

委託試験成績（令和元年度）

担当機関名 部・室名	宮崎県総合農業試験場 作物部
実施期間	平成29年度～令和元年度、継続
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	上空からのNDVI測定活用による水稲生育の見える化と可変施肥による収量と食味の向上
目的	<p>宮崎県の普通期水稲「ヒノヒカリ」は、平成27年度に日本穀物検定協会主催の食味ランキング「特A」を取得し、継続的な食味向上栽培技術が求められている。また、水稲経営の大規模化を踏まえた作業省力化や品質の均一化は喫緊の課題となっていることから、専用NDVI測定カメラを搭載したドローン等を活用し、省力かつ精度の高い施肥による収量・食味・品質の向上、均一化等を行う新たな栽培技術の開発を検討する。</p> <p>試験1年目（平成29年度）は、主に追肥可変施肥機における収量、食味、品質の均一程度や施肥精度等について一定の効果を確認した。また、試験2年目（平成30年度）は、それに加えてNDVI値等の各センシング値と生育量及びSPAD値との相関について試験したところである。試験最終年（令和元年度）は、各試験の年次変動について確認すると共に、総合的な解析及びとりまとめを行う。</p>
<p>1. 試験場所 宮崎県総合農業試験場内ほ場 60a(30a×2ほ場) 宮崎市佐土原町下那珂5805</p> <p>2. 試験方法</p> <p>(1) 供試機械名 ドローン（DJI社製）、専用NDVI測定カメラ（コニカミノルタ社製）、穂肥用可変施肥機及び無人ヘリ（ヤンマーアグリジャパン社製）</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>品 種 名 「ヒノヒカリ」</p> <p>種 子 消 毒 （5月15日開始 24時間浸漬 「テクリト`Cフアブル」 200倍 + 「スチオン乳剤」 1,000倍）</p> <p>播 種 （5月21日、150g/箱）</p> <p>育 苗 （出芽器（30℃、3日間）で出芽後、育苗ハウスにて平置育苗 期間：21日）</p> <p>荒 代 （5月30日）</p> <p>植 代 （6月7日）</p> <p>施 肥 { 基肥 方法：ミスト機、6月7日 試験1 ドローンNDVI測定+可変施肥 施肥量：BB066（NPK=10：16：16）70kg, 50kg, 10kg/10a 3水準 試験2 グラデーション設定ほ場NDVI測定 施肥量：BB066（NPK=10：16：16）70kg, 50kg, 30kg, 10kg/10a 4水準 }</p> <p>移 植 （6月11日） { 試験1 60株/坪（株間18cm×条間30cm） 試験2 43株/坪（株間25cm×条間30cm）、60株/坪（株間18cm×条間30cm）、85株/坪（株間13cm×条間30cm） }</p> <p>除 草 （6月11日）一発除草剤：ミスターホームランLシ`ンホ` 500g（10個）/10a</p> <p>病虫害防除 （6月10日）「ビ`ルダ`ーフェルテラ`ェス粒剤」 50g/箱 （6月11日、6月18日）「スクミノ」 4kg/10a</p>	

(3) 試験区の構成

試験1 グラデーション設定ほ場NDVI測定 (30a)

試験区 NO.	栽植密度 (株/坪)	基肥 (N)	穂肥 (N)
1	85	1.0	1.0
2	85	3.0	1.0
3	85	5.0	1.0
4	85	7.0	1.0
5	60	1.0	3.0
6	60	3.0	3.0
7	60	5.0	3.0
8	60	7.0	3.0
9	43	1.0	5.0
10	43	3.0	5.0
11	43	5.0	5.0
12	43	7.0	5.0

試験2 ドローンNDVI測定+可変施肥 (30a)

試験区 NO.	基肥 (N)	穂肥 (N)
1	3.0	可変施肥量
2	3.0	慣行量
3	5.0	可変施肥量
4	5.0	慣行量
5	7.0	可変施肥量
6	7.0	慣行量

※ 穂肥:可変施肥量(可変施肥機搭載無人ヘリ散布)
慣行量:SPAD値に基づく地上散布

試験1は、栽植密度、基肥量、穂肥量の異なる12区のグラデーションほ場を設定し、ドローンを用いたNDVI測定結果やSPAD値等との相関を検討する。また、試験2は、基肥量の異なる区を設定し、穂肥における通常(ミスト機)散布と、ドローンを用いたNDVI測定結果から作成された生育MAPに基づく可変施肥機(無人ヘリ搭載)散布との比較を行い、収量、品質、玄米タンパク含有率及び生育MAPに基づく可変施肥による穂肥の均一程度や精度等を確認する。

3. 試験結果

(試験1)

- ・ 幼穂形成期の「NDVI×植被率」と「草丈×茎数×葉色」には、2ヵ年(H30、R1)とも各栽植密度で高い相関が認められた(図1)。
- ・ 幼穂形成期の「NDVI」と「SPAD」は、H30年は栽植密度60、85株/坪で相関が強く、43株/坪で相関が低くなったが、R1年は各栽植密度で相関が低くなった(図2)。
- ・ 基肥窒素量と幼穂形成期の「SPAD」及び「NDVI」の関係において、SPAD値の相関が低く、バラツキが確認された(図3)。
- ・ 幼穂形成期の「NDVI」と「SPAD」について相関の高かったH30年結果による回帰式を使用し、可変施肥の参考指標を作成した(表1)。

(試験2)

- ・ 中間生育は、基肥量が同じ場合、各区間で大差はなかった(表2)。
- ・ m²当穂数は、年次間の有意な交互作用によって限定的ではあるが、穂肥施肥法による有意差が認められた(表3)。
- ・ 穂長は、H29、H30の2ヵ年は、基肥量が同じ場合、全ての区で可変施肥区が慣行区と比べ短くなったが、R1は判然とせず、年次間の有意な交互作用によって限定的ではあるが穂肥施肥法による有意差が認められた(表3)。
- ・ m²当粒数は、H29、H30の2ヵ年は、基肥量が同じ場合、全ての区で可変施肥区が慣行区と比べ少なくなったが、R1は判然とせず可変施肥法による有意差も認められなかった(表4)。
- ・ 登熟歩合は、H29、H30の2ヵ年は、基肥量が同じ場合、全ての区で可変施肥区が慣行区と比べ高くなったが、R1は判然とせず有意差も認められなかった(表4)。
- ・ 玄米千粒重は、H29、H30の2ヵ年は、基肥量が同じ場合、可変施肥区が慣行区と比べ同等～高くなる傾向があったが、R1は判然とせず可変施肥法による有意差も認められなかった(表4)。
- ・ 収量は、精玄米重において基肥量が同じ場合、H29、30年は慣行区が可変施肥区を、R1は可変施肥区が慣行区をやや上回った。また、可変施肥区が慣行区より標準偏差値(バラツキ)が小さくなった(表5)。
- ・ 玄米タンパク含有率は、3ヵ年平均で可変施肥区は慣行区と比べほぼ同等となった(表5)。
- ・ 農産物検査の品質において可変施肥区は慣行区を有意に上回った(表5)。

4. 主要成果の具体的

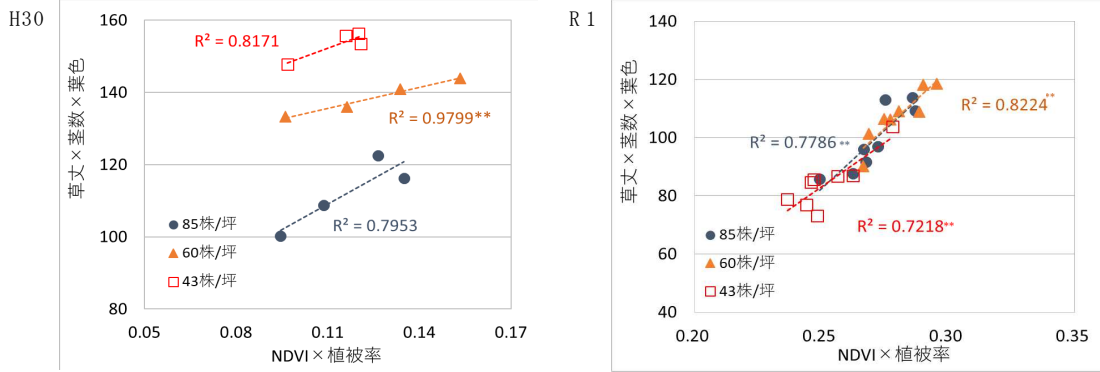


図1 幼穂形成期の「NDVI×植被率」と「草丈×茎数×葉色^{10⁴}」(2カ年) ※ **:1%水準で有意差有り

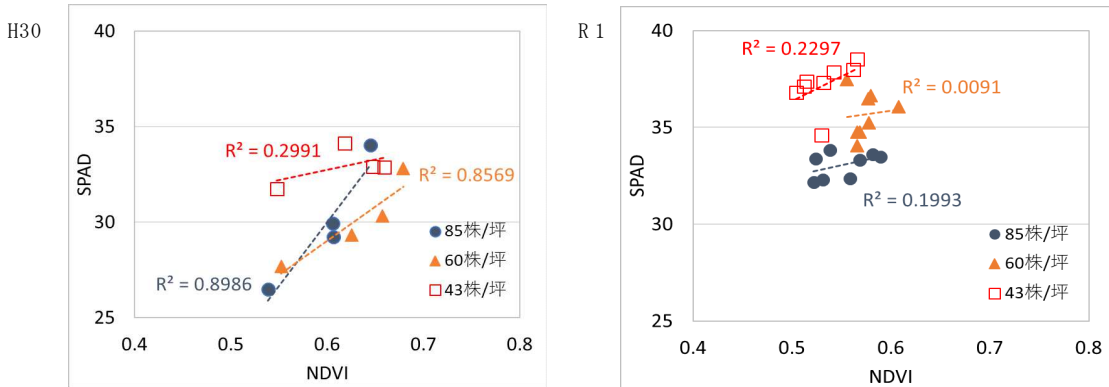


図2 幼穂形成期の「NDVI」と「SPAD」(2カ年)

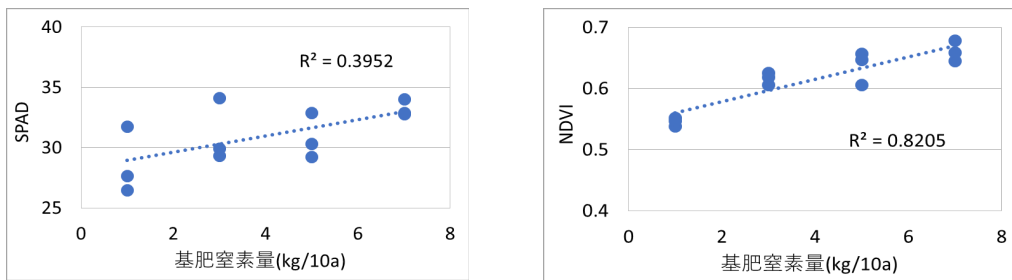


図3 基肥窒素量と幼穂形成期の「SPAD」及び「NDVI」(H30)

表1 穂肥可変施肥参考指標

宮崎県「ヒノヒカリ」栽培基準

SPAD	N量(kg/10a)
21~24	2.0~3.0
24~28	1.5~2.5
27~31	1.0~2.0
30~34	様子を見て施用
34~37	施用しない



NDVI	N量(kg/10a)
0.480以下	3.0
0.481~0.514	2.5
0.515~0.548	2.0
0.549~0.582	1.5
0.583~0.616	1.0
0.617~0.650	0.5
0.651以上	0.0

H30年(60, 85株/坪植センシング)結果による回帰式「 $NDVI値=0.017 \times SPAD値+0.1056$ ($R^2=0.7335$)」を使用

表2 中間生育

年次	試験区NO.	移植後+45日	
		草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)
H29	1. N3+可変施肥機	64.9	601
	2. N3+慣行	67.8	651
	3. N5+可変施肥機	69.6	610
	4. N5+慣行	68.9	659
	5. N7+可変施肥機	69.9	642
	6. N7+慣行	70.5	682
H30	1. N3+可変施肥機	49.8	511
	2. N3+慣行	51.5	537
	3. N5+可変施肥機	56.7	584
	4. N5+慣行	55.2	550
	5. N7+可変施肥機	60.0	598
	6. N7+慣行	60.4	626
R1	1. N3+可変施肥機	68.2	455
	2. N3+慣行	66.6	439
	3. N5+可変施肥機	71.3	494
	4. N5+慣行	69.7	457
	5. N7+可変施肥機	68.4	468
	6. N7+慣行	68.5	465

表3 成熟期等

年次	試験区NO.	稈長 (cm)	穂長 (cm)	有効穂数		倒伏 程度	出穂期	成熟期
				株当 (本)	m ² 当 (本)			
H29	1. N3+可変施肥機	72.5	19.0	16.5	306	無	8月22日	9月27日
	2. N3+慣行	77.1	20.0	19.3	357	無		
	3. N5+可変施肥機	74.9	19.4	17.0	314	無		
	4. N5+慣行	79.8	20.3	19.1	354	少		
	5. N7+可変施肥機	77.5	19.0	18.9	349	無		
	6. N7+慣行	79.9	20.5	20.0	370	少		
H30	1. N3+可変施肥機	68.5	19.5	16.1	298	中	8月24日	10月3日
	2. N3+慣行	70.0	20.0	17.6	326	少		
	3. N5+可変施肥機	74.2	19.1	19.0	352	中		
	4. N5+慣行	75.0	19.9	18.3	338	少		
	5. N7+可変施肥機	76.9	19.4	19.6	363	中		
	6. N7+慣行	77.8	20.0	20.2	373	少～中		
R1	1. N3+可変施肥機	76.3	19.0	18.6	344	無	8月23日	10月2日
	2. N3+慣行	76.3	18.4	19.5	360	無		
	3. N5+可変施肥機	79.3	19.1	21.0	389	無		
	4. N5+慣行	76.4	19.2	19.2	355	無		
	5. N7+可変施肥機	80.3	19.5	19.0	351	微		
	6. N7+慣行	76.1	19.4	18.4	340	微		
分散分析								
	年次(A)	**	**	n. s.	n. s.			
	基肥量(B)	**	n. s.	**	**			
	穂肥施肥法(C)	**	**	*	*			
	A×B	**	n. s.	n. s.	n. s.			
	A×C	**	**	**	**			
	B×C	*	n. s.	n. s.	n. s.			
	A×B×C	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.			

注)分散分析：*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意差有り、n. s.は有意差が無いことを示す

表4 収量構成要素

年次	試験区NO.	収量		登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)
		1穂当 (粒)	m ² 当 (百粒)		
H29	1. N3+可変施肥機	82.1	251	83.9	23.2
	2. N3+慣行	83.6	298	78.5	23.0
	3. N5+可変施肥機	85.4	268	84.2	23.0
	4. N5+慣行	88.5	313	75.4	23.1
	5. N7+可変施肥機	83.6	251	83.9	23.0
	6. N7+慣行	86.2	319	77.6	23.0
H30	1. N3+可変施肥機	69.5	207	88.8	23.0
	2. N3+慣行	69.0	225	88.4	22.9
	3. N5+可変施肥機	67.1	236	88.8	23.4
	4. N5+慣行	74.5	252	86.8	23.1
	5. N7+可変施肥機	69.6	253	87.5	23.6
	6. N7+慣行	73.7	275	86.7	23.2
R1	1. N3+可変施肥機	79.9	248	67.0	20.8
	2. N3+慣行	78.3	254	66.7	20.9
	3. N5+可変施肥機	79.3	309	67.6	20.8
	4. N5+慣行	77.2	261	72.1	20.6
	5. N7+可変施肥機	74.4	261	72.2	21.0
	6. N7+慣行	70.7	264	74.2	21.0
分散分析	年次(A)	**	**	**	**
	基肥量(B)	n. s.	n. s.	**	n. s.
	穂肥施肥法(C)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	A×B	n. s.	n. s.	*	**
	A×C	n. s.	*	**	n. s.
	B×C	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	A×B×C	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

注) 分散分析: *, **はそれぞれ5%、1%水準で有意差有り、n. s. は有意差が無いことを示す

表5 収量及び品質、玄米分析

年次	試験区NO.	精玄米重 (kg/a)	玄米分析		品質	
			タノク含有率 (%)	スコア	農産物検査	格下理由
H29	1. N3+可変施肥機	50.1	6.0	82	5.0	心白
	2. N3+慣行	51.2	6.2	81	6.0	心白
	3. N5+可変施肥機	52.4	6.0	82	5.0	心白
	4. N5+慣行	56.9	6.5	78	7.0	心白・充実
	5. N7+可変施肥機	54.8	6.0	82	5.0	心白
	6. N7+慣行	56.3	6.4	79	6.0	心白
H30	1. N3+可変施肥機	45.0	5.9	82	5.5	心白
	2. N3+慣行	45.5	5.8	82	6.0	充実
	3. N5+可変施肥機	48.0	5.9	82	6.0	心白
	4. N5+慣行	48.3	5.9	83	6.0	心白
	5. N7+可変施肥機	49.2	5.8	83	5.5	心白
	6. N7+慣行	51.1	6.0	81	6.0	心白
R1	1. N3+可変施肥機	36.8	6.7	77	4.5	充実
	2. N3+慣行	35.9	6.5	78	5.0	充実
	3. N5+可変施肥機	39.1	6.8	76	5.5	心白・充実
	4. N5+慣行	36.5	6.5	78	5.5	心白・充実
	5. N7+可変施肥機	42.0	6.9	75	5.0	心白・充実
	6. N7+慣行	39.6	6.6	78	5.5	心白・充実
平均値	可変	46.4	6.2	80.1	5.2	
	慣行	46.8	6.3	79.8	5.9	
標準偏差	可変	6.30	0.46	-	0.62	
	慣行	7.88	0.32	-	0.68	
分散分析	年次(A)	**	**	-	n. s.	
	基肥量(B)	**	n. s.	-	n. s.	
	穂肥施肥法(C)	n. s.	n. s.	-	**	
	A×B	n. s.	n. s.	-	n. s.	
	A×C	n. s.	**	-	n. s.	
	B×C	n. s.	n. s.	-	n. s.	
	A×B×C	n. s.	n. s.	-	n. s.	

注) 玄米分析: 静岡製機食味分析計AG-RDによる測定

農産物検査: 等級1上〜規格外(1〜10)で評価

分散分析: *, **はそれぞれ5%、1%水準で有意差有り、n. s. は有意差が無いことを示す

表6 穂肥作業所要時間(3カ年平均)

穂肥施肥方法	所用時間(分)	
	10a	(ha換算)
可変施肥機	2	20
慣行	11	110

5. 経営評価

ドローンを用いたセンシングにおいては、水稻の生育状況を短時間かつほ場全体を面的に捉えて「見える化」することが可能であり、生育調査に係る労力を大幅に削減できることが示された。また、NDVI測定に基づく穂肥の可変施肥については、慣行施肥に比べると、安定した収量と品質の向上が認められたことから、生産者の収益向上につながるものと考えられた。さらに、無人ヘリによる上空からの散布は、短時間かつ労力負担軽減に大きく寄与するものである。

6. 利用機械評価

専用NDVI測定カメラを搭載したドローンによるセンシングは、2分/10a(高度15m撮影時)と、短時間かつ面的に水稻の生育状況を捉えることが可能である。また、可変施肥機を搭載した無人ヘリによる穂肥の散布は、2分/10a(表6)と、短時間であるとともに、高い精度で散布できることが確認された。

7. 成果の普及

平成29年～令和元年の3カ年の試験結果から得た知見について、成果情報等を通じて生産現場へ情報提供する。

8. 考察

試験1

幼穂形成期のセンシング値と生育、SPAD値の関係について検討した結果、「NDVI×植被率」(センシング)と「草丈×茎数×葉色」(実測)の関係において、2カ年とも相関が高く、生育診断指標として有用であることが示唆された。

NDVI値とSPAD値の関係については、栽植密度の違いや年次によって相関の高低が見られた。H30年は栽植密度が低くなると相関が低くなったが、基肥窒素量との関係から見ると、SPAD値のバラツキによって相関が低くなったことが一因であると考えられた(図3)。これは、NDVI値が稲体の生育群領域としての体積的な情報を測定して安定した値を得られる一方、SPAD値は一枚の葉の限定的な情報による測定結果であり、測定場所や株によって値がバラついてしまうものと推察された。また、R1年は、全体的に相関が低くなったが、これは、6月下旬～7月中旬の低温と極端な日照不足で生育不良となった結果、グラデーションほ場内の葉色差がほとんど無い状態であり、相関の取りづらい狭いレンジでの測定となってしまったことが一因であると考えられた(図2)。

試験2

ドローンによるNDVI測定～可変施肥機を搭載した無人ヘリによる穂肥を検討した結果、3カ年を平均して慣行と比べ、収量はバラツキが小さく品質は向上した。

R1年については、慣行に比べ玄米タンパク含有率は高くなったが、収量や品質は向上した。玄米タンパク含有率については、生育期の低温や日照不足による稲体の生育不足に加え、穂肥後の登熟期間も極端な日照不足という厳しい気象条件の中、可変施肥の効果により収量や品質は向上したものの、最終的に同化産物の生成が不足するなどし、タンパク低下にまで至らなかったものと考えられた。

また、収量については、天候不良により葉色が落ちきらない中での測定となった結果、慣行の「SPAD値」は生育量の割に高めに測定されたことで、施肥量が少なくなり収

量が伸びなかった一方、可変施肥における「NDVI値」は正確な生育量を捉え、適正な施肥量を散布できたことから、収量が確保できたものと推察された。さらに、「NDVI値」については、「NDVI×植被率」と「草丈×茎数×葉色」で高い相関が確認されていることから、生育量を的確に捉えた追肥により、気象変動にも対応した増収効果を期待できることが示唆された。

9. 問題点と次年度の計画

ドローンによるNDVI測定～可変施肥において、品種や年次変動、現地を含めた栽培条件の違いを踏まえたデータの蓄積を進めることにより、さらに高精度で安定した生育指標への活用が可能になると考える。なお、本試験については本年度で終了となる。