

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：13401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656166

研究課題名(和文)先駆的有機稲作方法を実現する自律移動型田面改質ロボットの研究

研究課題名(英文)A study on an Autonomous Mobile Robot for the Purpose of Paddy Quality Improvement

研究代表者

山田 泰弘 (Yamada, Yasuhiro)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40220412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：代掻き後に特定の力学的負荷を田面に与え、芽生え期の雑草の生長を阻害し、無農薬で雑草を排除できる先駆的有機稲作方法の機械化・自律化の実現を目的とし、田面改質ロボットを試作した。田面改質による雑草生長の抑制効果を水田で実証し、その萌芽的基盤技術を確立した。田面改質ロボットは、LRFで障害物検出して条間を自律移動する小型構成であり、照明は不要なので夜間も条間および稲間の抑草作業を自律的に行える。超音波センサで水面検出してLRFを位置制御し、傾角センサを使ってLRFのセンシング方向を水面に水平に維持して、水位変化する凹凸不整田面で自律移動と田面加圧用抑草アームの制御を安定化して効果的抑草を実現した。

研究成果の概要(英文)：Weed suppression and weeding are necessary measures for rice cultivation. Weed suppression precedes the process of weeding. It means suppressing the growth of young weeds and creating a weed-less environment. If we suppress the growth of weeds, we can reduce the number of weeds in a paddy field. This would result in a reduction of the weeding work load. In this paper, we will show how we developed a weed suppression robot for the purpose of reducing the weeding work load. The robot has a laser range finder for autonomous mobility and a robot arm for weed suppression. It travels along the rice plant lines without stepping on and injuring the rice plants in a paddy field. The robot arm applies force to the weed seedlings and thereby suppresses the growth of weeds. This paper will explain the methodology of the autonomous mobile, the experiment in weed suppression, and the method of controlling the robot's posture on uneven ground.

研究分野：機械システム

キーワード：ロボット 農業用ロボット 自律移動 抑草 除草

1. 研究開始当初の背景

稲作における雑草対策として、代掻きから田植え前後に芽生え期の雑草の着根を抑制し稲の着根と生長を先行させるために行う雑草の抑草作業や生長した雑草を抜取る除草作業は、全て人が田圃に入って繰り返し行わなければならない。農業従事者の高齢化と減少を迎えた現場では、農薬等を使わない環境に優しい農業を実践する上で大きな課題になっている。雑草対策としては、チェーンや竹箒などを田面で引き回すことによって抑草効果が認められており、これを機械化・自動化することが必要とされている。

2. 研究の目的

有機農法による稲作を継続すると、田圃に生える雑草は集約化し固定化する。代掻き後に、特定の力学的負荷を田面に与えることによって、芽生え期の雑草の生長を阻害でき、田植え後の稲の生長が促進され、無農薬で雑草を排除できるという先駆的有機稲作方法がある。

本研究は、この先駆的有機稲作方法の機械化・自律化の実現に関する挑戦的萌芽研究である。特定の時期に特定の力学的負荷を田面に与える自律移動型田面改質ロボットを試作し、その田面改質機能による雑草抑制効果を実証し、先駆的有機稲作の萌芽的基盤技術を確立する。

3. 研究の方法

主な取組みを以下に示す。

(1) 田面改質機能の効果の評価

①雑草の生長観察と田面の掃引操作等の力学的負荷と抑草効果

(2) 田面改質ロボットの設計製作

①田面の条間を自律移動するための障害物検出と障害物回避

②条間の抑草と稲間の抑草を行う抑草方式と抑草アームの制御方式

③搭載するステレオカメラのレイアウト設計用シミュレータの開発と、環境観察用ステレオカメラ画像の遠隔PCへの送信・保存

④移動地点からのセンシングデータや取得画像の遠隔PCへの送信・保存

⑤通常の自律移動・自動抑草モードと、遠隔PCからの遠隔操縦モードの2種類による制御

⑥水位が変化する凹凸不整田面におけるセンシングと自律移動の安定化

(3) 田面改質ロボットの性能評価

①自律移動

②水位変化および凹凸不整地での自律移動と抑草作業の安定化

③実験室内に構成した人工照明下の水田環境における抑草作業の性能評価

④実環境の水田における条間の自律移動と抑草作業の性能評価

4. 研究成果

設計製作した田面改質ロボットを図1に示す。

前面に自律移動のために障害物検出するLRFを配置し、超音波センサにより水位変化に合わせてLRFの位置制御を行い、傾角センサにより凹凸不整田面の移動においてLRFのセンシング方向を水面に平行維持し、安定した自律移動を実現する。超音波センサにより移動地点の水位データを算出し、遠隔PCに送信・保存する。

中央上部にはステレオカメラを配置し、下部のパン・チルト機構によって、カメラの向きを変えて周囲を撮影し、遠隔PCへ送信・保存する。水田管理者は、田圃に入らずに各地点での環境状態を観察できる。

後部に3自由度ロボットアームを備え、先端のブラシによって自律移動中に田面の抑草作業を行う。傾角センサによって凹凸田面移動中の本体の傾きを検出し、ロボットアームの各関節を自動制御して田面へのブラシの力学的負荷を安定して維持することにより抑草効果を維持する。ブラシは適切な抑草効果が得られる材質・寸法を選定しており、条間左右の稲列にも抑草効果が及ぼされるような全体形状を採用している。

移動機構にはクローラ方式を採用し、左右のクローラをDCモータで駆動している。電源にはリチウムポリマーバッテリーを用いている。各種センサからのセンサ情報処理やサーボモータ・DCモータの駆動制御にはSH8マイクロプロセッサやPICを複数使用している。ロボットと遠隔PC間の情報交換にはBluetoothを使用している。

Length 400mm
(with robot arm 870mm)
Width 190mm
(with robot arm 310mm)
Height 250mm
(with stereo camera 700mm)
Crawler belt width 56mm×2
Weight 5.8kg

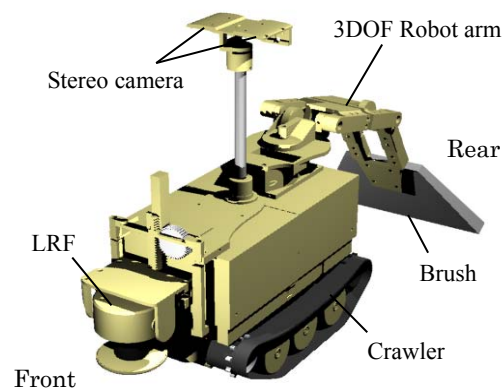


図1 田面改質ロボットの構成

田面を自律移動中にLRFが取得した障害物の位置データを図2に示す。図の中央下の矩形はロボット本体・円はLRFを表す。図中の点群は検出した障害物の位置を表し、識別した左右の稲列に相当する点群を緑色表示している。左右の線は認識した稲列を表し、中央の直線はポテンシャル法によって求めた自律移動方向を表している。

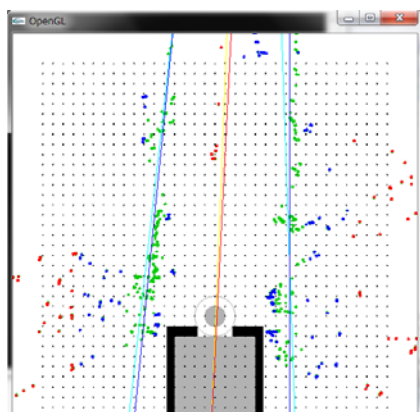


図2 LRFによる稲列検出と移動方向決定

抑草効果の検証実験として、実験室内の人工照明下に水田環境を構成し、雑草が無い状態から開始して、抑草作業を行う条間と行わない条間の田面の観察を継続した。図3に示すように、抑草作業を行った条間では、条間と稲間ともに雑草の生長が抑えられていることが認められた。

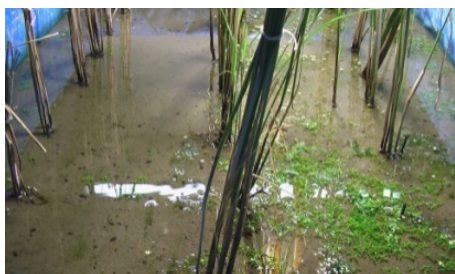


図3 抑草効果の検証実験（抑草作業1ヵ月後） 抑草作業有り（左）、抑草作業無し（右）

抑草効果の検証実験として、図4に示すように、実環境の水田において抑草効果を検証した。実環境の水田では、水田管理のために人が田圃内を歩いていることから、田面は足跡で凹凸不整状態になっている。これによって、ロボット本体は田面移動中にピッチ角、ロール角ともに10deg程度傾角変化している。抑草用ブラシのアーム姿勢を固定状態にしておくことで移動中のロボット前傾によってブラシが田面から離れて抑草効果が得られなくなる。この田面改質ロボットでは、傾角センサによってロボットの傾角を検出し、ロボットアームの各関節を制御してブラシが常に田面に対して力学的負荷を及ぼすように制御していることから、凹凸不整田面の水田

実験においても安定した自動抑草作業が行えることを確認した。



図4 田面改質ロボットによる水田の抑草

実環境である稲作期間の水田環境で田面改質ロボットによる実験および実験室内に構成した水田環境で田面改質ロボットによる実験を実施した。

自律移動において前方障害物を検出するために用いるLRFについて、田面移動時に水面からの高さを超音波センサで検出してLRFの位置制御を行い、傾角センサで本体の傾角を検出して不整田面移動中に本体が傾いてもLRFのセンシング方向を水面に水平に維持して適切なセンシングができるようにLRFの傾角を制御する構成にした。この構成により、稲作管理のための水位調整によって変化する水位と凹凸のある田面を自律移動する際にLRFのセンシング高さを常に水面から一定に維持しセンシング方位を常に水面と平行に維持するように制御するように構成した。これにより、水位変化や不整田面の水田環境においてLRFによる安定した障害物検出と自律移動および抑草作業を実現した。

研究期間全体を通して、稲作において、代掻き後に、特定の力学的負荷を田面に与えることによって、芽生え期の雑草の生長を阻害でき、無農薬で雑草を排除できる先駆的有機稲作方法の機械化・自律化の実現を目的として、田面改質ロボットを試作した。その田面改質機能による雑草生長の抑制効果を実環境の水田において実証し、その萌芽的基盤技術を確立した。田面改質ロボットは、水田の条間をLRFによって障害物検出して自律移動する小型構成であり、照明を必要としないため夜間でも抑草作業を自律的に行える。

今後の展開として、本研究で取り上げた稲作初期の抑草用アームによる芽生え期の雑草の抑草作業の他に、稲作中期には除草アームに交換して抑草後に新たに生長した雑草を根から除草し回収する除草アームによる除草回収作業、稲作後期には種をつけた雑草穂部を切草し回収する切草アームによる切草回収作業もできるように、アーム交換して稲作前・中・後期の全期にわたって総合的雑草対策が可能な田面改質ロボットの基盤技術について研究を進める。

稲作全期を通して、人が田圃内に入って行っ

ている抑草・除草など全ての雑草対策作業を代行できる機械化・自律化技術を完成し、人が田圃に入る必要がない稲作の実現を目指す。ここで確立される基盤技術は、屋外の稲作における雑草対策での人的負担の解消のみならず、環境制御型の多層階閉鎖空間において農産物生産を行う垂直農場へも展開する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

- ① Syohei Nakai, Yasuhiro Yamada, Development of a Weed Suppression Robot for Rice Cultivation: Weed Suppression and Posture Control, International Science Index, 査読有, Vol.8, No.12, Part V, 2014, pp.531-535.
- ② Yasuhiro Yamada, Keisuke Iwakabe, Guanzuo Liu, Toshiyoshi Uejima, Mechanical Weeding Using a Paddy Field Mobile Robot for Paddy Quality Improvement, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Towards Autonomous Robotic Systems, 14th Annual Conference, TAROS2013, Oxford, UK, August 28-30, 2013, Revised Selected Papers, 査読有, 8069, 2013, pp.185-189.

〔学会発表〕(計 10件)

- ① Syohei Nakai, Yasuhiro Yamada, Development of a Weed Suppression Robot for Rice Cultivation: Weed Suppression and Posture Control, International Conference on Automation and Mechatronics (ICAM2014), December 15, 2014, Sydney (AUSTRALIA)
- ② 仲井 翔平, 山田 泰弘, 稲作における抑草ロボットの開発—抑草用ロボットハンドの制御と抑草効果—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集, 1P2-W09, 2014年5月26日, 富山市総合体育館(富山県・富山市)
- ③ 國井 大輔, 山田 泰弘, 稲作における除草ロボットの開発—遠隔地からの害草検知と遠隔操作のシステム構成—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集, 1P2-W08, 2014年5月26日, 富山市総合体育館(富山県・富山市)
- ④ Masanori Nakayama, Yasuhiro Yamada, Toshiyoshi Uejima, Autonomous Navigation of a Paddy Field Robot Using Image Sensor and Hybrid Control, SICE Annual Conference 2013 (SICE2013),

September 17, 2013, Nagoya (JAPAN).

- ⑤ Keisuke Iwakabe, Guanzuo Liu, Yasuhiro Yamada, Toshiyoshi Uejima, Development of a Paddy Field Mobile Robot for the Purpose of Paddy Quality Improvement, SICE Annual Conference 2013 (SICE2013), September 17, 2013, Nagoya (JAPAN).
- ⑥ Keisuke Iwakabe, Daisuke Kunii, Syohei Nakai, Yasuhiro Yamada, Toshiyoshi Uejima, Design and Implementation of a Paddy Field Mobile Robot for the Purpose of Paddy Quality Improvement, International Symposium on Advanced Mechanical Engineering and Power Engineering (ISAMPE2013), November 15, 2013, Fukui (JAPAN).
- ⑦ Masanori Nakayama, Yasuhiro Yamada, Toshiyoshi Uejima, Hybrid Control System of a Paddy Field Mobile Robot, International Symposium on Advanced Mechanical Engineering and Power Engineering (ISAMPE2013), November 15, 2013, Fukui (JAPAN).
- ⑧ 岩壁 佳祐, 山本 達郎, 中山 真徳, Liu Chunhui, 安藤 大樹, 山田 泰弘, 田面改質を目的とする水田移動ロボットの開発(水田環境シミュレータによる設計), 日本設計工学会 2012 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, G16, 2012年9月29日, 富山国際会議場(富山県・富山市)
- ⑨ 河内 洋介, 清水 幹也, 安藤 大樹, 山田 泰弘, アイガモ農法用ロボットの開発—水田における自律移動の安定化—, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集, G150032, 2012年9月11日, 金沢大学(石川県・金沢市)
- ⑩ 岩壁 佳祐, 山本 達郎, Liu Chunhui, 安藤 大樹, 山田 泰弘, 水田管理の自動化・省力化を目的とする水田調査ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 1A1-I02, 2012年5月28日, アクティシティ浜松(静岡県・浜松市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 泰弘 (YAMADA, Yasuhiro)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40220412