

委託試験成績（令和2年度）

担当機関名 部・室名	宮城県古川農業試験場 水田営農部・営農企画チーム																																																								
実施期間	令和元年度～令和2年度，終了年度																																																								
大課題名	V 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	稲作バリューチェーンにおけるICTを活用した農業による省力化・収量改善の実証																																																								
目的	宮城県では、東日本大震災以降、100ha規模の大型農業法人や50ha以上の農業経営体が増加しており農作業の省力・軽労化、後継者の育成、簡易な圃場管理等が課題である。特に、担い手の高齢化にともない農業技術の伝承が困難であるため、ICT技術を用いることで農作業が容易となる可能性が高いことから、省力化と収量改善について検証する。																																																								
担当者名	水田営農部 ◎上席主任研究員 加進丈二 総括研究員 酒井博幸，技師 櫻田史彦，技師 真壁由衣																																																								
<p>1. 試験場所</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宮城県古川農業試験場（宮城県大崎市古川大崎字富国 88）</li> <li>試験圃場 G3a, G3b（ほ場面積：各 50a），水稻連作田，灰色低地土</li> </ul> <p>2. 試験方法</p> <p>1) 試験 1：省力化の検証</p> <p>(1)試験区の構成</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">試験区</th> <th colspan="3">オートモード</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>直進</th> <th>旋回</th> <th>外周</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>オート</td> <td>自動</td> <td>自動</td> <td>手動</td> <td rowspan="2">同一機種を自動・手動モードを切り替えて操作</td> </tr> <tr> <td>手動</td> <td>手動</td> <td>手動</td> <td>手動</td> </tr> </tbody> </table> <p>※各区 50a 隣接ほ場，反復なし，作業員：古川農業試験場職員（全作業を同じ職員が実施）</p> <p>(2)試験条件</p> <p>ア. 作業内容</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>作業</th> <th>作業月日</th> <th>作業機・作業内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>耕起</td> <td>4月23日</td> <td>ロボットトラクタ：ヤンマー，YT5113A（113馬力），作業幅 2.4m，手動：外周 2 周</td> </tr> <tr> <td>代かき</td> <td>5月18日</td> <td>ロボットトラクタ：ヤンマー，YT5113A（113馬力），作業幅 4.5m，植代 2 回作業，手動：外周 2 周</td> </tr> <tr> <td>移植</td> <td>5月22日</td> <td>オート田植機 ヤンマー，YR8D（8条植），手動：外周 3 周</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3)調査内容</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>作業時間，走行距離(作業時間×平均車速)，疲労度（フリッカー測定，FMH-Safety を使用），移植作業の直進精度</li> </ul> <p>2) 試験 2：収量改善効果の検証</p> <p>(1)試験区の構成</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">試験区</th> <th colspan="3">基肥量(kgN/10a)</th> <th colspan="2">追肥</th> </tr> <tr> <th>標肥</th> <th>少肥</th> <th>多肥</th> <th>施肥方法</th> <th>施肥量(kgN/10a)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>可変追肥</td> <td>5.0</td> <td>3.5</td> <td>6.5</td> <td>可変追肥</td> <td>2.0 ± 0.5</td> </tr> <tr> <td>慣行追肥</td> <td>5.0</td> <td>3.5</td> <td>6.5</td> <td>均一追肥</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>※試験 1 と同一ほ場で実施。可変追肥区，慣行追肥区は試験 1 のオート区，手動区。50a 隣接ほ場，反復なし</p>						試験区	オートモード			備考	直進	旋回	外周	オート	自動	自動	手動	同一機種を自動・手動モードを切り替えて操作	手動	手動	手動	手動	作業	作業月日	作業機・作業内容	耕起	4月23日	ロボットトラクタ：ヤンマー，YT5113A（113馬力），作業幅 2.4m，手動：外周 2 周	代かき	5月18日	ロボットトラクタ：ヤンマー，YT5113A（113馬力），作業幅 4.5m，植代 2 回作業，手動：外周 2 周	移植	5月22日	オート田植機 ヤンマー，YR8D（8条植），手動：外周 3 周	試験区	基肥量(kgN/10a)			追肥		標肥	少肥	多肥	施肥方法	施肥量(kgN/10a)	可変追肥	5.0	3.5	6.5	可変追肥	2.0 ± 0.5	慣行追肥	5.0	3.5	6.5	均一追肥	2.0
試験区	オートモード			備考																																																					
	直進	旋回	外周																																																						
オート	自動	自動	手動	同一機種を自動・手動モードを切り替えて操作																																																					
手動	手動	手動	手動																																																						
作業	作業月日	作業機・作業内容																																																							
耕起	4月23日	ロボットトラクタ：ヤンマー，YT5113A（113馬力），作業幅 2.4m，手動：外周 2 周																																																							
代かき	5月18日	ロボットトラクタ：ヤンマー，YT5113A（113馬力），作業幅 4.5m，植代 2 回作業，手動：外周 2 周																																																							
移植	5月22日	オート田植機 ヤンマー，YR8D（8条植），手動：外周 3 周																																																							
試験区	基肥量(kgN/10a)			追肥																																																					
	標肥	少肥	多肥	施肥方法	施肥量(kgN/10a)																																																				
可変追肥	5.0	3.5	6.5	可変追肥	2.0 ± 0.5																																																				
慣行追肥	5.0	3.5	6.5	均一追肥	2.0																																																				

## (2)試験条件

### ア. 基肥

- ・各ほ場を均等に3分割し、4月22日、ブロードキャスターおよび背負動力散布機を用いて所定量を全層施肥した。肥料：塩加磷安284 (N12-P18-K14)

### イ. 追肥

- ・可変追肥区は幼穂形成期(7月9日)の空撮結果を基に可変、慣行追肥区は均一の設定により、7月21日無人ヘリコプター(ヤンマー, YF390AX)により追肥した(オペレータ:ヤンマーアグリジャパン)。肥料:空散追肥306 (N30-P0-K6)

## (3)調査内容

### ア. 生育調査

- ・各試験区の施肥水準ごと30株(10株×3か所)の生育調査を6月17日, 6月29日, 7月9日, 7月21日に行った。
- ・調査項目:草丈, 茎数・穂数, 葉色

### イ. 生育診断

- ・6月16日, 7月2日(最高分げつ期), 7月9日(幼穂形成期)にドローン(DJI, P4 Multispectral)による空撮によりNDVI, 植被率のデータを取得した(オペレータ:ヤンマーアグリジャパン)。

### ウ. 成熟期調査

- ・生育調査と同一調査株において9月28日に稈長, 穂長, 穂数を計測した。
- ・収量調査:9月29日に上記調査株を刈取り, 乾燥, 脱穀調製後, 玄米収量を測定した。
- ・9月23日に各試験区の施肥水準ブロックごとに倒伏程度を目視で調査した。倒伏程度は無倒伏から完全倒伏まで5段階に区分し, それぞれ0(無倒伏)~4(完全倒伏)の指数を与えて次式により算出した。 (式) 倒伏程度=Σ(倒伏程度指数×倒伏程度指数の面積比率(%))

### エ. 収量測定

- ・9月30日に収量コンバイン(ヤンマー, YH6101)を用いて収穫作業を行った。
- ・収量コンバインで取得した5mメッシュ収量データを水分15%, 整粒率75%で補正し, 各試験区の平均収量と変動係数を算出した。

## 3. 耕種概要

- ・品種:ひとめぼれ
- ・育苗:播種日5月8日, 乾籾300g/箱, 加温出芽, プール育苗
- ・栽植様式:条間30cm, 株間22cm, 栽植密度:15.15株/m<sup>2</sup>(50株/坪)
- ・除草剤:5月22日(移植当日) トップガンGT1キログラム剤, 1kg/10a  
6月17日, アトカラSジャンボMX 20個(500g)/10a
- ・殺虫殺菌剤:5月22日, Dr.オリゼフェルテラ粒剤, 1kg/10a, 移植時側条施用  
7月16日, コラトップジャンボP,  
8月18日, ダントツ水溶剤, 4,000倍, 100L/10a

## 4. 主要成果の具体的データ

### 1) 試験1:省力化の検証

#### (1)省力効果

オート区における手動作業時間の割合は, 耕起47%, 代かき34%, 田植32%であった(表1)。耕起と田植では, オート区の作業時間が手動区を上回り, 作業能率は7~8%低下した。代かきでは, オート区の作業時間が手動区の77%となり, 作業能率は29%向上した。代かきにおけるオート区の走行距離は手動に比べて19%少なく, 工程の重なる減少が作業能率の向上につながったと考えられた。

(2)疲労度

フリッカー値は、手動区の場合は作業の前後で間に明瞭な差は認められなかった。一方、オート区では、耕起で値の上昇、田植で値の低下、代かきでは明瞭な変化が見られないなど、一定の傾向は認められず、オートモードによる疲労度の軽減効果は判然としなかった(表2)。

(3)移植作業の直進精度

各試験の工程の異なる2条において、始点と終点を結ぶ基準線に対する移植位置の横変位を計測した(図1)。手動区では片方向に湾曲して最大0.4m以上の変位が認められた。これに対して、オート区の変位は両方向に認められたもののいずれも0.1m未満であり、手動区に比べて高い直進性が確認された。

表1 作業性の比較

作業	試験区	作業時間 (min/10a)	手動作業時間 の割合(%)	作業能率 (ha/h)	平均車速 (km/h)	走行距離 (km/10a)
耕起	オート	16.8 (108)	47	0.36 (93)	2.2	0.62 (103)
	手動	15.6	100	0.38	2.3	0.60
代かき	オート	14.4 (77)	34	0.42 (129)	2.1	0.50 (81)
	手動	18.6	100	0.32	2.0	0.62
田植	オート	16.4 (109)	32	0.37 (92)	—	—
	手動	15.1	100	0.40	—	—

注1) ( )内の数値は手動区をの作業時間・作業能率に対する比率(%)を示す。

注2) 田植作業は苗積載時間を含み、オート区は外周計測時間を含む。

表2 疲労度の比較

作業	試験区	フリッカー値(Hz)	
		作業前	作業後
耕起	オート	47.1	49.4 ※
	手動	49.3	48.6
代かき	オート	48.8	49.3
	手動	49.6	49.2
田植	オート	50.3	49.1 ※
	手動	48.9	49.6

注1)値が小さいほど疲労度が高いことを示す。

注2)※は作業前後で有意差あり(n=5,Wilcoxonの順位和検定, p<0.05)

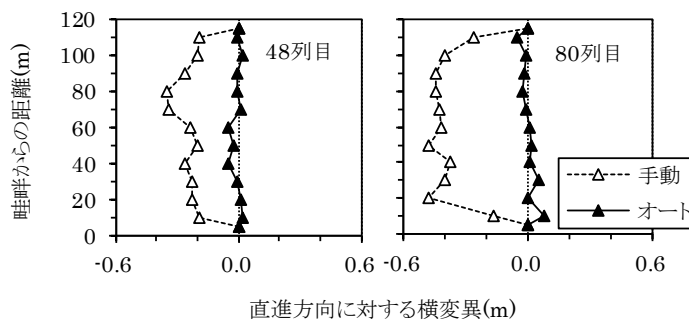


図1 田植機の直進精度の測定結果

注)移植6日後に各試験区2列において計測した。列の両端点を結ぶ直線から横方向にずれた距離をトータルステーションの望遠レンズで計測した。

2) 試験2: 収量改善効果の検証

(1)生育調査

基肥量の増減による生育へ影響は最高分けつ期頃から現れ、減数分裂期の追肥を行った時点では基肥量が多くなるにしたがって生育量が大きかった(表3)。

(2)生育診断

ドローンによる空撮で得られた NDVI, 植被率の値とそれらの変動係数から, 可変追肥の設計に用いた 7 月 9 日時点の水稻生育量とほ場内のバラツキは, 試験区間で大きな差はなかったと判断できた(図 2, 表 4)。

(3)成熟期調査・収量測定

収量測定: 両試験区において, 基肥量の増加にともなって稈長は長く, 穂数は増加し, 多肥では少肥および標肥に比べて倒伏程度が高く, 登熟不良による屑米の増加や千粒重の低下により減収が認められた(表 5)。収量コンバインから得られた可変追肥区の収量は, 成熟期調査(表 5)と同様に慣行追肥区に比べて低く(表 4), その変動係数は慣行追肥区よりもやや高く, 7 月 9 日時点の NDVI や植被率の変動係数と比較しても高い値を示したことから, 可変追肥によるほ場内のバラつきを解消する効果は認められなかった。

表3 生育経過

試験区	基肥	草丈(cm)				茎数(/㎡)				葉色(GM)			
		6/17	6/29	7/9	7/21	6/17	6/29	7/9	7/21	6/17	6/29	7/9	7/21
可変追肥	少肥	29.0	41.3	55.8	66.8	208	417	446	421	40.0	42.7	38.0	33.7
	標肥	30.2	45.1	60.2	73.2	241	524	537	509	40.5	43.9	39.8	36.4
	多肥	30.4	43.8	62.3	77.5	294	611	639	519	40.7	42.6	40.6	37.4
慣行追肥	少肥	28.8	43.6	58.0	69.8	232	430	449	436	38.7	41.5	39.7	34.2
	標肥	29.8	44.8	60.9	72.9	254	494	528	492	39.6	42.3	40.1	36.4
	多肥	29.0	43.8	60.0	74.8	240	458	528	492	40.4	43.8	41.7	38.2

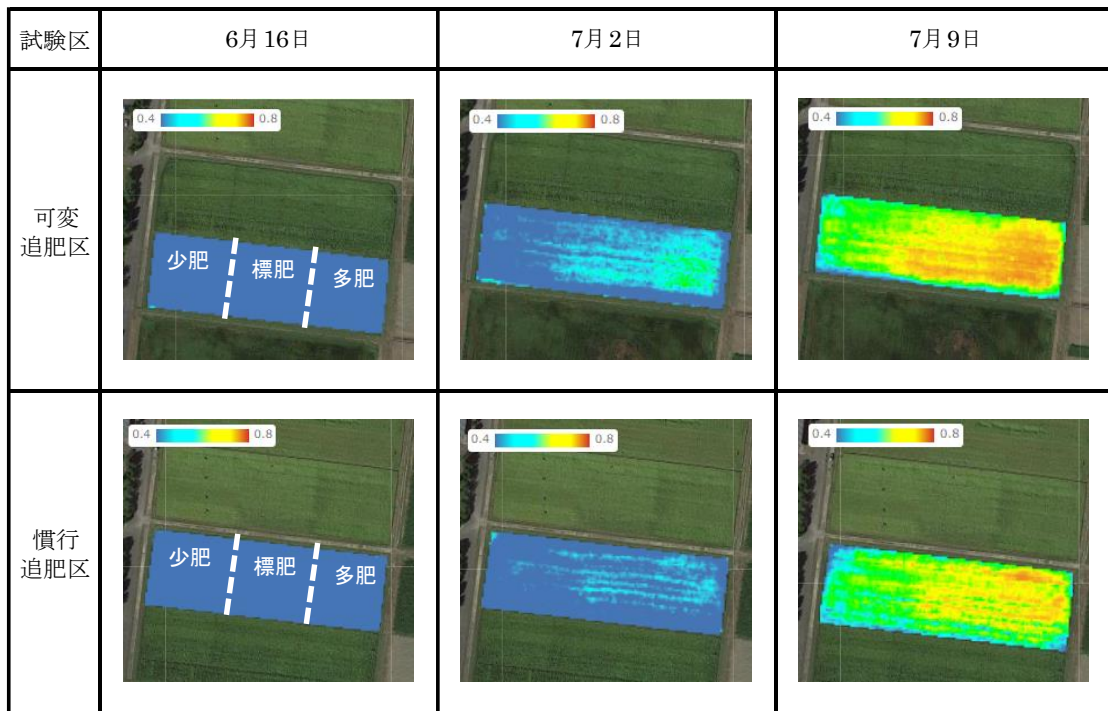


図2 生育期間におけるNDVIの変化

※値の範囲:0.4(青色)~0.8(赤色)

表4 空撮によるNDVIと植被率および収量コンバインによる収量データのは場平均と変動係数

試験区	NDVI			植被率			NDVI×植被率			収量 (kg/10a)	
	6/16	7/2	7/9	6/16	7/2	7/9	6/16	7/2	7/9		
可変追肥	平均値	0.10	0.41	0.65	0.39	0.45	0.51	0.04	0.19	0.33	464.3
	変動係数	33.4	23.6	9.4	9.8	7.1	4.3	46.6	28.8	12.8	12.9
慣行追肥	平均値	0.09	0.35	0.62	0.39	0.44	0.50	0.04	0.16	0.31	478.0
	変動係数	39.4	24.3	10.2	8.8	6.4	4.1	56.0	28.9	13.1	12.1

注) 変動係数=標準偏差/平均値×100

表5 成熟期調査結果

試験区	基肥	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数/m <sup>2</sup>	倒伏程度 <sup>a</sup>	精玄米重 (kg/10a)	屑米重歩合 (%)	千粒重 (g)
可変追肥	少肥	85.2	18.6	401.5	6	556.5	3.6	22.1
	標肥	91.2	18.6	472.7	122	579.9	8.3	20.9
	多肥	93.8	18.4	531.3	228	484.8	18.9	20.4
慣行追肥	少肥	86.8	18.5	408.1	22	602.9	4.0	21.6
	標肥	91.5	18.5	459.1	128	590.3	8.5	21.1
	多肥	93.2	18.7	462.6	200	582.1	11.1	20.8

a 無倒伏～完全倒伏まで5段階で区分した倒伏程度の面積比率(%)を合計して算出した。

## 5. 経営評価

- 隣接工程の重なりを目視で確認しにくい代かきでは、オートモードの活用により作業工程の重複を最少化することで作業時間が短縮されるため、作業の効率化に有効であると考えられた。一方、耕起や田植作業については、同様の効果は認められなかった。
- ドローンの空撮データを活用した水稻の生育診断と可変追肥によって、収量改善効果は認められなかった。

## 6. 利用機械評価

- ロボットトラクタおよびオート田植機の省力効果や疲労軽減効果について、本試験では十分に評価できるデータが得られなかったが、オート田植機の直進性は優れていると判断できた。
- ドローンを活用したセンシングは、気象条件にも恵まれて計画通り実施できた。
- 無人ヘリを用いた追肥作業における肥料の実散量は、設定量に対して可変追肥区が100%、慣行追肥が91%と概ね設定どおりであった。
- 収量コンバインによる収穫作業は、倒伏が生じたものの大きな支障はなく実施できた。

## 7. 成果の普及

データの一部は「みやぎスマート農業活用の手引き」の参考データとして活用する。

## 8. 考察

- 耕起、代かき、田植作業において、スマート農機のオートモードの活用により省力効果が認められたのは代かき作業のみであり、疲労度の軽減効果はいずれの作業においても判然としなかった。オート田植機は高い直進性を有することを確認した。
- フリッカー測定では、オートモード活用による疲労軽減効果が判然としなかった。効果的に評価するためには、より大規模な実証試験が必要と思われる。また、作業者は長時間ハンドルを握ることのなく作業できた点について身体的負担の軽減を実感したと述べており、このような軽労化の指標となる評価手法の検討が必要である。
- オート田植機は直進性に優れており、作業精度は高いと判断できた。

- ・ドローンによる空撮で得られるNDVI等のセンシングデータについては、ほ場内における水稻生育量のバラつきを詳細に捉えていたが、可変追肥による倒伏軽減や収量の均一化の効果は認められなかった。この技術の実用化し普及するためには、センシングデータを可変追肥の設計に変換する手法について改善の余地があると考えられた。
- ・収量コンバインの収量データについて、乾燥前の籾収量で表示されているが、水分と整粒率を任意の値で補正し、玄米収量として表示されるシステムの方が扱いやすい。また、メッシュデータについて、収量と合わせて水分データも記録できると、ほ場内の倒伏の状況を推察する記録として活用できると考えられる。

#### 9. 問題点と次年度の計画

- ・オートモードの活用について、今回は旋回パターンとして隣接工程を選択して作業を行ったが、自動作業のメリットを生かした工程飛ばしのパターンで作業した場合の効率性についても評価する必要がある。
- ・次年度の計画はなし。

#### 10. 参考写真



写真1 耕起作業



写真2 代かき作業



写真3 田植作業



写真4 収穫作業