

委託試験成績（令和5年度）

担当機関名 部・室名	岩手県農業研究センター県北農業研究所 作物研究室
実施期間	令和5年度、新規
大課題名	IV 情報処理等先端技術の活用による高生産システムの確立
課題名	岩手県中山間地域におけるロボットトラクタの傾斜地適応性の把握及び雑穀栽培での活用検討
目的	岩手県北部では狭小で傾斜のある農地が多い中で、労働力の不足等による生産性の低さが深刻な課題となっている。このような課題の解決に向けてロボットトラクタをはじめ、スマート農機の導入が期待されるが、中山間地域特有の農地条件や本県の特産品目である雑穀の生産場面でのロボットトラクタの適応性については十分な検討がなされていない。したがって、傾斜地や雑穀生産におけるロボットトラクタの活用について評価・検討を行うもの。
担当者名	岩手県農業研究センター県北農業研究所 専門研究員 佐藤拓也
<p>1. 試験場所 県北農業研究所内畑地ほ場(No.6:31a、No.11:32a、No.14:26a、No.21:54a)及び現地畑地ほ場(160a)</p> <p>2. 試験方法 手動操舵トラクタ及び自動操舵トラクタと比較した、雑穀生産におけるロボットトラクタの作業精度や作業効率の検討。</p> <p>(1) 供試機械名 YT5113A(ロボット仕様)</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア 供試品種 アマランサス「ニューアステカ」、たかきび「軽米在来」</p> <p>イ 栽培概要</p> <p>施肥 アマランサス オール14号 40kg/10a(N:P:K=5.6-5.6-5.6) 6月6日 たかきび オール14号 28.6kg/10a(N:P:K=4-4-4) ロボット区 6月6日 手動・自動操舵区 5月29日</p> <p>耕起 ロボット区 5月11日 YT5113A、FTV242(作業幅2.2mにオフセット) 手動区 6月1日 GXK511、RX220(作業幅2.2m) 現地試験区 5月12日 GM331、RB175(作業幅1.7m)</p> <p>播種 共通 KD401(4条) 条間70cm 株間20cm 播種量 アマランサス 21.3g/10a たかきび 311.5g/10a ロボット区 6月15日 手動・自動操舵区 6月20日</p> <p>除草・培土 レーキ式除草機 アマランサス ロボット区 6月27日、7月7日 手動・自動操舵区 6月28日、7月13日 たかきび ロボット区 6月27日、7月7日 手動・自動操舵区 6月28日、7月13日、7月24日</p> <p>中耕・培土 DC301 アマランサス ロボット区 7月25日 手動・自動操舵区 7月24日 たかきび ロボット区 7月25日 手動・自動操舵区 7月26日</p>	

ウ 試験区の構成

(ア) ロボットトラクタを用いた耕起作業の特性把握

No.	試験区	試験ほ場(試験面積)
1	ロボット(オートで作業後外周を手動で作業)	No. 6 (30.8a)
2	手動	No. 6 (30.8a)
3	協調(ロボット1台+手動1台)	No. 21 (25.5a)
4	手動	No. 21 (27.1a)
5	ロボット(現地、No. 1と同様に作業)	青森県八戸市(71.4a)
6	自動操舵(現地農家所有機械で作業)	青森県八戸市(69.9a)

調査項目 作業時間、作業軌跡、碎土率、土壤水分

(イ) ロボットトラクタを活用した播種・除草体系の検討

No.	試験区	試験品目	試験ほ場(試験面積)
1	ロボット設定1	アマランサス	No. 21 (4.4a)
2	ロボット設定2		No. 21 (4.4a)
3	手動		No. 21 (8.4a)
4	自動操舵		No. 21 (8.4a)
5	ロボット設定1	たかきび	No. 11 (5.5a)
6	ロボット設定2		No. 11 (3.6a)
7	手動		No. 14 (6.8a)
8	自動操舵		No. 14 (9.0a)

注1) 除草1回目のロボット設定2は設定1から5cmレーキ開度を狭めた。

注2) 除草2回目のロボット設定1ではロボットの走行を人が調整して作物体の損傷を抑え、設定2はレーキ開度は設定1と同様に調整し、ロボットの走行を人が左右に調整せずに走行した。

調査項目 播種時 作業時間、作業軌跡、碎土率、土壤水分、
作業前後心拍数・血液中酸素濃度

除草時 作物損失茎数(3.0×0.3m)、除草率(0.15×0.3m)、作業軌跡
成熟後 収量調査(坪刈子実重)

3. 試験結果

(1) ロボットトラクタを用いた耕起作業の特性把握

ロボット区では、ほ場の形状等を設定後、ほ場中央1/3ほどを往復耕起した後、中央から外に向かって回り耕で仕上げる経路で作業し、手動区では、長辺方向に往復耕起後枕地処理で仕上げた。

30aのほ場条件では、ロボット区(ほ場中央部をロボットトラクタで無人作業後、外周を手動で作業、以下のロボット区も同様)はほ場作業能率20.6分/10aで、同ほ場条件で手動で作業した場合、ほ場作業能率18.0分/10aであった(表1)。ほ場作業効率は、ロボット区で59.6%、手動区で71.3%だった。

ロボット区で能率がやや低かった要因は、手動区で作業速度がやや速かったことに加え(表8)、ロボット区では回り耕だった一方で手動区では往復耕だったことによると考えられた。

25aのほ場条件でロボットトラクタ及び手動トラクタ計2台での協調作業を行った場合、ほ場作業能率17.0分/10aで、手動で耕起した場合、ほ場作業能率21.1分/10aであった(表2)。

現地71aのほ場条件では、ロボット区(ロータリ幅2.2m)はほ場作業能率19.1分/10aであった。現地70aのほ場条件で自動操舵トラクタで耕起(ロータリ幅1.7m)した場合、ほ場作業能率21.5分/10aであった(表3)。

以上のことから、中山間での小区画ほ場では、ロボット区と手動区での作業能率の差は認められなかった。これは、区画の大きさに対して回り耕による外周処理工程が多くなることによるものと考えられた。

(2) ロボットトラクタを活用した播種・除草体系の検討

ロボットで24a(40×60m)の作業領域を設定し、長辺方向のみに播種した場合、実作業面積は9.1a(33.0×27.8m)であり、作業領域の37.9%だった。また、約30a(33×93m、変形)の作業領域を設定し、ロボットで長辺方向のみに播種した場合、実作業面積は11.2aであり、作業領域の37.3%だった。

区画の小さなほ場では、手動による外周処理として残る工程が大きくなることから、播種作業にはロボットトラクタの利用は不向きと考えられた。

パルスオキシメータを用いて播種作業前後の心拍数及び血液中酸素濃度を計測したが、労働強度との関係は判然とせず、評価することができなかった(表4)。

レーキ式除草機を用いた除草では、1回目の除草において、アマランサス及びたかきびのどちらもレーキを広めに設定したロボット設定1では、レーキを狭めた設定2よりも損失茎率は低かった(表5)。アマランサス及びたかきびのどちらも損失茎率はロボット設定2 > 自動操舵 > ロボット設定1 > 手動となった。除草率は設定1及び2の間で大きな差は見られなかった。

2回目の除草では、ロボット設定1ではロボットトラクタの蛇行による作物体の損傷を抑えるために監視者が走行経路を左右に調整し、ロボット設定2では走行経路の調整を行わずに除草作業を行った。その結果、アマランサスでは損失茎率は設定1が設定2を大きく下回ったが、除草率も下回った(表6)。たかきびでは、設定間で損失茎率に大きな差は見られなかったが、除草率はアマランサスと同様に設定1が設定2を下回った。

2回の除草を通じて、ロボット設定1は損失茎率が手動並からやや低いものの除草率も手動より低く、ロボット設定2では除草率は設定1よりも高いが損失茎率が手動よりも高い傾向が見られた。自動操舵では、特に2回目の除草において、損失茎率及び除草率が概ね手動並となる傾向が見られた。

アマランサスほ場において、生育後半でアワノメイガによる著しい食害が発生し、登熟に至らなかったことから収量性は評価できなかった。

たかきびの収量調査の結果(表7)、ロボット設定1で191.4kg/10a(手動比93.9%、完全除草比74.2%)、ロボット設定2で263.3kg/10a(手動比129.2%、完全除草比227.9%)、手動で203.8kg/10a(完全除草比105.5%)、自動操舵で224.1kg/10a(手動比110.0%、完全除草比80.8%)だった。

4. 主要成果の具体的データ

表1 小区画ほ場における耕起作業能率

試験区	作業面積 (㎡)	実作業時間 (時:分:秒)	ほ場作業能率 (分/10a)	作業時間割合(%)			
				耕起	旋回	移動	調整
ロボット	2,563	56:27	22.0	59.6	34.8	3.7	1.9
手動	742	11:42	15.8	60.7	29.9	9.4	0.0
計	3,305	1:08:09	20.6	59.8	33.9	4.7	1.6
手動	3,079	55:24	18.0	71.3	21.4	7.3	0.0

表2 ロボットトラクタとの協調作業による耕起作業能率

試験区	作業面積 (㎡)	実作業時間 (分:秒)	ほ場作業能率 (分/10a)	作業時間割合			
				耕起	旋回	移動	ロボット操作
ロボット	522	11:15	21.5	71.9	20.3	7.9	0.0
協調	1,964	41:39	21.2	70.3	17.1	6.8	5.8
計	2,486	43:50	17.0	70.8	16.8	6.7	5.7
手動	2,712	57:07	21.1	77.9	17.2	4.8	-

表3 現地大区画ほ場における耕起作業能率

試験区	作業面積 (㎡)	実作業時間 (時:分:秒)	ほ場作業能率 (分/10a)	作業時間割合				
				耕起	旋回	移動	調整	
ロボット	6,268	1:55:07	18.4	77.0	16.9	5.2	1.0	
ロボット	手動	875	21:06	24.1	55.4	39.2	5.5	0.0
	計	7,143	2:16:13	19.1	73.6	20.3	5.2	0.8
自動操舵	6,989	2:29:58	21.5	81.6	14.7	1.9	1.8	

表4 播種時の労働強度の評価及び土壌条件

試験区	心拍数 (bpm)		酸素濃度 (%)		碎土率 (%)		土壌水分 (%)	
	作業前	作業後	作業前	作業後	1 cm	2 cm		
アマラ	ロボット	103	114	94	93	80.0	94.3	18.3
ンサス	自動操舵	-	103	-	97	60.8	79.9	24.7
	手動	96	95	97	98	82.4	95.1	24.3
たか	ロボット	116	118	92	94	91.2	98.9	17.5
きび	自動操舵	91	96	95	94	81.2	92.5	27.4
	手動	92	95	97	97	84.5	95.9	27.6

表5 アマランサスほ場における除草精度

試験区	除草1			除草2			平均		
	損失 茎率 (%)	除草率 (%)	作物体 草丈 (cm)	損失 茎率 (%)	除草率 (%)	作物体 草丈 (cm)	損失 茎率 (%)	除草率 (%)	
ロボット	設定1	37.3	87.5	0.5	22.4	58.5	1.4	29.9	73.0
	設定2	66.7	92.6	0.8	70.0	92.9	1.3	68.4	92.8
	手動	26.8	80.6	1.0	35.6	91.5	6.8	31.2	86.1
	自動操舵	56.3	83.5	0.7	20.1	93.2	11.2	38.2	88.4

表6 たかきびほ場における除草精度

試験区	除草1			除草2			平均		
	損失 茎率 (%)	除草率 (%)	作物体 草丈 (cm)	損失 茎率 (%)	除草率 (%)	作物体 草丈 (cm)	損失 茎率 (%)	除草率 (%)	
ロボット	設定1	10.1	60.2	5.5	13.3	54.1	23.3	11.7	57.2
	設定2	56.9	57.4	5.9	3.5	74.5	19.6	30.2	66.0
	手動	6.7	90.9	4.7	22.1	90.7	32.2	14.4	90.8
	自動操舵	13.1	66.8	4.6	8.3	90.1	33.3	10.7	78.5

表7 たかきび収量調査結果

試験区	子実重 (kg/10a)	手動比 (%)	完全除草比 (%)	
ロボット	設定1	191.4	93.9	74.2
	設定2	263.3	129.2	227.9
	手動	203.8	-	105.5
	自動操舵	224.1	110.0	80.8

5. 経営評価

耕起作業について、各トラクタを用いた場合のほ場作業能率を基に、負担可能面積とそれに伴う仮定作業料金の試算結果について、表8に示した。二戸市農業委員会では、令和5年度の畑地における耕起作業の機械作業標準額は5,400円/10aとしており、この金額で作業期間を4月下旬から6月中旬の間の60日間とした場合、ロボットトラクタの導入は現実的ではない試算となった。負担可能面積を超えない範囲でロボットトラクタを導入し活用するためには、所内の小区画ほ場における作業能率を基に試算すると、作業料金を91,800円/10a(機械を1/2補助で導入する場合、75,200円/10a)に設定する必要がある結果となった。現地の大区画ほ場における作業能率を基に試算すると、85,100円/10a(同、69,700円/10a)となった。

表8 各種トラクタの利用規模と標準作業料金の比較

試験区 No.	耕起				
	所内			現地	
	ロボット	手動	協調作業	ロボット	自動操舵
	1	2	3	5	6
作業面積 (㎡)	3,305	3,079	2,486	7,186	6,989
平均作業速度 (m/s)	0.60	0.56	0.53	0.59	0.59
ほ場作業能率(h/ha)	3.4	3.4	3.6	3.2	2.6
ほ場作業量(a/h)	29.1	33.3	35.3	31.4	27.9
ほ場作業効率(%)	59.8	71.3	70.8	73.6	71.3
作業期間(日)	60				
作業可能日数率(%) (二戸4/下-6/中)	83.5				
作業可能日数(日)	50				
1日の作業時間(h)	10.7				
実作業率(%) (オペ1分散中)	69				
作業可能時間(h)	369				
1日の圃場作業量(ha/日)	2.15	2.46	2.61	2.32	2.06
負担可能面積(ha)	107.5	123.1	130.3	116.0	103.0
機械価格(トラクタ)(千円)	14,855	5,000	19,855	14,855	4,000
機械価格(ロータリ)(千円)	800	800	1,600	800	800
年間固定比率(トラクタ)(%)	24.0				
年間固定比率(ロータリ)(%)	28.1				
年間固定費(トラクタ)(円)	3,565,200	1,200,000	4,765,200	3,565,200	960,000
年間固定費(ロータリ)(円)	224,800	224,800	449,600	224,800	224,800
合計年間固定費①(円)	3,790,000	1,424,800	5,214,800	3,790,000	1,184,800
合計年間固定費②(円) トラクタ1/2補助	2,007,400	824,800	2,832,200	2,007,400	704,800
変動費(円/ha)	56,476	49,348	70,628	52,364	58,943
燃料費消費量(L/h)	10.0	10.0	20.0	10.0	10.0
燃料単価(軽油)(円/L)	150	150	300	150	150
燃料費(円/h)	1,500	1,500	6,000	1,500	1,500
潤滑油費(円/h)	450	450	1800	450	450
労働費(円/h) (二戸R5オペレータ)	9,400	9,400	9,400	9,400	9,400
標準作業料金(円/ha) (二戸R5:畑耕起)	54,000	54,000	54,000	54,000	54,000
利用規模の下限①(ha)	-1,531	306	-314	2,316	-240
利用規模の下限②(ha)	-811	177	-170	1,227	-143
標準作業料金(円/ha) (仮定)	91,800	61,000	110,700	85,100	70,500
利用規模の下限①(ha)	107.3	122.3	130.1	115.8	102.5
標準作業料金(円/ha) (仮定)	75,200	56,100	92,400	69,700	65,800
利用規模の下限②(ha)	107.2	122.2	130.1	115.8	102.8

6. 利用機械評価

ロボットトラクタ (YT5113A) の利用に当たっては、位置補正情報の受信や経路作成後の走行等、有人監視下における無人走行について、作業安全上の問題は見られなかった。直進精度についても、誤差 2～3 cm と良好だった。

7. 成果の普及

位置補正情報を活用した、雑穀生産における省力・高精度な播種・除草体系について令和 7 年度をめどに試験成果を取りまとめ、公表予定。

8. 考察

小区画ほ場においては、耕起作業のほ場作業能率はロボット区は手動区並みからやや劣る結果となった。長辺方向の作業長が短く、ほ場の外周側を回るような作業経路となったことが要因と考えられる。

一方で、手動トラクタとの協調作業では、ロボットトラクタ単独での作業よりも枕地処理を少なくすることができ、ほ場作業能率を高めることができた。

心拍数及び酸素濃度による労働強度の評価を試みたが、その効果は判然としなかった。試験に係る作業時間が短く、差が現れにくかったものと思われる。

ロボットトラクタを用いた除草では、他の区と比較して損失茎率が高い傾向が見られた。ほ場周辺からの監視では、除草機の作物体や雑草への当たり方を判断しにくいことから、自動操舵トラクタの方が、除草機の調整や操舵の補助を行いやすいものと考えられる。

9. 問題点と次年度の計画

ロボットトラクタについて、耕起作業の特性及び雑穀生産における播種・除草作業の適応性を検討したが、播種・除草作業については自動操舵トラクタでの作業の方が安価かつ高精度に作業を行うことができる可能性があることが示された。したがって、効果的な播種・除草体系の確立に向けて、自動操舵トラクタの活用方法について検討を継続する。

10. 参考写真



図1 ロボットトラクタとの耕起作業



図2 ロボットトラクタによる除草作業



図3 各トラクタによる除草状況