

委託試験成績（令和２年度）

担当機関名 部・室名	愛知県農業総合試験場 作物研究部・作物研究室、水田利用研究室
実施期間	令和元年度～令和２年度、継続
大課題名	V 情報処理等先端技術を活用した高生産システムの確立
課題名	I C Tを活用したオートトラクタによる不耕起V溝直播栽培（鎮圧整地）及び小麦栽培の作業精度・省力化の検証
目 的	農家数の減少、担い手の高齢化が進む中、大規模水田作法人への農地集約化が進むと共に、雇用就農が増加傾向にあり、経験の少ない担い手が増えている。このような背景の中、I C Tを活用し高精度な作業を自動で行うオートトラクタが開発・販売されている。このオートトラクタを活用することで、知識と経験の少ない作業等でも高精度な作業を行うことが期待できる。本研究ではオートトラクタによる、水稻不耕起V溝直播栽培（鎮圧整地）及び小麦栽培の作業精度・省力化について検証する。
担当者名	作物研究部作物研究室 技師 柏木啓佑 作物研究部水田利用研究室 主任 尾賀俊哉
<p>1. 試験場所 作物研究室ほ場（長久手市）</p> <p>2. 試験方法</p> <p>【水稻】</p> <p>(1) 供試機械 オートトラクタ(ヤンマー株式会社製 YT488A) 速度、エンジン回転数、行程の重なり幅等はヤンマー職員と協議のうえ設定。</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア ほ場条件 3,200 m²（うち自動走行が難しい外周2周分を除く部分を評価対象とした）</p> <p>イ 栽培概要</p> <p>① 品種名：「あいちのかおり SBL」</p> <p>② 耕起：5月26日 スタブルカルチ（スガノ農機 C196EK） 作業幅 190cm 内容 隣接耕7行程＋空走り1行程＋回り耕6周 自動走行設定（速度 4km/h, PT0540rpm, エンジン 1800rpm, 重なり幅 15cm）</p> <p>③ 鎮圧整地：5月28日 パワーハロー（KUHN PHY2500MP）作業幅 250cm 内容 隣接耕5行程＋空走り1行程＋回り耕5周 自動走行設定（速度 3km/h, PT0540rpm, エンジン 2400rpm, 重なり幅 15cm）</p> <p>④ 播種：5月28日 V溝播種機 10条（鋤柄農機 AD-102CW） 作業幅 200cm 内容 隣接耕5行程＋空走り1行程＋回り耕5周 自動走行設定（速度 5km/h, PT0540rpm, エンジン 1800rpm, 重なり幅 0cm）</p> <p>ウ 搭乗者 大型特殊自動車免許を1997年に取得し、総搭乗時間50時間未満の職員</p> <p>エ 調査内容</p> <p>① 作業時間 直進、旋回</p>	

- ② 作業精度測定
ドローンによる空撮画像解析（作業幅、行程間隔、残耕面積、重複面積）
耕起深、土壌硬度、播種深
- ③ 疲労度測定
作業前、作業後のフリッカー値(フリッカーヘルスマネジメント株式会社)
- ④ 生育・収量調査
出芽数、成熟期調査、収量調査

【小麦】

(1) 供試機械

オートトラクタ(ヤンマーアグリ株式会社製 YT498A) ハーフクローラー

(2) 試験方法

ア ほ場形状

1,830m²(長辺:61m、短辺:30m) 自動:C1 ほ場、手動:C2 ほ場

イ 試験概要

- 1) 耕起:12月17日 ロータリー耕起 ロータリー 2.0m(松山株式会社製 LXR2008)

自動:内部はオートトラクターモード*

*事前に設定した旋回(180°)、作業機昇降、前進、PTO入・切が自動で行われる。

外部は旋回以外枕地直進モード*。耕起方法は隣接耕にて実施。

*自動で直進作業が行われる。

手動:内部及び外部手動。耕起方法は隣接耕にて実施。

- 2) 播種:12月18日 スリップローラーシーダー 8条 2.4m(松山株式会社製 SRA241UFSH8G)

自動:内部はオートトラクターモード、外部は旋回以外枕地直進モード。

手動:内部及び外部手動。

両作業共に自動から手動の順で実施した。

ウ 品種名:小麦「きぬあかり」 施肥・病虫害防除・雑草防除は栽培慣行に準ずる。

エ 機械設定及び搭乗者

- 1) 耕起:自動及び手動共にPTOは540rpm、エンジンは1,800rpm。重なり幅は8cmで設定

- 2) 播種:自動及び手動共にPTOは540rpm、エンジンは2,200rpm。重なり幅は0cmで設定

- 3) 搭乗者:大型特殊自動車免許 2019年8月取得 総搭乗時間50時間未満

オ 調査内容

- 1) 作業時間

内部の1行程あたりの作業及び旋回、外部作業及び旋回の総時間、ほ場登録走行(自動のみ)

- 2) 作業精度測定

耕起:作業距離、作業幅、残耕面積、耕起深度 播種:走行距離、作業面積

両作業終了後、ドローンにて撮影後地理情報システム「QGIS」にて解析

- 3) 疲労度測定

作業前、作業後にフリッカー値を測定(フリッカーヘルスマネジメント株式会社)

3. 試験結果

【水稻】

(1) 作業時間

耕起では、直進、旋回ともに自動の方が速く、10aあたり2分8秒短かった(表1)。直進作業での自動走行が時速3.5~4km程度(速度メーター目視で確認)であったのに対し、手動では、時速3~3.5km程度であった。搭乗者は自動走行を終えた際、「思ったより速かった」とコメントしており、搭乗者は時速3.5km以上での耕起作業を速いと感じ、手動走行ではスピードを出すのをためらったと考えられた。

鎮圧整地では、自動は直進が遅く、旋回がやや速く、作業時間は手動と同じであった(表1)。鎮圧整地では、整地の精度を考慮し、耕起より設定速度を落とし、時速3km程度で自動走行を設定したが、手動では、搭乗者が時速3~3.5km程度で走行したため、手動走行の作業時間が短くなった。搭乗者が自動走行を終えた際、「耕起よりもゆっくりで乗り心地がよかった」とコメントしたことから、時速3kmは搭乗者がためらわずに出せるスピードであったと考えられた。

播種では、直進、旋回ともに自動が速く、10aあたり2分50秒短かった(表1)。慣行的にV溝直播は速い速度での作業となるため、自動走行は時速5km設定で作業を行った。一方、手動は、直進でスピードを出すのがためらわれ、時速4km程度での作業となったため、作業時間が長くなった。また、播種作業は耕起、鎮圧整地と異なり、行程間を重ねずに作業する必要があるため、手動では旋回時の条合わせに時間がかかったと考えられた。

3作業の合計では、自動走行が10aあたり4分58秒短くなった(表1)。

(2) 作業精度

耕起では、手動走行が行程間の重なりが少なく、作業幅が広がったが、目視で確認できる蛇行が所々見られ、自動走行と比較し、 $7.3\text{m}^2/10\text{a}$ の残耕が生じた(表2)。一方、自動走行は作業幅の標準偏差が小さく、作業精度は安定していた(表2)。耕起深に差は見られなかった(表2)。

鎮圧整地では、自動が行程間の重なりが少なく、作業幅が広がった(表3)。手動では、自動と比較し、 $53.7\text{m}^2/10\text{a}$ の作業残しが生じた(表3)。作業幅の標準偏差は両区とも小さく、作業精度は安定しており、土壌硬度にも差は見られなかった(表3)。

播種では、自動が行程間隔、およびその標準偏差が小さく、作業精度が高かった(表4)。手動では、自動と比較し、 $1.6\text{m}^2/10\text{a}$ の播種残し、 $21.5\text{m}^2/10\text{a}$ の重複播種が生じた(表4)。播種深に差は見られなかった(表4)。

(3) 疲労度

3作業とも疲労度に大きな差は見られなかった(表5)。ただし、搭乗者は自動走行後、「ハンドル、アクセル操作が要らないので楽に作業ができた」とコメントした。昨年度の結果のとおり、代かき作業のような繊細な操作が要求される作業では、疲労度の低下が大きくなると考えられた。

(4) 生育・収量

出芽数、穂数、精玄米重に差は見られなかった(表6)。

【小麦】

(1) 作業概要

内部作業行程数は自動が少なく、その面積は耕起が23.4%、播種が20.0%となり、外部作業である回り耕の行程回数が両作業とも自動が増加した(表7)。耕起の開始位置は自動が長辺に沿って11.0m短辺に沿って9.2m、手動が長辺に沿って4.3m短辺に沿って5.5mとなった。播種では自動が長辺に沿って12.1m短辺に沿って9.9m、手動が長辺に沿って7.5m短辺に沿って7.7mとなった。

(2) 作業時間

自動では開始位置を決定するためのほ場登録走行が2分11秒要した。内部の作業速度は自動(耕起:2.390km/h、播種:1.876km/h)が手動(耕起:0.876km/h、播種:1.042km/h)よりも早かった。自動の内部及び外部作業の総時間は耕起が16分7秒の削減、播種が3分56秒の増加で、両作業の合計時間は手動より10分の削減となった。ただし、播種での自動は東西に1行程ずつ未播種箇所が発生したため、実施した場合は時速と平均旋回(90°)時間から6分28秒程度追加されることが想定された。その場合は、自動が3分32秒の削減であった(表8)。

(3) 作業精度測定

・耕起

自動での内部の重なりで幅はほぼ機械設定通りで、自動の精度が手動より高かった。ただし、自動は2行程目と3行程目の間に細長い残耕が発生した。耕起深度については両作業とも同等程度となった。外部の自動は短辺に沿って2行程分未耕起箇所が発生したため、修正的に追加耕起を行った(表9)。

・播種

内部では自動の精度が手動よりも高く、重複及び未播種面積も極めて僅かであった。しかし、外部作業では、播種は短辺に沿って両側1行程ずつ未播種(66.0、72.0m²)箇所が発生した(表10、図.1)。

(4) 疲労度

・耕起

減少率は自動が作業に支障をきたすとされる5%を大きく超えた(表11)。搭乗者は数ヶ月ぶりの搭乗のうえに不慣れな機体やサイズ等のために極度に緊張していたとコメントした。

・播種

減少率は手動が大きく、作業に支障をきたすとされる5%を超えた(表11)。搭乗者は自動走行中は周囲を気にする必要がないため、リラックスしていたが即座に終わってしまった。手動は各区行程の開始位置や重なり、蛇行状況等を気にしたために疲労したとコメントとした。

4. 主要成果の具体的データ

【水稻】

表1 作業時間の比較(水稻)

作業	試験区	直進作業	180° 旋回	90° 旋回	10aあたり作業時間 ¹⁾	
		秒/100m	秒	秒		差(自動-手動)
耕起(スタブルカルチ)	自動	92.3	28.5	26.5	14分19秒	-2分8秒
	手動	101.2	38.9	31.4	16分27秒	
鎮圧整地(パワーハロー)	自動	129.4	42.8	36.0	15分29秒	0秒
	手動	123.7	45.6	38.8	15分29秒	
播種(V溝直播)	自動	83.0	31.7	27.7	13分41秒	-2分50秒
	手動	91.4	44.5	36.6	16分31秒	
3作業合計	自動				43分29秒	-4分58秒
	手動				48分27秒	

1) 本試験における作業時間を10aあたりに換算した。播種作業における種子、肥料の補給の時間は除く。

表 2 耕起における作業精度の比較（水稻）

作業	試験区	耕起深	作業幅		残耕面積 ¹⁾
			平均	標準偏差	
		cm	cm		m ² /10a
耕起（スタブルカルチ）	自動	17.0	170.4	1.36	-
	手動	17.0	182.1	2.48	7.3

1) 自動走行の作業面積と比較したときの値を算出した。

表 3 鎮圧整地における作業精度の比較（水稻）

作業	試験区	土壌硬度 ¹⁾	作業幅		作業残し面積 ²⁾
			平均	標準偏差	
		mm	cm		m ² /10a
鎮圧整地（パワーハロー）	自動	8.8	231.2	1.12	-
	手動	8.6	220.9	1.26	53.7

1) 山中式土壌硬度計による測定値。

2) 自動走行の作業面積と比較したときの値を算出した。

表 4 播種における作業精度の比較（水稻）

作業	試験区	播種深	行程間隔 ¹⁾		播種残し面積 ²⁾	重複播種面積 ²⁾
			平均	標準偏差		
		cm	cm		m ² /10a	m ² /10a
播種（V溝直播）	自動	2.7	22.8	1.61	-	-
	手動	2.6	31.8	6.30	1.6	21.5

1) 行程間の条間の長さ。行程間の重なりが±0cmで20cmとなる。

2) 自動走行の作業面積と比較したときの値を算出した。

表 5 疲労度の比較（水稻）

作業	試験区	フリッカー値		
		作業前	作業後	減少率
		Hz	Hz	%
耕起（スタブルカルチ）	自動	50.1	49.8	0.6
	手動	49.9	50.0	-0.2
鎮圧整地（パワーハロー）	自動	50.3	49.9	0.8
	手動	49.9	49.7	0.4
播種（V溝直播）	自動	49.5	50.1	-1.2
	手動	50.0	50.2	-0.4

表 6 出芽数および成熟期・収量調査結果（水稻）

試験区	出芽数	成熟期・収量調査	
		穂数	精玄米重
	本/m ²	本/m ²	kg/10a
自動	102	324	594
手動	103	335	587

【小麦】

表7 作業概要

作業内容	試験区	内部				外部
		行程数 回	長辺距離 m	短辺距離 m	内部作業率 %	回り耕数 回
耕起	自動	6	38.50	11.10	23.4	5+1/2
	手動	10	51.60	20.60	58.1	3
播種	自動	4	37.00	9.88	20.0	4
	手動	6	46.30	14.30	36.2	3

表8 ほ場全体の作業時間

作業内容	登録走行時間	内部			外部	計	
		1行程作業時間 分秒	1行程巡回時間 ¹⁾ 分秒	総時間 分秒	総時間 分秒		
耕起	自動	2分11秒	00分58秒	00分55秒	10分22秒	58分19秒	68分41秒
	手動	-	03分27秒	01分04秒	44分07秒	40分41秒	84分48秒
播種	自動	-	01分11秒	01分07秒	8分04秒	54分50秒 ¹⁾	62分54秒
	手動	-	02分40秒	01分12秒	22分02秒	36分56秒	58分58秒

1)自動の未播種箇所を実施した場合は6分28秒(播種:115秒×2回+90° 巡回:80秒×2)加算される。

表9 作業精度 (耕起)

試験区	内部							外部
	1行程想定面積 ¹⁾ m ²	1行程耕起幅 ²⁾ m	(標準偏差)	重複面積 ³⁾ m ²	残耕 m ²	耕起深度 ⁴⁾ cm	(標準偏差)	残耕 m ²
自動	77.00	1.84	0.131	46.65	10.16	13.0	0.283	0.00
手動	103.20	2.07	0.218	21.05	38.58	12.9	0.271	6.91

1)2.0m×内部長辺 2)耕起幅は各行程の平均。耕起深度はほ場5地点の平均

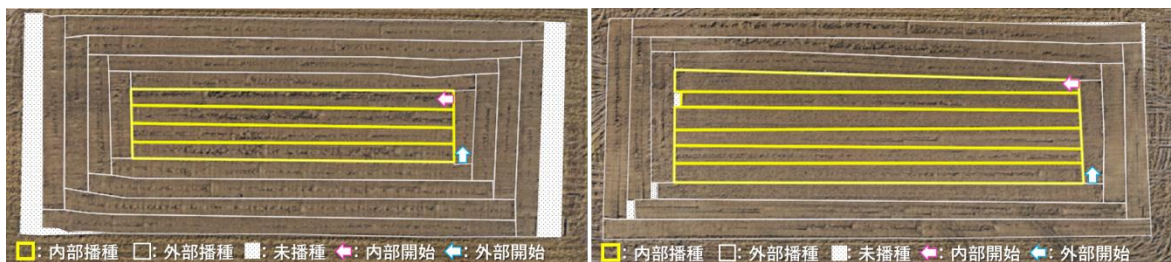
3)想定面積から耕起面積の差が正の場合を重複面積とする 4)耕起深度はほ場5地点の平均

表10 作業精度 (播種)

試験区	内部				外部	
	1行程想定面積 ¹⁾ m ²	1行程面積(平均) m ²	(標準偏差)	重複面積 ²⁾ m ²	未播種 m ²	未播種 m ²
自動	88.80	90.50	1.757	0.00	3.56	141.03(3.06) ³⁾
手動	111.60	117.09	10.782	12.26	8.93	15.24

1)2.4m×内部長辺 2)想定面積から播種面積の差が正の場合を重複面積とする

3)短辺に沿って外部2行程分の未播種箇所を実施したと仮定した未播種面積



自動播種

手動播種

図1 播種直後ほ場状況

表 11 疲労度測定結果

作業	試験区	作業前	作業後	減少率
		Hz	Hz	%
耕起	自動	44.14	38.44	12.91
	手動	45.11	44.63	1.06
播種	自動	45.30	43.56	3.84
	手動	47.33	44.82	5.31

5. 経営評価

【水稻】

自動による作業時間の短縮効果は、3 作業の合計で 4 分 58 秒/10a であり、大規模経営体 (100ha を想定) では 82.7 時間の短縮効果が見込まれるため、経費換算¹⁾すると 118 千円の削減が見込まれる。自動では播種残耕面積が 1.6 m²/10a 少なくなるため、収量換算²⁾すると 192 千円の収益向上が見込まれる。播種重複面積が 21.5 m²/10a 少なくなるため、肥料、種子量のロスを換算³⁾すると、159 千円の経費削減が見込まれる。

- 1) 労働単価を 1424 円/時間で試算。
- 2) 単収 480kg/10a、単価 250 円/kg で試算。
- 3) 播種量 8kg/10a、種子単価 550 円/kg、施肥量 20kg/10a、肥料単価 233 円/kg で試算。

【小麦】

トラクターを用いた 1 時間当たりのオペレーター作業賃金を 1,424 円*とすると、試験面積当たりの耕起及び播種(自動の未播種箇所も実施したと仮定)は 3 分 32 秒の短縮から、自動が 83.86 円の削減となった。そのため、大規模経営体が 100ha を実施した場合は 32.78 時間の短縮となり 46,679 円の削減となった。

*一般財団法人 全国農業会議所 平成 30 年度 「農作業料金・農業労賃に関する調査結果」試験面積当たりの未播種箇所では自動が手動より 120.43m²多くなり、4,298 円*の損失となった。そのため、100ha に換算すると未播種箇所は 66906.67 m²となり、2,387,829 円の損失となった。ただし、自動の未播種箇所を実施したと仮定した場合は試験面積当たり 626 円の増収となり、100ha に換算すると 347,729 円の増収となる。

*単収：480kg/10a、単価：2,784 円/60kg、交付金 6,510 円/60kg で試算。

6. 利用機械評価

【水稻】

作業時間の短縮、および作業精度の安定性から、オートトラクタは経験の少ない作業者の作業効率向上に役立つと考えられた。また、試験搭乗者は「自動走行は楽であった。」とコメントしていることから、一定の省力性を兼ね備えていると考えられた。

【小麦】

自動作業により耕起時の蛇行や播種時の重複や広がりを抑えるうえに、搭乗者の疲労も抑えることが期待されたが、設定上旋回に 10m 程度を要する本試験はほ場の短辺が短いために行程回数が少なく、自動作業が 10 分程度となり、作業に慣れる前に終了してしまった。

7. 成果の普及

試験成果の一部を研究短報として一般向けに公表した。

8. 考察

【水稲】

自動作業は、作業時間の短縮、作業者の疲労度軽減、作業精度の向上を図ることができた。このため、大規模経営体等においてオートトラクタの導入は不慣れな作業者の作業精度向上や、ベテラン作業者の疲労軽減による能率向上等の観点から、有効である可能性があると考えられた。

【小麦】

自動作業は旋回するために約 10m 程度の距離を必要とする。作業の開始位置はほ場の外周部を走る登録走行によって決まる。本試験の開始位置はほ場の長辺に沿って約 11m、短辺に沿って約 9m の位置となった。そのため、各作業の外部の行程回数が同一にならなかったと考えられた。耕起の場合は追加作業を行えば残耕は解消されるが、播種の場合は踏圧による生育の影響が懸念されるため追加作業を行うことが出来ない。本試験のように開始位置の設定に正確性が欠けてしまった場合、同様な問題が連続して発生する恐れがある。

短辺が短い程自動で行える回数が減る。そのため、播種作業のように自動と手動の作業度速度に大差がない場合、時間を多く要する回り耕の回数が増えるため、自動の方が作業時間を多く要する可能性がある。オートトラクタの性能を活かすにはある程度の面積を要すると思われた。

9. 問題点と次年度の計画

①旋回時に作業跡を勢いよく踏んで走行する

最終的な作業精度に問題はなかったが、搭乗者は気にしている様子であった。

②GPS 衛星の受信が不十分になる時間帯がある

本試験の最中に、GPS 衛星の受信が不十分となり、GPS 衛星の受信を待つことがあった。搭乗者は「自動走行中に受信が不十分にならないか不安になる」とコメントした。

10. 参考写真

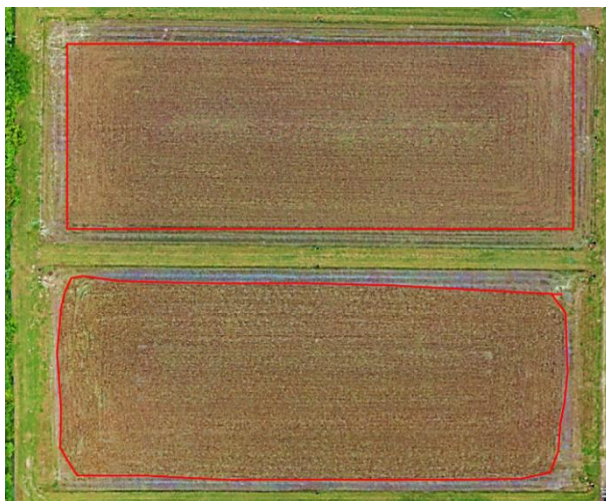


写真1 耕起後のほ場の比較【水稻】
(上：自動 下：手動)
枠内が作業部分



写真2 生育期のほ場の比較【水稻】
手動は行程間隔が開いた部分が見える。