

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：10105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07967

研究課題名(和文) PSDセンサを利用したブームスプレーヤの散布高さ検出モジュールの開発

研究課題名(英文) Development of spray height detection module for boom sprayer using PSD sensor

研究代表者

佐藤 禎稔 (Satow, Tadatoshi)

帯広畜産大学・畜産学部・教授

研究者番号：90142794

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)：大規模畑作では大型ブームスプレーヤを利用した高能率防除が行われている。しかし、ブームの長大化によって散布高さの変動が問題になっており、ブーム高さの自動制御が求められている。本研究ではノズルから下方の作物までの高さを非接触で計測するために3個のPSD(光位置検出素子)とマイコンを利用した散布高さ検出モジュールを開発した。パレイショほ場で計測精度を評価した結果、十分な性能であることを確認した。また、開発したモジュールを試作のブーム高さ自動制御装置に取り付け、ロボットトラクタと電氣的に連携できるシステムを開発した結果、ブーム高さ制御や開閉など、無人で防除作業を行えることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

作業者の軽労化や農産物の安全安心を支える技術として、大型スプレーヤのブーム高さを安定させる研究は世界的にも重要な課題である。欧州では超音波センサを利用したブーム高さ自動制御装置が利用され始めているが、超音波は空気中での減衰が大きく、作物までの高さを安定的に計測できない欠点がある。そこで、本研究は光位置検出素子に注目し、PSDとマイコンを利用した散布高さ検出モジュールを開発した。ブーム高さをPSDで検出する試みは世界初であり、学術的な意義はもちろんのこと、開発した検出モジュールをブーム高さ自動制御装置に組み込むことで、精密防除に寄与する技術として大いに期待される研究である。

研究成果の概要(英文)：In large-scale upland farming, high-efficiency spraying is performed using boom sprayers. However, the expansion of the boom width causes fluctuations in the spray height, and operators are demanding automatic boom height control system. In this study, we developed a spray height detection module using three PSDs (Position Sensitive Detectors) and a microcomputer to measure the height from the nozzle to the crop below without contact. As a result of evaluating the measurement accuracy in the potato field, it was confirmed to be accurate. We have also developed a system that attaches modules to a prototype boom height automatic control system and can electrically cooperate with a robotic tractor. It was confirmed that unmanned spraying work such as boom height control, boom opening/closing, and spraying on/off can be performed.

研究分野：農業機械学

キーワード：ブームスプレーヤ 大規模畑作 農薬散布 ブーム高さ センサ 高さ制御 ロボットトラクタ 精密防除

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

畑作の防除作業はブームスプレーヤを利用した液剤散布が主流である。1950年代に畜力式スプレーヤが輸入され、主に北海道で利用された。その後、トラクタの導入に伴ってトラクタ直装式が国産化されて広く普及した。しかし、30年ほど前から営農規模の拡大に伴い、散布幅が15m以上のスプレーヤが利用されるようになり、圃場の起伏や走行路面の凹凸によって生じる散布高さの変動が問題になってきた。そこで、当時筆者はスプレーヤのブームに超音波センサを取り付け、ブームの高さをマイクロコンピュータと油圧装置で制御するブーム高さ自動制御装置を開発した。さらに近年では、トラクタの大型化に伴ってスプレーヤも大型化し、散布幅はトラクタ直装式で21m、けん引式や自走式では33mに達する国産機が利用されるようになった。大型化に伴い、農薬散布の能率は大幅に向上した反面、圃場の凹凸によって生じる散布高さの変動は不均一散布や農薬のドリフト、高さ調節のための作業員への肉体的負担などをもたらす、作業性のみならず農産物の安全安心を確保することが困難になってきている。

農薬散布でブームノズルと作物までの高さを計測する場合、超音波センサが多く利用されており、近年になって欧州のスプレーヤでは超音波センサを利用したブーム高さ制御装置を搭載した機種が利用され始めている。しかし、超音波の場合、空気中での減衰が大きく、小麦のような鋭利な葉などでは穂先や葉先からの反射波が得られず、安定した散布高さを検出することができないため、筆者が開発したブーム高さ自動制御装置は実用には至らなかった。そのような中で、今回着目した PSD (光位置検出素子: Position Sensitive Detector) センサは、レーザ距離センサに比べると計測精度はさほど高くはないが、極めて安価であり、測定範囲も広いという特徴がある。これまで実施してきた研究では、スプレーヤの散布高さを検出するセンサとして必要な距離・出力特性や作物検出特性、自然光の影響などの実験結果から、赤外線カットフィルタを利用することで、PSD センサは十分に屋外での防除作業に利用可能であることが明らかになったことから、本研究を実施する背景となった。

2. 研究の目的

本研究は、市販の PSD センサに着目し、そのセンサをブームスプレーヤの散布高さを検出するセンサに利用する場合の課題などを明らかにし、複数の PSD センサの出力をワンチップマイコンで処理し、開発予定の散布高さ自動制御装置に情報を送る散布高さ検出モジュールを開発することを目的とした。

PSD センサをブームスプレーヤの散布高さ検出センサとして利用する場合、対象とする作物までの距離を安定的にかつ正確に検出する必要がある。そこでまず、対照とする作物の検出特性、距離・出力電圧特性、自然光や太陽光の影響など、センサ単体での特性を評価する。つぎに、実際に作物が生育している圃場に於いて、スプレーヤが走行してブーム下方の作物までの高さを検出する場合の検出特性を明らかにし、PSD センサで計測される信号の処理方法を検討する。

また、これまでの研究の結果、PSD センサは下方の作物の高さをピンポイントで計測することから、複数の PSD センサを利用し、計測データを組み込み用のワンチップマイコンに入力して信号を処理する必要がある。そこで、複数の PSD センサとマイコンで構成される散布高さ検出モジュールを開発し、それをブームスプレーヤに取り付けて実際の防除作業での計測実験を実施し、動作の確認と問題を把握して実用化に向けた開発を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、①供試する PSD センサの測距特性を明らかにするために種々の作物を供試し、距離・出力特性、測距精度、太陽光の影響および赤外線カットフィルタの効果などについての基礎実験を行い、ブーム下方から作物までの距離を検出するセンサとしての基本特性を明らかにする。②実際の防除作業に利用されるブームスプレーヤに PSD センサおよび超音波センサを取り付け、散布作業時の散布高さの計測データを分析する。③複数の PSD センサとマイコンで構成される散布高さ検出モジュールの設計および組み込みプログラムの開発を行う。④開発した散布高さ検出モジュールを実際のブームスプレーヤに取り付け、計測精度を評価する。⑤散布高さ検出モジュールを利用したブーム高さ自動制御装置を試作し、その基本的動作を確認し、ブームスプレーヤメーカーと協議して実用化を図る。

1) 供試する PSD センサは、投光用の赤外線 LED と光位置検出用の半導体素子 PSD を内蔵した三角測量方式の距離検出装置であり、比較的安価で距離に応じたアナログ信号を出力することができる。基礎実験では PSD センサの計測距離とセンサの出力特性、計測対象の作物および反射面の色や光沢などの状態、センサと対象物間の噴霧液滴の遮蔽物の影響、自然光の影響などが考えられることから、これらの影響について実験を行い、基本的な測距特性を明らかにする。

2) 本研究では、複数の PSD センサを取り付け、計測信号を A/D 変換してマイコンに取り込み、出力特性の線形化および計測信号の最適化処理を行い、開発予定のブームスプレーヤの散布高さ自動制御装置に出力する必要があるため、その散布高さ検出モジュールを開発する。

3) PSD センサを散布高さ検出センサとして利用する場合、センサはスプレーヤの走行に伴って作物の上方を水平方向に移動し、下方の作物までの距離を計測する。そこで、室内実験ではスプレーヤの走行状態を再現し、既設の模擬走行装置と模擬作物を用いて、試作した散布高さ検出モジュールの計測精度を評価する。また、実際の防除作業に利用されるブームスプレーヤに散布高さ検出モジュールを取り付け、計測特性を圃場実験で評価する。

4) 開発した散布高さ検出モジュールを今後開発予定のスプレーヤのブーム高さ自動制御装置のセンサとして利用するために、モジュール筐体の設計や処理プログラムの最適化など、実用化に向けた仕様についてブームスプレーヤメーカーと協議して本研究を完了する。

4. 研究成果

平成 28 年度は、ブームスプレーヤの散布高さ検出モジュールを開発するために、PSD センサの基本特性の把握と実際の裸地圃場での散布高さ計測の基礎実験を行った。

1) PSD センサの基本特性： 供試した PSD センサの測距特性は、北海道の基幹畑作物であるバレイショ、テンサイ、小麦の葉を供試し、対象物までの距離とセンサの出力特性の関係を求めた(図 1)。センサの計測距離は 15~150cm であり、距離が遠くなるほど出力電圧は指数曲線的に低下する特性を示した。また、PSD は光センサであることから屋外の強い太陽光の下では誤動作を起こすが、赤外線透過フィルタを受光部に取り付けることにより、外乱光の影響を回避できることが判明した。

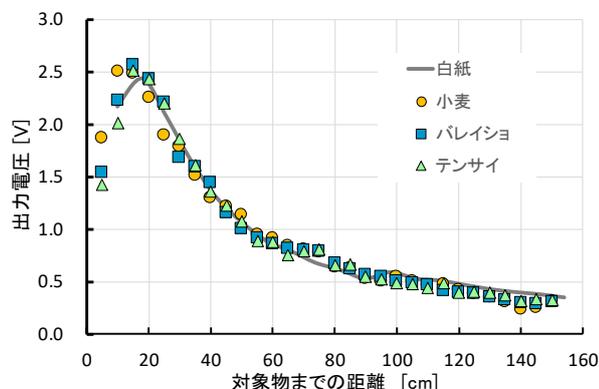


図 1 作物別の PSD センサの計測距離と出力電圧の関係

2) 裸地圃場での散布高さ計測の基礎実験： 複数の PSD とマイコンで構成される散布高さ検出の試作装置を製作し、スプレーヤのブームに取り付けて、耕うん整地後の圃場において土壌表面までの散布高さの計測実験を行った。計測精度の評価は市販の超音波センサをブームに取り付け、PSD センサの計測値と比較した。供試した PSD センサは超音波センサとほぼ同等の測距特性を示し、散布高さを検出するセンサとして利用可能であることが示唆された。

平成 29 年度は複数の PSD センサと組み込み用のマイコンで構成される散布高さ検出モジュールとその基本的な計測プログラムを開発した。

1) 散布高さ検出モジュールの開発： 草高がランダムに生育している作物の高さを安定的に計測するためには、散布高さ検出モジュールに複数のセンサを配置し、ある程度の範囲を平滑化した計測データを得る必要がある。本研究では、水平断面の検出範囲を拡大するために 3 個の PSD センサを取り付け、その計測信号を組み込み用マイコンの A/D 変換機能を利用して取り込み、距離・出力特性の線形化や計測データの最適化処理を行い、開発予定のブーム高さ自動制御装置に計測データを CAN (Controller Area Network) を利用して出力する散布高さ検出モジュールを開発した(図 2)。

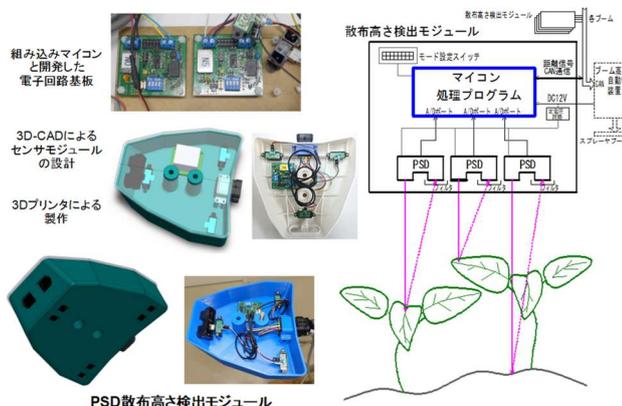


図 2 PSD 散布高さ検出モジュールの概要

2) 散布高さ検出モジュールの計測精度の評価： 散布高さ検出モジュールを室内実験およびバレイショや裸地圃場で市販の超音波センサと比較して計測精度を評価した。その結果、全体的には超音波センサの計測値と PSD センサの計測データはほぼ同等な計測結果を示し、作物までの高さを検出するセンサとしての有効性が確認できた。しかし、作物が繁茂している状態では PSD センサの個々の計測データは大きく変動し、計測データを平滑化するなどの信号処理プログラムの開発が必須であることが判明した。

平成 30 年度は開発した PSD 散布高さ検出モジュールの信号処理プログラムの開発とこのモジュールを試作のブーム高さ自動制御装置に組み込み、高さ制御の基本動作の確認を行った。

1) 実際の作物を対象とした計測特性の評価： PSD モジュールを水平移動させ、下方の小麦の穂先までの距離を計測した結果、計測値と実測値がほぼ一致することを確認した。また、バレイショ圃場では PSD モジュールをスプレーヤに取り付けブーム高さを計測した。各 PSD の計測値には多くのエラー値が含まれ、計測データが大きく変動する結果になった。そこで、同時に計測

される 3 個の計測値に対して、センサに最も近い値を採用するために最小値処理を行い、また進行に伴ってそれぞれの最小値を順次記憶し、その中から中央値処理を行う信号処理を行うことによって、対象とした超音波センサと同等の精度で計測可能であることを確認した (図 3)。

2) 開発した PSD 検出モジュールと試作のブーム高さ自動制御装置によるブーム高さ制御の基礎実験を行った。コンクリート路面では設定したブーム高さに自動制御されることを確認できたが、裸地圃場では不安定な制御になった。

以上のように、開発した PSD モジュールはスプレーヤのブーム高さを計測するセンサとして十分な性能を有する。またブーム高さ自動制御装置を試作したが、今後細部を検討する必要があるものの、本研究の PSD 散布検出モジュールによるブーム高さの自動制御は大型化するスプレーヤの精密防除を実現する技術として大いに期待されることを確認した。

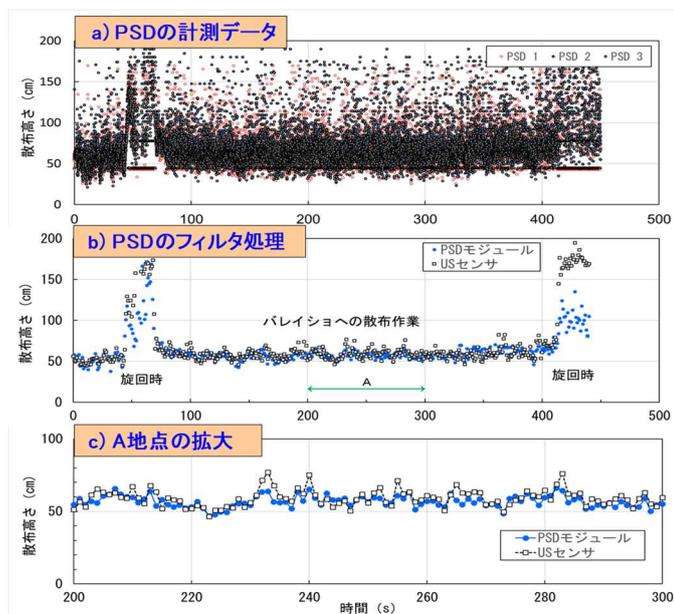


図 3 バレイショ圃場での PSD 散布高さ計測モジュールの計測結果と信号処理

平成 31 年度は、当初の研究計画にはなかったが、3 個の PSD と組み込み用マイコンで構成される 5 組の散布高さ検出モジュールを試作のブーム高さ自動制御装置に取り付け、ロボットトラクタと連携したスプレーヤのブーム高さの自動制御の動作確認を行った。

1) ロボットトラクタと連携した無人防除システムの動作確認： 実験には現在共同開発中のロボットトラクタと散布幅 22m のトラクタ直装式ブームスプレーヤを供試してシステムの開発を行った。両者は電氣的に連携し、トラクタからのトリガー信号によってスプレーヤ側は散布のオンオフと速度連動、枕地旋回時のブームの開閉、および PSD 散布高さ検出モジュールによるブーム高さの自動制御を組み込んだ無人防除システムを開発した。圃場実験の結果、ブームスプレーヤを装着したロボットトラクタは作業開始位置で一時停止し、スプレーヤはブームを自動展開し、トラクタ走行と同時に散布を開始した。散布作業中は、速度連動散布量制御と自動ブーム高さ制御の状態ですべて無人で動作することを確認した (図 4)。

以上のように、開発した PSD 散布高さ検出モジュールはスプレーヤのブーム高さを計測するセンサとして十分な性能を有する。また、ロボットトラクタと連携したブームの自動高さ制御を含めた無人防除作業システムへの発展も大いに期待されることを実証できた。



図 4 ロボットトラクタと連携したブーム高さ自動制御付きスプレーヤによる無人防除作業

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 牧野 哲也, 藤本 与, 佐藤 禎稔	4. 巻 59
2. 論文標題 ブームプレーヤ用PSD散布高さ検出モジュールのほ場実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会北海道支部会報	6. 最初と最後の頁 3-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Atsuru Fujimoto, Tadatoshi Satow, Tetsuya Makino, Kunihiro Funabiki	4. 巻 9
2. 論文標題 Development of Boom Height Measurement Module with PSD Sensor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISMAB	6. 最初と最後の頁 307-312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤 禎稔	4. 巻 OPE2016-59
2. 論文標題 大規模農業における農業機械のICT化やセンサ技術に関する研究紹介	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 31-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 2件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤本 与, 佐藤 禎稔, 牧野 哲也, 船引 邦弘
2. 発表標題 PSD を用いたブームプレーヤのための散布高さ計測センサの作物検出
3. 学会等名 農業食料工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧野哲也, 藤本与, 佐藤禎稔
2. 発表標題 ブームスプレーヤのPSD散布高さ検出モジュールの圃場実験
3. 学会等名 農業食料工学会北海道支部
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤禎稔, 藤本 与, 船引邦弘
2. 発表標題 PSD センサを利用したブームスプレーヤの散布高さ検出モジュールの開発について
3. 学会等名 農業食料工学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安孫子望夢, 牧野哲也, 藤本与, 佐藤禎稔
2. 発表標題 機構解析ソフトによる振り子式ブーム水平安定装置の挙動解析
3. 学会等名 農業食料工学会北海道支部会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤禎稔, 藤本与
2. 発表標題 大規模農業で期待されるセンサ技術の研究紹介
3. 学会等名 電子情報通信学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsuru FUJIMOTO, Tadatoshi SATOW, Tetsuya MAKINO, Kunihiro FUNABIKI
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF BOOM HEIGHT MEASUREMENT MODULE WITH PSD SENSOR
3. 学会等名 International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市岡琢久哉, 藤本与, 千葉勇気, 長崎柊史, 佐藤禎稔
2. 発表標題 PSDセンサによるブームスプレーヤの散布高さ検出について
3. 学会等名 農業食料工学会北海道支部
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤禎稔
2. 発表標題 大規模農業における農業機械のICT化やセンサ技術に関する研究紹介
3. 学会等名 電子情報通信学会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤本与, 佐藤禎稔, 船引邦弘
2. 発表標題 PSD を利用したブームスプレーヤの散布高さ検出モジュールの開発
3. 学会等名 日本農作業学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

PSDセンサを用いた散布高さ制御装置の開発
<http://univ.obihiro.ac.jp/~fm/research.html>
先進的な十勝農業をスマート農業機械で支え、世界に誇れる農業へ
<https://www.obihiro.ac.jp/facility/crcenter/seeds/395>
スプレーヤのブーム高さ制御システムの概要
<https://youtu.be/shJ0hnjcLkY>
PSDセンサを用いた散布高さ制御装置の開発
<http://www.obihiro.ac.jp/~fm/research.html>
PSDセンサを用いた散布高さ制御装置の開発
<http://www.obihiro.ac.jp/~fm/research.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----