

委託試験成績（令和3年度）

担当機関名 部・室名	茨城県農業総合センター農業研究所 作物研究室、環境・土壌研究室
実施期間	令和元年度～3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	ICTを活用した高収量かつ省力的な水稻栽培技術の実証
目的	大規模経営における茨城県の主力品種「コシヒカリ」栽培では、倒伏させずに多収を得ることが重要である。このため、ICTを活用した水稻栽培技術（可変施肥技術）により、地力や生育の変動に対応した安定多収栽培技術を確立・実証し、大規模経営体の育成を支援する。
担当者名	作物研究室 主任研究員 大越 三登志、研究員 大和田 興 環境・土壌研究室 研究員 人見 拓哉

1. 試験場所 試験1. 茨城県農業総合センター農業研究所所内圃場(茨城県水戸市上国井町)
試験2. 現地圃場(茨城県龍ヶ崎市下地内)

2. 試験方法

前年度までの2年間で、ドローンでの生育量センシングに基いた可変施肥対応型ブロードキャストおよび同無人ヘリによる変量基肥・追肥により、生育ムラが改善されることが示唆された。本年度は同技術による効果の年次変動を確認して安定性を評価する。

(1) 供試機械名

- ①可変施肥対応型ブロードキャスト (IHI アグリテック・MBC300PN) (試験2のみ)
②センシング用ドローン (DJI・Phantom4) マルチスペクトルカメラ (試験1・試験2)
③可変施肥対応型無人ヘリ (ヤンマー・YF390AX) (試験1・試験2)

(2) 試験条件

試験1. 地力差の無い圃場における生育制御技術 (所内試験)

地力差の無い所内圃場において、基肥窒素量により追肥時の生育量を調整し、幼穂形成期におけるドローンの生育診断に基づく可変追肥の効果を検証する。前年の試験では可変追肥により慣行区よりやや増収した。本年度は効果の安定性を確認する。

ア. 圃場条件：地力差の無い所内圃場（土壌型：表層腐植質多湿黒ボク土）

イ. 栽培等の概要

供試品種	栽植密度	基肥	移植	センシング	追肥	出穂期前日数
	(株/㎡)	(月/日)	(月/日)	(月/日)	(月/日)	
コシヒカリ	16.1	4/27	5/10	7/8	7/14	16日

基肥はアグリフラッシュ(14-14-14)、追肥はNK2号(16-0-16)を使用した。

ウ. 試験区構成

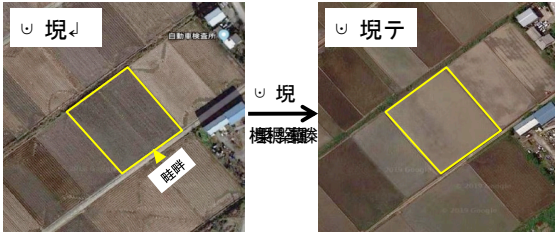
試験区	基肥	追肥		窒素施肥量(kg/10a)		
		供試機種	可変施肥	基肥	追肥	
①可変追肥区	全面全層施肥 (速効性肥料)	無人ヘリ	あり	4.0	5.1	生育に応じた 可変追肥 (変量幅N1～5)
				6.0	3.0	
				8.0	3.0	
②対照区		人力	なし	4.0	5.1	可変追肥区と 同等量を 均一追肥
				6.0	3.0	
				8.0	3.0	

試験区面積：可変施肥区350㎡、対照区175㎡

試験 2. 地力差の大きな圃場における生育制御技術（現地試験）

地力差の大きな現地の合筆圃場において、可変施肥対応型ブロードキャスタおよび無人ヘリ、ドローンによる生育診断といった ICT 技術を活用した高収量・省力水稻栽培技術を実証する。過去 2 年の試験では、ICT 技術の適用により、慣行に比べ生育ムラが少なく、増収したが、同技術の導入コストと照らした収支は年によってプラスとマイナスに分かれた。本年度も同技術を導入し、効果の安定性を評価する。

ア. 圃場条件：現地水田（平成 30 年 2 月に地力差の大きな 2 圃場を合筆した圃場・下図）



清耕農機対応 不焼 套③ 畝外	
套③ 畝外	清耕農機対応
開 *	B *
① 不焼	不焼
① 不焼	不焼

開 * 清耕農機対応 B * 清耕農機対応

イ. 栽培等の概要

供試品種	栽植密度 (株/m ²)	基肥 (月/日)	移植 (月/日)	センシング (月/日)	追肥 (月/日)	出穂期前日数	坪刈り (月/日)	全刈り (月/日)
コシヒカリ	15.5	4/20	5/8	6/30	7/9	22日	9/2	9/8

基肥はアグリフレッシュ(14-14-14)、追肥はNK2号(16-0-16)を使用した。

ウ. 試験区構成：下記①～③を地力差の大きな同一の合筆圃場に設けた。

試験区	基 肥		追 肥	
	供試機種等	施肥方法および施肥量(kg/10a)	供試機種	施肥方法および施肥量(kg/10a)
①ICT区 (可変基肥＋可変追肥)	可変施肥対応型ブロードキャスタ	前年産の生育量データに応じ N0～8の範囲で変量施肥 (平均実施量N5.3)	可変施肥対応型無人ヘリ	本年の生育量データに応じ N0～3の範囲で変量施肥 (平均実施量N1.5)
②既存技術区 (土壌診断基肥＋生育診断追肥)	ミス機	N3(地力高)、N6.4(地力低) (土壌診断に基づく)	ミス機	N2(地力高・地力低とも) (生育診断に基づく)
③慣行区 (均一施肥)	ブロードキャスタ	N5.6	可変施肥対応型無人ヘリ	N1.7 (無人ヘリによる均一散布)

試験区面積：ICT区・慣行区は地力高・低とも10aずつ、既存技術区は同5aずつ、計50a
試験圃場は過去2年の試験と同一であるが、年ごとにICT区・慣行区の位置を入れ替えている

3. 試験結果

試験 1. 地力差の無い圃場における生育制御技術（所内試験）

リモートセンシングで得られた「NDVI」および「NDVI×植被率」は幼穂形成期における地上部窒素吸収量と高い正の相関があった。

幼穂形成期における乾物重の変動係数は、13～18%となり基肥量による生育差が認められたが、ドローンの生育診断に基づく追肥によって、収量(精玄米重)の変動係数は4～6%まで平準化された。一方で、本試験では、追肥後の対照区と可変追肥区における収量に有意差が認められなかった(表1)。

試験 2. 地力差の大きな圃場における生育制御技術（現地試験）

ICT 区の基肥は、前年産の生育量データに応じて窒素 0～8 kg/10a の設定範囲で変量施肥し、平均実施量は 5.3kg/10a であった。また、ICT 区の追肥は、本年の幼穂形成始期頃(6/30)におけるセンシングによる生育量データに応じて窒素 0～3 kg/10a の設定範囲で変量施肥し、平均実施量は 1.5kg/10a であった。センシングで得られた 1m メッシュデータより、生育量(NDVI×植被率)の平均値は、ICT 区と慣行区では地力高区が地力低区より高かったの

に対し、既存技術区では地力低区が地力高区より高かった。ICT 区全体での平均値は慣行区全体の平均値より低かったが、可変基肥量の設定値が低かったことによると考えられる。また、同様に算出した施肥体系別の生育量 (NDVI×植被率) のばらつき程度 (変動係数) は、ICT 区と慣行区で大きく、既存技術区で小さかった。ICT 区と慣行区では地力高区と低区でばらつきが大きく異なるが、これは元々の地力のばらつきが反映していると考えられる (図 1)。

成熟期の稈長・穂長・穂数は ICT 区と慣行区では地力により差があったが、既存技術区では差はなかった。倒伏程度は慣行区では地力に関わらず振れ幅が大きかったが、ICT 区の高力区では振れ幅が比較的小さく、可変追肥により生育のばらつきが抑えられたためと考えられた。一方、ICT 区でも地力低区では倒伏程度の振れ幅が大きくなっており、追肥時点の生育のばらつきが大きすぎたため、今回の追肥量の設定幅では生育差を補正しきれなかった可能性がある。既存技術区は倒伏程度の振れ幅は小さかった (表 2)。

収量は ICT 区は慣行区より多かったが、既存技術区よりやや少なかった。ICT 区・慣行区では地力高区での倒伏程度が大きかったことが収量に影響したものと考えられた。一方 ICT 区でも地力低区のほうは比較的収量が高くなっており、低地力の補正という点では今回の施肥量設定値が有効であったと考えられた (表 3)。

4. 主要成果の具体的なデータ

表 1. 施肥方法が生育・収量に及ぼす影響 (所内)

試験区	施肥量 (Nkg/10a)			追肥前の生育特性 (幼穂形成期頃 : 7/8 に調査を実施)								収量・品質				
	基肥	追肥	合計	草丈	茎数	葉色 (SPAD)	草丈× 茎数× SPAD	乾物 重	窒素 吸収量	NDVI	植被率	NDVI× 植被率	精玄 米重	千粒 重	タンバ ク質 含量	成熟期の 窒素 吸収量
				cm	本/m ²	SPAD	kg/10a	kg/10a	%	%	kg/10a	g	%	kg/10a		
可変追肥区	4.0	5.1	9.1	66.1	364	30.5	46529	266	2.9	0.38	0.50	0.19	567	23.8	6.3	9.3
	6.0	3.0	9.0	70.2	414	31.5	58088	331	3.7	0.46	0.52	0.24	557	23.7	6.2	9.0
	8.0	3.0	11.0	72.7	477	32.3	69307	389	4.4	0.54	0.54	0.29	603	23.4	6.2	9.8
可変追肥区の 変動係数				5%	12%	3%	19%	18%	21%	16%	3%	19%	6%	2%	3%	7%
対照区	4.0	5.1	9.1	67.1	365	31.9	48448	251	2.8	0.36	0.49	0.18	575	23.8	7.0	10.5
	6.0	3.0	9.0	69.0	427	31.8	57688	310	3.5	0.43	0.51	0.22	597	23.7	6.9	10.2
	8.0	3.0	11.0	69.5	436	31.1	58092	328	3.6	0.47	0.53	0.25	603	23.4	6.7	11.3
対照区の 変動係数				2%	11%	2%	12%	13%	14%	13%	3%	15%	4%	1%	8%	11%
追肥前の 窒素吸収量 との相関	0.81			0.93	0.87	0.60	0.94	0.99	—	0.83	0.85	0.84	0.51	0.69	-0.40	0.02

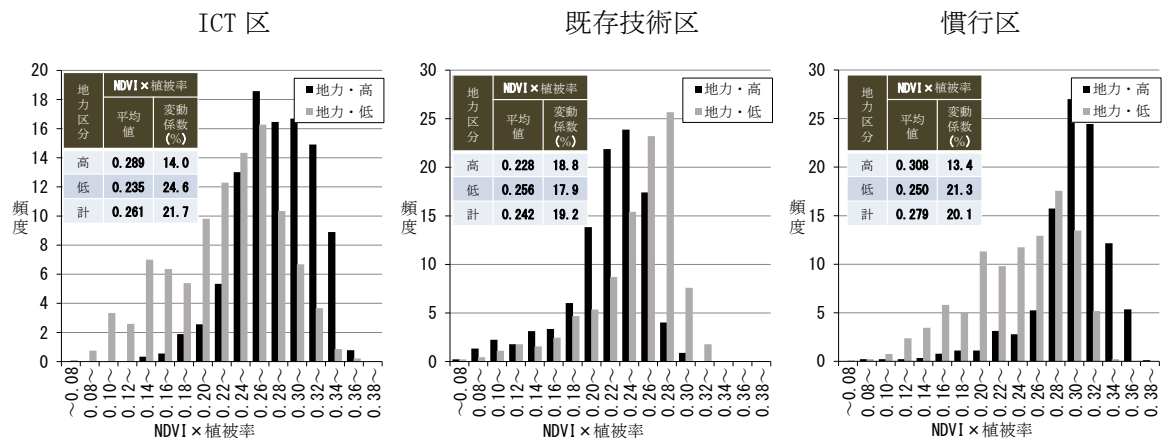


図 1. 施肥体系がセンシング時 (出穂期前 25 日) の生育に及ぼす影響 (現地)

表 2. 施肥体系が生育に及ぼす影響（現地）

試験区	施肥体系	地力	追肥時				出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	成熟期						倒伏程度 (0~5)
			草丈		茎数				葉色 (SPAD)	稈長		穂長 (cm)	穂数		
			(cm)	比	(本/m ²)	比				(cm)	比		(本/m ²)	比	
ICT区	高	70.9	107	598	114	35.3	8/1	9/2	96.4	110	18.6	413	106	3.5~4	
	低	66.1	(100)	522	(100)	30.3	7/31	9/2	87.5	(100)	19.3	391	(100)	1.5~3.5	
既存 技術区	高	67.8	99.4	541	92	35.4	8/1	9/2	90.9	100	19.1	405	99	1~2	
	低	68.2	(100)	588	(100)	34.4	7/31	9/2	90.7	(100)	19.0	407	(100)	2.5~3	
慣行区	高	70.3	109	603	122	34.8	8/1	9/2	96.2	111	19.0	431	120	1.5~3.5	
	低	64.4	(100)	494	(100)	32.1	7/31	9/2	86.6	(100)	20.0	358	(100)	1.5~3	

追肥時調査は7/7、成熟期調査は8/30に実施した

表 3. 施肥体系が収量および品質に及ぼす影響（現地）

試験区	施肥体系	地力	1穂 籾数 (粒)	m ² あたり 籾数 (百粒)	登熟 歩合 (%)	坪刈収量				全刈収量 精玄米重 (1.85mm調製) (kg/10a)	玄米品質			
						粗玄米重 (kg/10a)		精玄米重 (1.85mm調製) (kg/10a)			千粒重 (g)	整粒 歩合 (%)	タンパク 質含有率 (%)	
						(kg/10a)	比	(kg/10a)	比					
ICT区	高	81.2	335	117	67.4	563	526	502	91.2	464	21.6	73.2	5.9	
	低	73.4	287	(100)	73.5	597	550	(100)	488	511	22.4	73.2	5.8	
既存 技術区	高	84.3	341	108	70.3	619	533	564	112	493	522	21.8	74.3	6.1
	低	77.3	315	(100)	75.1	547	501	(100)	465	465	22.0	76.9	6.0	
慣行区	高	78.2	337	118	65.2	577	511	513	100	473	473	21.9	75.4	6.0
	低	79.8	286	(100)	73.9	557	510	(100)	474	474	22.2	71.7	5.9	

全刈収量は、実証圃を個別乾燥・調製(1.80mm)後に計測した玄米重と、各試験区の面積・坪刈収量・1.80mm調製/1.85mm調製の収量比を基に推定した。

5. 経営評価

現地実証試験より得られたデータを基に、技術の経済性を評価した。ICT区 の収量は、慣行区に比べ15kg/10a増加し、粗収益はICT区で2,325円/10a増加した。支出はマップ作成および追肥作業委託料等の増によりICT区が3,827円/10a増加した。粗収益から支出を減じた収益はマイナス1,502円/10aと試算された(表4)。なお、本年の米価水準で本技術体系により増収を達成するには、慣行に比べ概ね25kg/10a以上の収量増加が必要である。

表 4. 現地実証試験の経済性評価

項目		(参考)R1		(参考)R2		R3		備考
		ICT区	慣行区	ICT区	慣行区	ICT区	慣行区	
収入	収量 (kg/10a)	465	452	497	452	488	473	実証試験における全刈収量
	販売額 (円/kg)	242	242	217	217	155	155	実証経営の各年産コシヒカリ販売単価
	(円/10a) (A)	112,530	109,384	107,849	98,084	75,640	73,315	
支出	農機具費 (円/10a)	82		82		82		可変施肥対応型ブロードキャスタ差額
	委託料 (円/10a)	1,500		1,500		1,500		センシングおよびマップ作成作業委託
	(円/10a)	2,500		2,500		2,500		無人ヘリ追肥作業委託
	労働費		255		255		255	慣行(ミスト機)追肥作業時間の減
	合計 (B)	4,082	255	4,082	255	4,082	255	
	収入-支出 (A)-(B)	108,448	109,129	103,767	97,829	71,558	73,060	
	慣行区との差額	▲ 681		5,938		▲ 1,502		

注1. 農機具費は、可変施肥対応型ブロードキャスタ(750,000円)と標準モデル(348,000円)の差額に係る減価償却費を現地実証経営の水稲作付け面積(70ha)で除した。

2. 労働費は、ミスト機による追肥作業時間(0.17hr/10a)に労働単価1,500円/hrを乗じた。

3. 実証試験における総施肥窒素量は、両区とも同程度であったため、肥料費は算入していない。

6. 利用機械評価

可変施肥対応型ブロードキャスタによる基肥施肥では、実施肥量は設定した施肥量より1割前後多くなった。また、可変施肥対応型無人ヘリでは実施肥量は設定より1割前後少なくなった。両機種とも前年度までは精度良く散布できていたが、本年度はスリップ量や、肥料の粒度など、何らかの要因により精度が下がったものと考えられる。

7. 成果の普及

結果を試験成績概要書に取りまとめるとともに、農業者をはじめ普及指導員等関係機関に情報提供を行う。

8. 考察

試験 1. 地力差の無い圃場における生育制御技術（所内試験）

リモートセンシングで得られた「NDVI」および「NDVI×植被率」は幼穂形成期における地上部窒素吸収量と高い正の相関があり、これは過去2年と同様の結果であった。

幼穂形成期における乾物重の変動係数は、13～18%となり基肥量による生育差が認められたが、ドローンの生育診断に基づく追肥によって、収量(精玄米重)の変動係数は4～6%まで平準化された。

一方で、地力差の無い圃場という今回の試験における条件の中では、対照区と可変追肥区における収量には有意差が認められず、区内の細かい生育差に対する平準化の効果ははっきりとは認められなかった。このことから、地力差の少ない圃場では無人ヘリによる可変追肥は効果が薄いことが考えられる

試験 2. 地力差の大きな圃場における生育制御技術（現地試験）

3年間の試験の中で、生育量のセンシング結果に基づく可変施肥技術により、均一施肥に対しての収量向上や、生育の均平化に一定の効果があることが確認された。ただし、年次間でその効果は安定せず、その原因の一つとして可変施肥の変量幅の設定が適切ではなかったことが考えられた。また、本技術を複数年に渡って連続して使用していく場合に、肥料の残効や地力の変動の影響が出てくる可能性もあり、可変基肥の設定に用いるセンシングデータをいつのものにするのが良いのかも検討が必要と考えられた。

経営の面では、収量向上効果の多寡と米価の変動により、年次によっては収支がマイナスとなることもあったため、本技術を経済性の面で有効に活用するためには、生育量の均平化による収量向上効果が大きいと見込まれる、一筆内の地力のばらつきの大きな圃場に適用するのが良いと考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

可変基肥・追肥により増収に一定の効果が認められたものの、年次変動があり、安定的なものではなかった。センシングで得られた生育量データに対して最適な施肥量を設定するための判断基準を確立する必要がある。

10. 参考写真



写真1. 可変施肥対応型ブロードキャストによる施肥



写真2. 生育量センシングに用いたドローン



写真3. 可変施肥対応型無人ヘリによる施肥