

# 高度農業 ICT を実現する高信頼双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークの研究開発 (132306006)

## Highly Reliable Wireless Sensor/Actuator Network for Advanced Agricultural ICT

### 研究代表者

峰野 博史 静岡大学

Hiroshi MINENO, Shizuoka University

### 研究分担者

黒田 正博<sup>†</sup> 大石 直記<sup>††</sup>

Masahiro KURODA<sup>†</sup> Naoki OISHI<sup>††</sup>

<sup>†</sup>情報通信研究機構 <sup>††</sup>静岡県農林技術研究所

<sup>†</sup>National Institute of Information and Communications Technology

<sup>††</sup>Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

## 概要

栽培者の経験や勘ではなく環境変動と生育状況のセンシングに基づいた適切な判断指標による養水分制御を実現することで、気象変動による周年生産の不安定化と新規就農者の技術習得アシストに対応し、温暖な気候を活かして古くから盛んな静岡県施設園芸の高品質な野菜類の多収と品質向上を目指した。具体的には、429MHz IEEE802.15.6 方式の高信頼双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークを研究開発し、過酷な施設園芸環境下でも栽培期間における稼働率 99.99%以上を達成した。また、本仕組みを搭載した無線散乱光センサノードを用いた施設園芸環境向け養水分制御システムを研究開発し、LAI 推定誤差 3%未達の達成だけでなく、季節変動する気象条件を考慮して適切な予測モデル再構築を行う機械学習アルゴリズム SW-SVR を研究開発し、蒸発散量および窒素吸収量把握に基づく給液制御によって高度農業 ICT 向けアプリケーションの実証実験を実施した。

## 1. まえがき

静岡県は、古くからその温暖な気候を活用して施設園芸が盛んに行われ、農芸品といわれる高品質な野菜類(高糖度トマト、温室メロン等)の供給に大きく寄与してきた。しかし、近年は気象変動による周年生産の不安定化によって収益性が低下し、労働の厳しさから後継者不足も深刻化している。これを解決するために、施設園芸において高度な給液制御を確実に実行できる高信頼な無線多点センサ/アクチュエータネットワークを研究開発することで、収益性向上と高品質化を実現するだけでなく、新規就農者のスムーズな技術習得のアシストの実現を目指した。高温多湿な施設園芸環境において、小型省電力で確実なデータ送受信、様々な障害が想定される状況下での柔軟で容易なネットワーク構築、確実な環境制御システムを実現できれば、信頼性が要求される環境制御機器の無線制御実現も可能となり、高度農業 ICT 実現に寄与する。

## 2. 研究開発内容及び成果

課題1) 400MHz 帯高信頼双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークの開発に関して、NICT と連携し 429MHz IEEE 802.15.6 方式を採用した無線センサ/アクチュエータノードを研究開発した。その際、**図1(a)**の無線散乱光マルチセンサノードと**図1(c)**のダイバーシティ型コーディネータノードへ、無線チャネル品質評価と動的チャネル選択を実現する特殊機能を実装した。具体的には、数十に及ぶセンサ/アクチュエータノードで無線センサネットワークを構成する際、センサノード側は、コーディネータノードとの同期タイミング状態、データ送信状態、TDMA スロット確保できない状態を考慮して高温多湿かつ障害物や植物成長といった変化する環境条件に対し、高信頼な双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークの実現を図った。

本改良によって信頼性向上と、無線制御システム全体の高信頼化を実現でき、400MHz 帯各種試作無線センサノード数十台の環境で、暗号化パケットロスなしで無線ビット

誤り率  $1 \times 10^{-4}$  以下を実現できた。また、現場で使用しているポリオレフィン系フィルムへ水滴を付着させ過酷な施設園芸環境を模擬した無線フレーム到達率確認実験(大学電波暗室)でも、無線フレーム受信率 99.98%とほぼ目標値(99.99%)を達成できた。実証実験期間のシステム稼働率に関しても、システム利用者の要求を満たす 10 分以内の制御反映を実現できており、稼働期間中のシステム稼働率 99.99%以上を達成した。これら当初目標に加え、施設園芸環境下で 2.4GHz 帯と 400MHz 帯無線通信の特性分析を実施し、水分やアンテナ揺れによる RSSI や PER の影響を詳細分析した。2.4GHz 帯と比べ 400MHz 帯は波長が長く、アンテナが数 cm 揺れても合成波の信号強度に大きな影響を受け難いことが判明し、空調稼働や天窓開口によって生じる風の影響で、センサノードや植物体が揺れるといった予期せぬ状況でも、使用周波数を下げることで RSSI 減衰や変動を抑えて安定した無線通信が可能なることを実証した。



図1 429MHz IEEE802.15.6 方式無線センサ/アクチュエータノード

課題2) 高度農業 ICT 向けアプリケーションの開発と実環境における実証実験に関して、**図2**に示すような 429MHz IEEE802.15.6 方式無線センサ/アクチュエータを用いた養水分制御システムを研究開発した。散乱光センサを用いた基礎実験の結果、トマト栽培過程における LAI (Leaf Area Index) と RLI (RLI%: 群落内の光量/群落上の光量×100) との間に密

接な相関関係が得られ、LN (RLI) を指標とすることで LAI 推定誤差 3%未満を確認でき、当初目標の「LAI 推定誤差 10%以内」を達成できた。その後、課題1で研究開発した 429MHz IEEE80215.6 方式無線ノードの現場実証実験を進め、トマトの周年生産に対応した様々な栽培環境条件下における多点計測や有用性評価を進めた。その結果、本プロジェクト期間中の栽培試験では蒸発散量および NO<sub>3</sub>-N 吸収量の把握に基づく給液制御によって、当初目標であった増収効果(従来比 1.2 倍)は達成できなかったが、給液制御区では NO<sub>3</sub>-N の添加に伴って対照区より水分ストレスが付与されたため糖度が 8%以上に上昇し、尻腐れ果等の異常果の発生もほとんどない付加価値の高い高糖度トマト生産の可能性が明らかとなった(現在、栽培条件見直しや再実証実験を実施中)。

一方、消費電力を従来比 10%以上削減可能なモデル予測制御システム化という当初目標に関して、今回の実証実験では、冷暖房機のような高消費電力の機器を用いず、給液制御に低消費電力のポンプで添加回数制御を実施したため、システム全体の消費電力はとても小さく、省電力制御や予測制御システムとして制御システム全体の消費電力を従来比 10%以上削減するという当初目標の達成効果分析は適切でないと判断した。ただし、予測制御システムとしての予測精度に関して、新たに研究開発した機械学習アルゴリズムである SW-SVR (Sliding Window-based Support Vector Regression)を用いた窒素吸収量予測は、季節変動する気象条件を考慮した適切な予測モデルの再構築に成功しており、従来手法と比べ予測誤差を RMSE (Root Mean Squared Error) で約 68%削減できることを示した。高消費電力の機器を予測制御する際、旧来の制御に比べ適切な予測制御を実施できることから予測制御システム全体としての低消費電力化に貢献すると考える。

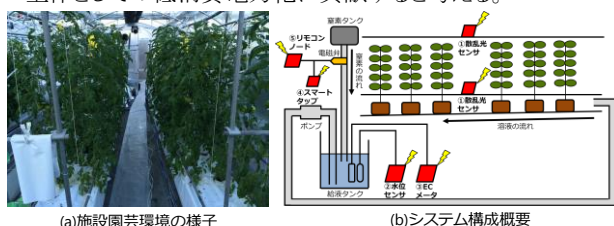


図2 429MHz IEEE802.15.6 方式無線センサ/アクチュエータ用いた養水分制御システム

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究成果は、次世代の SPA (Speaking Plant Approach) 高度農業 ICT を実現するための産業界ニーズに基づき、過酷な施設園芸環境での運用に耐えられる知的制御システムとして実証実験することで、過酷な現場のネットワーク化を実現し、高度農業 ICT を支える技術の研究開発が促進され学術的にも大きな貢献を果たしたと考える。また、本研究は 400MHz 帯 BAN (Body Area Network) 技術を農業での高品質な生産性向上とそのための労働を行う就労者の健康管理を同時に行うことができる新たな M2M (Machine-to-Machine) サービスを提供する基本技術となりうる。施設園芸での微気象管理と就労者のきめ細かい健康管理という異なる分野を融合する新たな市場が創出できると考える。

これまで、M2M 適用分野としては、リモート監視・計測、ファクトリーオートメーション、ヘルスケア、物流、農業といった各領域に閉じた形での新たなサービス提供が主流であったが、農業の高品質収穫とそれを支える就農者の健康管理を同一の高信頼無線ネットワークで実現するという異分野融合による先導性のあるサービス創出も期待できる。

### 4. むすび

本研究開発成果は、既存の無線センサネットワーク技術に、400MHz 帯の IEEE 802.15.6 を中心とした短距離無線通信方式を適用し、IEC62280-2 に規定される無線通信システムの要求事項を考慮することで、過酷な施設園芸環境でも稼働率 99.99%以上の確実性を達成する高信頼な多点無線センサ/アクチュエータネットワークを実現した。さらに、本ネットワークを用いて高度農業 ICT アプリケーションを開発し実証実験することで、無線環境制御システムとしての有用性を定量的に詳細検証し、農業従事者に安心とうるおいを与えて健康で自立して生活できる社会の実現を目指した。IEEE 802.15.6 仕様自体の標準化は終了しているため、本仕様の有効活用事例と普及促進に努め、様々な分野での対外発表や展示会出展を積極的に実施した。また、知的制御システムの実現に使用した機械学習アルゴリズムに関して、計算量削減と予測精度向上を両立する革新的な機械学習アルゴリズム SW-SVR と、効果的に学習データを自動抽出する手法を考案したため積極的に特許出願することとした。本成果を発展させ実用化を目指すことで、生活支援技術のロードマップに掲げられる現場のネットワーク化技術に関する目標の一部を達成できると考える。

#### 【誌上発表リスト】

- [1] Masahiro Kuroda, Hirofumi Ibayashi, Hiroshi Mineno, "Affordable 400MHz Long-haul Sensor Network for Greenhouse Horticulture," International Conference on Information Networking (ICOIN2015) (2015 年 1 月 12 日).
- [2] Yuya Suzuki, Yukimasa Kaneda, Hiroshi Mineno, "Analysis of Support Vector Regression Model for Micrometeorological Data Prediction," Computer Science and Information Technology, Vol.3, No.2, pp.37-48 (2015 年 3 月).
- [3] 井林宏文, 兼田千雅, 李鵬昆, 鈴木雄也, 今原淳吾, 大石直記, 黒田正博, 峰野博史, "高信頼双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムの評価," 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), (採択済).

#### 【申請特許リスト】

- [1] 峰野博史, 鈴木雄也, "予測システム、予測方法、および予測プログラム (特願 2014-047431)", 日本, (2014 年 3 月 11 日).
- [2] 峰野博史, 鈴木雄也, 兼田千雅, "予測システム、予測方法、および予測プログラム (特願 2014-234950)" 日本 (2014 年 11 月 19 日).

#### 【受賞リスト】

- [1] 井林宏文, 第 76 回情処全大 学生奨励賞, "農業向け高信頼双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムの実装" (2014 年 3 月 13 日).
- [2] Yuya Suzuki, 3rd prize, "Evaluation of Sliding Window-based Support Vector Regression," IEEE SUSB Young Researcher Workshop (YRW) 2014 (2014 年 10 月 31 日).
- [3] 兼田千雅, 情報処理学会 CDS 研究会優秀発表賞, "SW-SVR を用いた施設園芸環境向け知的制御システムの評価" (2015 年 1 月 27 日).

#### 【報道掲載リスト】

- [1] "甘いトマト栽培 安定生産に光", 中日新聞 (2014 年 12 月 29 日).
- [2] "ICT で養水分を管理", 静岡新聞 (2015 年 1 月 21 日).

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.minelab.jp/agro-scope/>