

ドローンを活用した分施肥体系

1 はじめに

農業用ドローンの開発が急激に進展する中、大型の散布用ドローンを活用することで、均一な施肥が省力的に可能であることが分かっています。また、一般的に使用されている一括肥料から分施肥体系に転換すると、肥料費を 3,000~4,500 円/10a 程度削減することが可能です。一括肥料と分施肥肥料の差額 (3,000 円/10a) とドローンを活用した施肥に要する経費 (ドローンの減価償却費等および労働費) の損益分岐点 (図1) は経営面積 40ha でした。

分施肥体系への転換は肥料費削減だけでなく、適期に適正量の施肥が可能となることから、増収効果も期待できますが、そのためには生育に応じた適正な穂肥診断が必要です。そこでセンシング用ドローンを用いたハナエチゼンの適正穂肥量診断技術を確立しました。

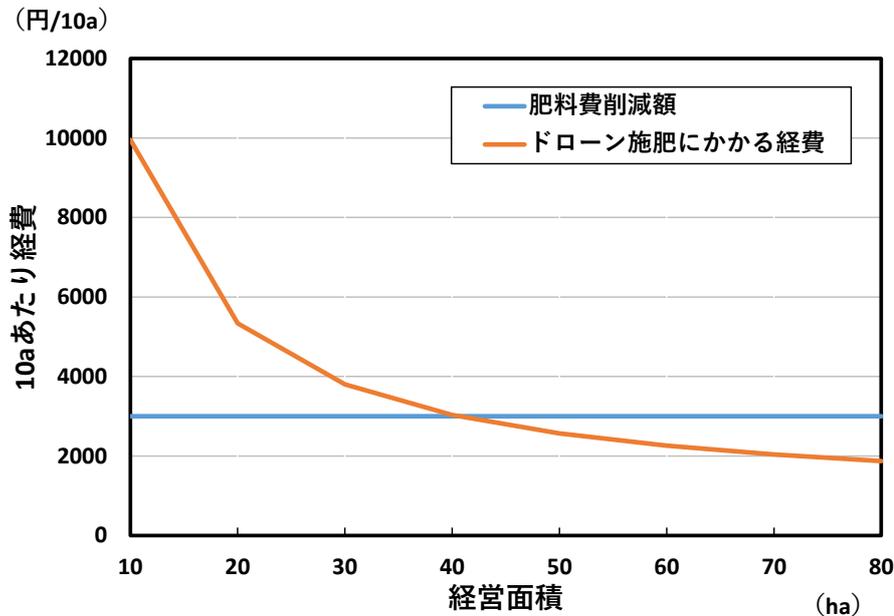


図1. ドローンを活用した分施肥の損益分岐点

【ドローン施肥にかかる経費】		
下記①および②の合計額		
①ドローン導入経費	← ドローン購入内訳	
購入費用		4,060,721 円
減価償却費		580,103 円/年
保険料		186,000 円/年
メンテナンス		157,300 円/年
	923,403 円/年 (償却期間は7年で設定)	
②散布にかかる労務費		
作業員	: 3名	
労務単価	: 2,000 円/h/人	
作業時間	: 3分/10a	

2 技術内容

1) センシング用ドローンを使ったハナエチゼンの生育量推定モデル

センシング用ドローンによる空撮画像から得られる植生指数は水稻の生育量の良し悪し数値化することができます。ハナエチゼンの幼穂形成期の生育量（草丈×莖数×SPAD）と植生指数の関係は図2のとおりです。



センシングドローン DJI社 P4 Multispectral

図2より同一日に同一圃場を撮影しても撮影時間等の撮影条件により、植生指数が変化することが分かります。

そこで生育量推定モデルの作成にあたり、空撮画像から得られる植生指数に加え、撮影時間により変化する太陽光入射角、天候により変化する日射量を目的関数に加えた重回帰分析を行いハナエチゼンの幼穂形成期の生育量推定モデルを下記のとおり作成しました。

ただし、安定した画像データを取得するために、撮影時間は正午ごろ（11:00～13:30）を除く、8:00～15:00に空撮を行う必要があります。

〔※正午ごろは太陽光の反射で画像データが不安定になります
太陽高度が低くなる早朝、夕方は画像データが不安定になります〕

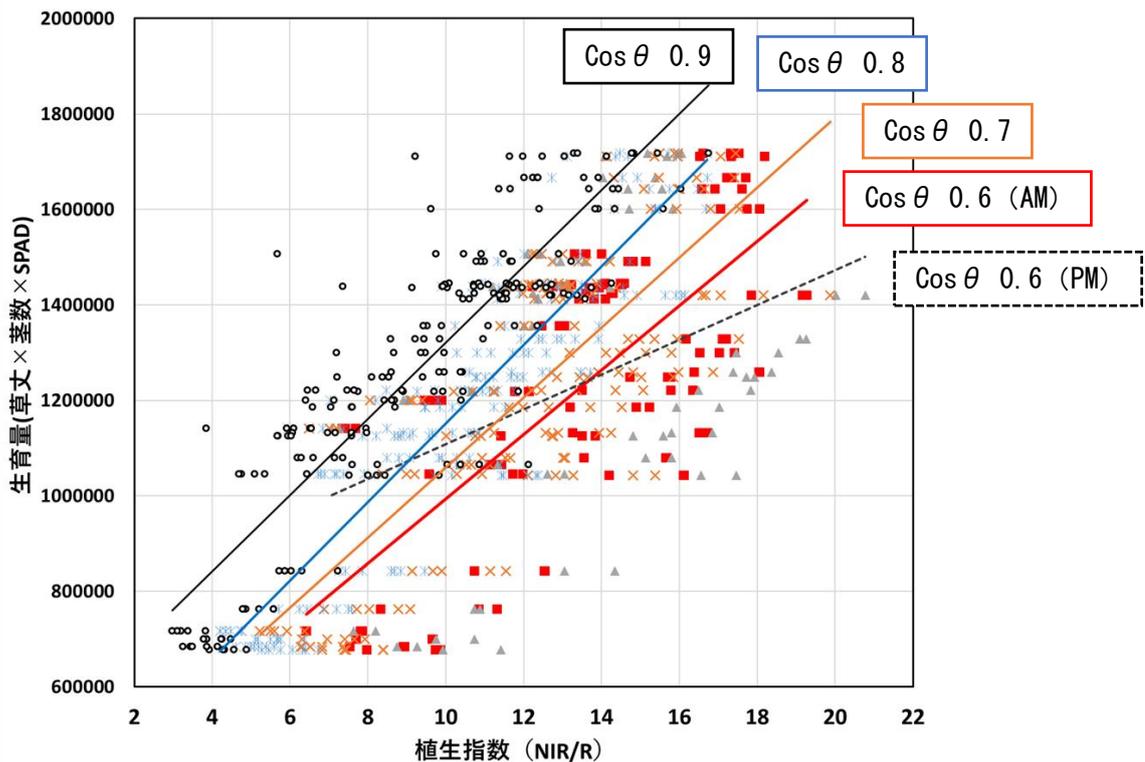


図2. 植生指数 (NIR/R) と生育量 (草丈×莖数×SPAD) の関係

【ハナエチゼン幼穂形成期の生育量推定モデル】

$$\text{生育量} = -550547 + 75555.7 \times \text{植生指数} (\text{※1}) - 8.94477 \times \text{NIR} (\text{※2}) + 1217010 \times \text{Cos } \theta (\text{※3})$$

※1：マルチスペクトルカメラから得られた反射率より NIR/R を算出

※2：ドローン搭載の日射計で計測された NIR の輝度

※3：ドローン搭載の日射計で計測された太陽光入射角

2) ハナエチゼンの生育量に応じた適正穂肥量指標

ハナエチゼンの収量目標を 600 kg /10a とすると籾数は 30,000 粒/㎡以上必要です。一方で 33,000 粒/㎡を超えると倒伏の危険性が高まるため、適正籾数は 30,000~33,000 粒/㎡であることが分かりました。

適正籾数 30,000~33,000 粒/㎡を確保するためには成熟期の稲体の窒素吸収量の目標は 11~13g/㎡です (図3)。

成熟期の窒素吸収量を適正值 (11~13g/㎡) とするための穂肥量について幼穂形成期の生育量ごとに図示しました (図4)。この図を基に幼穂形成期の窒素吸収量および生育量 (草丈×莖数×SPAD) ごとの適正な穂肥量を表1に整理しました。

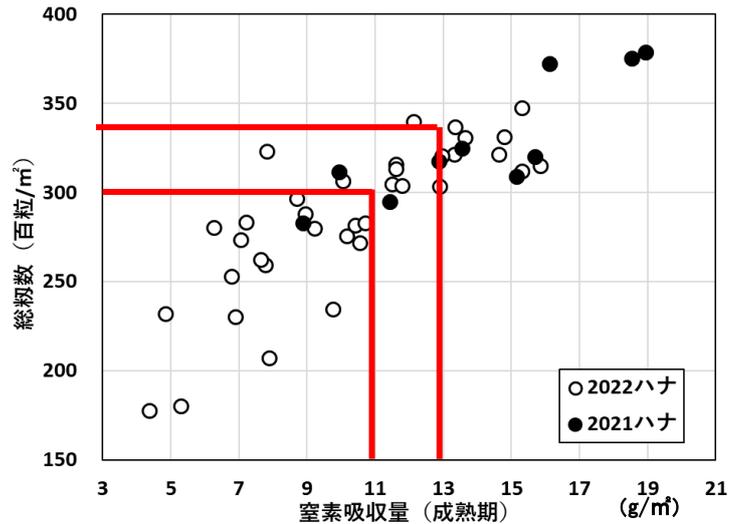


図3. 成熟期の窒素吸収量と総籾数の関係 (2021、2022 ハナエチゼン)

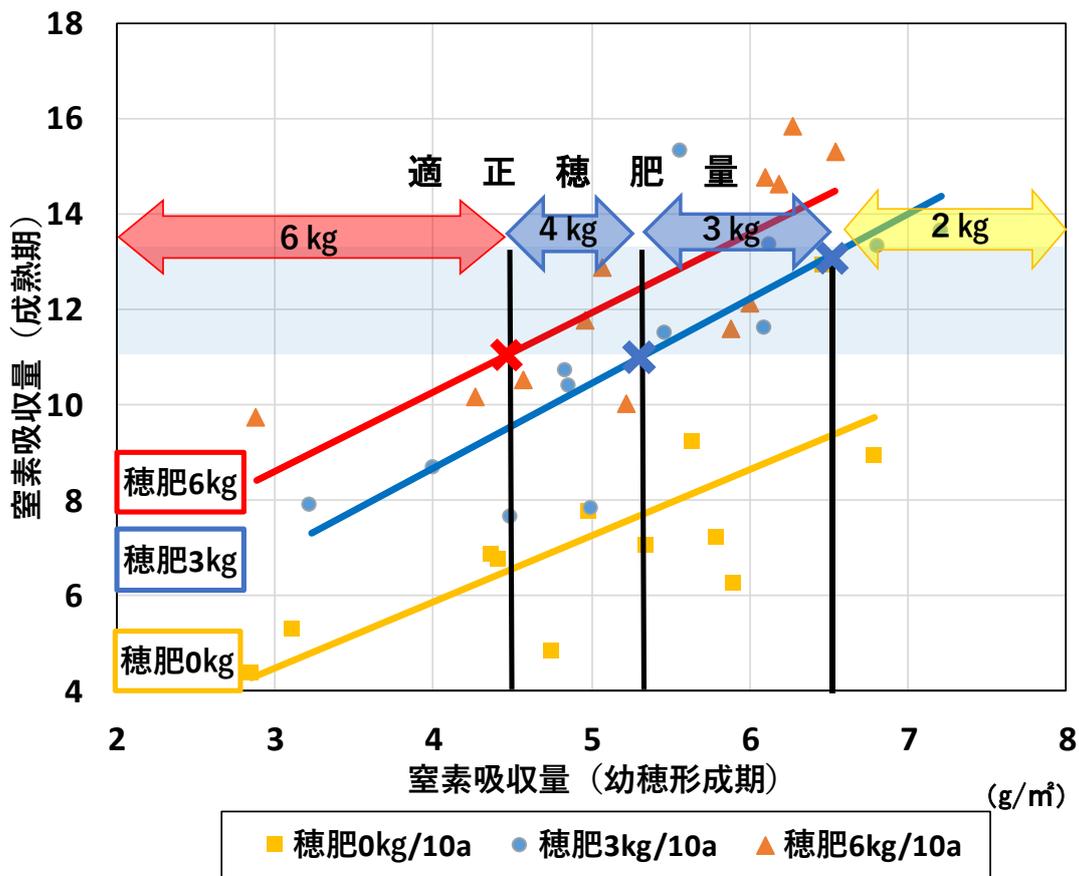


図4. 穂肥量ごとの幼穂形成期および成熟期の窒素吸収量 (2022 ハナエチゼン)

表1 生育量に応じた適正穂肥量（ハナエチゼン）

幼穂形成期窒素吸収量	幼穂形成期生育量 (草丈×莖数×SPAD)	穂肥量 (N kg/10a)
4.5kg/10a 以下	110 万以下	6 kg/10a
4.5～5.5 kg/10a	110 万～130 万	4 kg/10a
5.5～6.5kg/10a	130 万～150 万	3 kg/10a
6.5kg/10a 以上	150 万以上	2 kg/10a

3) ドローンセンシングによる適正穂肥量の診断

空撮画像からハナエチゼンの幼穂形成期の生育量を推定し、推定した生育量に応じて必要な穂肥量について表1をもとに診断することで、ドローンによるセンシングから適正穂肥量を診断することが可能になりました。

診断の精度については図5のとおりです。空撮画像から得られた推定値から診断した適正穂肥量と、生育調査による実測値から診断した適正穂肥量との誤差（正答率）は86.9%と精度の高い診断が可能です。

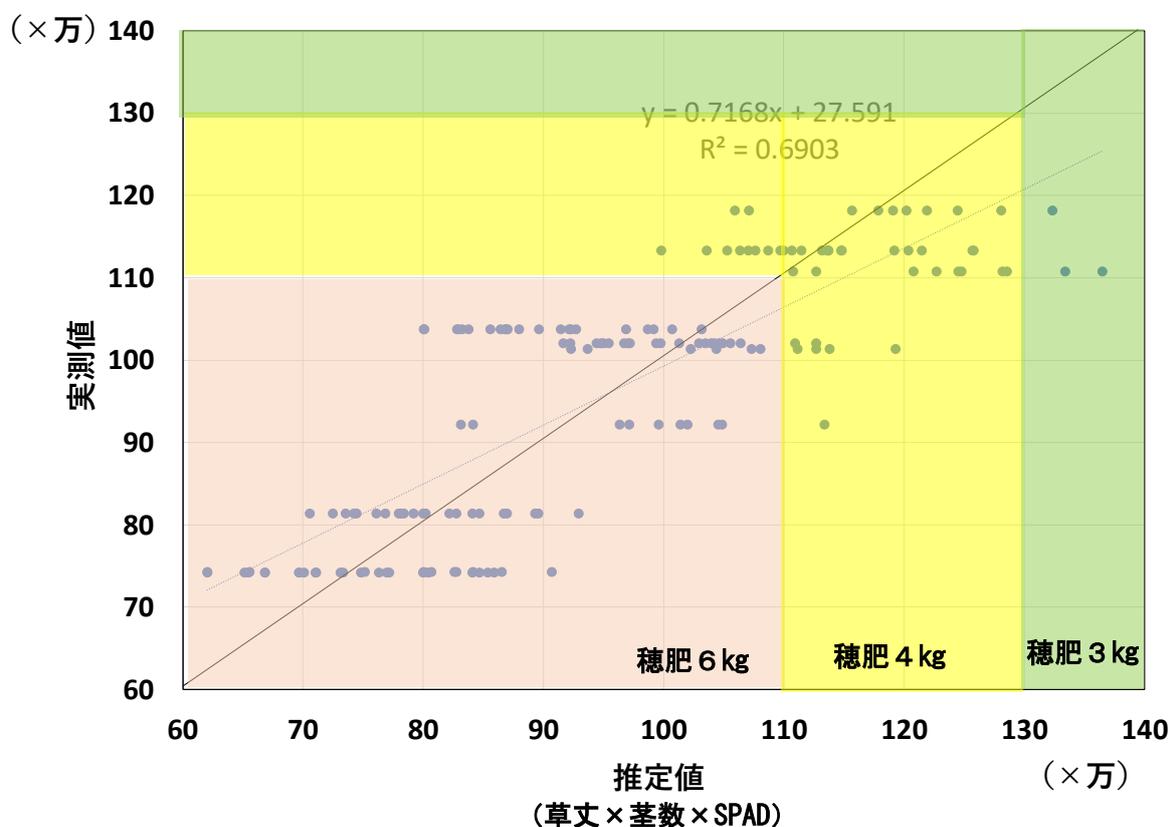


図5. 幼穂形成期のハナエチゼン生育量の推定値による適正穂肥診断

3. センシング用ドローンを活用した現地実証

生育診断に基づく分施栽培の経営評価の現地実証を行いました。

実証の結果、分施栽培の方が1割程度増収しました（表2）。

導入技術（リモートセンシングによる穂肥診断）にかかる経費を加算し、経営評価を表3にまとめました。収量増加による売上増加および一括肥料による経費削減効果が大きく影響し、売上総利益は10aあたり12,800円増加しました。

（散布用ドローン使用面積：141ha（水稻64ha、大麦、53ha、大豆24ha）の経営体で実証）

表2. 現地実証の施肥設計と収量結果

	施肥設計 (N kg/10a)				施肥方法	精玄米重 (kg/10a)	慣行比
	鶏糞※	基肥	穂肥量	合計			
分 施	1.56 kg	5kg	4~6 kg (空撮画像による診断)		ドローン (T30)	486 kg	110
一括肥料	1.56 kg	9kg	0kg	10.56 kg	-	440 kg	-

※鶏糞 散布量 100 kg/10a × N含有率 2.6% × 無機化率 6割 = 1.56 kg/10a

表3. センシングに基づく分施体系による経営評価

(円/10a)

		実証 分施	慣行 一括肥料	差額 実証-慣行	備考
売上高		105,318	95,271	10,047	単価 13,000円/俵
生産原価	原材料費 (うち肥料費)	32,248 (9,717)	36,478 (13,947)	-4,230	
	労務費 (労働時間)	18,609 (9.15h/10a)	17,669 (8.68h/10a)	940	実証区にセンシング 時間0.05h/10a、穂 肥散布時間 0.42h/10a加算
	生産経費 (うち原価償却費)	40,590 (12,915)	39,873 (12,198)	717	実証区にセンシング ドローン、散布用ド ローンの原価償却費 加算
売上総利益		13,871	1,251	12,620	

※労務費の時給は1,800円で試算

センシング用ドローンは作業員1名、穂肥施肥は作業員3名とした

※散布用ドローンの原価償却費は導入経費4,060千円を7年償却し、水稻、大麦、大豆の作付面積の合計141haで使用すると仮定し10aあたりの経費を算出

(参考) 散布用ドローンを活用した大粒尿素の散布にかかる最適条件

水稻の穂肥時期は梅雨と重なりますが、尿素は高温多湿条件下では吸湿し、肥料同士が固着します。ドローンで施肥する場合、肥料が吸湿すると作業が困難になり、場合によっては機体の損傷につながります。

そこで、高温多湿条件下での尿素的吸湿スピードを測定するとともに、水稻の穂肥期間内における最適条件をまとめました。

1) 大粒尿素の高温多湿条件下による吸湿率の変化

高温多湿条件下（30℃、湿度 75%）では1分後から吸湿が始まり、3分後には肥料の表面がベタつくようになり、5分後には肥料の固着がみられました（表4、図6）。このことから、高温多湿条件下では施肥作業を避ける必要があります。

2) 穂肥散布にかかる最適時間

穂肥散布期間（6月20日～7月25日）の過去3年間（2021～2023）の気象データから肥料が吸湿しにくい最適な条件（天候や時間帯）を調べました（表5）。

表5から穂肥散布期間内において最適な条件は降雨のない日かつ午前9時から午後6時までの時間帯が最適条件であることが分かりました。

またドローン（T30）で水稻の穂肥散布する場合の作業可能面積について表6にまとめました。1日あたりの作業面積は12ha程度で期間内可能日数から1台あたり36ha程度散布可能です。

表4. 臨界相対湿度条件下による吸湿率の変化

	30秒	1分	3分	5分	10分	20分
高湿度 30℃、75%	0.0%	0.1%	0.4%	1.3%	1.6%	2.0%
低湿度 30℃、65%	—	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%

図6. 大粒尿素の吸湿の様子

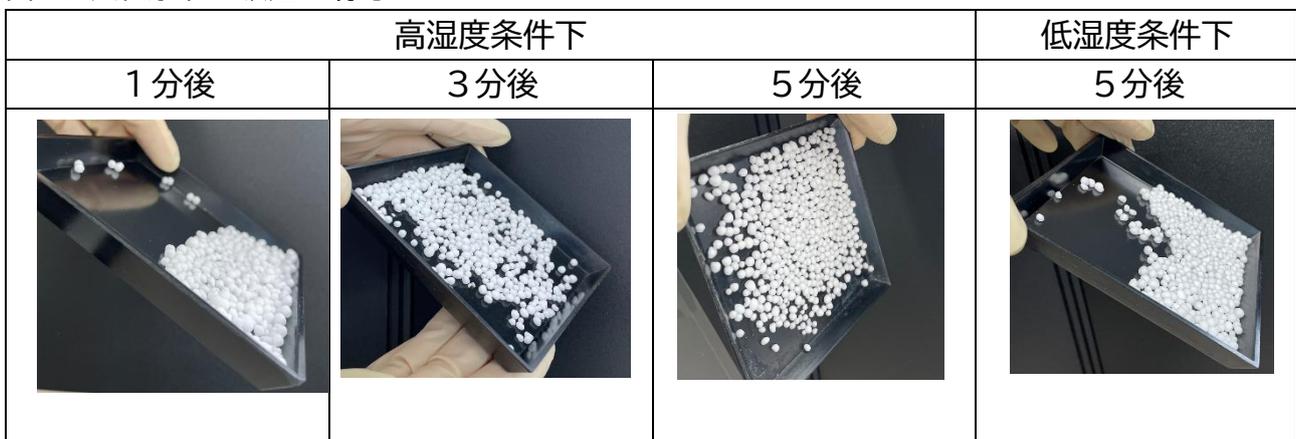


表5. 穂肥散布にかかる好適条件（6月20日～7月25日）

	降雨なし日数	散布可能日割合	好適条件日割合（％）												
			6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時
2021	22	61	0	27	59	82	95	100	100	100	100	100	91	91	91
2022	21	58	10	24	57	86	86	95	100	100	100	95	100	100	95
2023	23	64	13	30	61	83	96	100	100	100	100	100	100	100	95
平均	22	61	8	27	59	83	92	98	100	100	100	98	98	97	94

表6. ドローンによる水稻穂肥（ハナエチゼン）の作業可能面積

作業名	使用機械	圃場作業量 (ha/時)	1日の作業時間 (時)	実作業率 (%)	実作業時間 (時)	1日の作業可能面積 (ha)	作業可能日数				作業可能面積 (ha)
							適期作業期間 (6/24～28)	作業日数 (日)	可能日数率 (%)	可能日数 (日)	
施肥	T30K	2	8	75	6	12	6/24～28 7/1～5	5	60	3	36

※大粒尿素における1日の作業面積

①散布可能時間 9時間（午前9時～午後6時）

②実作業時間 6時間（散布前後の準備清掃時間2時間、休憩1時間を除く）

[その他]

研究課題名：ICT情報を活用した水稻自動可変施肥とスポット除草技術の確立

研究期間：令和3～5年

研究担当者：農試 次世代技術研究部 スマート農業研究G 藤田 純代