

畦畔除草ロボットの開発

○中土宜明（新産業創造研究機構） 土肥誠（島根大学）

近藤直（京都大学） 中元陽一（近畿中国四国農研センター）

大嶺政朗（九州沖縄農研センター） 安部聖（島根県中山間地域研究センター）

平出吉孝（明興産業） 菊池日出男（システムワット）

Development of Grass Cutter Robot for Steep Slope

* Y. Nakatsuchi (The New Industry Research Organization (NIRO)),

M. Dohi (Shimane Univ.), N. Kondo (Kyoto Univ.),

Y. Nakamoto (National Agricultural Research Center for Western Region (NARO)),

M. Omine (NARO), S. Abe (Shimane Mountainous Region Research Center),

Y. Hirade (Meiko Industrial) and H. Kikuchi (System Watt Co.)

Abstract— Slope of the fields must be weeding on a regular basis. Usually farmer use brush cutters for this work. If the slope is steep, it is dangerous and hard work. It is necessary to reduce this work. We developed a small grass cutter robot for steep slope.

Key Words: Weeding, Robot, Automatic operation in steep slope

1 諸言

中山間地の棚田や段畑での急傾斜法面において、これまで刈払機など人力に依存していた重労働かつ危険な除草作業を軽労化できる、斜度が45度以下の傾斜法面に対応可能な小型除草ロボットを開発する。

この除草ロボットの開発により、人力による草刈作業と同等の精度で2倍の能率で作業ができ、作業者は監視・巡回作業に従事するだけの労力8割削減を可能とする作業体系を構築する。

農林水産省委託プロジェクト研究「農作業の軽労化に向けた農業自動化・アシストシステムの開発」事業の中で開発中のものである。研究期間は、平成22年度～平成26年度であり、中山間地の棚田や段畑内および急傾斜法面において、人の判断を介さずに無人作業が行える小型除草ロボットを開発し、継続的に運用できるシステムを構築する。また、効率的な除草ロボットの運用を図るため、畦畔の植生転換、作業計画へのGISの利用などの開発をすすめる。さらに、開発した小型除草ロボットを核とした集落単位での管理体系の実証を行うとともに経済性評価を行う予定である。

本開発は、(公財)新産業創造研究機構、島根大学、京都大学、(独)農研機構 近畿中国四国農業研究センター、(独)農研機構 九州沖縄農業研究センター、島根県中山間地域研究センター、明興産業株式会社、株式会社システムワットの8機関による共同研究である。本文では、その一部を紹介する。

2 研究課題のサブテーマ

急傾斜地用の除草ロボットを開発することが中心課題であるが、そのロボットの要素技術ばかりでなく、

開発したロボットを効率よく運用するための利用技術や運用技術についても平行して研究開発している。

下記のようにサブテーマを設定した。

- ①除草ロボットの走行部の開発：
急傾斜地での安定した走行技術の開発を行う。
- ②除草ロボットの草刈部の開発：
効率的でかつ刈取り精度の高い草刈部の開発を行う。
- ③ロボット現在位置検出法の開発：
ロボット自動運転のための現在位置検出手法の開発を行う。
- ④ロボット軌跡生成、動作制御の開発：
ロボットの走行経路自動生成手法の開発を行う。
- ⑤ロボット安全装置の開発：
ロボットの安全性を高めるため、人の検出、ロボットの転倒検出、遠隔非常停止機能などの技術開発を行う。
- ⑥植生転換技術の開発：
ロボットを効率的に運用するため、雑草畦畔をシバ植生に効率的に転換する技術開発を行う。
- ⑦作業計画へのGIS利用技術の開発：
地図情報システム(GIS)に畦畔情報などを付加し、効率的なロボット運用を計画できる利用技術の開発を行う。
- ⑧除草ロボットの管理技術の開発：
中山間地を対象にした運用実証試験を行うとともに、管理体系の構築と評価を行う。

以下、本稿では①②について開発状況を、⑥⑦については概要を報告する。③については、本稿の後の講

演で報告される。

3 現状の傾斜地での除草方法

現状の急傾斜地における除草作業は、刈り払い機によって行われることが多く、傾斜40度を超える法面にも対応できる。Fig. 1は、その一例である。しかし、転倒・転落の危険性がともない、特に高齢者にとっては厳しい作業である。耕作放棄地発生の一因ともなっている。また、刈り払い機での作業中の事故も多く、農作業中の事故の20%程度を占める。

また、乗用型草刈機もあり、乗車して楽で比較的安全に作業ができるが、限界作業傾斜度は20度程度のもが多い。中には、40度近くまで作業可能なものもあるが、凹凸の少ない河川の大型法面向きのもであり、多様な傾斜度や表面状態の中山間棚田に対応するには新たな観点での技術開発が必要である。



Fig. 1 Grass cutting with brush cutter in steep slope

4 急傾斜地での走行試験

ロボットにより急斜面での除草作業を行うには、ロボットが安定して走行できることが重要である。そのため、走行部の実証試験を行った。急斜面での安定走行を最優先としたため、走行部には低圧タイヤ方式は採用せず、クローラ方式を採用した。

45度前後の斜度でテストした状況を Fig. 2 に示す。試験により、斜面の上下方向の走行、等高線方向の走行、その場旋回などが可能であることが確認できた。



Fig. 2 Test of travel unit with crawler in steep slope

5 除草方法

除草方式には、ロータリー式、レシプロ式、ハンマーナイフ式など種々ある。ハンマーナイフ式は、他の方式に比べ同じ刈取り幅では重量が大幅に重いため、不採用とした。ロータリー式、レシプロ式等の市販草刈機を用いた刈取り性能の比較を行った。その結果、約10mを直進で刈り取った際、ロータリー式では刈刃への刈り草のつまりは少ないが、レシプロ式では進行が困難になる程度のつまりが見られた。ただし、刈取り幅については、レシプロ式では刈刃とほぼ同じ幅を刈取り可能であったが、ロータリー式では、刈刃の径より10%程度刈取り幅が小さくなった。また、ロータリー式草刈機は刈り草のつまりが少なく、機種によっては細断性も確保できる可能性が得られた。そのため、ロボット用の草刈部としては、ロータリー式を第一優先方式として採用した。

Fig. 3に、採用したロータリー式の刈刃部分を示す。この機種では、カバーの内側で刈刃が高速で回転することにより、刈り取った草を細断することができる。細断することにより、集草する必要がなくなるため、この機種を採用した。



Fig. 3 Grass cutter

6 試作機の仕様

走行部、草刈部の基礎実験に基づき、両者を組み合わせた試作機を製作した。Table 1に除草ロボットの仕様を、Fig. 4に外観写真を示す。

幅×長さ×高さ	1112mm×1617mm×609mm
質量	180kg
走行速度	300mm/s
刈幅	600mm
操作方法	ラジコンによる手動操作

斜度25度の斜面での走行・除草試験の様子を Fig. 5 に示す。斜度が25~30度の緩斜面、40~45度の急斜面で、上下方向、等高線方向、その場旋回など各種のテストを行った。その結果、急傾斜地でのその場旋回以外は問題なく走行できた。急傾斜地でのその場旋回では、下方向にずり落ちるため、次年度版での改良が

必要である。試験結果からは、接地圧の軽減と軽量化が最も重要であることが判明した。その結果を踏まえ、次年度の改良機の開発に生かす。

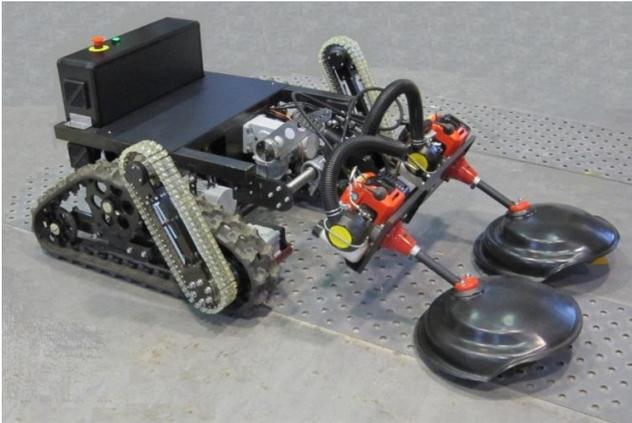


Fig. 4 Grass cutting robot



Fig. 5 Grass cutting robot in steep slope

7 植生転換方式^{1),2),3)}

雑草で覆われた畦畔をシバ (*Zoysia japonica* Steud.) に植生転換すると、ロボットでの除草管理が容易になる。シバは被覆力に優れて、メヒシバやセイタカアワダチソウなどの大型雑草の発生を抑制するとともに、大型法面や農作業体系に馴染み易く、畦畔管理の省力化が期待できる。シバを主体とした畦畔では草高が 15 cm 程度のため、除草ロボットの走行が容易である。Fig. 6 に二重ネット工法による植生転換試験の様子を示す。



Fig. 6 Double net method

8 作業計画への GIS 利用

農作業ロボットは利用価値は高いが、機体コストが高いため、普及のためには低コスト運用体系が必要である。そのため、圃場の形状・面積、法面の傾斜度、圃場の分布などを地理情報システム (GIS : Geographic Information System) で管理し、作業計画・運用コスト・エネルギー利用を最適化することが有効である。GIS で管理した情報とロボットの作業能力から作業計画を最適化する手法の開発を行っている。

中山間地における畦畔法面に関する属性項目 (農道、畦畔、圃場の 3 次元形状・面積、法面の傾斜度など) を測量調査した。トータルステーションによって測量した 195 地点について、1m 間隔の格子点座標に変換した地形のメッシュ図を Fig. 7 に示す。角度計で測定した法面の傾斜角度は、最大で 46 度、最小で 31 度であり、傾斜が様でないことが確認された。

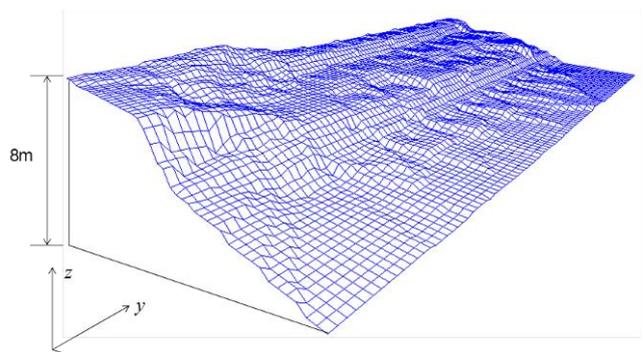


Fig. 7 3D mesh of the test field

調査した圃場について除草ロボット作業適用に必要な属性情報を検討し、畦畔および圃場情報からなるプロトタイプの GIS を仮構築した。圃場データセットと畦畔データセットを分けて作成し、リンクさせる構造とし、既存の GIS データを利用可能としている。畦畔データセットについては、畦畔のポリゴン、法面の「面積」や「傾斜角度」を基本に、「障害物」や「雑草植生」に関する情報を追加できる構造である。また、畦畔ごとのメッシュ図など詳細な 3D 地形情報については、必要に応じて、別構築しリンクできる設計である。



©2012 Google Map Data ©2012ZENRIN Imagery ©2012DigitalGlobe GeoEye

Fig. 8 GIS data viewer application for mobile tablet

圃場現場での利用やGISに不慣れな利用者を考慮して、Fig. 9 に示すように携帯情報端末にて「面積」や「傾斜角度」など畦畔データセットの情報を閲覧できるソフトウェアを作成した。これらの開発によって、調査圃場が属する集落やその他の集落についてもGISを構築し、畦畔情報を閲覧することが可能となった。今後は、携帯情報端末などの活用によって利便性を向上させる予定である。

畦畔ごとの作業時間の推定には、畦畔法面の実面積が必要となるが、衛星画像やGPSの平面情報から高さの情報を得ることは困難である。そのため、法面の実面積については、衛星画像やGPSから得られる垂直投影された平面座標面積から法面の傾斜角度によって推定し、GISの畦畔データセットに入力した。平面座標と実面積では、傾斜角度45度で1.5倍、60度で2倍となり、作業時間などの試算の誤差につながる考えられる。

GPSによる畦畔法面の頂点の平面座標(緯度、経度)の計測によって算出した畦畔法面の水平面への投影面積と傾斜計によって計測した法面の傾斜角度から畦畔法面の面積を推定する手法を検討した結果、この方法では頂点の座標計測や傾斜角計測に時間を要するため、簡便化が必要であると判断した。

畦畔法面の水平面への投影面積はGISから座標を取得し、法面の傾斜角度は角度計測が可能なセンサ(3軸ジャイロや加速度センサ)とGPSを有した携帯端末を利用して、除草ロボットの作業計画に必要な畦畔法面に関する属性情報(傾斜角度、傾斜方角、座標)を簡便に計測して、法面の面積を推定する手法を開発した。携帯端末専用に試作した計測プログラムは、加速度センサ(y,z軸)から傾斜角度と測定器の傾き(x軸)、傾斜の方角(16分割)、GPSによる座標(緯度、経度)をリアルタイムで計測、表示、記録することが可能である。計測画面例をFig. 9に示す。



Fig. 9 Mobile phone application

水平から傾斜、そして水平に至る状態を大きな動きを伴わなければ加速度センサの値(x,y,z軸)からでも計測できることが確認された。ただし、スマートフォン内臓GPSの測位誤差が10m以上あるため頂点の座標計測には利用困難であったが、どの圃場の畦畔であるかGIS情報と連携して判断するには利用できると

考えられた。GISからの座標取得については、衛星画像から取得する手法を検討しており、今後、座標の取得精度とその誤差による面積推定への影響について、実測値やGPSと比較して検証する必要がある。

この方法によって、畦畔法面に関する属性情報を簡便に計測し、作業計画に必要な畦畔法面の面積を推定することが可能となった。この携帯端末を初回の除草時にロボットに搭載することにより、畦畔法面に関する属性情報を容易に取得することができる。

9 今後の検討課題

緩斜面(25~30度)と急斜面(40~45度)で、走行性能を主に試作機のテストを行った。両方の斜面とも、上下方向、等高線方向ともに問題なく走行できた。しかし、緩斜面でのその場旋回は問題なかったものの、急斜面でのその場旋回では、旋回中に下方へずれが発生した。また、斜面をクローラが荒らすなどの問題も発生した。

そのため今後の改良機では、小型軽量化を図り接地面圧を低下させるとともに、走行用電池の交換機能、草刈用エンジンの遠隔発停機能などを盛り込み、より実用性の高いものにする予定である。また、改良機では実際の集落の圃場での草刈試験を行い、エンドユーザの意見を取り入れたい。

並行して自動運転機能についても開発中である。対象斜面の各角に設置した専用デバイスとロボットが通信することにより、対象斜面の位置やロボットの現在位置を検出する。対象斜面の形に応じた経路を自動生成し、その中を自動走行するシステムについても、実証試験を行う予定である。

今年度は、6項で示した平成23年度の試作機を改良中である。軽量化をはかり、クローラの面圧を下げ、法面に対する負荷を下げ、走行性能を向上させる。また、電池を簡単に交換できるようにし、長時間の使用に対応できるようにする。草刈用エンジンの遠隔起動・停止機能などを盛り込み、より実用化に近いものに改良する。

次年度以降には、実際の中山間地の集落を対象にして、GISを利用して作業計画を行い、試作ロボットによる除草を行うことにより、運用実証試験を行うとともに、管理体系の構築と評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 伏見昭秀・大谷一郎, 畦畔造成時のシバ (*Zoysia japonica* Steud.)被度の拡大に影響する発生草種の解明, 日本草地学会誌 56 (2), 126-130, (2010)
- 2) 伏見昭秀・大谷一郎, 造成初期のシバの被度拡大に及ぼす目土に含まれる雑草種子の影響, 雑草研究 56 (別) 87, (2011)
- 3) 伏見昭秀, 中山間農地の畦畔管理におけるシバ (*Zoysia japonica* Steud.)の導入, 芝草研究 40 (別) 94, (2011)