

遠隔操作草刈ロボットのカメラ配置

Camera Arrangement for Remote Control Brush-Cutting Robots

○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), 知能ロボット (Intelligent Robot), 芝刈機(Lawn Mower), 360 度カメラ (Panoramic 360 camera), 刈草の詰まり (Grass Clippings Clogging)

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。近年は高齢化や過疎化のため草刈作業を行う人材が不足しており、また重労働で危険を伴う作業のため事故も多い。

そこで、芝刈りや低い雑草の草刈には、ロボットやラジコン芝刈機が開発され利用されている[1]-[14]。これにより肉体的な労力が大幅に緩和され、安全性も向上する。さらに草刈に要する時間を他のことに使えるようにするこ



図1 試作したラジコン草刈機

とを目指し、背の高い雑草や密集した雑草も含む草刈作業を自動的に行うためのロボットシステムの構成を提案している[15]-[17]。図1と表1に、芝刈り機と電動車いすを組み合わせで試作したラジコン草刈機の構成と諸元を示す。

表1 試作ラジコン草刈機の主な諸元

縦	153cm
横	70cm
高さ	68cm
重量	82.5kg
走行用バッテリー	鉛シリコンバッテリー 12V 20AH x 2 (24V)
前輪	自在キャスター
後輪	各 180W 電動モータで駆動
刈幅	460mm
草刈り用エンジン	4st 149cc 3.5HP
送信機	Spektrum DX5e 2.4GHz 帯
モータドライバ	Sabertooth 2X25 V2
芝刈機	ミナト電機工業 LMC-460KS
電動車いす	カワムラサイクル KE12

2. 小型草刈りロボットの自動化度

小型草刈りロボットの自動化の度合いは、(1) 完全自動化、(2) 一部自動化+遠隔操作(長距離・目視外)、(3) 遠隔操作(長距離・目視外)、(4) 目視による遠隔操作(近距離)、(5) 手押しによる除草、に大きく分けられる。小型草刈りロボットをはじめから完全に自動化できるのであれば、操作者は別の作業を並行して行うことができるため、例えば農作業の効率向上につながる。逆に、完全自動化でない場合、たとえば農業従事者としては、遠隔操作により作業の労力が低減することになったとしても、現在でも乗用草刈機でも同様の効果があるため、劇的な改善にはつながらないという声も聞かれる。また、完全自動化に伴う安全対策について不安視する声もある。実際に、LSD-SLAMを用いて単眼カメラによる3次元測定実験を行ったところ[17]、条件次第ではあ

るものの計測誤差が非常に大きい場合もあり、まだ改良が必要であると考えられる。

そこで、現状は安全面や実用面などの観点から、(4) 目視によるラジコン操作での草刈作業が実用化されている。この場合、電波の届く範囲は理想的には 100m 以上であるにもかかわらず、実際に作業をしてみると数十 m も離れてしまうと草刈り作業の様子がよく見えず、結局草刈ロボットの近くを歩きながらラジコン操作をおこなうことが多い。(5) 草刈り機を押して歩くよりは労力は大幅に減るものの、地形の起伏が大きい場合や、斜面での草刈り作業ではロボットとともに歩くだけでも多くの体力を要する。

そこで、本研究では、カメラやネットワーク技術を積極的に利用して、仮に建物や樹木や丘陵などにより直接目視できない、いわゆる(3) 目視外の場合であっても、安全で快適な場所から遠隔操作により草刈りロボットを操作するための方法について検討している。これにより、(2) や (1) において何らかの障害が発生した場合でも、迅速に対応可能となる。

まず、自動化するにあたって、草刈り作業において刈刃を駆動するエンジンが過負荷によりエンストしてしまうことをできるだけ避ける必要がある。このエンストが発生すると、詰まった刈草の人手による除去が必要になることが多い。このため、遠隔操作や自動運転を行っていても、エンストが発生すると作業を中断して操作者がこの対応に当たらなければならなくなる。また、エンスト時にプラグ被りを伴う場合、この解消までの待ち時間が発生する。この間はエンジンを始動しようとしてもなかなかかからない。リコイルスタータ方式ではエンジンの再始動を人力で行う必要があるため、セルモータを備えて電動でエンジンの再始動を行えることが望ましい。

エンジンの過負荷の主な原因は、(A)刈草の詰まり、(B)刈草の刈刃駆動軸への巻き付き、

(C)刈草許容量超過、(D) 地面凸部への刈刃接触が挙げられる[16]。このうち、(A) の対策として、芝刈り機の側部をすべて撤去し、刈草の通過する空間を拡張している。また (C) については、草刈機の処理能力を上回らないように走行速度を調節することで改善している。(B) については、市販されている草刈機において図 2 に示すように刈刃駆動軸の周りを円筒で囲むことにより改善している事例[18]があることを参考にして、既設のベルトカバーと刈刃間の 2 cm の隙間を埋めるため、1.5cm 幅のカバーを追加し、主軸への巻付きを抑制した。この結果、繊維質の強いイネ科等の雑草も巻付きが大幅に減少した。



図 2 米国 DR Power Equipment 製モアの構造



図 3 巻付防止カバーの追加

(D)については、刈刃の昇降機構などにより対応する必要があると考えられるが、今後の改善項目の一つである。

3. カメラを用いた操作性の改善

まず、カメラを用いないで、できるだけ操作者が移動せずに草刈りを行う草刈起動の例を図 4 に示す。

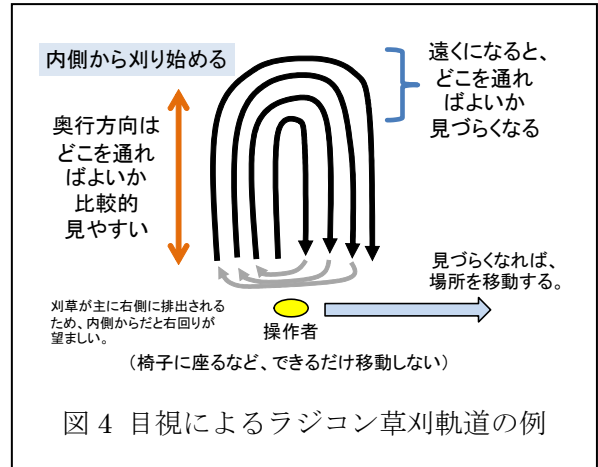


図 4 目視によるラジコン草刈軌道の例

椅子に座った場合の見え方



2mの脚立上に座った場合の見え方



図 5 高所からの操作

このような草刈軌道の場合、奥行き方向は草を刈るべき部分と草刈りロボットとの相対位置が比較的に見やすく、操作が容易である。一方、奥側で方向転換をする部分は、遠くなるほど距離感がわかりにくくなり、本来の軌道の手前や奥にずれやすい。このように見えにくくなると、操作者は場所を変えて再び動揺の草刈り作業をする。

この操作者の移動をできるだけ少なくするための方法として、図 5 に示すように高い場所

から操作する方法や、望遠鏡を利用する方法が挙げられる。図 5 に示すように、2m の脚立の上に座って高いところから操作するほうが、奥行き感をより容易に得ることができるため、より広い範囲の草刈り作業を操作者が移動せずに行うことができる。しかし、強風が吹くなどした場合は転落の恐れがあることや、また移動の際に脚立を運ばなくてはならないため、状況によってはかえって不便なことになる。

倍率 10 倍、口径 32 mm の望遠鏡をのぞきながらのラジコン操作を行ったところ、草刈機は十分拡大されてみることはできたが、手振れがひどく、慎重な作業が必要となり、疲労が増える気がした。口径 50 mm の望遠鏡ではより視界が広く見えるため多少の手振れは気にならないが、望遠鏡が重く、手で持ち続けるには疲れるようであった。

このように、高いところからの視点による操作や、あるいは草刈機の周辺を拡大してみながら作業すること自体は草刈の操作をより容易にすることができる。このため、草刈機にカメラを載せてカメラ画像を見ながら操作する実験を図 6 と図 7 に示す構成で行った。

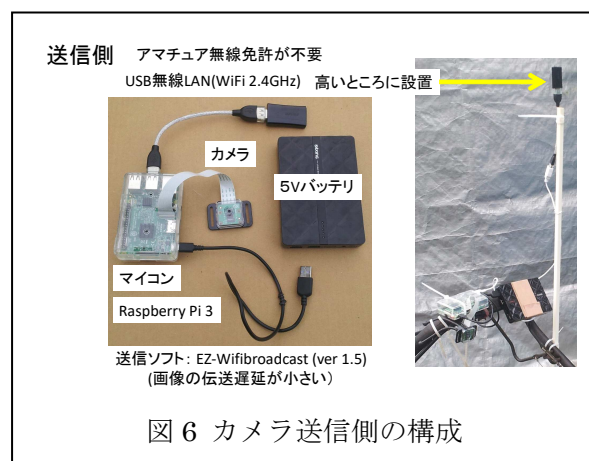


図 6 カメラ送信側の構成



図 7 カメラ受信側の構成

受信側は、通常の液晶モニターを用いて屋外で画像を見るには輝度が不足して見えないため、ヘッドマウントディスプレイで外光を防いで受信画像を見ることとした。なお、画像伝送ソフトウェアには、ドローンの一人称視点操作 (FPV) 用に、特に画像伝送時間の短縮を目的として、無線 LAN のパケット転送における誤り訂正やパケット損失を無視してとにかく新しい画像データを送り続ける考え方のソフトウェアである EZ WifiBroadcast を利用している。

図 6 と図 7 の組み合わせによる画像伝送実験では低遅延で良好な画像伝送を行うことができた。しかし、ラジコン送信機もこの Wifi と同じ 2.4GHz 帯を利用しているため、ラジコン送信機の電源を入れると画像が大幅に乱れることがあった。ラジコン送信機の電波送信規格のなかでも、DSM2 と呼ばれる方法は電波の利用帯域が狭いため、比較的良好な画像受診ができたが、その後継の DSMX など 2.4GHz 帯のほぼすべてを利用する方式の送信機では画像の受診が著しく難しくなった。また、実際に草刈りロボットにカメラを載せてラジコン操作をカメラ画像のみをみて行ったところ、小屋の裏側に少し回り込むところまでは画像を受信できたが、その先に進んだところで画像が途絶えた。さらに、草刈りロボットの振動によるぶれた画像のみを見ながらの操作は、車酔いに似た気分の悪い状況になった。見える範囲も、草刈機の前方の一部であり、刈草がつまらないようにすることには有用であるが、このカメラだけでは視界が十分ではない。

4. 360 度天球カメラの利用

近年、2つの魚眼カメラを背中合わせに配置して 360 度すべての方向の画像を撮影可能な天球カメラデバイスが容易に利用可能になってきた。そこで、表 2 に示す仕様の 360 度カメラを準備し、草刈ロボットに取り付けて実験を行った。

表 2 360 度カメラシステムの主な仕様

カメラ	EYEBALL-C4-BK
ソリューション	VIA M3118
センサー	PS5630
レンズ	220 度スーパーワイドアングル 魚眼レンズ x2
ビューアングル	デュアルレンズ 360 度
ビデオ解像度 (録画)	2048x1024/1920x960
本体サイズ	41mm x 41mm x 42mm
重さ	36g
対応 OS	Android 4.4 以上
アプリケーション	Ez Pano
Android タブレット	NEC Lavie Tab PC-TE510BAL
プロセッサ	MT8165 1.70GHz (4 コア)
メモリ	2GB (LPDDR3)
ストレージ	約 16GB
プラットフォーム	Android 5.01

360 度カメラと Android タブレットの草刈りロボットへの取り付け状態を図 8 に示す。魚眼レンズを利用しているため、カメラの取り付け位置を低くすることが容易である。このシステムではリアルタイムでカメラ画像を見なが

らの遠隔操作はできないため、撮影結果を Android タブレット内に保存し、後で内容を確認することとした。

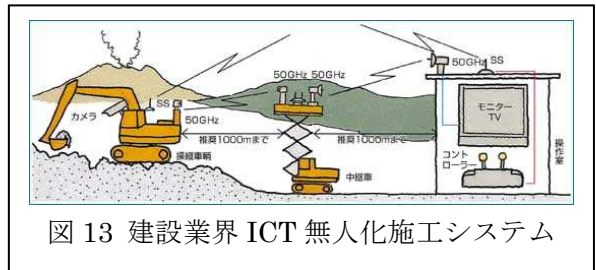
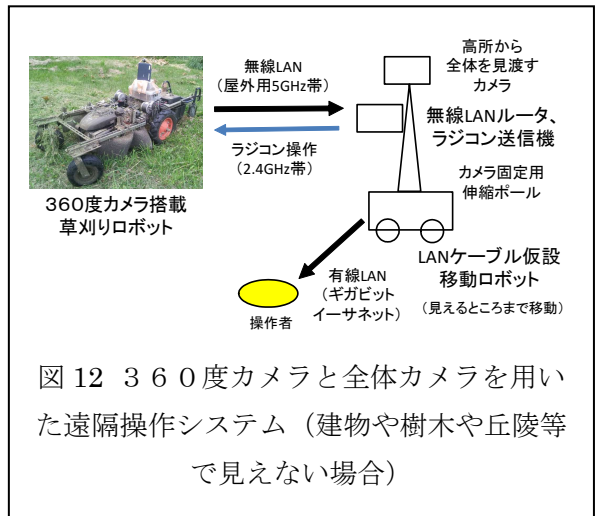
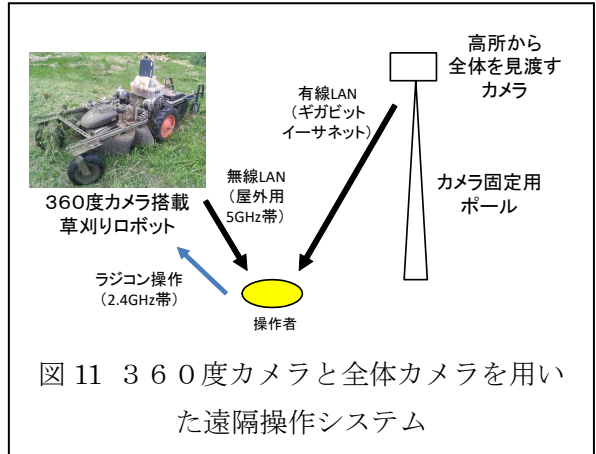


図 8 360 度カメラの取り付け状態

撮影した結果を、Windows Media Player または専用の再生ソフトである VPai を用いて再生すると、図 9 に示すように動画再生中でも見たい方向を自由にマウスで選ぶことができる。画質が多少荒く感じるのは、2つの魚眼カメラから得られた画像を図 10 に示すようなパノラマ画像 (1920 x 960 画素) に変換したものを、さらに変換してその一部を表示しているからと考えられる。

今回の実験では、カメラ撮影から Android タブレット画面への表示までの遅延時間が、平均 2.3 秒 (最小 1.7 秒、最大 2.8 秒、12 回計測) であり、このままネットワークで伝送して遠隔操作を行うことは困難なほど大きい遅延時間となった。このため、遅延時間を大幅に減少できる高性能プロセッサによるが必要と考えられる。また、パノラマ画像の一部を切り出して表示するため、元のパノラマ画像の解像度をよ

り高精細なものとする必要がある場合には、動画の伝送に高速ネットワークが必要となる。



以上の結果、見通しが良く電波の届く範囲での草刈り作業には、図 11 に示すように、ロボット周辺の状況を撮影するための 360 度カメラと、作業エリア全体の様子を撮影する全体カ

メラからなる 2 系統のカメラを用いた遠隔操作システムが有用であると考えられる。ここで、草刈りロボットからのカメラ画像は屋外用 5 GHz 帯無線 LAN を利用することにより、ラジコン送信機で使用する 2.4GHz 帯との懇親を避けることができる。高所から全体を撮影するカメラ画像は特に移動しないため、通信遅延やデータ転送の確実性に優れる有線 LAN の利用が望ましいと考えられる。

また、草刈りロボットが建物や樹木や丘陵などで見えなくなり、電波も直接届かない状況に対しては、図 12 に示すように有線 LAN ケーブル仮設ロボットを備えたシステム構成が有用であると考えられる。これにより、原理的にはどこからでも草刈ロボットの遠隔操作を容易に行うことが可能となる。

参考までに、建設業界ではすでに図 13 に示すような重機の無線による遠隔操作システムが実用化されている[19]。基本的に 50GHz など高い周波数での無線伝送を行っているため、見通しの悪い場所では中継を何段にも重ねないと通信が困難と考えられる。本研究では、大規模な建設事業ではなく、身近な草刈りを主な対象としているため、有線 LAN ケーブルの仮設と、草刈りロボット周辺の無線伝送の組み合わせを採用している。この結果、例えば森林の下草刈りなど、樹木が密集しかつ地形が複雑な場所においても、斜面を効果的に移動できる機構を草刈りロボットに備えることにより応用が容易と考えられる。

5. むすび

直接見えない場所の草刈りを遠隔操作で行うため、360度カメラを備えた草刈ロボットと、高所撮影可能 LAN ケーブル仮設移動ロボットからなるシステム構成を提案した。また、人手を介さずに草刈りを行うため、刈草の巻付き防止カバーを備えた結果、効果が得られた。

今後の課題として、今回使用した 360度カメラは遅延時間が大きく、遠隔操作のためには高性能プロセッサの開発が重要となる。また、ラジコンによる操作では電波状態の悪化などによるノーコントロール状態が発生する可能性があるため、フェイルセーフの仕組みの考案が実用化において重要となる。すでに農業 ICT 関連分野では、農業ロボットに関する法的扱いの検討がなされている。さらに、地面の凹凸などによる草刈り機のエンスト防止し、人手を介さずに草刈りを行うため、刈刃の昇降機構などの工夫が必要となる。これにより、草刈ロボットのエンストが基本的に発生せず、主にどのようにロボットを動かすか、知的な機能の実装に軸足を移すことが容易となる。

参考文献

- [1]<http://www.evatech.net/PRODUCT.php?ID=5> 等
- [2]<http://www.instructables.com/id/Arduino-RC-Lawnmower/> 等
- [3] 長崎, 中元: “中山間の急傾斜法面の草刈作業を楽にする 小型除草ロボットの開発”, http://agri-renkei.jp/news/docs/20141205seminar_nagasaki.pdf
- [4]<http://www.husqvarna.com/us/products/robotic-lawn-mowers/> 等
- [5]http://qzss.go.jp/usage/userreport/hokkaido_150625.html 等
- [6]https://www.fhi.co.jp/news/01_7_9/01_07_11.htm
- [7] <http://ardupilot.org/rover/index.html> 等
- [8] <http://www.rtklib.com/>
- [9]<http://sky.geocities.jp/oumeastro/amaradio.html> 等
- [10]<http://www.sasaki-corp.co.jp/smamo/index.html>
- [11]<http://briggsandstratton.co.jp/press/2019.html>
- [12] <http://taniguchi-shokai.com/agria-9600/>
- [13]<http://www.canycom.jp/products/2015/10/17/cg670/>
- [14]<http://www.shop2000.com.tw/XLK/product/p29177662>
- [15] 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)
- [16] 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)
- [17] 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)
- [18]<https://www.youtube.com/watch?v=vigH Vj40dO4>

- [19]<http://www.nishio-rent.co.jp/ict/02/index.html>