

エンジン負荷に応じた草刈ロボットの動作計画

Motion Planning of a Brush-Cutting Robot According to Its Engine Load

○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), ノッキング (Engine Knocking), 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]-[9]。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



図1 試作したラジコン草刈機

する時間を他のことに使えるようにすることを目指し、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[10]。図1と表1に、芝刈り機と電動車いすを組み合わせて試作し

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 電動モーターで駆動
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課題

小型芝刈り機をベースとした草刈りロボットは、例えばワゴン車やミニバン車に積載したり、あるいは適切な牽引装置を備えることにより、原付バイクや自転車等でのけん引も可能であることから、大型草刈りロボットと異なり移動が容易であるという特長を有する。

しかし、草刈り用エンジンの出力が大きくないため、繁茂する雑草の草刈りでは頻繁にエンストが発生し、そのたびに人手による復旧作業やエンジンのかけなおしなどが必要となりやすい問題がある。

草刈り作業においてエンストが発生する主な要因を、実際に人手により歩行型自走式小型芝刈り機を用いて草刈りを繰り返しながら考察した結果、主に以下の原因が挙げられる。

- 刈草の詰まり (過負荷)
- 刈草の巻き付き (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)

単に障害物に刈刃が衝突してエンジンが停止したのであれば、その障害物から離れるなどして除去したのち、エンジンスタータで遠隔操作や自動復旧プログラム等によりエンジンの再始動が可能である。しかし、草刈り能力の過負荷によるエンストでは、図2に示すように刈草の刈刃への巻き付きや、刈草が排出されるべき場所への詰まりが伴うことが多い。これらは刈刃の回転抵抗を大幅に増加させるため、エンジン再始動のためにはこれらを人手により除去する必要がある。



図2 巻き付きや詰まり

そこで、本稿では機構的に巻き付きや詰まりが起こりにくくエンストしにくい草刈機構造を採用するとともに、エンジンの負荷に応じて草刈機の走行速度やパターンおよび刈刃高さなどの動作計画法について提案している。これにより、小型草刈ロボットでありながらエンストしにくく長時間連続する自動運転を可能としている。

3. エンストしにくい草刈機構造

芝刈り機による草刈りを繰り返した結果、可能な限り刈られた草を速やかに草刈機の外へ排出することが最も重要であることに気が付

いた。また、地面に近い雑草の根本付近は密集度の高い場合があり、いきなり低い位置で草刈りするよりも、一度十分高い位置で草刈りしたのち、低い部分を草刈りするほうがエンジンへの負荷が小さい。



図3 芝刈り機の前部・左右側部除去

以上より、図3に示すようにまず芝刈り機の前部と左右側面の鉄板を除去し、刈草が容易に排出されるようにしている。これにより、もともと備えられていた前輪も除去されるため、新たに前輪を2個備えている。市販の草刈機では前輪が1輪のものも多いが、傾斜地を横切の場合などの安定性を考慮し、2輪構成としている。ただし、刈刃は上からみて右回転するため、刈草が主に吹き飛ばされる領域をふさがないように、右前輪と芝刈り機前部の間隔を十分とる必要がある。さらに、もともと後方からの刈草排出も可能な構造であるため、この部分も開放している。図3のように刈草排出が容易な構造の草刈機として、例えばドイツ AS Motor 社製の Brush Cutter 等が挙げられる[11][12]。

刈刃には、通常芝刈り機に備えられている、雑草の切断と排出機能を有するバーナイフの代わりに、図4に示す Gator mulching blade を備えている。ギザギザの刃形状により、切断と排出に加えて刈草を粉碎する能力が高い。これらの構造により草刈り続けると、粉碎された刈草が草刈機のあちこちに堆積する。図5に示すようにエンジンの吸気口や冷却ファンの空気取り入れ口もふさぐため、人手による定期的な除去が必要である。例えば AS Motor 社の

製品には刈草飛散防止カバーを備えており、同様のカバーを備えることが望ましい。



図4 Gator mulching blade



図5 飛散した粉碎刈草の堆積

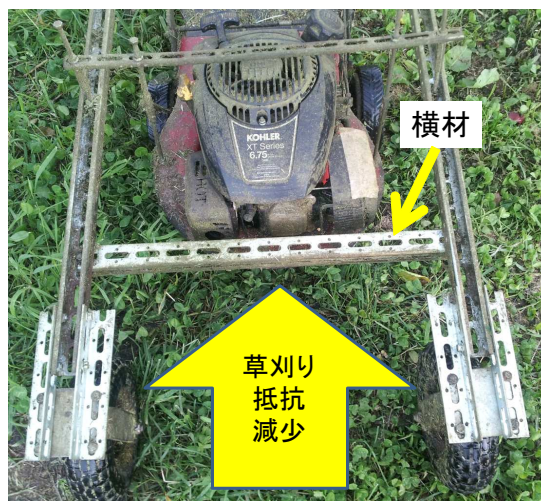


図6 前輪部分の構造

2個の前輪部分の構造は、図6に示すように前輪間を渡る横方向の部材をできるだけ芝刈り機側に備えるようにしている。これにより、密集する高い雑草も少ない走行抵抗で刈ることが容易となる



図7 右側面部分の構造

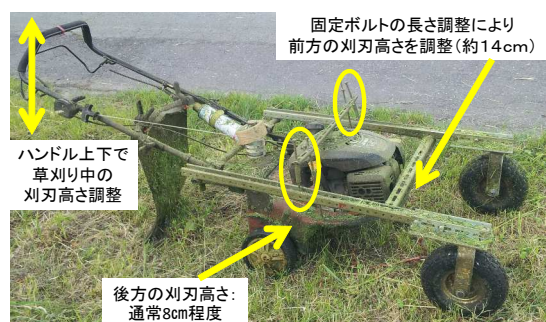


図8 刈刃高さの調整



図9 140 cm程度のイネ科雑草草刈り

低い雑草はほとんどが粉碎されて主に右側面から横に吹き飛ばされて排出される。しかし、高い雑草や粉碎されにくい硬い茎の雑草は切断後右側面に倒れて排出される。これをスムーズに行うために、図7に示すように右前輪と右側面の間隔を十分にとることが望ましい。図7では約10 cm程度の間隔をあけている。

背の高い雑草も容易に刈るため、刈刃の地上高を図8に示すように、前輪と芝刈り機を固定するボルト長を調整することにより、刈刃前端

で14 cmとしている。ただし、芝刈り機の後輪をそのまま利用しているため、刈刃の後端高さは約8 cmとなっている。この結果、エンジンが後ろに傾き、刈刃は前方から後方にかけているところで雑草を切断することになり、草刈の抵抗が大きい。本来であれば、刈刃は前端と後端で高さが等しい水平状態か、あるいは若干後端が高いほうが望ましいと考えられる。草刈り中に刈刃高さをを変えるには、操作者が後ろに伸びたハンドルを上下する必要がある。

ここで、前輪は直径26 cmの空気入りタイヤであり、地面の凹凸が大きい場合はこの直径が大きいほど走行抵抗が減少する。後輪はもともと芝刈り機に備えられているものを利用して、直径20 cmのプラスチック製である。今回利用した芝刈り機は後輪がエンジンからの動力を得て前進時に回転できる自走機能がある。このため、特に傾斜地を上る際には芝刈り機を押すのが少し容易になる。

図9に140 cm程度と高い、茎が硬いイネ科雑草が密集している場所を草刈りしている様子を示す。右側部分がすでに草刈りを終えたところであり、左側部分はこれから草刈りを行う部分である。できるだけ草刈機の右側はすでに草刈りが終えた場所となるように草刈りコースを定めることにより、刈られた草の右側面方向への排出が容易となる。

なお、燃料はガソリンの代わりに安価な灯油を使用している。始動時にはパーツクリーナーを吸気口に吹き付けて、灯油の始動性の悪さを補っている。ガソリンで動作させても、エンスト自体は発生する。

エンストに気を付けてゆっくり刈ることにより、これまでよりエンストの頻度を大幅に減らすことができた。雑草が密集している場所では、少し進んではやや戻ることを繰り返すことにより、刈られた草の排出をより容易とするようにした。地面が部分的に盛り上がっている部分では刃先が地面に接触してエンストしやす

いが、そのような場合でも速やかにハンドルを持ち上げて刈刃高さを高くし、エンジン負荷をできるだけ速やかに減らすようにすれば、エンストしないで草刈りを継続できることも多かった。しかし、長時間作業を続けていると疲労により注意力が散漫になり、結果としてエンスト発生頻度が増加した。

表2 エンジン音に応じた草刈動作

カタカタ音	動作
なし	走行速度増加
鳴り始め	走行速度減少
増大	少し進んで停止を繰り返す 少し進んでやや後退を繰り返す (刈草排出を促す)
エンスト直前	速やかに少し後退 刈刃高さを速やかに上昇 (エンジン負荷を速やかに減少) エンジン回転が安定するまで待機



図10 走りながらの草刈り結果

4. エンジン負荷に応じた草刈り動作

エンストしないように草刈りを行うためには、エンジン負荷の様子を知る必要がある。図9の草刈り作業時には、主にエンジン音の様子からエンジン負荷を判断している。エンジン負荷が増大すると、エンジンからカタカタと音が

発生し、これが強くなるとエンストにつながる経験上わかった。この音を本稿ではカタカタ音と呼ぶことにする。この音の発生原因として、例えばノッキングの発生などが考えられるが、どのような原因かは不明である。

エンジン音に応じた草刈動作をまとめたものを表2に示す。この表に従って注意深く作業をすることにより、人手による草刈りでもエンストの発生頻度は大幅に減少できる。エンジン負荷の低減には、このほかに草刈機の刈幅全体を利用せず、その一部だけで少しずつ草刈を行う方法もある。この場合でも、表2の方法に従えばエンスト頻度を減らす効果がある。

表2では、カタカタ音が増大してエンジン負荷が大きい場合、少し進んでやや後退する動作を繰り返すことになる。この場合、前輪や後輪が固定輪の方が、細かな動作が容易である。前輪や後輪を自在輪にすれば方向転換が容易になるが、一方でこのような少し進んでやや後退する動作では自在輪の方向転換が間に合わず走行抵抗が増加する可能性がある。

表2に従うと、カタカタ音がしない場合には走行速度を増加できる。そこで、草丈の低い雑草を、走りながら草刈した結果を図10に示す。この図の中ほどの部分が草刈をした部分であり、歩いて草刈した場合とほとんど違いがみられない。すなわち、エンジン負荷が少ない場合は草刈速度を大幅に上げることが可能である。実際、ロータリー型草刈機ユニットをバギーなどでけん引して高速に草刈する事例は多くある。小型草刈り機であっても、操作者の走る最高速度が許す限り、エンジン負荷に応じて高速に草刈を実現可能であるが、人間が走りながら草刈をする作業はとても疲れるため、これはロボット向きの作業といえる。

以上より、図1に示すような自動草刈ロボットに刈草排出性を高める構造と速やかな刈刃高さ調整機構を備えるとともに、表2に基づく動作計画をエンジン負荷に応じてリアルタイム

ムで実施することにより、長時間安定して少ないエンスト頻度で草刈作業を自動的に行うことが可能と考えられる。エンジン負荷を計測するセンサの候補としてノッキングセンサなどが考えられるが、より詳細なエンジン負荷状態の計測が必要となる場合には、ほかにタコメータやクランク角センサなども備える必要があると考えられる。

さらに、低い雑草を高速移動しながら草刈している最中に急に高い雑草が繁茂する場所に到達する場合を考えると、エンジン負荷だけを計測して行動計画を行う場合、エンジン負荷が急激に増加してエンストに結びつく可能性が高い。したがって、たとえばカメラなどにより事前にある程度先までの雑草の状況を計測できるようにし、エンジン負荷が急激に増加するような場合には、事前に速度を落とすなどの行動計画が必要になると考えられる。

5. むすび

狭い場所や必ずしも平坦でない場所の草刈を容易にする自動草刈ロボットについて、エンストの発生しにくい構造を実験的に調査するとともに、場所により異なる草刈負荷に応じた自動草刈ロボットの動作計画法を提案した。この動作計画法は、高い雑草や繁茂する雑草の草刈りなど、高負荷時のエンストが減少し、自動運转向きである。また、雑草があまり伸びる前に2回目以降の草刈を行う場合など、低負荷時の場合には高速草刈が可能となることを明らかにした。

今後の課題として、エンジン高負荷時における少し進んでやや後退するなどが、具体的にどの程度の距離なのかを、実験によるデータ収集と解析で検討するとともに、ロボットに機械学習の機能を持たせ自ら学習し調整できるようにすることなどが挙げられる。

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] 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)
- [11]https://www.youtube.com/watch?v=b-daA_xZXGk
- [12] <https://www.as-motor.de/en/product/as-21-4t-bs/>