

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21680007

研究課題名（和文） 高精度農業を可能とするマルチベンダセンサグリッドの実証的研究

研究課題名（英文） Empirical study on multivendor sensor grid for precision agriculture

研究代表者

峰野 博史（MINENO HIROSHI）

静岡大学・情報学部・准教授

研究者番号：40359740

研究成果の概要（和文）：多様なセンサ類の相互接続と高解像度センシング，異種センサデータ間の複雑な因果関係をリアルタイムに解明するデータストリーム処理を可能とするマルチベンダセンサグリッドの実証的研究を実施した．環境に適応させた多種多様なセンサからの高密度な時系列データに対して，データ間の因果関係をリアルタイムに解明しつつ環境制御にフィードバックさせる基礎的な仕組みを実現できた．

研究成果の概要（英文）：We proposed a multivendor sensor grid which enables data stream processing for analyzing the complicated relationship between various sensing data and growing stage of plant in real time. The fundamental structure was developed and evaluated the function of climate control by using it.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2010年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：センサネットワーク・オーバレイネットワーク・マルチベンダデバイス・分散データストリーム・精密農業

## 1. 研究開始当初の背景

ユビキタスネットワーク社会における ICT 利活用の高度化や，多彩なサービスの実現には，対象物の状況・状態やそれらの周辺環境など，様々な状況や環境を自動的に認識して，自律的な情報流通に基づいて最適な制御を実現する技術が必要不可欠である．これまで，申請者も含め多くの企業，大学，研究機関等でシーズ先行型の研究開発が中心に進められてきたが，社会が求める様々な具体的なアプリケーションの創出を意識したセンサネットワーク研究に関する報告も相次いでい

る．しかし，数値や事実の集まりであるデータから，ある基準などを基にしてデータに意味を持たせた情報として扱えるようにするところまでが大半で，データと情報で構成される文脈の中で知識による判断が意味を持つということまで踏み込んで研究し十分な成果が出ているとは言い難い．

また，データと情報で構成される文脈の中で知識による判断が意味を持つことを定量的に示せ，社会が求める具体的なアプリケーション例として「精密農業」が挙げられる．精密農業とは，複雑で多様なばらつきのある

農場に対し、事実を記録しその記録に基づくきめ細やかなばらつき管理を行い、収量、品質の向上及び環境負荷低減を総合的に達成しようという農場管理手法で、地域経済の発展及び自給率向上等に貢献する次世代の農業先導革新技術として日本型精密農業の技術開発が目指されている。これまでに、ICTを活用した遠隔管理や自律分散型制御が可能な機器(フィールドサーバ、UECS等)が開発されつつあるが、精密農業における「きめ細かい」観察、作業や観察データの記録・解析、データに基づく制御といった要素に関して、多数のノード設置や高頻度なデータ収集、異種ノード間の相互連携といった十分な機能を備えているとは言えず、生育過程に影響を与えると考えられる多種多様なデータの必要な解像度の解明や、それら因果関係を精密に分析し制御へ反映できる拡張性の高いインフラは実現できていない。特に、植物の各生育ステージの詳細な環境条件と、葉色や植物の草姿、生育の変化等の関係を解明し、状況に応じた適切な環境制御が望まれる。そのため、情報通信工学研究と農林技術研究が密接に連携することで、学術的にも産業的にも大きな貢献ができると考える。

## 2. 研究の目的

本研究は、ICTを活用した高精度農業に必要なデータ収集インフラを配備する上で大きな課題となっている多様なセンサ類の相互接続と高解像度センシング、異種センサデータ間の複雑な因果関係をリアルタイムに解明するデータストリーム処理を可能とするマルチベンダセンサグリッドの開発を目指す。この開発によって、環境に適応させた多種多様なセンサからの高密度な時系列データに対して、データ間の因果関係をリアルタイムに解明しつつ環境制御にフィードバックさせることが可能となり、高精度農業への適用だけでなく様々な分野への展開が期待できる。

センサネットワークの通信プロトコル研究では、理想的な想定条件下でのシミュレーションによって関連技術より性能向上(低消費電力など)を示すシズ先行型の論文が中心であり、社会が求める実効的なアプリケーションを深く意識した研究も必要であると考える。一方、ICTを活用した精密農業に関して、比較的環境制御が容易な施設園芸の分野では人工光を用いた植物工場が開発されており、施設の構造や素材の開発、安全生産のための環境制御技術、養水分の供給技術、栽培管理システム、太陽光に換わる人工光の研究が盛んに行われている。しかし、精密農業のきめ細かい観察、作業や観察データの記録・解析がどの程度の解像度で必要なのか、多様なデータに基づく環境制御との因果関

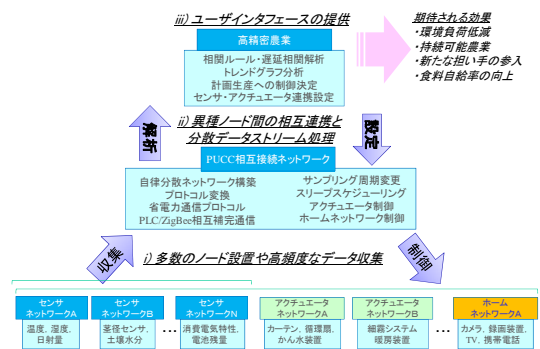


図1. マルチベンダセンサグリッド全体像

係など果菜類に関しては十分に解明されているとは言えない。マルチベンダセンサグリッドは、空間的・時間的なデータを高解像度で収集可能とし、必要な時に必要なだけデータを収集する柔軟性を持つ。多種多様なデータを容易に収集し制御へ反映可能とすることで、異種データ間の遅延相関や相関ルール解析、計画生産への制御決定を支援することができ、果菜類の生育ステージで未解明な環境条件の詳細解明に貢献できると考える。

## 3. 研究の方法

「きめ細かい」観察、作業や観察データの記録・解析、データに基づく制御といった要素に関して、(1)多数のノード設置や高頻度なデータ収集、(2)異種ノード間の相互連携と分散データストリーム処理、(3)ユーザインタフェースの提供、といった3つの主要な課題に取り組み、シミュレーション、理論解析および静岡県農林技術研究所の施設園芸環境を利用した実証実験によって有効性を検証する。具体的には、(1)に関して、環境情報や生育情報のばらつきをデータとして高スケーラビリティで効率的に収集するために、ネットワークを形成可能な多種多様なセンサノードをグリッドコンピューティングのように必要な時に必要なだけ柔軟に利用できるようにする。植物の各生育ステージの環境条件は解明されつつあるが、果菜類に関しては、葉茎の成長から実の成長にわたった葉色や植物の草姿、生育の変化等との関係要素が複雑で解明されていない。そのため、空間的、時間的なデータを高解像度で収集可能な手法を実現させる。(2)に関して、異種センサネットワーク間の相互接続は、PUCCで検討を進めてきたゲートウェイ間オーバレイネットワークで実現し、異種プロトコル・デバイス間の相互接続時でも異種センサデータの分散ストリーム処理を可能なよう拡張しマルチベンダセンサグリッド環境を構築する。(3)に関して、センサ・アクチュエータ連携を手軽に設定・変更可能な使い勝手の良いユーザインタフェースを開発し、本研究成果の利活用促進も意識していく(図1)。

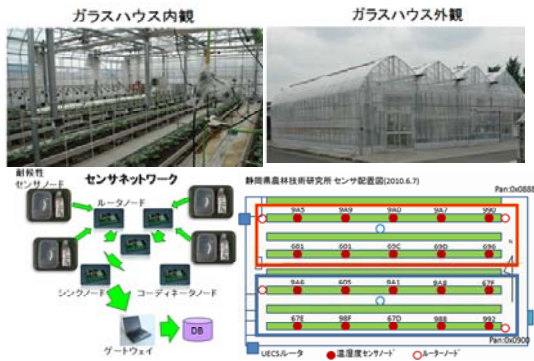


図 2. 施設園芸環境での通信基礎実験

#### 4. 研究成果

(1) 多数のノード設置や高頻度なデータ収集の実現と必要な解像度の分析に関して、環境や植物の生育状態をデータとして高スケーラビリティで効率的に収集するために、ネットワークを形成可能な多種多様なセンサノードを PaaS のように必要な時に必要なだけ柔軟に利用できるようにするアーキテクチャの検討を進めた。また、ZigBee センサネットワーク並びに WiFi ネットワークカメラを用いて、実際の施設園芸環境にて高解像度センシングの実証実験を数回実施した (図 2)。その結果、高温多湿の施設園芸環境において、2.4GHz 帯無線通信の不安定さ並びに、環境計測の難しさが判明し (図 3)、想像以上に無線センサネットワーク応用研究は課題が多いことを実感した。この過酷な施設園芸環境でのリモートセンシングに関する実験結果は、査読付国際会議へ採択された。

生育過程に影響を与えると考えられる多種多様なデータの必要な解像度解明や、それら因果関係を精密に分析し制御へ反映できる拡張性の高いインフラ構築に関し、継続して研究開発を進めていたが、2011 年夏の大規模台風の影響で施設園芸環境の屋根が破損し復旧に時間がかかるということで、RPL を同期型に改良することで省電力に周期データ収集可能な通信プロトコルの研究開発と実証実験を大学構内で実施した。既存 RPL に

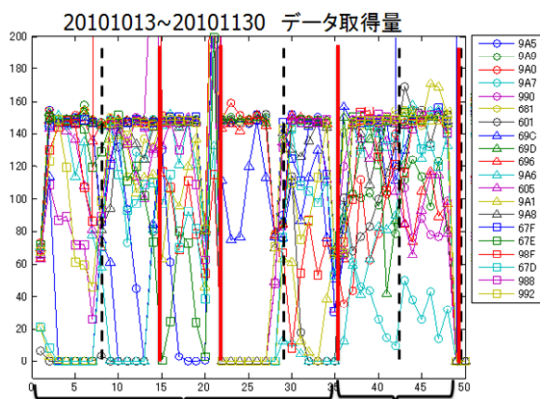


図 3. 施設園芸環境内の通信品質変動

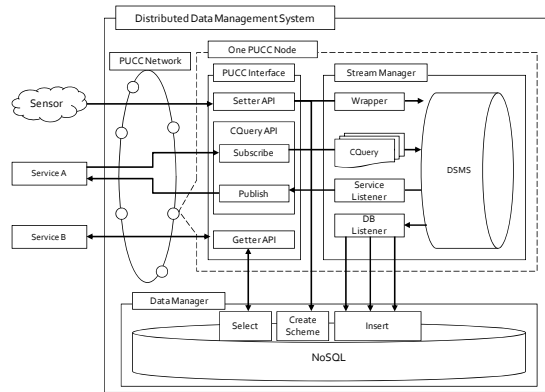
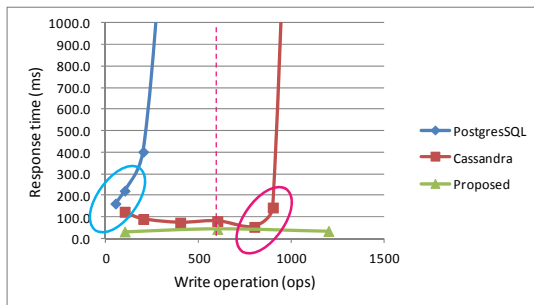


図 4. 分散センサデータ管理システム

比ベ劇的に省電力化を実現できることを示し、IPSJ 全国大会にて学生奨励賞を受賞した。

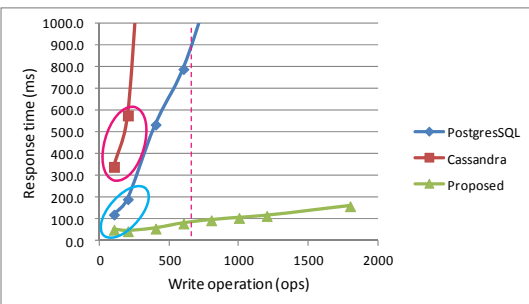
(2) 異種ノード間の相互連携と分散データストリーム処理に関して、多種多様なセンサデータをリアルタイム処理しつつ蓄積するアーキテクチャを研究開発した。Pucc プロトコルの採用による高可用性ならびにセンサデータの差異吸収と、DSMS と DBMS の連携による高効率の大量データ処理機能を持つ分散型センサデータ管理システムを開発した (図 4)。負荷試験の結果、ストリームのように流れ続ける連続データをリアルタイム処理可能なデータストリーム管理システム (DataStream Management System: DSMS) と、それらストリームデータを蓄積できる分散データベース (Cassandra) を組み合わせることで、システム全体としての高いデータ読み書き性能とクエリ処理性能を実現した。プ

比ベ劇的に省電力化を実現できることを示し、IPSJ 全国大会にて学生奨励賞を受賞した。



Recent single data query (SQuery)

図 5. シングルクエリ処理性能



Recent range data query (RQuery)

図 6. レンジクエリ処理性能

ロタイプシステムを開発し、YCSB (Yahoo! Cloud Service Benchmark) を用いて性能評価した結果、600ops 以上のセンサデータでも、十分処理可能な高い性能であることを確認でき、DBMS や NoSQL のみのシステムに比べ劇的な性能向上を実現することを示した (図 5, 図 6)。以上の研究成果は国際会議発表だけでなく査読付論文誌投稿中である。

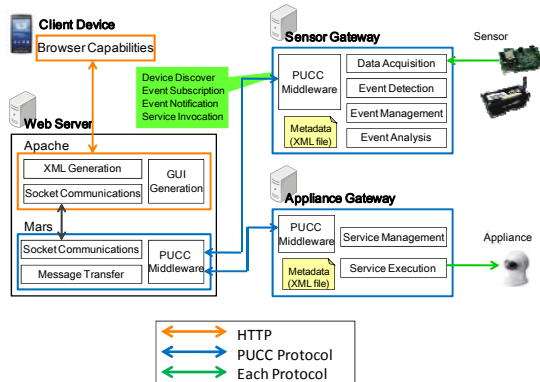


図 7. Web サーバを介した Pucc 連携

(3) ユーザインタフェースの提供に関して、Web インタフェースを用いて異種ネットワーク上のデバイスを Pucc プロトコルで連携させる仕組みを研究開発した (図 7)。また、時間的、空間的な変化を Web ブラウザで閲覧可能とする仕組みを開発することで農業のエキスパートからのノウハウを形式知化する環境が整備されつつある。以上に関する研究発表論文は 3 件が表彰され、国際会議、査読付論文誌も採択された。

(4) マルチベンダセンサグリッドの評価に関して、時間的、空間的な変化を Web ブラウザで閲覧可能とする仕組みを開発しただけでなく、小型ヒートポンプと組合せることで温度と湿度を連動制御する仕組みを開発した (図 8)。農業のエキスパートからのノウハウを形式知化する基礎環境を開発し、どのような判断がどのような意味を持つか定量的に示すべく実証実験を繰り返した。過酷な環境での安定稼働に課題が残るが、以上に関する研究発表を数件実施し好評を得た。

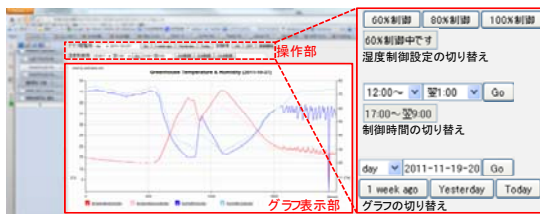


図 8. ユーザインタフェースの例

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 田中剛, 伊藤崇洋, 加藤悠一郎, 峰野博史, 水野忠則, “携帯端末の Web ブラウ

ザを用いた異種ネットワークデバイス連携システムの開発,” 情報処理学会論文誌(トランザクション), コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 査読有, Vol. 2, No. 1, pp.10-19, Mar. 2012

- ② Hiroshi Mineno, Kenji Obata, Takahiro Masui, Keiichi Abe, Tadanori Mizuno, “Development of a wireless sensor network for visualizing agricultural knowledge,” Journal of Intelligent Decision Technologies (IDT), IOS Press, 査読有, Vol. 4, No. 4, pp.277-284, Aug. 2010.

[学会発表] (計 15 件)

- ① Nobuhiko Matsuura, Seiji Suzuki, Maki Ohata, Ken Ohta, Hiroshi Inamura, Tadanori Mizuno, Hiroshi Mineno, “An Efficient and Highly Available Distributed Data Management System,” The 6th International Conference on Information Systems, Technology & Management (ICISTM2012), 2012. 3. 30, Grenoble Ecole de Management, (Grenoble, France)
- ② 串岡聡, 松野智明, 鈴木良典, 今原淳吾, 鈴木基嗣, 峰野博史, “無線センサネットワークを用いた施設園芸環境向け制御システムの開発と評価,” 情報処理学会第 74 回全国大会, 1W-7, 2012. 3. 6, 名古屋工業大学 (愛知県)
- ③ Go Tanaka, Nobuhiko Matsuura, Ken Ohta, Norihiro Ishikawa, Tadanori Mizuno and Hiroshi Mineno: Development of System to Control Heterogeneous Network Devices Cooperating with Web Access, IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC2012), 2012. 1. 15, Planet Hollywood (Las Vegas, USA)
- ④ Tomoaki Matsuno, Masui Takahiro, Keiichi Abe, Hiroshi Mineno, Ryuuji Oosuka, Tadanori Mizuno, “Evaluation of a System for Visualizing Agro-environmental Knowledge,” 15th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems (KES2011), 2011. 9. 13, University of Kaiserslautern (Kaiserslautern, Germany)
- ⑤ 増井崇裕, 松野智明, 安部恵一, 峰野博史, 大須賀隆司, 水野忠則, “高密度無線センサネットワークを利用した農業技術の形式知化に関する検討,” 情報処理学会 DPS ワークショップ, Vol. 2010, No. 11, pp. 95-100, 2010. 10. 28, 青島サンクマール (宮崎県)

- ⑥ 峰野博史, “マルチベンダセンサグリッドによる適応型環境制御システムの実現に向けて,” ユビキタス環境制御システム研究会 Mini-セミナー, 2009.11.9, 静岡県農林技術研究所 (静岡県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

峰野 博史 (MINENO HIROSHI)  
静岡大学・情報学部・准教授  
研究者番号: 40359740

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: