

## 農林水産分野の先端技術展開事業 令和5年度終了課題 報告書

事業名	農林水産分野の先端技術展開事業(研究開発)
研究課題名	稲作の大規模化・省力化に向けた農業用水利施設管理省力化ロボットの開発
研究代表機関	福島県農業総合センター
研究実施期間	令和3年度～令和5年度 (2021-2023年度 3カ年)

### (1) 事業目標の達成結果

県内における多面的機能支払交付金活動組織について、東日本大震災前後の取り組み状況の変化を調査した結果、浜通り地方は1人当たりの管理水路延長が増加していた。ほ場整備事業地区の水路形状調査、水路管理実態調査を行い、対象とする水路幅を300mm、土砂堆積厚は10～30mm程度という条件（必要性能）を決定し、試作機の開発を行なった。その後、現地実証試験を継続し、問題点を抽出した上で改良を加えていった。この試作機について性能評価試験を行った結果、人力では2人以上で行なっていた土砂上げ作業が、1人で可能となった。また、作業者の心拍数上昇率は、人力と比べて2割以上の低減であったことを確認した。

### (2) 活動実績の概要

#### ○ 試作機聞取り調査

件名	日付	場所
試作1号機聞取り調査	2022. 5. 25	富岡町
試作2号機聞取り調査	2022. 11. 29	浪江町
試作2号機改聞取り調査	2023. 5. 26	浪江町
	2023. 10. 30～11. 1	飯舘村、浪江町、富岡町、福島県農業総合センター

#### ○ 現地実証試験

件名	日付	場所
第1回現地実証試験	2022. 5. 24	富岡町
第2回現地実証試験	2022. 11. 28	飯舘村
第3回現地実証試験	2022. 11. 29	浪江町
第4回現地実証試験	2023. 4. 24	飯舘村
第5回現地実証試験	2023. 5. 25	富岡町
	2023. 5. 26	浪江町
第6回現地実証試験	2023. 10. 30	飯舘村
第7回現地実証試験	2023. 10. 30	浪江町

第8回現地実証試験	2023. 10. 31	富岡町
-----------	--------------	-----

○ 性能評価試験

件名	日付	場所
第1回性能評価試験	2022. 5. 25	福島県農業総合センター
第2回性能評価試験	2022. 11. 29	〃
第3回性能評価試験	2023. 5. 24	〃
第4回性能評価試験	2023. 9. 7	〃
第5回性能評価試験	2023. 11. 1	〃

(3) 事業実施体制



(4) 事業成果

① 総括

福島県浜通り地方においては、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故による住民避難などにより、農業従事者が減少している。県では、大規模経営化や、ほ場の大区画化などにより担い手に農地を集約し、農業の復興に取り組んで来たところであるが、担い手1人当たりの農地保全面積（水路管理延長）が増加しているという課題がある。

そこで本研究では、水路管理省力化技術（農業用水利施設管理省力化ロボット）の開発を行い、少ない担い手で省力的な水路管理を可能とすることで、営農再開や大規模水田営農の展開を後押しすることを目標とした。

開発した試作機を使用し、現地実証試験等を行い、試験で得られた結果を基に改良を加えてきた。その結果、従来2人以上で行なっていた農業用水路内の土砂上げ作業が、1人で可能となった。また心拍数上昇率において人力に比べ2割以上の低減目標を達成した。

現地見学会、アグリビジネス創出フェアでの展示、各学会での発表により、農業用水路管理省力化ロボットについて、広く認知され、今後の研究開発を進める際の足掛かりとなった。

## ② 課題毎の実施内容と結果概要

### ア 小課題1：水路維持管理の現状把握及びロボット基本性能の検証

(1) **実施内容**：土地改良区に水路管理の現状調査を、多面的機能支払交付金活動組織に土砂上げ状況について調査を行った。多面的機能支払交付金活動組織について、震災前と現在の組織数や、管理水路延長などの比較を行った。ロボットの運用体制について、市町村や土地改良区等に聞き取り調査を行った。現地実証試験、性能評価試験の結果等から基本性能の検証を行った。

(2) **結果概要**：農業用水路内における土砂の堆積厚は、0～3cmであった。農業用水路内土砂上げ作業の従事人数は2～11人であった。

浜通りでは、1人当たりの管理水路延長が増加しており、営農再開が加速すると、管理水路延長は更に増加する見込みであることが明らかとなった。このため、現在、人力で行われている水路の土砂上げについて、機械化による省力化が必要であると確認された。ロボットの価格を300万円と想定した時、この価格での購入は難しいという回答であったが、所持していた場合、貸し出すかについては、貸し出すという回答が多かった。加えて貸し出されていた場合は、全員が利用したいと回答した（表1）。低価格化が課題として明らかとなった（表2）。

ロボットの基本性能としては、水路内を走行するロボットとすることで、作業の安定を図った。また機体側面に付けられたアームにより昇降することが可能である。走行方式は水路に移動するまでの法面や軟弱地、草地等で走破可能なクローラ式とし、動力は環境に配慮し、バッテリー式とした。

現在までの改良によって、幅400mm×深さ400mmまでの水路での作業が可能となり、目標とする水路条件の幅300mm×深さ300mm以上の水路以上に対応可能となった。また土砂堆積厚に

ついて 5cm 程度まで対応可能となり、対象とする土砂堆積厚 3cm を上回った。人力では 2 人以上の作業が 1 人で可能となった。

曲線部での作業が出来ない事、含水比が 20% を大きく超えていたり、水路内に雑草が多く根を張っていたりする場合は、堆積土が塊となってしまう、掻き込み困難であるという事、水路内に水が溜まっている場合は、堆積土が流れてしまい、掻き込み出来ない事が課題として明らかとなった。

表 1 ロボットの価格と購入・貸出し

ロボットの価格が300万円だとして機器を購入するか。			
購入する	1人	購入しない	10人
ロボットを所有していたとして、機器を貸出すか。			
貸出しする	7人	貸出ししない	4人
ロボットが貸出されていた場合、利用するか。			
利用したい	12人	利用しない	0人

表 2 ロボットの希望価格

希望価格	(人)	割合
①100~200万円	12	92%
②200~300万円	1	8%
③300~350万円	0	0%
④350~400万円	0	0%
⑤400万円以上	0	0%

表 3 ロボット使用想定場所

使用を想定している場所（複数回答）	回答数（人）	割合
高低差の少ない平場の支線水路（幅30~51cm）	8	33%
高低差の少ない平場の支線水路（幅50~71cm）	4	17%
高低差の大きい中山間部の水路	4	17%
取水口から農地までの山間水路	3	13%
ダムなどの幹線水路（幅2m以上）	5	21%

表 4 ロボット使用想定水路幅

水路幅	回答数（人）	割合
①30~50cm	17	46%
②50~70cm	8	22%
③70cm~1m	6	16%
④1~2m	5	14%
⑤2~3m	0	0%
⑥3m~	1	3%

## イ 小課題 2：水路維持管理の現状把握及びロボットの開発

(1) 実施内容：現地実証及び推進会議等により検討を重ね、令和 3 年度には試作 1 号機（表 5、図 1）を完成させ、令和 4 年度は、より実用化に近づけた試作 2 号機（表 5、図 2）を完成させた。

なお、11 月に実施した試作 2 号機での現地実証試験から、「排出された土砂の位置が水路に近すぎる」、「堆積土砂の含水率が高い場合上手く掻き込めない」などの新たな課題が判明した。走行性や土砂の運び上げ機構は良好なことから、試作 2 号機を基本構造とし、「排出機構」と「掻き込み機構」について改良を行い、試作 2 号機改良型を完成させた（表 5、図 3~図 8）。

土砂の排出距離を遠くにするため、排出コンベアを延長し高い位置から排出することにより、土砂排出位置を水路から遠ざけることができた（図 9）。回転する土砂掻き込み部の掻き込み径を大きくすることにより、水路内の土砂の処理量を増やすとともに、石などの噛み込みを低減させ、さらに、掻き込み部材の改良を行い水路内作業中の駆動電流値を低減させることができた。（図 10）。

連続作業時間を延長するため、バッテリーの改良を行うことにより、6 時間連続稼働する結果が得られた。また、バッテリー容量が約 20%以下になったら赤ランプが点灯するバッテリーの残量警告灯を設けたことにより、オペレータが目視確認でき、バッテリー切れによる停止を未然に防止することができた（図 11）。

遠隔操作機能を追加したことにより、リモコンでの遠隔操作が可能となり、オペレータの安全作業が確保することができた。

表 5 試作機の諸元

	試作1号機	試作2号機	試作2号機改
全長 (mm)	2020	1835	1095
全高 (mm)	955	920	1040
全幅 (mm)	570	490	560
質量 (kg)	85.5	123	165
走行速度			
前進 (km/h)		0~2.9	
後進 (km/h)		0~1.9	
バッテリー種類	リチウムイオンバッテリー		
バッテリー容量	50Ah	50Ah	60Ah

※前後進速度は、変速レバーにて最高速度まで調整可能

※試作2号機、および、試作2号機改は、緊急停止装置、インターロック回路（誤動作防止）の安全機能を装備している。

※試作2号機改は、遠隔操作機能を装備している。



図1 試作1号機 (R3 製作)



図2 試作2号機 (R4 製作)

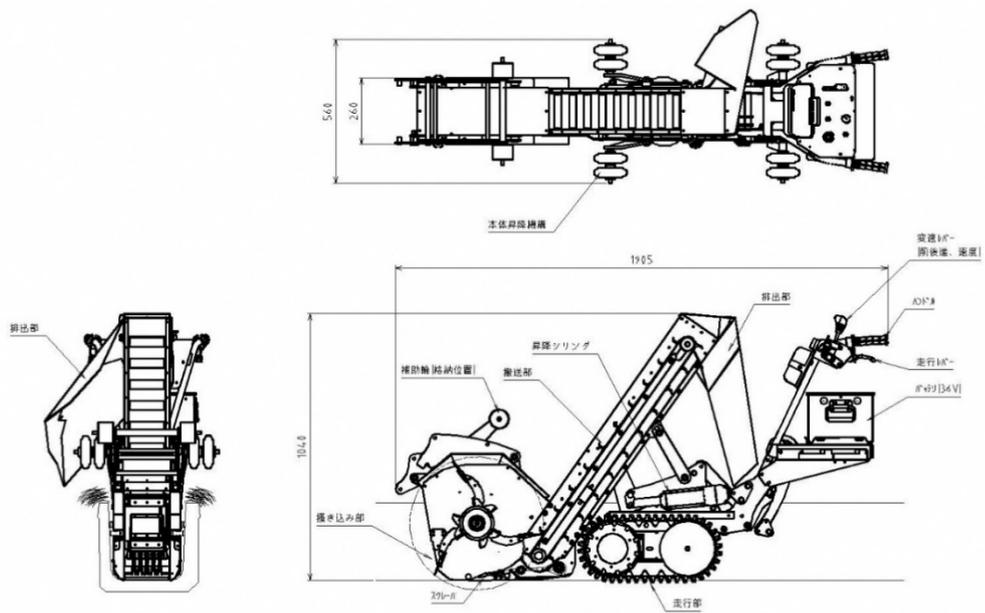


図3 試作2号機改の構造図 (作業時)

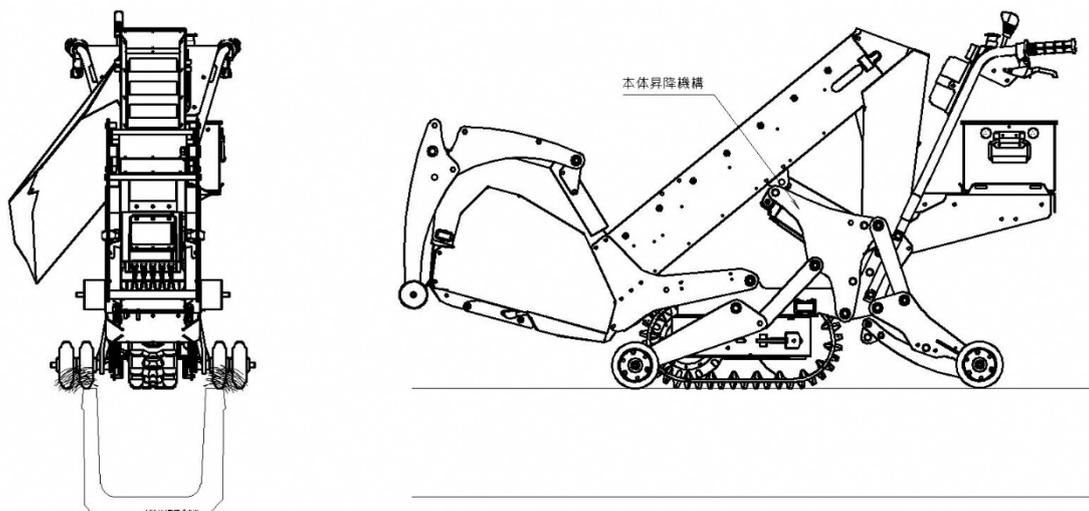


図4 試作2号機改の構造図 (移動時)



図5 試作2号機改 (R5 製作)



図6 試作2号機改 (正面)



図7 試作2号機改 (操作部)



図8 試作2号機改 (排出部)



図9 土砂排出位置



図10 掻き込み部・部材の改良

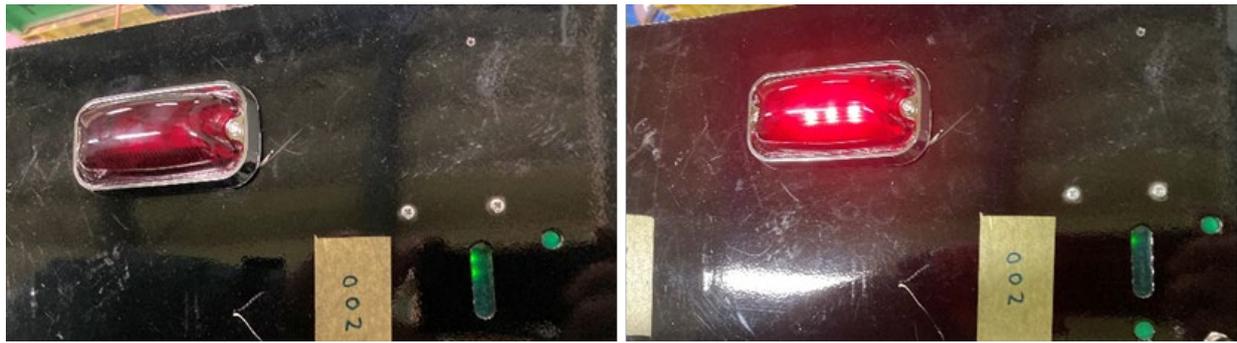


図 11 バッテリーの改良

### イ 小課題3 農業用水利施設管理省力化ロボットの性能評価

(1)実施内容：農業総合センター内水路において土砂上げ試験を行い、ロボットの土砂排出性能や人力で行った場合に比した労力軽減効果（心拍数及びフリッカー値）を検証する。

(2)結果概要：ロボットの作業時間は、人力とくらべ同等程度であったが、人力では2人以上で行なわれてきた作業が1人で可能となった。また心拍数の上昇率は人力の7割弱となり、人力作業と比べ2割以上の省力化が図られている（表6、7）。ロボットの土砂の除去率は、7～9割であった（表6）。ただし土壌含水比が20%を大きく超えると除去率が下がった（表6）。フリッカー値の差は見られなかった（表7）。

聞き取り調査において、操作性については、普通以上の評価が多かった。被験者も1度の説明で操作出来たので、容易であると思われた（表8）。作業速度については、水路内の土砂の堆積厚、含水比等により変化するため、それに伴い評価も変化するものと考えられる。機体サイズ・質量については、水路内へ進入・退出する際の状況より、軽量化を求める意見があった。

表 6 作業時間及び除去率

試験年月	作業方法	堆積土の含水比 (%)	作業時間 (s/m)	堆積土質量 (kg)	排出土質量 (kg)	残存土質量 (kg)	除去率 (%)
R4.11	ロボット	14.2	13.6	44.1	25.5	18.6	57.7
R4.11	人力	14.7	16.0	56.2	44.2	11.9	78.8
R4.11	ロボット	16.5	14.2	51.6	24.5	27.1	47.5
R4.11	人力	18.7	19.7	57.7	54.7	3.0	94.8
R5.5	ロボット	4.3	46.5	31.2	24.2	7.0	77.6
R5.5	ロボット	3.7	40.0	24.4	20.3	4.1	83.3
R5.5	ロボット	20.3	40.0	32.0	27.1	4.8	84.9
R5.9	ロボット	4.1	14.0	80.0	50.2	29.8	62.8
R5.9	人力	3.2	12.8	80.0	73.8	6.2	92.3
R5.9	ロボット	24.7	5.4	48.0	25.5	22.5	53.2
R5.9	人力	22.0	6.1	48.0	43.8	4.2	91.2
R5.11	ロボット	2.9	11.4	173.7	138.4	35.3	79.7
R5.11	人力	2.9	9.2	177.3	163.8	13.5	92.4
R5.11	ロボット	15.5	13.8	237.0	212.5	24.5	89.7
R5.11	人力	16.3	6.2	236.7	222.6	14.1	94.1

表 7 心拍数及びフリッカー値

試験 年月	作業方法	心拍数			フリッカー値※(Hz)			
		作業前(回/分)	作業後(回/分)	上昇率(%)	対左比(%)	作業前	作業後	下降率(%)
R4.11	ロボット	87	92	105.7	69.7	44	52	△ 18.2
R4.11	人力	85	129	151.8	(100)	45	38	15.6
R4.11	ロボット	85	92	108.2	74.5	44	42	4.5
R4.11	人力	84	122	145.2	(100)	44	42	4.5
R5.9	ロボット	67	85	126.9	81.7	41	39	5.7
R5.9	人力	56	87	155.4	(100)	38	39	△ 2.6
R5.9	ロボット	68	100	147.1	102.3	38	36	3.5
R5.9	人力	64	92	143.8	(100)	34	38	△ 9.7
R5.11	ロボット	88	99	112.5	67.5	46	46	0.0
R5.11	人力	84	140	166.7	(100)	47	46	2.1
R5.11	ロボット	87	90	103.4	62.2	47	44	6.4
R5.11	人力	77	128	166.2	(100)	46	45	2.2

※点滅している光が連続して見えるか、ちらついて見えるかの境目の周波数で、脳の疲労度の指標。作業後の数値が小さい程、疲労度が大きい。

表 8 現地実証試験聞き取り結果

項目	回答数	悪い	やや悪い	普通	やや良い	良い
作業速度	17	0%	11.8%	70.6%	17.6%	0%
操作性	17	0%	23.5%	47.1%	17.6%	11.8%
機体サイズ・質量	16	6.3%	50.0%	25.0%	12.5%	6.3%
対応水路幅	15	13.3%	46.7%	20.0%	20.0%	0%
総合評価	15	0	46.7%	26.7%	26.7%	0

## (5) 産業化に向けた取組

### ① 論文、特許化、イベントでの公表等の普及活動

#### 【学会発表】

- 1) 池田健一, 2022, 福島県における農業用水路管理の現状と課題, 2022年度(第71回)農業農村工学会大会講演会
- 2) 小貫恵, 池田健一, 2023, 農業用水利施設管理省力化ロボットの開発, 2023年度(第64回)農業農村工学会東北支部岩手大会

#### 【特許】

##### 1) 特許出願

ア 発明等の名称：除去作業機

イ 出願区分：特許

ウ 出願日：R5/8/21

エ 出願番号：2023-134247

オ 出願人：株式会社ササキコーポレーション

カ 概要：堆積物を掻き取り、後ろ斜め上方に搬送する作業部の構造

##### 2) 特許出願

ア 発明等の名称：除去作業機

イ 出願区分：特許

ウ 出願日：R5/8/21

エ 出願番号：2023-134248

オ 出願人：株式会社ササキコーポレーション

カ 概要：水路内に進入および退出するための、回動自在なメインアームとこれに連動する前アーム・後アームを走行部に備える構造

#### 【シンポジウム】

- 1) 第19回農業農村整備事業成果発表会（口頭発表）, 2022, 「震災後の農業用水路管理の問題点について」
- 2) 令和4年度東北農業試験研究推進会議作物生産推進部会作業技術研究会（冬期）（口頭発表）, 2023, 「福島県におけるスマート農業の取組と課題④水路管理省力化ロボットの開発」
- 3) 令和4年度東北農業研究農業農村工学研究懇話会, 2023, 福島県農業総合センターにおける試験研究としての本研究課題の取組内容紹介
- 4) 第20回農業農村整備事業成果発表会（口頭発表）, 2023, 「農業用水利施設管理省力化ロボットの開発」

#### 【その他】

- 1) アグリビジネス創出フェア 2021（ポスター展示）, 「農業用水利施設管理省力化ロボットの開発」
- 2) アグリビジネス創出フェア 2022（ポスター展示）, 「水路管理省力化ロボット～水路土砂上げ作業の省力化技術の開発～」, 「福島県における農業用水路管理の現状と課題」
- 3) アグリビジネス創出フェア 2023（ポスター展示）, 「農業用水利施設管理省力化ロボットの開発」

#### ② 研究成果の普及に向けたロードマップ

本事業においては、農業用水利施設管理省力化ロボットの試作機の開発および試作機を使用した現地実証試験等を行い、その結果を基に改良を加えた。その結果、従来2人以上で行なっていた農業用水路内の土砂上げ作業が、1人で可能となった。また心拍数上昇率において人力での作業に比べ2割以上の低減を達成した。一方、現地実証試験時における聞き取り調査では、低価格化や軽量化が課題として挙げられた。今後は、各自治体の要望を踏まえ、今回浮き彫りとなった価格に関する課題解決に向けて改良を続けるとともに、得られた知見を活かし実用化に向けて検討、実証を行っていきたい。