

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26450369

研究課題名（和文）環境センシングロボットを用いた農場支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of agricultural support system using the environmental sensing robot

研究代表者

飯田 賢一（IIDA, KENICHI）

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：70290773

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,900,000円

研究成果の概要（和文）：近年、農業生産工程管理（GAP）の導入により、農作物のトレーサビリティが注目されている。そこで、本研究課題では、農作物の品質向上に不可欠な既存のフィールドサーバに代わる環境センシング移動ロボットを開発し、農業支援システムの構築を試みた。その結果、移動可能なフィールドサーバが構築され、広範囲に高精度な農業環境情報が収集可能となり、農作物の品質向上、農業従事者の負担軽減につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In recent years, the introduction of good agricultural practice (GAP) has attracted attention to the traceability of agricultural crops. In this research, we developed an environment sensing mobile robot which replaces the existing field server, which is indispensable for quality improvement of agricultural crops, and tried to construct an agricultural support system. As a result, a movable field server is constructed, it is possible to gather agricultural environment information in a wide range and high precision, leading to improvement of quality of agricultural crops and reduction of burden on farmers.

研究分野：制御工学

キーワード：環境センシング 移動ロボット 農業支援 フィールドサーバ 農業ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

今後、我が国の中山間地の農村コミュニティは、高齢化の進行と次世代の担い手の不足から、近い将来確実に存続の危機を迎える可能性が高い。現在農村に在住し農業をおこなう人々自体も高齢化しており、現在他地域在住の村出身者が、定年帰農などによって村に戻って営農をしたとしても、やはり高齢者営農となってしまふ。つまり農村コミュニティは当面、農業を中心とした高齢生活者によるコミュニティとして維持されざるをえない。そこで、本課題研究代表者はJST・戦略的創造研究推進事業(平成23年度10月～平成26年度9月)の分担者として、高齢農業従事者が楽しく生き生きと農業を営める環境構築を目指し、奈良県農業総合センターと連携しながら事業を進めてきた。この事業を進めていく中で、農業を取り巻く環境に着目すると、1980年代にはロボット工学の農業分野への適応が行われ、後の1990年代には園芸学とロボット工学の融合が行われてきた。特に我が国の農業ロボットに関する研究は、20世紀後半より盛んに行われている。これらの農業ロボットの主な役割として、労働力不足の解消や作業者の負担軽減が挙げられ、先述の事業はこれにあたる。一方、近年においては、農作物の産地偽装や残留農薬等の事件や事故が相次ぎ、冷凍ギョーザ事件などの新たなリスクによって国民の食の安全が脅かされていることがわかる。これらの事件によって食に対する安全性が注目され、安全で高品質な食料品が必要とされており、農作物の生産から流通までの各工程において正確な実施、記録、点検及び評価を行う農業生産工程管理(GAP)の導入が進んでいる。GAPの導入状況は、2007年に439産地だったものが2011年には2194産地にまで達し、この4年間で約5倍にまで拡大したことから、農作物のトレーサビリティが注目されているといえる。こうした背景の中で、21世紀の現代においてはロボット工学を農業に適用して、農作物の情報を構築する機能を持ったロボットが必要とされている。現在では、高品質な農作物を生産するための研究が進められ、一部の工場やハウス栽培において、レーン上を移動する品質評価ロボットなどが存在している。これらは、農作物の品質向上を図ることに加えて、従来は農業従事者が直接管理していた農作物をロボットに管理代行させ、負担軽減を図っていると考えられる。さらに、温度や湿度、照度などの測定を行う環境モニタリングや環境制御を行うロボットの一つとしてワイヤレスセンサネットワーク(WSN)技術を導入したフィールドサーバを用いた研究が盛んに行われている。フィールドサーバにはカメラによる監視機能などセキュリティにおいて有用な点や、多数のセンサを搭載しているなど、生理的メカニズムや生態の研究に有利な利点があるものの設置場所が固定であることから、1

台のフィールドサーバが測定できる範囲は限られている。そのため広大な面積を持つ農場などにおいて情報を収集する場合、多くの設置台数が必要となり、電源の確保や設置場所による高コストなどが問題となる。さらに、ビニールハウスなどの比較的小さな環境においても、ハウス内の環境は一様ではなく同様な課題が挙げられる。ゆえに、低コストで設置場所を問わずに広範囲の情報収集できる環境センシングシステムが求められている。

2. 研究の目的

研究開始当初の背景をもとに、本研究では、環境センシングロボットを用いた農場支援システムの開発を目的とする。製作する環境センシングロボットには、環境センシング機能を有し、広範囲に移動しながら情報収集を行える機動性を装備する。これにより、フィールドサーバなどの固定観測器の設置が困難な場所での環境センシングや、より広範囲・高精度で詳細な環境情報を得ることが可能となり、農作物の品質向上や農業従事者の負担軽減が期待できる。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、農場支援システムを3つの要素に分け、研究を遂行する。提案するシステムを中心とする移動ロボットは、農場内を巡回することで、農場内の詳細な環境情報の取得を実現する。したがって、移動ロボットに、農場における自律移動機能、環境測定機能、無線通信機能を有する(1)環境センシングロボットの開発を行う。さらに、環境情報には農作物の生育状況を含めることが望ましいため、環境センシングロボットに搭載した(2)全方位カメラを用いた環境情報を利用した生育状況測定を行う。また、取得した環境情報は、閲覧・管理を容易に行え、農作業間で共有できることが望まれる。そこで、(3)環境情報の管理 Web アプリケーションの開発を行う。開発したシステムの検証は、実際の農場環境下にて実施し、従来のシステムと比較し、有用性・優位性を明らかにする。

4. 研究成果

研究成果として、研究方法の項目について、以下に記述する。

(1)環境センシングロボットの開発

図1に示す農場支援システムを設計・製作を行った。製作したシステムは、環境情報を収集する環境センシングロボットと情報収集された環境情報を表示するモニタリングコンピュータで構成している。移動ロボットは、ロボットの移動情報や周囲の状況に応じてロボットの自律移動を行うロボット制御

部，農場の環境測定を行う農業環境測定部，ロボットが収集した位置・環境情報を他端末へ送信するネットワーク部から構成されている．環境測定機能には農業環境測定用のセンサとして CO₂ センサ，温度・湿度センサ，ロボットの巡回中に植物の生育状況など画像中からの環境情報を取得するために全方位カメラを搭載している．農場での自律移動機能には，ロボットの移動情報を取得するためのロータリーエンコーダ，壁や障害物を検出するために Laser Range Finder(LRF)を搭載している．無線通信機能には，外部のデータ管理用 PC との通信を行うために ZigBee 規格のモジュールである XBee を搭載している．また，各センサのデータ管理やロボットの制御は搭載しているコンピュータ上で行う．

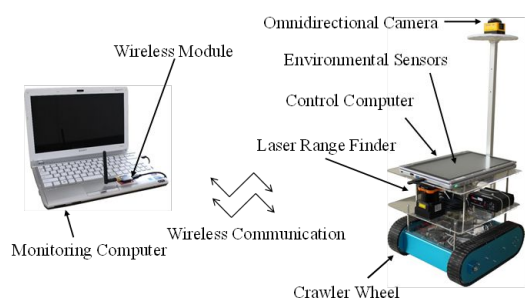


図1 農場支援システムの構成

製作したシステムを用いての環境測定の一例として，図2に示すテストフィールドにて環境測定を行った．図3に環境センシングロボットの移動軌跡と各地点での環境情報を示す．ここで，環境センシングロボットの制御にはファジィ制御を用いた自動巡回アルゴリズムを適用している．



図2 テストフィールド

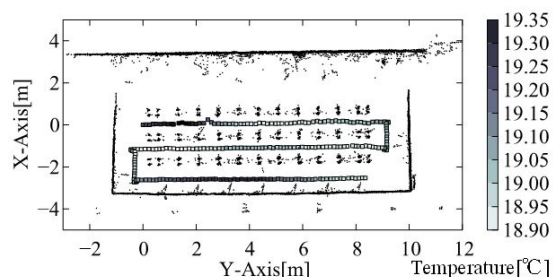


図3 ロボットの軌跡と環境情報

図3から，環境センシングロボットは，実環境内を自動巡回しながら詳細な環境情報を取得できることが明らかとなった．

図3の各地点での環境情報をフィールド全体での環境マップを逆距離加重法に基づいた環境情報マップを図4に示す．

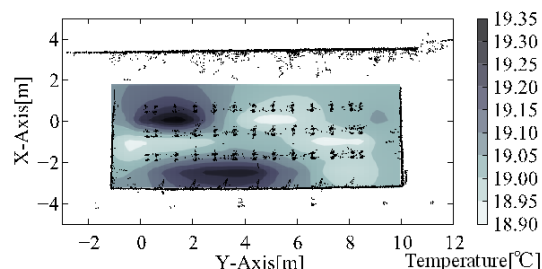


図4 環境情報マップ

図4から，得られた環境情報を面で提示することで，点として提示するよりも，より直感的にフィールド全体の状況を提示できていることが明らかとなった．

(2)全方位カメラを用いた環境情報の利用

(1)での研究成果から，環境センシングロボットは，LRFを用いて農場内をマッピングし，生成したマップから，農作物が生育されているレーンの位置を認識し，常に左右のレーンと一定の間隔を保ちながら直進できるようファジィ制御が導入されている．そのため，常にレーン中の左右に植えられている農作物との間隔を一定に保ちながら，動画撮影が可能であり，農作物の生育情報を環境情報として取得できる．ここでは，図5に示すトマト栽培における生育情報から，成熟度の高いトマトの計数システムの実験を行った．



図5 実験フィールド（トマト栽培）

全方位カメラを用いて撮影した動画像を入力として，赤く熟れたトマトの計数システムは，以下の流れで実行する．

- 1) 動画像の各フレームを RGB 色空間から HSL 色空間に変換する．
- 2) HSL 色空間に変換した入力画像から赤色を示す確率マップを生成する．
- 3) 生成した確率マップを二値化し，トマト

- 領域を抽出する．
- 4) 抽出したトマト領域について，フレーム間で対応付けを行うことで，トマト領域の追跡を行う．
 - 5) トマト領域の個数をカウントし，トマトの計数を行う．

図6に実験中の全方位カメラで撮影した動画の一部を示す．図中，青枠で囲われた部分が，設定した成熟度のトマトを示し，左肩の数字が計数されたトマトの数である．図より，成熟度の低いトマトは認識されておらず，トマトの成熟度が全方位カメラを用いた環境情報として取得できることが明らかとなった．



図6 全方位カメラ画像

(3)環境情報の管理 Web アプリケーションの開発

(1)での研究成果から，環境センシングロボットで取得した環境情報は，可視化できることが確かめられている．ここでは，これらの環境情報を管理することを目的として Web アプリケーションの開発を行った．図7に開発した Web アプリケーションを示す．この Web アプリケーションでは，まず，農場において収集した環境情報は，農業従事者により，インターネットを介して，Web サーバにアップロードする．次に，アップロードされた環境情報は，Web サーバによりデータベースサーバに整理して格納される．格納された環境情報を閲覧するためのインタフェースとして，図7に示すような Web ページを備えることで，農業従事者はサーバにある環境情報を，閲覧することが可能となる．つまり，農業従事者は，インターネット環境下において，いつでも，どこでも，どの端末でも閲覧管理が可能であることが明らかとなった．また，閲覧にはパーソナルコンピュータやスマートフォンを使用するため，専用端末の購入が不要となるため，多くの農業従事者間で環境情報の共有が可能であることも明らかとなった．



図7 管理 WEB アプリケーション

これらの研究成果から，提案するシステムでは，農場で従来行われている固定式の環境測定器による環境測定に比べ，より広範囲で詳細に農場の環境測定が実現できることが確かめられた．これにより，農作物の品質向上が期待できる．さらに，環境情報として，生育状況も取得できることで，農業従事者が目視して行っていた作業を軽減できると考えられる．また，取得した環境情報を，容易に管理できる Web アプリケーションが実現できたことから，農業従事者のスキル向上や技術継承に利用できることが期待できる．以上より，今後衰退していくことが予想される農業への支援の一部を担うことが期待できることが明らかとなった．

これらの研究成果は，後述の学会での講演発表のみならず，アグリビジネス創出フェア2016(東京ビックサイト)，第3回 TAC 担当者研修会(奈良県農協会館)，奈良高専技術フォーラム&研究室見学会などにて公表し，学内外へ広く発信し，今後の課題や提案した農場支援システムに対する高評価が得られた．

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 5 件)

菅田唯仁，飯田賢一，上田悦子，「人物追従を用いた環境センシングロボットの制御」，電気学会，平成 29 年電気学会全国大会，4-258，pp.443-444，2017 年 3 月 15 日，富山大学(富山)

T.Inoue, K.Iida, E.Ueda, T.Yasuno, 「Sensing System for Agricultural Environment using Mobile Robot」, The Research Institute of Signal Processing, Proceedings of 2016 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP'16), 査読有, pp.767-770, 2016 年 3 月 9 日, Hawaii (USA)

井上智章，上田悦子，飯田賢一，「移動機構を有するハウス内環境情報収集システムの構築」，農業食料工学会，農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会，A-605，2015 年 9 月 15 日，岩手大学(岩手)

井上智章，荒川周造，上田悦子，飯田賢二，「移動型ロボットによる農業環境測定システム」，電気学会，平成 27 年電気学会全国大会，3-039，p.54，2015 年 3 月 24 日，東京都市大学（東京）

荒川周造，上田悦子，飯田賢一，「農業環境センシングロボットにおける WSN の一構成」日本ロボット学会，第 32 回日本ロボット学会学術講演会，RSJ2014AC1Q3-05，pp.1-2，2014 年 9 月 4 日，九州産業大学（福岡）

6．研究組織

(1)研究代表者

飯田 賢一 (IIDA KENICHI)
奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
研究者番号：7 0 2 9 0 7 7 3

(2)研究分担者

上田 悦子 (UEDA ETSUKO)
大阪工業大学・大学院ロボティクス&デザイン工学研究科・教授
研究者番号：9 0 3 7 9 5 2 9

(3)連携研究者

安野 卓 (YASUNO TAKASHI)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授
研究者番号：5 0 2 6 3 8 6 9

(4)研究協力者

西本 登志 (NISHIMOTO TOSHI)