

水田除草用ロボットのためのロッド車輪による 土の掘り起こし体積の調査

Investigation of Dug Soil Volume by a Rod Wheel for Weeding Robot in the Paddy Field

○大山 良明 (会津大学), 松本 拓 (会津大学),
中村 啓太 (会津大学), 成瀬 継太郎 (会津大学)

○Yoshiaki Oyama (Univ. of Aizu), Taku Matsumoto (Univ. of Aizu),
Keita Nakamura (Univ. of Aizu), Keitaro Naruse (Univ. of Aizu)

キーワード：ロッド車輪(Rod wheel), 除草ロボット(Weeding robot),
画像処理(Image processing), 掘り起こし体積(Dug soil volume)

連絡先：〒965-8580 福島県会津若松市一箕町鶴賀
会津大学理工学研究科情報システム学専攻 大山 良明
TEL: 0242-37-2600, FAX: 0242-37-2526, E-Mail: m5192121@u-aizu.ac.jp

1. はじめに

我々の研究グループが開発している水田除草ロボットは、複数のロッドを両車輪に持つロボットである。本研究では、この車輪のことをロッド車輪とよぶ。このロボットはロッド車輪を回転させることで、ロッド部分が水田内の土を攪拌し、雑草の種子を浮かび上がらせることで抑草を行う。この車輪は高い推進力が得られることが分かっている[1]が、同時に抑草効果が高すぎるために、同時に欠株の原因となっている。

欠株の直接の原因となっているのはロッド車輪の土を掘り起こし体積が多すぎることである。そこでこのロボットを用いて効果的な抑草を行うためには、掘り起こし体積がより少ないロッド車輪を開発する必要がある。本研究では、車輪に取り付けるロッドの取り付け本数を変更し、各車輪でテストフィールド上での走行実験を行った。走行後の土壌を画像として取得し、その画像から掘り

起こされた深さおよび面積を解析し、その結果に基づいて掘り起こし体積を定量的に算出する。ロッドの本数と算出した掘り起こし体積との関係を明らかにし、掘り起こし体積がより少なくなる車輪の要因を抽出することを目指す。

2. ロッド車輪

本研究で用いる除草ロボットを Fig.1 に示す。このロボットの車輪に取り付けられているロッドは円周上に等間隔に配置されており、ここではロッドを取り付ける半径 r のことをロッド基準円半径と呼ぶ。本実験では、この車輪に取り付けられているロッドの本数 N を変更し、各車輪で走行実験を行った。ロッドの半径は6[mm]で、長さは60[mm]のものを使用する。

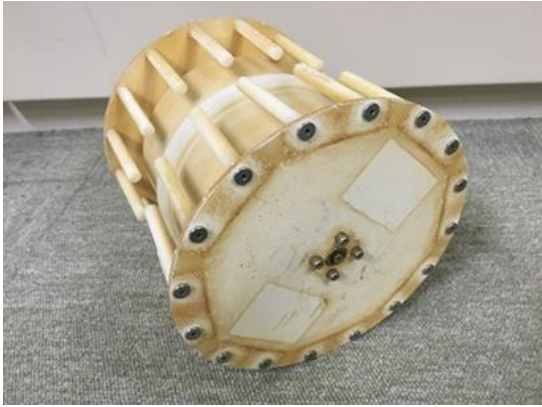
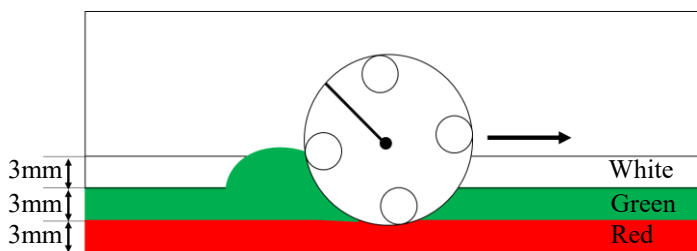


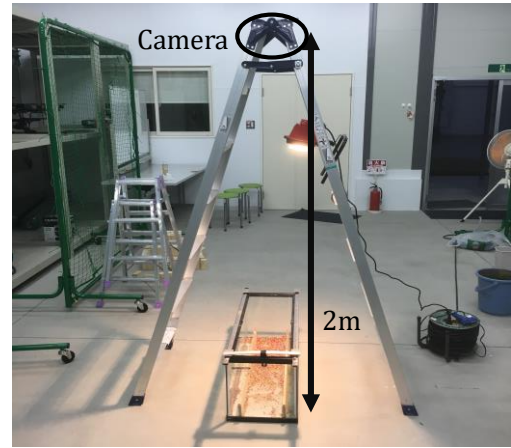
Fig.1 Weeding with rod wheel.

3. 実験用テストフィールド

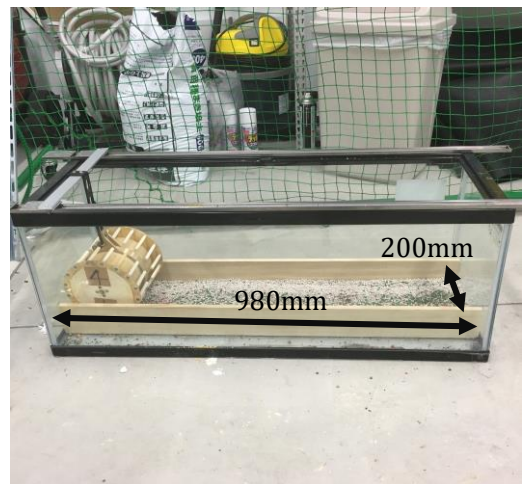
本研究で使用する実験用テストフィールドを Fig.2 に示す. このフィールドの幅 200[mm], 全長が 980[mm]である. このフィールド内にカラーサンドを使用してそれぞれ別の色の付いた深さ 3[mm]の土壌の層を作成した. 赤色, 緑色, 白色の順番で土を積層し, 全体で 9[mm]の深さの土壌を作成した. この作成したテストフィールド上にロボットを接地し, 並進速度, 荷重を一定とし, 横揺れが発生しないように手動牽引でロボットを走行させた. また, 走行時にはロボットは地面から鉛直方向の運動は自由となっている. そして, 掘り起こし体積を画像処理から算出するために高さ 2[m]の脚立の上部より撮影を行ったテストフィールド上でのロボットを走行させた後の土壌の状態を撮影した様子を Fig.3(a)に示す.



(a) Image view of field and rod wheel.

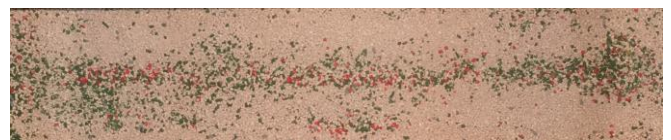


(b) Front view



(c) Side view

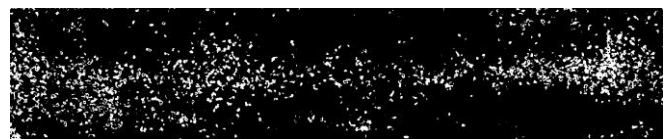
Fig.2 Experimental field and rod wheel.



(a) Original image.



(b) Extract green pixel from (a)



(c) Extract red pixel from (a)

Fig.3 Sample image of after robot running.

4. 実機を用いた走行実験

4.1 走行条件

実験で使用する除草ロボットは幅が 155[mm]、半径が 65[mm]で、ロボット本体の重量は 1506[g]である。またロッド基準円半径を 85[mm]となる。またそれぞれ使用する車輪のロッドの本数 N と取り付け角度 θ の関係を Table 1 に示す。そして、並進速度は約 0.25[m/s]となるように手動牽引による移動を行う。また、走行は実験装置の端から端まで片道とした。この走行実験を 3 回ずつ行い、その結果を Fig.3(a)で示す画像として取得して、画像処理による掘り起こし体積の算出を行う。この実験装置と走行条件については、ほかの軟弱土壌での車輪の走行実験の手法を参考にした[1][2][3]。

Table 1 Number of rods and mounting angle.

Number of rods: N	Mounting angle: θ [rad]
8	0.78
12	0.52
16	0.39

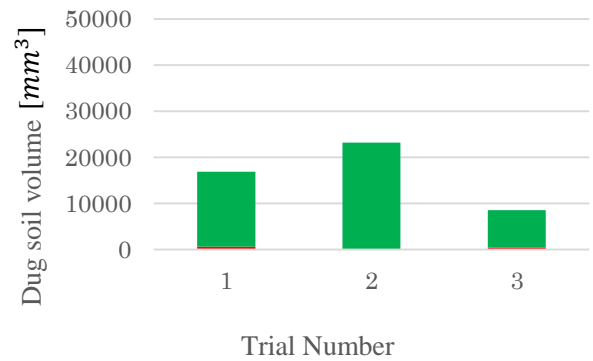
4.2 画像処理による解析

ロボットの走行後、取得した Fig.3 で示す画像から色抽出によりそれぞれの深さの土がどの程度の面積表面に現れたのか画像処理により調査した。処理後の画像の例を Fig.3(b),(c)に示す。緑色の土の場合、深さは 3~6[mm]の層、赤色の土が深さ 6~9[mm]の層にあり、ピクセルが緑色または赤色の場合、その色に応じた最大深さとの積の総和を掘り起こし体積として定義し、算出した。

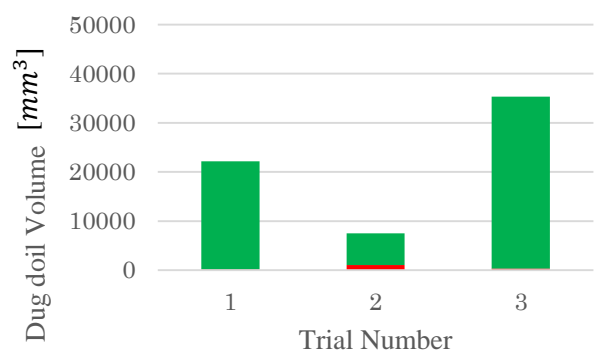
5. 実験結果

各車輪の掘り起こし体積と掘り起こし体積全体から見たそれぞれの深さの土の掘り起こしの体積の割合を Fig.4 に示し、それぞれの層からの掘り起こし量の平均・最大・最小の割合を Table 2 に示した。すべての走行実験で、いずれも 9[mm] より深い掘り起こしが無いことを確認した。これらの実

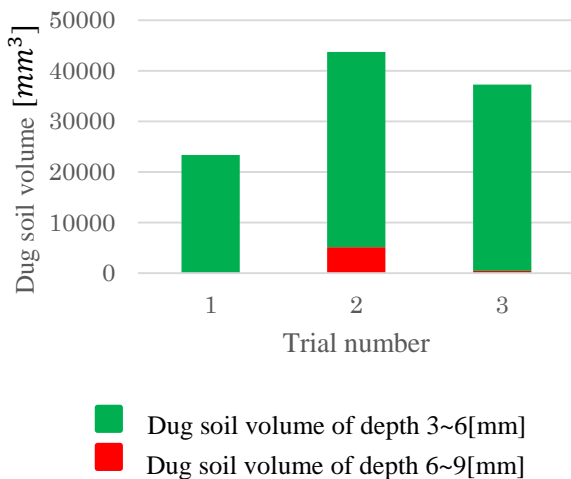
験結果から、車輪に取り付けるロッドの本数が多いほど、どの深さの土壌に対しても掘り起こし体積が増加する傾向があることが分かる。また、それぞれの深さからの掘り起こし体積の割合の結果から、ロッド数が 12,16 本の際は赤土の掘り起こし体積が、掘り起こした体積全体の約 15%まで達することがあることが確認できた。



(a) $N=8$



(b) $N=12$



(c) $N=16$

Fig.4 Result of Dug Soil Volume

Table 2 Table 2 Ratio of each Dug Soil Volume

	N	Average of soil volume [%]	Maximum of soil volume [%]	Minimum of soil volume [%]
Green soil	8	98.6	99.8	96.4
	12	94.9	99.5	86.1
	16	95.6	100	98.7
Red soil	8	1.4	3.6	0.2
	12	5.1	14	0.5
	16	4.4	11.8	0

6. 考察

本実験の結果から、このロボットに使用されるロッド車輪は、ロッドの数が多いほど掘り起こし体積が多くなる傾向が見られた。これは、ロッドの本数が増えるほどロッドの接地回数が多く、掘り起こしを行う間隔が短くなり、その結果ロッドが多いほど掘り起こし体積が多くなると考えられる。また同じロッド本数であっても走行によって掘り起こし体積は一定ではなく、最大で2倍程度の掘り起こし体積の差が発生することが確認できた。この理由として、走行中に車輪がスリップし、

結果として土壌を多く破壊したことにより、掘り起こし体積が増加したこと[4]や、土のような軟弱地盤上ではロッドの土への沈み込みが一定ではないためロッドが一度に掘り出す土の体積は一定にならないことが考えられる。

また、走行実験の結果としてこのロボットは一度の走行では9[mm]より深く掘り起こさないことが確認できた。これはロッドの本数を変えても起こらないため、ロッドの本数による体積は変化するが、最大掘り起こし深さに関係しないことが明らかとなった。

一方で、車輪に取り付けるロッドの本数がより少ないほうが掘り起こし体積が少なくなる傾向にあるように見えたが、Fig.4の結果が示すようにロッド数が少ない場合でも、ロッド本数が多い場合よりも掘り起こし体積が多いときがあった。つまりこの結果からだけでは、真にロッドの取り付け本数による影響のみによって、この結果が得られたかということは明らかではない。掘り起こし量に影響を及ぼす要因として、車輪のスリップ率やロッドが走行の際、接地・貫入・脱出の行動によりどの程度の確率でどの量の掘り起こしが行われるかの2点が考えられる。今後の予定としてこれらの要因と掘り起こし体積の関係について調査を行う。

また、今回は一定としたが、掘り起こし深さ及び体積の変化に関係すると考えられるため、ロッド基準円半径を変化させた場合についても同様な走行実験を行い、掘り起こし体積の調査を行う。

7. おわりに

本研究では、ロッド車輪を持つ除草ロボットが走行した際の土の掘り起こし体積を調査するために、実験装置を作成し、走行実験を通して掘り起こし体積の変化について調査した。実験結果からロッド本数の変化により全体の掘り起こし体積の

変化が確認され、それは取り付けられたロッドの本数が多いほど増加する傾向にあることが分かったが、それはロッド本数による影響以外の要素を含んでいる可能性があるため、今後他の要素による掘り起こし体積の変化についても調査を行い、それぞれの影響ごと掘り起こし体積の調査を行う必要がある。

参考文献

[1] 王 秀崙, 田中 孝, 山崎 稔, “水田ラグ車輪の運動と反力特性に関する研究”, 農業機械学会誌 51(5):11~18,1989

[2] 水上 憲明, 飯塚 浩二郎, 中村 壮亮, 國井 康晴, “軟弱地盤を走行するラグ車輪の走行性能に関する実験的検討”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2015, "1P2-U01(1)"-"1P2-U01(4)", 2015-05-17

[3] 楊 揚, 孫 翊, 山本 遼平, 馬 書根, “能動ラグ付車輪における駆動力の安定化制御”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2014, "1P1-A06(1)"-"1P1-A06(4)", 2014-05-24

[4] 秋山 健, 永谷 圭司, 吉田 和哉, “ラグ車輪垂直貫入機構を有する軟弱地盤走行用車輪の開発”, No. 12-3 Proceedings of the 2012JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Hamamatsu, Japan, May 27-29, 2012