

3次元カメラを用いた自動草刈りのための3次元計測

3D Measurement for Auto Brush-Cutting Using A Stereo Depth Camera

○藤岡与周

○Yoshichika Fujioka

八戸工業大学

Hachinohe Institute of Technology

キーワード：草刈 (Brush-Cutting), 芝刈機(Lawn Mower), 3次元カメラ(Stereo Depth Camera), ポイントクラウド(point cloud), ロボット軌道制御(Trajectory Control of Robots)

連絡先：〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1

八戸工業大学工学部システム情報工学科 藤岡与周

TEL: 0178-25-8063 FAX: 0178-25-1691 E-mail: fujioka@hi-tech.ac.jp

1. まえがき

遊休地や休耕地をはじめとする草刈作業は、除草剤の使用が制限される場合には刈り払い機を用いた人力作業や、自走式草刈機およびトラクタに取り付けられた除草装置などで行われる。広くて平坦な場所であれば、大型機械による効率的な草刈作業が可能であるが、畦道を始め狭い場所や土地の起伏の大きい場所では小型機械を用いた人力作業が必要となる。

そこで、図1に示すようなラジコン操作の小型草刈りロボット[1]-[5]を利用することにより、人力作業の大幅な労力および危険性の軽減が可能である。この小型草刈りロボットの制御を自動化することができれば、ラジコン操作に必要な時間を別の作業に使うことができるようになり生産性の向上が期待される。本研



図1 試作したラジコン草刈機

究では、これまでのラジコン操作による草刈り作業の経験を基に、3次元カメラを用いて自動草刈走行制御を可能とすることを目的としている。

2. 小型草刈りロボットの自動走行

自動的に芝刈りを行う方法として、図2に示すようにランダム走行による方法が実用化されている。この方法は、芝刈り範囲の境界に弱い電磁波を放出するワイヤを地中に埋設し、ロボットがこのワイヤからの電磁波を検出すると方向転換をすることにより、最終的にすべての範囲の芝刈りを行うものである。ランダム走行のため、頻繁に芝刈りする部分とそうでない部分とが発生しやすいが、ロボットにGPS(Global Positioning System)等による位置検出機能を設け、あまり芝刈りをしていない領域に向けて方向転換をするようにするなどし、芝刈りのムラを低減するなど改良されている。このような自動芝刈りロボットは、自動充電機能と併せて頻繁な芝刈りを繰り返してあまり芝が伸びないうちに芝刈りをするることにより、刈刃にかかる負荷が小さいという特徴がある。このため、芝生内のどこを走行しても十分に芝を刈ることが容易である。

また、予め走行軌道を決定して芝刈りや草刈りを行う方法として、図3に示すようにGPS等のGNSS(Global Navigation Satellite System)を利用する方法がある。特に、RTK-GNSS(Real-Time Kinematic GNSS)を利用するとセンチメートル級の測位精度を得ることができるため、ジャイロセンサや加速度センサなどを用いた慣性航法装置INS(Inertial Navigation System)と組み合わせて高精度な草刈り走行軌道制御が可能である。繁茂する雑草を刈ることのできる十分な能力を備えている場合には、このように予め走行軌道を決定しておき、これに沿って草刈りを行うことが容易である。ただし、果樹園など樹木の下や山岳地帯での谷底などのような場所や近くに高い建造物がある場所などで、GNSS衛星からの電波受信状況が悪い場合には、この方法を利用することが困難となる。

ある程度伸びた雑草を、小型草刈りロボット

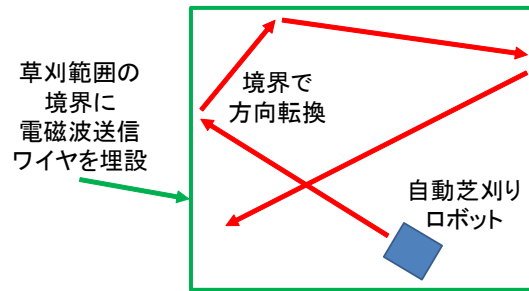


図2 ランダム走行による自動草刈り

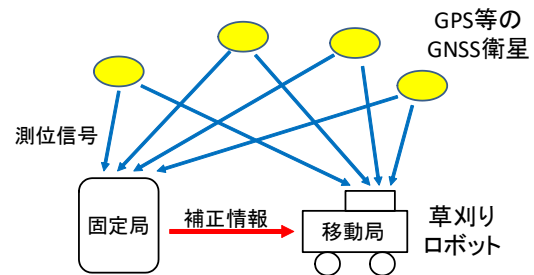


図3 GNSSによる高精度自動走行

を用いて草刈りする場合には、刈刃を回転させるための小型エンジンの能力よりも草刈負荷の方が大きくなりエンストを起こすことに注意する必要がある。エンストを起こす主な原因は、これまでの経験上以下が挙げられる。

- ・刈草の詰まり（過負荷）
- ・刈草の絡み付き（過負荷）
- ・刈草許容量超過（過負荷）
- ・地面凸部への刈刃接触（過負荷）（土・石・枝・根）

小型エンジン式の草刈り機では、エンストすると、スターターで再始動できる場合もあるが、図4と図5に示すような刈草の詰まりや絡み付きの除去作業など、人間の作業を必要とする場合も多い。そこで、エンストを起こさないため、草刈ロボットの構造上の工夫とともに、草刈負荷に応じた経路決定が重要となる。刈刃が上から見て右回りに水平に回転する構造の草刈ロボットの場合には、図6に示すように刈草はロボットの進行方向右側から排出される。よって、進行方向右側がすでに草刈り済みとなるように走行軌道を定めてこの刈草排出をスムーズにおこなうことにより、刈草の詰まりや絡



図4 刈草の絡み付きの例



詰まり(ペースト状)
(除去が望ましい) 詰まり
(要除去)

図5 刈草の詰まりの例

み付きの可能性を下げるができる。さらに、雑草の高さや密度に応じて走行速度を調整するなどすることにより、できるだけエンジンが過負荷にならないように工夫できる。

このような走行軌道の例として、図7に示すように草刈り範囲の中心部から右回りで外側に向けて草刈り走行軌道を決めることができる。この方法は、中心部に全方向カメラを備えることにより、草刈りの状況をモニタするにも都合がよい。別の方法としては、草刈り範囲の外周部から左回りで内側に向かって草刈りを進める方法もあるが、草刈り範囲外への刈草の飛散対策やコーナー部への複数台のモニタカメラ設置など、少し使いにくい側面がある。いずれの場合も、すでに草刈りが済んでいる範囲



図6 刈草の排出性向上

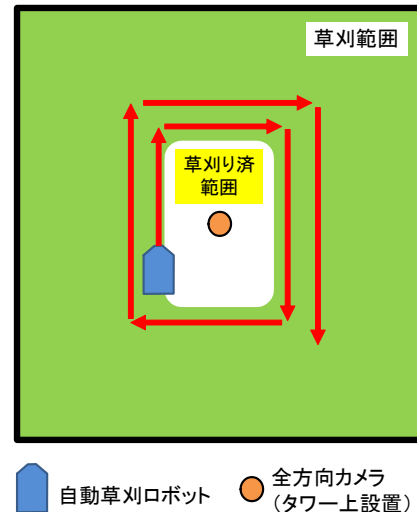


図7 高負荷での短時間草刈り軌道の例



図8 使用した3次元カメラ

Intel RealSense Depth Camera D435

とこれから草刈りを行う範囲の境界部分に沿って草刈りロボットを走行させる必要がある。ラジコン操作式の草刈りロボットでは操縦者が目視によりこの境界に沿って草刈りロボットを走行させることができるが、これを自動化するためには草刈り済範囲の境界を何らかの

センサにより検出する必要がある。

3. 3次元カメラによる草刈り済境界の検出

草刈り済範囲の境界を自動的に検出するため、図8に示す3次元カメラ(Intel RealSense Depth Camera D435)を用いて草刈り済範囲の境界を検出することができるか実験を行った。この3次元カメラは、赤外線ステレオカメラにより奥行きを測定するとともに、ドットパターン照射により対応点探索を容易としている。また、3次元計測はグローバルシャッターで行われるため、動きのある状況でも比較的誤差が少ない計測が見込まれる。さらに、RGBカメラも備えられており、計測された3次元情報に色付けを行うことも可能である。

この3次元カメラと以下のノートPCおよびソフトウェアを用いて、雑草の3次元計測実験を行った。

ノート PC

HP ProBook 650 HG

CPU: Intel Core i7-8565U

RAM: 16.0 GB

OS: Windows 10 Home

I/F: USB 3

3次元計測アプリ

Intel RealSense Viewer (v.2.45.0)

後解析アプリ

MeshLab (2021.05)

そこでまず、図9に示すように、手前側が草刈り済みで奥側に雑草が生えている状況での3次元計測実験を行った。RealSense Viewerで計測し保存したデータをMeshLabにて表示した結果を図10から図12に示す。図10(a)の正面図に示すように、大きな情報の欠落もなくカメラ付近の3次元測定ができているとともに、RGBカメラからのカラー情報も反映されている。また、図10(b)の斜めからの図及び図11の横からの断面図に示すように、手前の地面の低い部分と奥の雑草の高い部分とが十

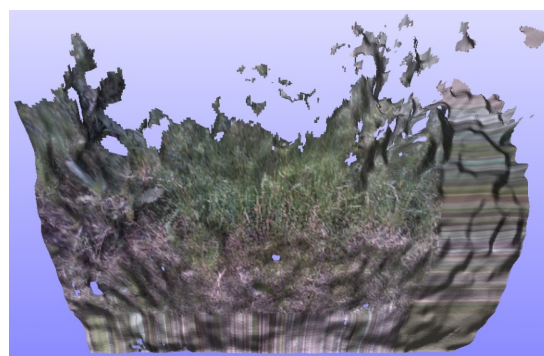


(a) 70cm～120cm 程度の草丈

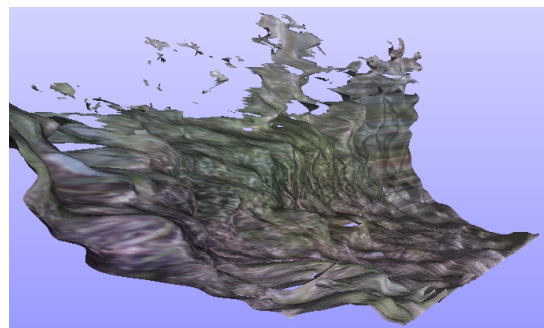


(b) 撮影方法（見下ろす姿勢）

図9 手前側が草刈り済の状況



(a) 正面図 (MeshLab)



(b) 斜め上からの図 (MeshLab で回転)

図10 手前側が草刈り済の計測結果

分区分別できる結果が得られた。図12に示すように、地面が水平になるようにした正面図では、

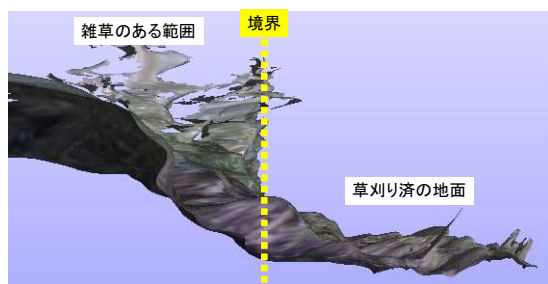


図 1 1 手前側が草刈り済の計測による
草刈り済領域の境界検出結果
(横からの断面図 (MeshLab で回転))

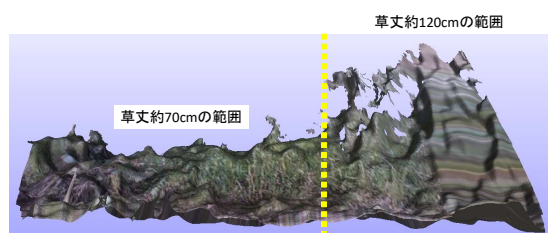


図 1 2 手前側が草刈り済の計測による
雑草の高さの検出結果
(正面図 (水平) (MeshLab で回転))

左側の低い雑草と右側の高い雑草の区別も概ね可能であることが分かった。今回の実験では図 9 (b)に示すようにカメラを斜め下向きに向けて撮影しているが、MeshLab を用いなくても、得られた 3 次元情報を適切に回転処理することにより上記の判定を自動的に行うことが容易と考えられる。

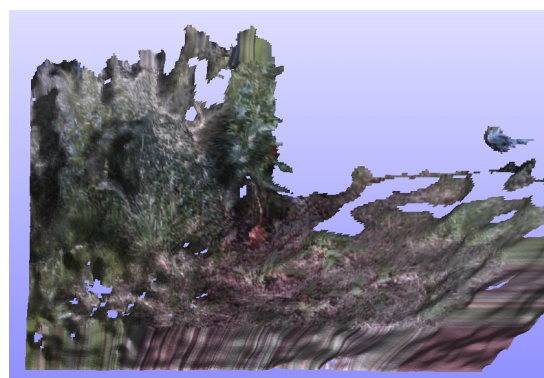
次に、草刈りロボットに 3 次元カメラを搭載することを想定して、手前側と右側が草刈り済の状況で雑草を撮影した状況とその結果を図 13 に示す。かくれにより奥の方の雑草は測定されないが、手前は概ね測定できている。また、約 150cm の雑草の上部はカメラの撮影範囲に入らずフレームアウトしている。MeshLab により地面が水平になるように回転した結果、図 14 に示すように左側のこれから草刈りをする必要がある部分と右側のすでに草刈りが済んでいる範囲とを明確に判別することができた。

以上の結果、図 15 に示すように 3 次元カメラを草刈りロボットに搭載するとともに、草刈



左側:150cm程度の草丈 右側:草刈り済

(a) 雑草の状況



(b) 正面図 (MeshLab)

図 1 3 手前と右側が草刈り済の場合

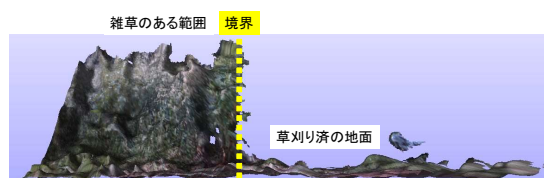


図 1 4 手前と右側が草刈り済の計測
による草刈り済領域の境界検出結果
(正面図 (水平) (MeshLab で回転))

ロボットの前方部分も同時に撮影することにより、地面レベルの検出と草刈り済範囲の境界検出が容易と考えられる。また、地面レベルからの高さが高いと同時にその部分が雑草の色である場合には、草刈り対象と決定できる。このように、草刈りロボット上からの 3 次元計測により、草刈り済み境界を検出しながらの自動草刈が容易と考えられる。

4. むすび

3 次元カメラにより、草刈り済みの範囲とこ

3次元カメラ



図 1.5 3次元カメラ搭載
自動草刈ロボット

れから草刈りを行う範囲の境界を容易に計測できることを明らかにした。この境界情報を基に、草刈り範囲の中心部から右回り（刈刃が右回転の場合）に境界に沿って自動的に草刈を実行できる見通しが得られた。

小型エンジンを用いた草刈ロボットでは、草丈が高い場合や草丈が低くても密集している場合には、過負荷になりエンストが発生しやすい。草丈については3次元カメラで測定できるため、この情報を基に草刈りロボットの移動速度を落としたり、あるいは草刈り幅を減らすなどの対策が考えられる。

参考文献

- [1] 藤岡: “自動草刈ロボットシステムの構成”, 計測自動制御学会東北支部第 302 回研究集会資料, 302-8, (2016.6)
- [2] 藤岡: “エンジン負荷に応じた草刈ロボットの動作計画”, 計測自動制御学会東北支部第 309 回研究集会資料, 309-4, (2017.6)
- [3] 藤岡, 松山: “Visual SLAM を用いた山林における草刈ロボットの動作計画”, 情報処理学会東北支部研究報告, vol.2017, (2017.12)
- [4] 藤岡: “遠隔操作草刈ロボットのカメラ配置”, 計測自動制御学会東北支部第 316 回研究集会資料, 316-8, (2018.6)
- [5] 藤岡: “斜面草刈のための遠隔操作ロボットの構成”, 計測自動制御学会東北支部第 323 回研究集会資料, 323-2, (2019.6)