japanese small-scale and simple-controlling greenhouses. The CPU board of an open architecture called Arduino was adopted as hardware. A measuring Shield and an actuator Shield were designed and manufactured for development of environmental measurement instruments, ventilation window controllers etc. Information format of the system conformed to communication protocol of the Ubiquitous Environmental Control System (UECS). To facilitate measurement and control software development, middleware, UARDECS, for Arduino IDE was released. The results was published through a Web page so that it can be utilized freely.

研究分野：植物生産工学

キーワード：施設園芸 ユビキタス環境制御システム スマート農業 Arduino センサ

## 1. 研究開始当初の背景

日本の施設園芸の毎年度の新設面積は減り続け、放棄施設も増加し、2025年にはピークのほぼ半減(約 24,000 ha)の見通しである。また、日射比例変温制御などの高度な環境制御を導入した施設も、2000年頃から横這傾向で、施設の環境制御高度化が生産現場で一向に進行していない状況である。参入企業の多くが撤退し、2009年には複合環境制御導入面積にも減少の兆しが表れた。その最も大きな原因として、日本の1施設あたりの面積が欧米と異なり、小規模(2009年で平均約 0.05 ha)なことがあげられる。つまり、既存の環境制御システムを導入して償却可能な 0.5 ha 程度以上の施設が極めて少ない(2009年の棟数で 0.22%)。しかも、日本の 0.5 ha 以上の面積を持つ施設は、ほぼ欧米製の複合環境制御システムが導入されている。そこで、日本を始め、東アジアの共通の特徴である比較的小規模な施設規模に導入でき、生産記録の収集可能な低コスト環境計測制御情報システムの研究開発が急務である。

## 2. 研究の目的

日本の園芸施設において複合環境制御等の高度な環境制御システムがほとんど普及していない課題を解決すべく、これまで、自律分散型の新たな環境制御システムであるユビキタス環境制御システム(Hoshi ら、2004)を研究開発し、一定の成果を上げた。研究成果を製品化する参画企業が集まり、企業コンソーシアム(<http://smartagri.uecs.jp/>)も設置された。既存の環境制御システムよりは低コスト化が可能な設計思想に基づいて開発し、製品化が行われたが、本研究の開始時点では、まだ導入コストが高く、植物生産施設への導入・償却には、かなり大きな施設規模が必要になる。そこで、本研究では、環境計測制御システムを構築するスキームを大幅に見直し、日本型の小規模施設に導入可能なイノベーションをもたらす低コストシステムの提案と構築のための基盤となる研究開発を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1)Arduino を施設環境計測制御に利用可能にするハードウェアの設計開発

2005年のイタリアのプロジェクトが起源になった AVR マイコンを搭載したオープンアーキテクチャーの CPU 基板 Arduino (<http://www.arduino.org/>)は、全ての仕様が公開され、安価(Ethernet I/F 付きで 1 枚 39.9 ユーロ)であり、プロトタイピングを中心に世界中で広く利用されている(2011年2月までに世界で約 15 万台が市販)。この CPU 基板に特定の機能を持たせるために Shield と呼称される付加ハードウェアを接続して各種

用途に使用した。本研究では、気象計測などの計測用 Shield と、窓開閉機などのアクチュエータ用 Shield を設計開発した。施設内にそのまま設置するだけで施設内気象(気温、湿度、光強度、CO<sub>2</sub>濃度)がインターネットで計測可能な、オールインワンタイプの室内気象計測ノードを 4 万円程度で製作、製造できるようにした。制御ノードについても同様に実施した。

(2)Arduino で UECS に対応した環境計測制御を実現するソフトウェアの開発検証

Arduino の CPU 性能は、かなり低く、単体で高度な複合環境制御などの実施は困難である。本課題で研究開発した各機器(ノード)をネットワークで接続して、分散協調的に高度な機能を実現することになる。前述した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の通信規格(UECS-CCM)が公開され、多くの製品やアプリケーションソフトが開発、販売されている。そこで、これらの資産を活用し、補完的なシステム構築を可能にするために、UECS-CCM 互換で、かつ、CPU 基板の能力に適合したソフトウェアが開発環境を整備した。Arduino はスケッチと呼ばれる開発環境を使ってファームウェア開発を行った。そこで、UECS-CCM の通信規約のスケッチ用の実用的なライブラリを開発し、公開した。

(3)試作システムの実証による評価検証

上記で得られた研究成果を用いて各種ノードを試作し、中小規模の植物生産施設に設置して、試験運用した。また、その際の施設内の設置環境、通信トラフィックに対するシステムの耐性を検証した。加えて、生産現場サイドで発生する種々の問題点を抽出・検証し、実用化に向けた評価と改善を実施した。

## 4. 研究成果

(1)Arduino を施設環境計測制御に利用可能にするハードウェアの設計開発

低コスト環境計測装置に欠かせない低コスト環境計測センサの機種選定するため、特に使用頻度の高い湿度センサについて耐候性テストを実施した。その結果、防水対策などを行わないと、3ヶ月間程度の秋冬期のトマト温室の環境に曝露すると、相対湿度 90%を超える高相対湿度域では、計測値が最大約 4%低下するような測定精度の低下が観察された。このため、低コスト湿度環境計測ノードを設計する場合、センサの防水対策をすること、センサの交換作業を容易に行える機構を持たせることなどが必要とされた。得られた結果から、本研究の環境計測機器では、比較的性能が安定していたセンシリオン社製の湿度センサを採用することにした。

施設園芸分野の環境計測制御に使用するため、必要な入出力点数、ノイズおよびサー

ジ対策について考慮した、気象計測などの計測用 Shield と、窓開閉機などのアクチュエータ用 Shield を設計、開発した。

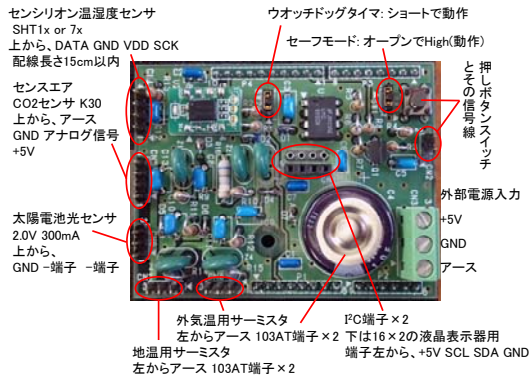


図1 計測用 Shield の基板配置

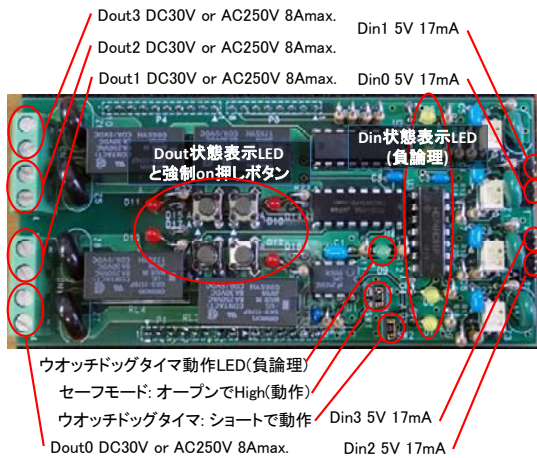


図2 アクチュエータ用 Shield の基板配置

各 Shield を 10 個製作したときの製造原価は、計測用が 1 枚 17,600 円、アクチュエータ用が 1 枚 19,800 円になった。生産個数を増加し、必要な機能に応じて、電子部品の取り付けを部分的にすることにより、今後、一層の低コスト化を検討する。



図3 計測用 Shield 利用の環境計測装置試作例

計測用 Shield を Arduino 基板に接続し、センサを接続するだけで、室内気温、相対湿度、絶対湿度、飽差、露点温度、地温、外気温、日射フラックス、PPF、CO<sub>2</sub>濃度を計測

し、バックアップされた現在日時と共に、それらを液晶表示に表示し、マイクロ SD メモリカードに記録し、Ethernet に UECS-CCM 形式で出力することが可能になった。また、プリント基板のみをキットとして整備することで、必要な機能だけの電子部品を各自で組み付け、生産者が DIY 可能な素材として供給できる見通しが得られた。

(2)Arduino で UECS に対応した環境計測制御を実現するソフトウェアの開発検証

UECS の規格に準拠した通信を実現し、計測制御に必要な最低限の機能を提供する Arduino 用ミドルウェア UARDECS(ユアルデックス)を整備し、無補償のオープンソースソフトウェアとして公開した。

### UARDECSのダウンロード

- パッケージ
  - 最新暫定版(Arduino IDE1.7.8以降対応版)
    - ▲UARDECS version 07(beta5 (beta・説明書付))(ZIP) (2016年3月) 2.48 MB
  - 旧版
    - ▲UARDECS version 06 (beta)(ZIP) (2015年12月) 59.8 kB
    - ▲UARDECS version 05 (beta・説明書付)(ZIP) (2015年7月) 1.07 MB
    - ▲UARDECS version 04 (beta)(ZIP) (2015年4月) 49 kB
    - ▲UARDECS version 03 (beta)(ZIP) (2014年7月) 44 kB
    - ▲UARDECS version 02 (beta)(ZIP) (2013年9月) 44 kB
    - ▲UARDECS version 01 (alpha)(ZIP) (2013年4月) 44 kB
- マニュアル
  - ▲UARDECS version 07のマニュアル(PDF) (2016年3月) 2.66 MB
  - ▲UARDECS version 05のマニュアル(ZIP) (2015年7月) 0.99 MB
  - ▲UARDECS version 04のマニュアル(ZIP) (2015年4月) 688 kB
  - ▲UARDECS version 01のマニュアル(ZIP) (2013年4月) 151 kB
- バグフィックスに関するメーリングリストのスレッド
  - ▲version07 (2015年12月～2016年2月) 136 kB
  - ▲UARDECSのCCM変更時 (2015年3月) 152 kB
  - ▲arduino IDEのUDPとArduino megaのリセット (2014年10月～2015年1月) 301 kB

図4 UARDECS のダウンロードページ(部分)

UARDECS は、Arduino の開発環境である IDE のライブラリに組み込んで使用する。さまざまな使用を想定して動作試験を実施した。また、通信の不具合発生の対策を検討する過程で、IDE のプログラムミスを発見し、対策プログラムを用意することができた。これらの結果から、低コスト基板を使用したシステムであっても、信頼性の高いミドルウェアを開発することができた。

(3)試作システムの実証による評価検証

開発したハードウェアとソフトウェアを用いて、多数のノードを試作して動作テストを実施した。



図5 温室での試作機器の動作試験

本研究で開発した Shield と UARDECS を用いた、低コスト二層カーテン制御システムをアンズリウムの養液栽培施設に設置して実証試験を実施した。設置した施設には、市販の UECS の環境計測制御システムが稼働しており、試作した低コスト二層カーテン制御システムを同じネットワークシステムに接続して試験した。その結果、稼働中のシステムと干渉せずに共存することが確認でき、保温カーテンと遮光カーテンを環境計測値に基づいて適切に制御することが確認できた。



図6 低コスト二層カーテン制御システムの設置状況

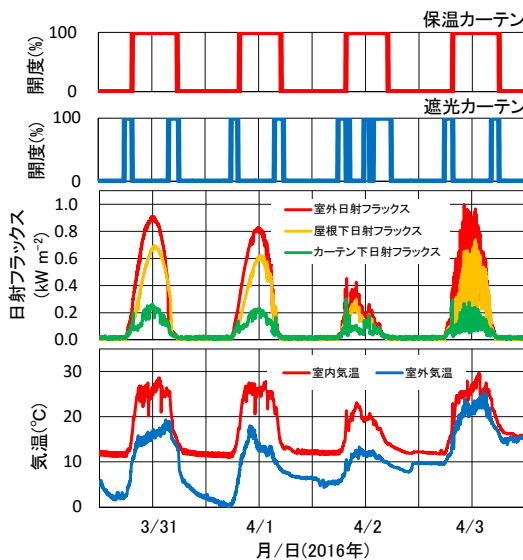


図7 低コスト二層カーテン制御システムの動作結果例

#### (4)研究成果の公開と実用化への展望

研究成果の速やかな生産現場への導入、商品化の推進を行うため、『低コスト UECS で温室の環境を手軽に計測制御しよう』という Web ページ(<http://uecs.org/>)を開設し、ハードウェアの資料の公開、ソフトウェアのダウンロード等を可能にした。また、農業情報学

会の学会誌である農業情報研究 (<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/air/-char/ja>)の 25 巻に『低コストオープン CPU 基板を用いた温室環境の自律分散型制御システム』の特集を企画し、本研究成果を中心とした 5 報の原著論文を公刊した。

3 年間の研究により、UECS によるオープン CPU 基板を用いた低コスト自律分散型施設環境計測制御情報システムの基盤技術を完成することができた。そこで、研究成果を生産現場に普及するために、本課題の技術導入に強い興味を持つ施設園芸地域と共同して、農林水産省の 2016 年度の革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)に、『UECS プラットホームで日本型施設園芸が活きるスマート農業の実現(2016～2018 年度)』に応募し、採択が決定した。本課題の成果等を今後 3 年間かけて施設生産現場で実証し、わが国の施設園芸の競争力強化に結びつけていく見通しが得られた。



図8 本研究課題の成果の公開用 Web ページ

#### <引用文献>

① Hoshi, T., Y. Hayashi and H. Uchino (2004) Development of a decentralized, autonomous greenhouse environment control system in ubiquitous computing and Internet environment, Proc. of 2004 AFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture, Bangkok, Thailand, 490-495.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

① Andri Prima Nugroho, Takashi Okayasu, Takehiko Hoshi, Eiji Inoue, Yasumaru Hirai, Muneshi Mitsuoka, and Lilik Sutiarto, Development of a remote environmental monitoring and control framework for tropical horticulture and verification of its validity under unstable network connection in rural area, 査読有、Computers and Electronics in Agriculture, 2016(印刷中)

② 星 岳彦、越智眞之助、松山智紀、安場健一郎、黒崎秀仁、岡安崇史、温室環境計測機器のための低コスト相対湿度センサの耐候性評価、農業情報研究、査読有、Vol.25、2016 (印刷中)

③ Andri Prima Nugroho, Takashi Okayasu, Masafumi Horimoto, Daisaku Arita, Takehiko Hoshi, Hidehito Kurosaki, Ken-ichiro Yasuba, Eiji Inoue, Yasumaru Hirai, Muneshi Mitsuoka, and Lilik Sutiarto, Development of a field environmental monitoring node with over the air update function、農業情報研究、査読有、Vol.25、2016 (印刷中)

④ 安場 健一郎、多根 知周、田中 義行、後藤 丹十郎、吉田 裕一、黒崎 秀仁、岡安 崇史、星 岳彦、低コスト環境制御システム構築のためのプログラムライブラリの開発、農業情報研究、査読有、Vol.25、2016、pp.12-18、<http://doi.org/10.3173/air.25.12>

⑤ 黒崎 秀仁、安場 健一郎、岡安 崇史、星 岳彦、Arduino で構成したユビキタス環境制御システム対応ノードのパケット処理能力、農業情報研究、査読有、Vol.25、2016、pp.19-28、<http://doi.org/10.3173/air.25.19>

⑥ T. Hoshi, K. Suzuki, J. Imahara, K. Yasuba and T. Nanseki, Development of a Nondestructive Measurement System to Obtain Exuberance Index of Foliage during Greenhouse Crop Growth by Low-cost Near-Infrared Light Sensors, *Acta Horticulturae*, 査読有、Vol.1037、2014、pp.627-634

⑦ 星 岳彦、大畑 亮輔、渡邊 勝吉、上田 正二郎、南石 晃明、携帯電子機器によるワンストップ管理システム確立を目指した温室内環境確認のための UECS アプリケーションの試作、農業情報研究、査読有、Vol.22、2013、pp.193-200、<http://dx.doi.org/10.3173/air.22.193>

⑧ 星 岳彦、光と重量センサによる作物生育情報の計測と温室環境情報等との統合規格化、計測と制御、査読無、Vol.52、2013、pp.690-695

⑨ 星 岳彦、ユビキタス環境制御システム (UECS) の今と展望、施設と園芸、査読無、Vol.164、2013、pp.12-16

[学会発表] (計 14 件)

① 星 岳彦、長谷川愛美、安場健一郎、ユビキタス環境制御システム製品同定コード (UECS-ID) 管理システムの構築、日本生物環

境工学会 2015 年宮崎大会、2015 年 09 月 08 日～2015 年 09 月 11 日、「シーガイアコンベンションセンター(宮崎県・宮崎市)」

② 星 岳彦、越智眞之助、安場健一郎、黒崎秀仁、岡安崇史、分散型温室環境計測機器のための低コスト湿度センサの耐候性評価、農業情報学会 2015 年度年次大会、2015 年 05 月 13 日～2015 年 05 月 14 日、「東京大学弥生講堂(東京都・文京区)」

③ 岡安崇史、堀本正文、アンドリ プリマヌグロホ、有田大作、星 岳彦、安場健一郎、黒崎秀仁、井上英二、平井康丸、光岡宗司、圃場環境情報の高密度計測のための WiFi 内蔵ワンボードマイコンの利用、農業情報学会 2015 年度年次大会、2015 年 05 月 13 日～2015 年 05 月 14 日、「東京大学弥生講堂(東京都・文京区)」

④ 星 岳彦、ICT 活用によるスマート施設園芸・植物工場の構築、日本生物環境工学会公開シンポジウム「変動環境下における食糧生産と生物環境工学」(招待講演)、2014 年 09 月 08 日～2014 年 09 月 11 日、「明治大学(東京都・千代田区)」

⑤ Takashi Okayasu, Daisaku Arita, Andri Prima Nugroho, Takehiko Hoshi, Takashi Yoshinaga, Eiji Inoue, Yasumaru Hirai, Muneshi Mitsuoka, Effectiveness evaluation on utilization of two snss in japan agriculture, International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), 2014 年 05 月 21 日～2014 年 05 月 23 日、「Yilan (Taiwan)」

⑥ 安場健一郎、星 岳彦、岡安崇史、黒崎秀仁、田中義行、後藤丹十郎、吉田裕一、オープンソースハードウェア用の UECS ミドルウェアの開発、農業情報学会 2014 年度年次大会、2014 年 05 月 14 日～2014 年 05 月 15 日、「東京大学弥生講堂(東京都・文京区)」

⑦ 星 岳彦、松山智紀、安場健一郎、岡安崇史、黒崎秀仁、植物生産施設に向けた低コスト湿度センサ選択の基礎的検討、農業情報学会 2014 年度年次大会、2014 年 05 月 14 日～2014 年 05 月 15 日、「東京大学弥生講堂(東京都・文京区)」

⑧ 岡安崇史、アンドリ・プリマ・ヌグロホ、有田大作、星 岳彦、安場健一郎、黒崎秀仁、井上英二、平井康丸、光岡宗司、Arduino 用簡易環境計測シールドの開発とその妥当性の検討、農業情報学会 2014 年度年次大会、2014 年 05 月 14 日～2014 年 05 月 15 日、「東京大学弥生講堂(東京都・文京区)」

⑨ 星 岳彦、施設園芸・植物工場のスマート化、農業情報学会創立 25 周年記念シンポジウム(招待講演)、2014 年 05 月 14 日～2014 年 05 月 15 日、「東京大学弥生講堂(東京都・文京区)」

⑩ T. Hoshi, Present situation and prospects of UECS information platform in Japan, APHPF 2014 the 5th China-Korea-Japan Joint symposium of Protected Horticulture and Plant Factory(招待講演), 2014 年 05 月 10 日～2014 年 05 月 13 日、「Northwest A&F University, Yangling(China)」

⑪ 岡安崇史、有田大作、アンドリ プリマヌグロホ、星 岳彦、吉永崇、井上英二、平井康丸・光岡宗司、農業におけるセンサーネットワークシステムの活用、情報処理学会・コンピュータビジョンとイメージメディア研究会、2014 年 03 月 03 日、「東京大学生産技術研究所(東京都・目黒区)」

⑫ T. Hoshi, K. Suzuki, J. Imahara, K. Yasuba and T. Nanseki, Development of a Nondestructive Measurement System to Obtain Exuberance Index of Foliage during Greenhouse Crop Growth by Low-cost Near-Infrared Light Sensors、ISHS GreenSys2013(招待講演)、2013 年 10 月 06 日～2013 年 10 月 11 日、「韓国済州島国際会議場(Korea)」

⑬ 星 岳彦、施設植物生産のスマート化に向けた ICT 活用の可能性、電気四学会関西支部講演会(招待講演)、2013 年 09 月 13 日、「中央電気倶楽部(大阪府・大阪市)」

⑭ 星 岳彦、安場健一郎、黒崎秀仁、岡安崇史、ユビキタス環境制御システムの低コスト化への方策、日本生物環境工学会 2013 年高松大会、2013 年 09 月 02 日～2013 年 09 月 05 日、「香川大学幸町キャンパス(香川県・高松市)」

〔図書〕(計 1 件)

① 星 岳彦、安場健一郎、岡安崇史ほか(農業情報学会編、共著)、農林統計出版、スマート農業(農業情報学会編)・第 4 章 6.施設園芸・植物工場のスマート化、2014、pp.170-196

〔その他〕

ホームページ等  
<http://uecs.org/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

星 岳彦 (HOSHI, Takehiko)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号： 80219162

(2)研究分担者

安場 健一郎 (YASUBA, Ken-ichro)

岡山大学・環境生命科学研究科・准教授

研究者番号： 60343977

岡安 崇史 (OKAYASU, Takashi)

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号： 70346831

黒崎 秀仁 (KUROSAKI, Hideto)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・近畿中国四国農業研究センター・主任研究員

研究者番号： 80446468