

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：27401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21354

研究課題名(和文)スマート農業を推進する小型球体ロボットの開発

研究課題名(英文)Development of small spherical robots to promote smart agriculture

研究代表者

松添 直隆(MATSUZOE, NAOTAKA)

熊本県立大学・環境共生学部・教授

研究者番号：50239018

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：水田内の除草を行うロボットの開発を目的として、防水性のプラスチック球の中に二輪移動ロボットを配置した小型の球形ロボットを製造した。直径12cm(球体に高さ3mm又10mmの突起を配置)のロボットを使って、水田内でのロボットの除草能力を評価した。ロボットが、回転運動によって雑草を効果的に引き抜くことが確認できた。しかしながら、他の水田での実験では、ロボットが回転運動によってイネの成長を損なうことが明らかになった。そのため、ロボットがイネを乗り越えない機能を追加する必要がある。さらに、長期間の自律移動を行う機能として、GPS測位による自己位置認識システムをロボットに導入した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、水田内の新しい雑草防除方法として小型球体ロボットを提案できた。ロボットに付けた突起の形状や大きさにより、除草効果が異なることが分かった。また、アイガモによる除草方法と比較することで、ロボットの除草のメカニズムを明らかにできた。一方、ロボットの改良点も見つかり、実用化に向けての新しいロボット開発を進めるアイデアが生まれた。本研究成果は、除草剤を使用できない有機農業水田並びに作業機として乗用型除草機械の導入が難しい小面積・不整形な水田や棚田での除草の高率化技術の開発に貢献できる。また、農水省が推進している「スマート農業」の一つの技術として利用できる。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of developing a robot that weeds in paddy fields, we manufactured a small spherical rolling robot inside which a two-wheeled mobile robot is placed within a waterproof plastic ball. The weeding ability of the robot in the paddy field was evaluated using a robot with a diameter of 12 cm (a protrusion with a height of 3 mm or 10 mm is placed on the sphere). The results indicated that the robot has the potential to effectively pull-out weeds by a rolling motion to soil. On the other hand, another experiment in paddy fields revealed that the robot impairs rice plant growth due to its rotational movement. Therefore, it is necessary to equip the robot with a control function that does not hinder the growth of rice. For example, a function is needed to ensure the robot does not trample rice plants. Furthermore, as a long-term autonomous movement function, a self-guiding recognition system based on GPS positioning was implemented in the robot.

研究分野：環境農学

キーワード：水田 除草 ロボット 球体 GPS 自己位置認識

1. 研究開始当初の背景

農業の現場では、担い手の減少・高齢化の進行（うち65歳以上が6割以上）等により労働力不足が深刻な問題である。水田の除草には除草剤（化学農薬）の他、乗用型除草機械が使用されるが、小面積・不整形な水田では手押し型除草機が主流である。アイガモ農業は泥土攪拌機能による除草、害虫防除、イネへの接触刺激（耐倒伏性強化）による効果等、素晴らしい農法である。しかし、アイガモへの鳥獣被害対策、雛代・餌代の飼育管理費、並びに使用後の処分等の課題がある。水田内で省力的かつ効果的に除草を行うロボットの開発が急務である。

2. 研究の目的

乗用型除草機械の導入が難しい小面積・不整形な水田や棚田並びに有機イネ作推進に向けた除草用の小型球体ロボットの開発並びにロボットの基礎的知見を得ることを目的とする。小型球体ロボットの作成、ロボットの水田雑草のヒエの除草効果、小型球体ロボットがイネの生育に与える影響、また水田での生物的技術として一般によく知られ、かつ効果的に除草を行うアイガモ雛を比較対象とし、その除草効果を明らかにする。さらに、水底凹凸に頑健な代替移動機構として、脚移動型ロボットを開発するとともに、GPS測位による自己位置認識システムのロボットへの実装を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 小型球体ロボットの開発

防水性のプラスチック球体に2輪の移動ロボットを入れることで、水田の中で動くことのできる移動体ロボットを製作した。また、球体の外側にフレキシブル素材で製作した突起つきカバーを装着することで、泥を掻くことを可能とした。ロボットは無線通信でスタート、ストップの指示を送るものとし、前進や旋回を自動的に切り替えながら自律的に水田の中を動き回る。バッテリーは、安全のためにリチウムポリマーではなく、ニッケル水素の充電池を利用するものとした。また、表面の突起の高さを11~22mmの範囲で変えて、移動速度、水流、消費電力の測定を行った。

(2) 小型球体ロボットによる水田の雑草抑制効果とイネの生育に与える影響

1) 小型球体ロボットによるヒエの防除効果

水田雑草としてヒエを用いた。実験は黒ボク土を深さ20cmに充填したベッド(30cm×5m)5区画で行った。ベッド内の水深は7~8cmとし、小型球体ロボット(直径12cm、重量430g)を使用した(図1)。条件ⅠではロボットA、Bを使用し、それぞれ週1、3回稼働させた処理区、条件ⅡではロボットB、Cの稼働開始日を播種後4、7日目とそれぞれ変化させ、週に3回稼働させた処理区を設けた。条件Ⅰ、Ⅱでロボットを稼働させない無処理区を設けた。ロボットの1回あたりの稼働時間は1時間とした。ヒエの防除率は実験時の発芽数に対するロボットにより引き抜かれたヒエの割合から算出した。

2) 水田内における小型球体ロボットの活動がイネの生育に与える影響

供試品種は‘くまさんの力’とし、水田3区画で栽培した。実験区としてロボットB、Cを稼働させた小型球体ロボット区並びに稼働させないコントロール区を設けた。移植1週間後から1日当たり1時間、週3回稼働させた。イネの生育量(茎数、葉数、草丈、新鮮重、乾燥重)を測定した。

(3) 水田内における小型球体ロボットとアイガモ雛の雑草抑制能力の比較

処理区として、代かき11日後の水田(2a)に小型球体ロボット3台(図1のB)を導入したロボット区(0.75a)、8日齢のアイガモ3羽を放飼したアイガモ区(0.75a)、そして除草処理を行わない対照区(0.5a)を設け、21日間実施した。アイガモは24時間連続で放飼し、ロボットは1日当たり約2時間稼働させた。各区にネットで囲い、水の出入りのみが可能なプロテクトケージ(1.5×1.5m)を3カ所ずつ設置し、ロボットとアイガモの動きによって生じた濁水による除草効果を評価した。調査は試験終了時(開始後21日目)に1×1mのコドラートをを用いてプロテクトケージ内側の雑草発生量(単位面積当たりの雑草の密度:本数/m²)を計測した(n=3)。各区の排水口には家庭用の水切りネットを設置し、試験期間中にロボットとアイガモによって水面に浮き上がった雑草をすべて回収し、その本数を記録した。試験終了時(開始後21日目)に1×1mのコドラートをを用いてプロテクトケージ外側の雑草発生量(単位面積当たりの雑草の密度:本数/m²)を計測した(n=8)。

(4) 脚移動型ロボットの開発

2周波RTK-GNSS測位によるロボットの位置推定アルゴリズム(図2)により、移動ロボットの位置と姿勢の推定を行う。この位置推定アルゴリズムはPython言語で開発し、ROS(Robot Operating System)を搭載したマイクロコンピュータRaspberryPi 4に実装化する。

4. 研究成果

(1) 小型球体ロボットの開発

直径10cm、12cm、17cmのプラスチックの球体を用意し、中身の2輪移動ロボットの製作を行

なった。直径 10cm では、2 輪移動ロボットの出力を確保することが難しく、直径 17cm では イネの間を通ることが難しかったため、直径 12cm の機体で実験を行うこととした。また、突起の高さについて、5 mm、10mm、15mm、20mm を試作し、泥を掻く力強さと イネを巻き込まないバランスを考慮し、15mm の突起で実験を行うこととした。直径 12cm、突起の高さ 15mm の機体を 20 台製作して、水田で実証実験を行なった。内部での車輪の回転が球殻に伝わることで、全体が回転して移動する構造となっており、その電源は単 3 乾電池 4 本であった。ロボットは最初に Bluetooth で起動し、動作開始の合図を送ると、直進 15 秒と右旋回をランダムに繰り返し、これにより水田内を動き回り、突起で地面を掻くことで除草するように設計された。

突起が高いほど移動速度・水流が増加する一方、消費電力は殆ど変わらず、より攪拌力の高い外装（水の抵抗が大きい形状）でも消費電力面で問題ないことが分かった。

（2）小型球体ロボットによる水田の雑草抑制効果とイネの生育に与える影響

1) 条件Ⅰにおいて、ロボット A を 1 日に 1 時間、週に 1 回稼働させた区と比べて、同様の条件でロボット B を稼働させた区で防除率が高くなった。同様の結果がロボットを週 3 回稼働させた区においても見られた（図 2）。条件Ⅱにおいて、ロボット区 C で播種後 7 日目からロボットを稼働させた区と比べ播種後 4 日目からロボットを稼働させた区で防除率は高くなった。角が多いほど防除効果が高くなる傾向があった。ロボットの回転が雑草を巻き取り、引き抜いたためと考えられる。

2) 水田における球体ロボットがイネに与える影響

イネの生育調査から、ロボットの稼働によるイネの生育への効果がないまたは有意に阻害された（表 1）。ロボットの改善策の 1 つとして、イネを乗り越えないようにイネの条間を移動する走行制御技術の開発が必要である。

（3）水田内における小型球体ロボットとアイガモ雛の雑草抑制能力の比較

ロボットは回転しながら前進し、水田全体を移動する状況が観察された。回転時には、表面の突起が地面に触れることで土壌を攪拌し、濁水を発生させていた。アイガモも水浴しながら移動する際に濁水を発生させており、アイガモ農法においては濁水で雑草の光合成や発芽を抑制する効果があるとされている[1]。しかしながら、実験終了時における各区のプロテクトケージ内の雑草の密度には差がみられず、本研究ではロボットならびにアイガモが発生させた濁水による除草効果は認められなかった。なお、ロボットは水深が 5 cm 未満で移動が困難となり、水深が 10 cm を超えると突起が地面に触れずに濁水が発生しない状況が観察されており、実用化に向けて対応策を検討する必要があると示された。一方、ロボット区とアイガモ区では両者が移動後に田面水に雑草が浮き上がる状況が確認され、実験期間中に各区の排水口で回収された雑草は対照区で 151 本、アイガモ区で 580 本に対し、ロボット区は 292 本であり、各区分間で有意差が認められた ($P < 0.05$)。回収された雑草の約半分はヒエであり、対照区ではしょう葉と 1 葉期のヒエのみが観察されたのに対し、アイガモ区とロボット区では、2 葉期のものも観察された。水田放飼したアイガモはイネ科草に対する嗜好性が低いものの、2 葉期までのヒエであれば脚掻きによる中耕で浮き上がらせることが知られている[1]。本研究では、アイガモ区だけでなく、ロボット区でも同様な状況が観察された。試験終了時における雑草の密度は、対照区で 101 本/m²、アイガモ区で 0.5 本/m²、ロボット区で 32 本/m²であり、各区分間で有意差がみられ ($P < 0.05$)、ロボットならびにアイガモによる除草効果が認められた。以上のように、ロボットの除草能力はアイガモに比べて劣っていたものの、回転時における中耕によって雑草を浮き上がらせ、水田雑草を効果的に除去する可能性が示された。

（4）脚移動型ロボットの開発

基準局および NTRIP サーバを開設し、位置推定システムを構築した。基準局の補正データを移動ロボット（移動局）に送信する NTRIP サーバの出力信号の不安定現象が原因となり、車両姿勢の精密検出が実現出来ていないものの、2 周波 RTK モジュールによる安定的な位置情報取得に成功した。ROS の活用によりクローラ駆動型移動ロボットの無線操縦モードと自律移動モードの遠隔切替え機能を実現し、自律移動モードにおいて 2 周波 RTK モジュールにて取得した位置情報に基づく定点移動実験を実施した（図 3）。移動ロボットの姿勢情報を用いず単純な逐次左右駆動モータの回転方向制御を用いていることと、砂地でのスリップを制御則に考慮していないことから目標地点へ直線的に移動できていないものの、設定した目標地点に対して 1 m（半径 50cm）未満の範囲に到達できることを実験により確認した。

NTRIP サーバ出力信号の安定化により、ロボット姿勢を考慮した制御則を実装化することで、より短時間に（より円滑な移動軌跡で）目標地点への移動が可能になることが予想できる結果が得られたと考えている。

<引用文献>

[1] 古野隆雄: 無限に広がる アイガモ水 イネ同時作. p1-173、農山漁村文化協会、東京 (1997)



図 1. 角の種類が異なる小型球体ロボット
 A:角の高さ 0.3 cm 50 個、B:角の高さ 1.0 cm 18 個、
 C:角の高さ 1.0 cm 28 個

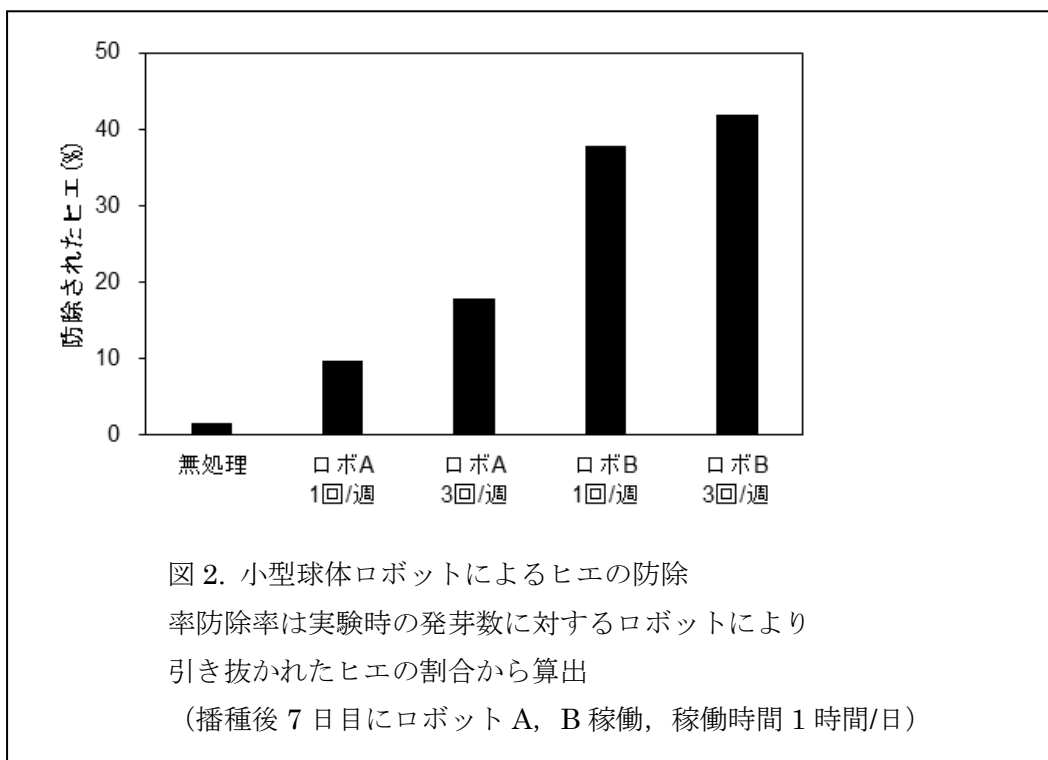


表 1. 小型球体ロボットがイネの生育に与える影響

	草丈 (cm)	葉数 (枚)	茎数 (本)	新鮮重 (g)	乾燥重 (g)
コントロール区	80.8	a 109.7	a 45.9	a 107.0	a 24.9
ロボット区 1	82.3	a 100.6	b 39.2	b 99.4	a 23.9
ロボット区 2	76.3	b 90.4	c 36.3	b 80.8	b 19.7

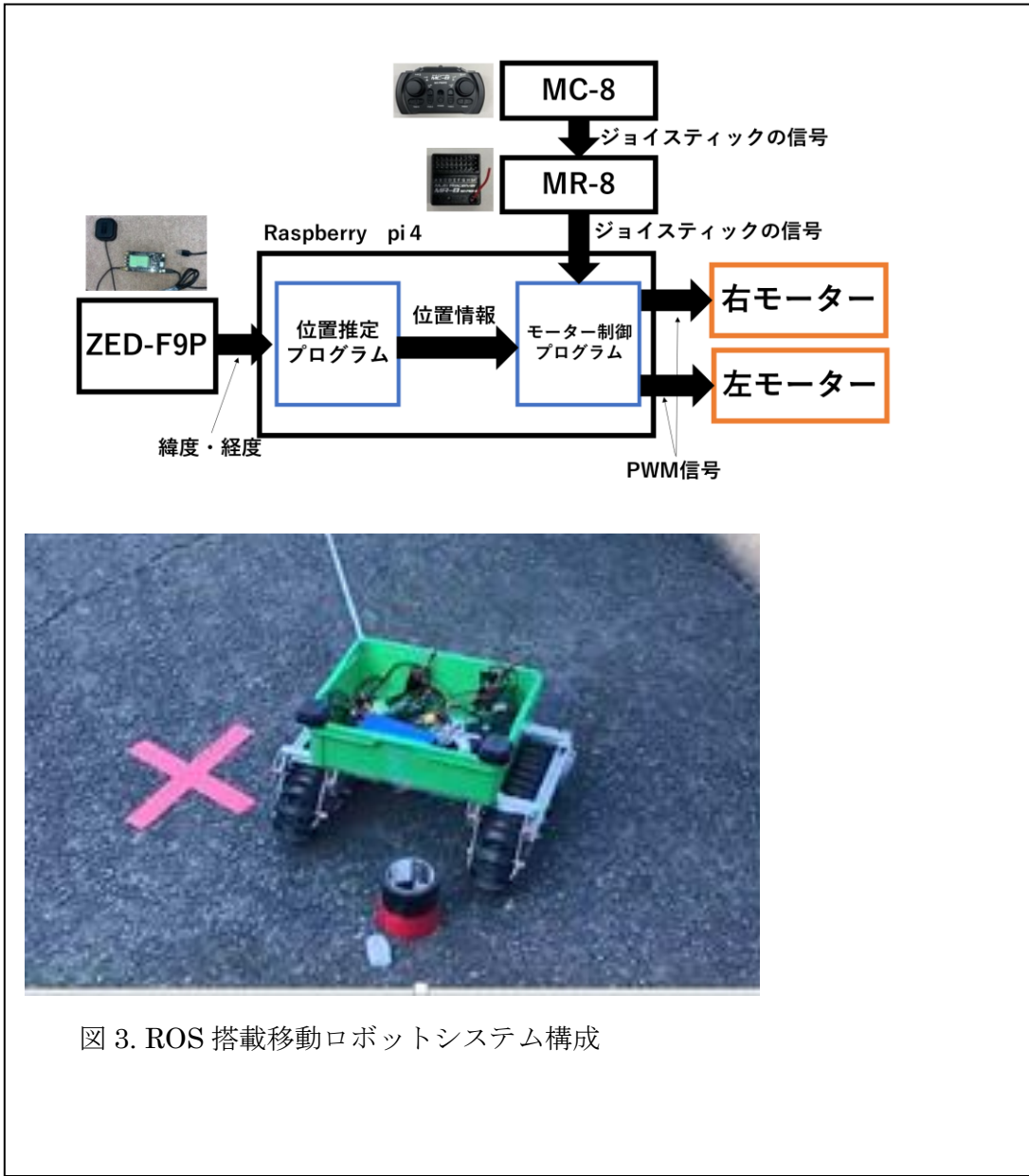


図 3. ROS 搭載移動ロボットシステム構成

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 高山耕二, 山植珠翠, 中村南美子, 加藤達也, 大塚弘文, 小田川裕之, 中西良孝, 松添直隆	4. 巻 72: 1-6
2. 論文標題 水田における小型球体ロボットの除草能力	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 鹿児島大学農学部学術報告	6. 最初と最後の頁 1-6
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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山植珠翠, 中村南美子, 中西良孝, 高山耕二, 松添直隆, 大塚弘文, 加藤達也, 小田川裕之
2. 発表標題 小型球体ロボットによる水田での除草能力は？ ~アイガモ雛との比較からその能力を解き明かす~
3. 学会等名 農業生産技術管理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広田理央, 加藤達也, 大塚弘文, 小田川裕之, 高山耕二, 松添直隆
2. 発表標題 ヒエを対象とした球体ロボットによる水田内の雑草抑制効果
3. 学会等名 日本生物環境工学会九州支部 2021 年大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	小田川 裕之 (Odagawa Hiroyuki) (00250845)	熊本高等専門学校・拠点化プロジェクト系地域協働プロジェクトグループ・教授 (57403)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	大塚 弘文 (Ohtsuka Hirofumi) (10223869)	熊本高等専門学校・企画運営部・教授 (57403)	
研究分担者	加藤 達也 (Kato Tatsuya) (10707970)	熊本高等専門学校・電子情報システム工学系C Iグループ・助教 (57403)	
研究分担者	高山 耕二 (Takayama Koji) (50381190)	鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・准教授 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関