

禁転載

農業用ドローンによる水稲湛水直播 作業と栽培の手引き

「秋田県大仙市」



【写真は大仙市 1ha 圃場での農業用ドローンによる水稲直播風景】



目 次

要約	1
1. 農業用ドローンによる水稲直播の背景と目的	1
1) 背景	1
2) 目的	2
2. 農業用ドローン	2
1) 実証試験で供試した農業用ドローンの仕様	2
2) 準天頂衛星「みちびき」による自動飛行機能	3
3) 粒剤散布装置	4
参考1) 農業用ドローン进行操作するための講習	5
参考2) 農業用ドローンを利用するための申請	5
(ア) ドローン登録システムへの機体登録	5
(イ) 国土交通省への飛行許可・承認手続き	5
(ウ) DIP2.0における飛行計画登録	6
3. 品種・種子条件	6
1) 利用品種	6
2) 種子条件（浸種と殺菌処理）	6
4. ほ場準備	6
5. 種子コーティング	7
1) コーティング資材	7
2) コーティング方法	7
3) 貯蔵・保存	8
4) その他のコーティング方法	8
6. 播種作業	8
1) 播種時期	8
2) 農業用ドローンの播種量調整	9
3) コーティング種子の準備について	11
4) 播種作業	11
7. 播種後の水管理と初期除草	12
1) 播種後の水管理	12
2) 初期除草	12
3) 農業用ドローンによる散布作業	12
(1) 除草剤散布量の調整方法	12

(2) 散布作業.....	13
8. 大仙市実証試験で実施した生育管理方法.....	13
1) 雑草対策.....	13
2) 施肥体系.....	14
3) 病虫害防除.....	14
4) 生育の推移.....	15
5) 苗立ちと収量.....	17
9. 経営評価.....	17
10. 謝辞.....	19
【参考資料】.....	20

【要約】

水稲生産者の高齢化・担い手不足・耕作地放棄(里山荒廃)によるクマ等の獣害、等々、秋田県は未曾有の社会問題に直面しています。

このような深刻な問題解決のため、ドローン活用による水稲の直播によって、収穫時まで水田に入る必要がない超省力化農法の確立を、秋田県立大学、大仙市、東光鉄工株式会社の産官学連携により、5年間の現場実証実験に取り組みました。その結果以下のことが明らかになりました。

- ① 技術的特徴: 我が国独自の測位衛星システム準天頂衛星「みちびき」(センチメートル誤差の精緻な測位電波)を活用し、情報セキュリティー上、安全安心な国産ドローンを採用しての自動航行による水稲直播システム。
- ② 作業能率: ドローンによる水稲直播能率は 1ha1 時間、除草剤散布能率は 0.25 時間。
- ③ 収量: 4年の平均で移植栽培の 13%減、新粒剤散布装置及び「みちびき」による高精度自動飛行を用いた直近3年の平均で 3%減。
- ④ 経営評価: 生産コストとして評価すると、収量に依存するが、春作業の平準化、育苗量の削減により、経営面積拡大に寄与するため、経営安定化(収入増大)の効果。

今後、次世代を担う若い世代の稲作参入のためのツールとして、さらに、特に中山間地域の小区画不整形圃場における効率的な作業システムとして、農業用ドローンによる水稲直播の普及拡大を目指します。

1. 農業用ドローンによる水稲直播の背景と目的

1) 背景

農業用ドローンは、2018年頃に販売が開始され、瞬く間にスマート農業技術の筆頭に躍り出ました。図1に示すように、2020年に6,000台を売り上げ、その後も年間3,000台以上が農業現場に導入されています。その背景には、登録農薬数の飛躍的な増加があり、当初は水稲用が中心でしたが、最近では畑用や野菜用の登録も増加しています。

我が国におけるこれまでの航空散布は、ラジコンヘリによる方法が大半を占め、コスト面、技術面から委託作業として実施されることが多く、計画防除

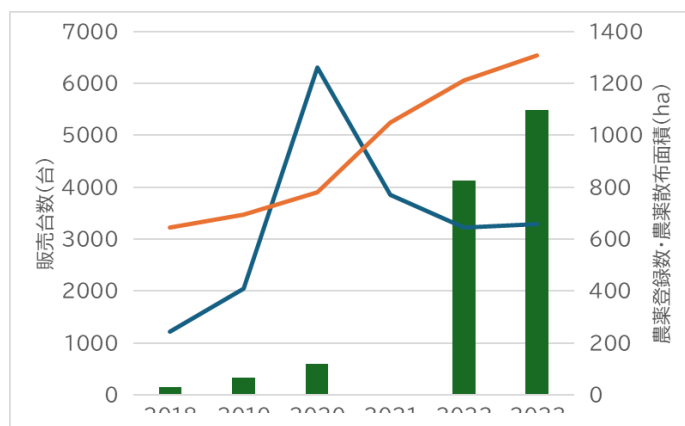


図1. 農業用ドローンの販売台数・農薬登録数・農薬散布面積の推移

(予防防除)として行われてきました。一方、生産者が圃場や作物の生育状態、病害虫の発生状態に応じて個別の農薬散布が必要とされる場合があり、動力噴霧器と畦畔ノズルを組み合わせ、酷暑の中、農薬被ばくを防ぐために完全防備で作業を行うのが慣行作業でした。生産者が導入した農業用ドローンの多くは、このような適期防除のために利用されている例が多いものと思われます。

安価なものでは一式 150 万円程度で導入可能であり、ドローン操作のための講習会費用等を合わせても一般的な農業機械に比べても割安感がある農業用ドローンですが、減価償却を加味して負担面積を考えると、小型機でおよそ 35ha と言われていています(農研機構)。農薬散布作業だけでこの面積をこなせる経営体は多くなく、農業用ドローンのより汎用的な利用が求められています。

一方、農業就業者数が急減する中で、経営規模の拡大が進みつつあり、全国的には 10ha 以下の経営体が軒並み減少し、10ha 以上層が増加傾向にあります。秋田県ではさらにその傾向が顕著で、増減の閾値が 20ha となっています。経営規模の拡大は、基本的には経営効率の向上につながりますが、水稲作の場合は作期の分散が課題となります。早稲から晩生までの品種を組み合わせることで対応することが多いわけですが、そこには地域において取り扱える品種が限定され、品種による対応には限界があり、栽培手法の違い、すなわち直播栽培の導入が効果的とされています。

2) 目的

以上のような背景から、農業用ドローンによる水稲直播一貫体系の実証試験を実施し、規模拡大を目指す経営体が導入可能な栽培技術を確認して、導入マニュアルを整備することで、取り組みの拡大を図ることを目的としました。また、わが国固有の技術である「準天頂衛星みちびき」による高精度測位技術を活用することにより、高い樹木近くでは測位が不安定となる RTK-GNSS システムの課題を克服し、耕作放棄地が拡大している中山間地の水田でも利用可能なドローン直播システムの確立を目指します。

2. 農業用ドローン

1) 実証試験で供試した農業用ドローンの仕様

本章では、実証試験で使用した農業用ドローンの仕様および特徴について説明します。実証試験では、秋田県大館市を拠点とする東光鉄工株式会社が自社で設計・開発した TSV-AQ2 を使用しました。TSV-AQ2 は軽トラックでの運搬や作業性を考慮して設計されており、タンク容量は最大 10L です。また、作業後の洗浄負担を軽減するため、機体を水洗いできる構造となっています。

安全性と散布性能の安定を確保するため、高度維持センサーや障害物検知センサーを搭載し、1 本のバッテリーでタンク内容を散布できる約 15 分の飛行時間を確保しています。飛行モードは、高度維持モード、GPS を用いたマニュアル操縦、ラダー

ロック機能 (T-Assist)、A-B モード、マッピング自動航行など、用途に応じて選択できます。特にラダーロック機能や A-B モードでは、飛行速度を事前に設定することで安定した散布作業が可能になります。

近年では、液剤だけでなく除草剤や肥料といった粒剤散布の需要も高まっており、散布装置に対する改良も進んでいます。従来は、大粒径剤で目詰まりしやすいことが課題でしたが、攪拌機構の追加や散布方向の改善により、安定した散布が可能となっています。散布方向を前方から下方に変更したことで、機体位置と散布位置が一致し、作業の正確性と効率性も向上しています。

機体諸元については以下の通り。

- ローター数 : 4
- 機体重量 : 10.7 kg
- 最大ペイロード : 10 kg
- 飛行時間 : 15 分
- バッテリー : 18,000mAh 12 セル
(1 フライトで1 バッテリー使用)
- 電圧 : 44.4V
- 散布幅(液剤) : 4m
- 散布幅(粒剤) : 5m
- GNSS : GPS 受信機、CLAS 受信機搭載



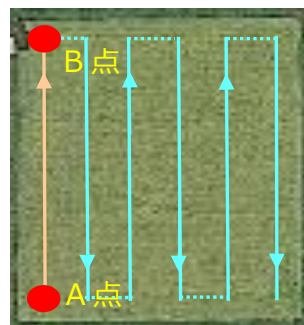
図2. 供試した TSV-AQ2

2) 準天頂衛星「みちびき」による自動飛行機能

本実証試験で使用した農業用ドローンには、準天頂衛星「みちびき」が提供するセンチメートル級測位補強サービス (CLAS : Centimeter Level Augmentation Service) の誤差補強情報 L6D 信号を受信できる装置が搭載されています。

A-B モードによる自動飛行では、任意に設定した A 点と B 点をもとに、GNSS により機体の位置を把握し、設定した直線ルートに沿って自動で飛行します。通常の GNSS 情報のみでは、誤差が数十センチから数メートル発生する可能性があります。CLAS による補強を利用することで誤差を最大 6cm 程度に抑えることができ、精度の高い自動飛行が可能となります。

実証試験では、1 往復でタンク内容を散布し終える設計であったため、A 点側へ戻った時点でタンクが空となり、着陸し種籾補充する手順で実施しました。飛行時は、離着陸と最初のライン取りのみ手動で行い、それ以外は自動飛行で散布作業を行いました。



A 点 B 点設定後、残りを自動で散布

図3. A-B モードによる自動飛行

実際の運用時に、散布ライン上でタンクが空になった場合でも、一度作業場所へ戻り種籾を補給した後、「再開」機能を使用することで、ドローンが停止した位置へ正確に復帰し、作業を継続することができます。この機能を安全に運用するためにも、停止位置へ誤差なく戻るための測位精度が非常に重要になります。

なお、CLAS は国土地理院が全国に配置した電子基準点データをもとに高精度補正情報を計算し、みちびきから送信する仕組みです。L6D 信号を受信するためには、専用の受信機が必要となります。

3) 粒剤散布装置

農業用ドローンの粒剤散布装置は数年前から存在していましたが、当時は散布の均一性に課題があり、大粒径の剤では目詰まりが発生しやすいという問題がありました。近年では、除草剤や肥料など大粒径の粒剤をドローンで散布する需要が高まっており、それに対応できる装置が求められるようになっていきます。

目詰まりへの対策としては、剤を攪拌する機構を追加することで、剤が自重で一気に落下して詰まることを防ぐ設計が導入されました。その結果、目詰まりを起こすことなく種籾を散布できるようになっています。

従来の粒剤散布装置は、インペラの回転を利用して前方へ散布する方式が一般的でしたが、この方法では散布後に「筋」が生じやすいという課題がありました。そこで散布方向を見直し、前方散布から下方散布へと改良を加えたことで、散布の均一性が向上し、より安定した作業が可能となりました。

また、下方散布方式への変更には別の利点もあります。前方散布方式では、剤がドローンより前へ飛ぶため、機体位置と実際の散布位置にずれが生じ、ドローンを停止する位置を判断しにくいという問題がありました。下方散布では、機体の真下が散布位置となるため、停止位置を把握しやすくなり、作業の難易度が低減しました。

以上のように、攪拌機構の追加と散布方向の改善という 2 点の改良により、従来の課題が解決され、粒剤散布における安定した作業が実現できるようになりました。

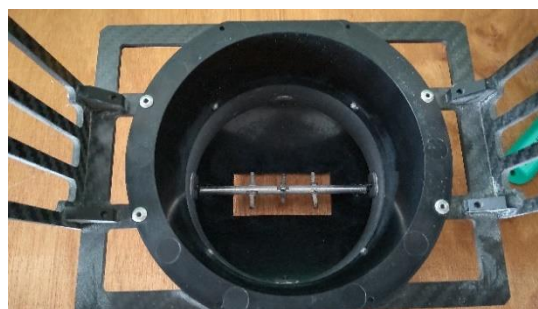


図4. 最新粒剤散布装置の目詰まり防止用攪拌機構

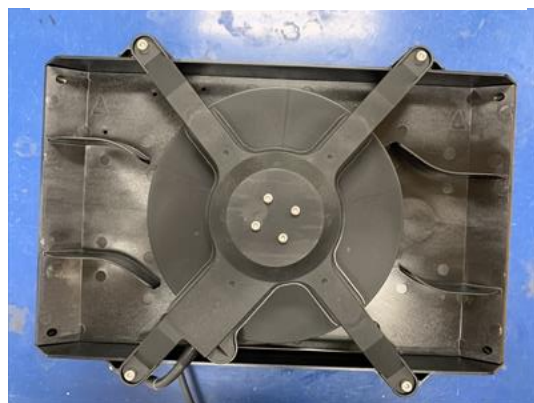


図4. 最新粒剤散布装置の散布部

参考1) 農業用ドローンを操作するための講習

今後、国土交通省が所管する「無人航空機操縦者技能証明（国家ライセンス）」へ制度が一本化されていくことが予想されますが、現時点では民間ライセンス制度に基づく講習を受講して運用していただいています。

講習は、初心者の場合 5 日間、経験者の場合は経験に応じた補足講習を受講していただきます。5 日間の講習のうち、2 日間は座学、3 日間は実技講習となっています。

座学では、農薬や航空法に関する基礎知識、農薬散布時の注意点、機体の構造や特性などを学びます。実技講習では、ドローンの操縦技能の習得を中心に、農薬散布ド

表1. 5 日間の農業用ドローン教習カリキュラム

時間	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
9:00-9:50	ドローンに関する基礎座学 ・ UAS概論 ・ ドローン関連法規 ・ 構造・電波	農薬散布に関わる基礎座学 ・ 空中散布の実施方法 ・ 散布作業の手引き ・ ナビゲーター ・ 無人航空機による散布作業 ・ 農薬散布機運用方法	座学試験 実地訓練 ・ 基本操作 (GPS 有) ・ 複合操作 (GPS 有) ・ ホバリング操作 (GPS 無) ・ スクエア移動 (GPS 無)	実地訓練 ・ 平行散布 (投下有) ・ 枕地散布 (投下有)	実地訓練 ・ 平行散布 (投下有) ・ 枕地散布 (投下有) ・ ナビゲーター実施
10:00-10:50					
11:00-11:50					
12:00-13:00	昼休憩		昼休憩		
13:00-13:50	ドローンに関する基礎座学 ・ 運用方法	農薬散布に関わる基礎座学 ・ 演習問題	実地訓練 ・ 平行散布 (投下無)	実地訓練 ・ 平行散布 (投下有) ・ 枕地散布 (投下有) ・ ナビゲーター実施	実地訓練 ・ 各モード操作訓練 (T-Assist/AB点モード) ⇒ 自動航行
14:00-14:50	農薬散布に関わる基礎座学 ・ 農薬と病害虫	機体の取扱い説明			
15:00-15:50		座学試験対策			

ローンの操作方法や散布機能の使用方法を身につけていただきます。

空撮ドローンの経験者であっても、農業用ドローンは作業目的や飛行特性が異なるため、追加の講習（拡張講習）の受講をお願いしています。農薬散布に特化した操作方法や安全確保のポイントを理解したうえで機体運用を行っていただく必要があります。

参考2) 農業用ドローンを利用するための申請

(ア) ドローン登録システムへの機体登録

農業用ドローンを使用する際には、まず機体を国のドローン登録システムに登録する必要があります。これは、無人航空機を対象として、所有者情報や機体情報を国が一元管理し、安全確保や不正利用防止につなげるための制度です。登録が完了した機体には登録記号を表示し、またリモート ID 装置の搭載が求められます。農業用ドローンも例外ではなく、利用前の最初の手続きとなります。

(イ) 国土交通省への飛行許可・承認手続き

農業利用の飛行の多くは、航空法で定める規制対象になります。特に農薬散布は「物件投下」「危険物輸送」に該当し、事前に国土交通省へ申請し承認を得る必要があります。また、人口密集地上空での飛行や空港周辺圃場作業など、追加で許可が必要となる場合もあります。申請はオンラインサービス ドローン情報基

盤システム（飛行許可承認機能）〈通称：DIPS2.0〉で行われ、操縦者の技能や機体の安全性、飛行マニュアルなどを提出して審査を受けます。直播も農業用ドローンより種子散布するため「物件投下」に該当します。

(ウ) DIPS2.0 における飛行計画登録

農業用ドローンを実際に飛行させる際には、飛行前に DIPS2.0 で飛行計画を通報することが義務付けられています。DIPS2.0 では、申請した許可・承認情報と連動したかたちで、飛行予定場所や日時、使用機体などを簡単に登録できるようになっています。特に農薬散布や直播など、航空法上「物件投下」に該当する作業では、安全のため飛行計画登録が必須となります。農業用ドローンは、散布範囲が広く第三者や他航空機への影響も大きいいため、DIPS2.0 の地図上で 散布エリアを正確に描画し、周囲の危険区域を確認することが重要です。とくに直播では軽量物の飛散リスクが高く、風向きや隣接農地への影響を考慮した計画が求められます。

3. 品種・種子条件

1) 利用品種

播種する品種は、用途（主食用・加工用米、WCS）や地域の状況に応じて選択してください。

実証試験を実施した大仙市では、4年間を通じて「ゆみあずさ」を利用しました。農研機構が開発した品種で、いもち病に強く短稈で倒伏しにくい、直播適性の高い品種です。さらに多収で良食味である特徴があり、加工米に適しています。

2) 種子条件（浸種と殺菌処理）

移植用の種子の浸種と同様の一般的な処理を行いますが、当然ながら事前に種子消毒も実施します。消毒は、温湯消毒もしくは農薬消毒で行います。

温湯消毒は専用の機材を用いて、約 60℃の温湯に種籾を 10 分間（または 58℃で 15 分間）浸漬します。

農薬消毒では、地域が推奨する薬剤を J A 等に確認して利用してください。

4. ほ場準備

移植栽培と同じような圃場準備を実施してください。特に気を付けたいのは、均平性の確保です。移植と異なり、直播においては水稻の出芽と雑草の出芽タイミングはほぼ同じか雑草が早くなります。そのため、除草剤の利用が欠かせません。ほとんどの除草剤は湛水状態で効果を発揮するので、均平が取れていない圃場では水面から土が顔を出してしまう部分ができしまい、そこから雑草の繁茂につながる場合があります。移植栽培圃場に比べて頻度高く、レーザレベラ等を利用した均平作業を行い、圃場の均平性を確保して、水管理がしやすい条件を確保してください。

5. 種子コーティング

1) コーティング資材

大仙市の実証試験では、ベンガラモリブデンをコーティングしました。このコーティング方法は農研機構が開発したもので、べんがら（酸化鉄）、モリブデン化合物（硫化物の生成を抑制）、ポリビニルアルコール（資材の接着）を混ぜ合わせたもので、比重を調整した製品が「靱化粧」として市販されています。農研機構が作成したマニュアル¹⁾を参照してください。

2) コーティング方法

コーティングはモルタルミキサーもしくは手動式コーティング機を用いて行います。大仙市では実証試験圃場を提供していただいた法人が、自らコーティングを行い、播種日の前日もしくは前々日にコーティング作業を実施してコーティング種子を作成しています。基本的には以下の手順で実施しています。



図5. レーザレベラによる均平作業

① 種子消毒及び浸種

② 脱水



図6. ベンガラモリブデン(靱化粧)コーティング手順

- ③ コーティング機械への投入
- ④ 農薬（いもち病予防：ルーチンF S）の投入
- ⑤ べんモリ・水を交互に投入

具体的なコーティング方法については、前出のマニュアル及び以下の大仙市のコーティング動画²⁾を参考にしてください。

3) 貯蔵・保存

基本的には播種の前日もしくは前々日にコーティングし、表面を乾かす程度の状態にして播種してください。ただ、作業委託などで大量の種子コーティングが必要で、貯蔵の必要がある場合は、冷蔵庫保管（10℃以下）で保存すれば、一月ほどは貯蔵可能です。

4) その他のコーティング方法

①カルパーコーティング：過去には湛水直播の主流でしたが、後述する鉄コーティングや前述したベンガラモリブデンコーティングの登場により、主流の座から追いやられた感があります。その要因としてコストと“鮮度”が挙げられます。コストについては資材費（カルパー：過酸化カルシウム）が他のコーティング資材に比べて割高である点です。また、“鮮度”については、乾燥によってコーティングが割れやすくなるため、コーティング後数日以内の播種が推奨されるため、作り置きがきかない点です。コーティング作業にもある程度の熟練が必要でしたが、筆者も開発に携った、「自動コーティングマシン」も市販化されており、誰でも効率的にコーティング作業を行うことが可能な機械化はそろえられています。また、筆者が過去に実施した全国的な湛水直播試験においては、落水出芽法（播種後落水し、出芽苗立ちを促す水管理方法）との併用により、安定した出芽苗立ちを得ることができました。

②鉄コーティング：鉄粉と焼石膏からなる資材を種もみにコーティングするもので、資材費が安いこと、長期間の保存がきくこと、鳥害に強いなどの利点を有しています。また、コーティング後の種子の質量が重くなり、種子が風などで移動しにくい特性も持ち合わせています。カルパーと同じように、コーティング時に水を噴霧しますが、鉄と反応して発熱するので、乾燥して熱が収まるまで広げて陰干しする必要があります。（株）クボタからは専用の湛水条播機（鉄まきちゃん）が販売されており、全国的に普及が進んでいます。

6. 播種作業

1) 播種時期

秋田県内でも地域によって気象条件は異なり、農業用水を利用できる時期にも差があるので、一概に推奨できる播種時期を特定することは困難ですが、移植時期と重複しない、できれば移植時期より早い時期、5月初旬が望ましいと考えています。ドロ

ーン直播は湛水直播なので、移植と同様の圃場準備が必要なため、代かき作業の重複も避ける必要があります。

2) 農業用ドローンの播種量調整

圃場の形状、播種量、重複散布回数などに応じて、播種量の調整を事前に実施しておく必要があります。具体的な方法を以下に示します。

例えば令和6年度は、乾もみ換算5kg/10aで播種量設定を実施しましたが、乾もみ5kg

に籾化粧（べんモリ資材）1.5kgを水とともに粉衣し、その後表面を乾燥させて1.45倍（7.23kg）となったコーティング種子を使用しました。圃場形状は111m×95mの矩形圃場で、往復飛行で播種する面積は10a（111m×2行程×5m=1,110m²）となります。ドローンのタンクに7.23kgのコーティング種子を収納できなかったため、2回に分けること



図7. 播種量の調整

表2. 大仙市実証試験時の粒剤散布装置の設定

飛行速度	15km/h
飛行モード	A-Bモード
散布幅	5m
圃場面積	111m×95m (1ha)
散布回数	2度撒き
品種	ゆみあずさ
コーティング方法	ベンガラモリブデン
乾もみ(10a)	5kg
コーティング後散布量(10a)	7.2kg
1回当たりの散布量(10a)	3.6kg (7.2kg/2度撒き)
1ライン当たりの散布時間 ※1	27秒 (≒111[m] / 4.1[m/s])
1ライン当たりの散布面積	0.5a (≒100m*5m)
1ライン当たりの散布量 ※2	1.8kg
1往復積載量 ※A-Bモード1往復で種もみ補充	3.6kg
散布装置設定	
スリット	25
シャッター開度	37%
インペラ回転数	20%

にして、3.6kgを往復飛行で播種することにしました。播種時の飛行速度は15km/hに設定するので、111mの飛行には27秒要します。

片道27秒で1.8kg、往復48秒で3.6kg吐出する粒剤散布装置のシャッター開度、インペラ回転数を事前調整し設定値を決めておきます。

この時はシャッター開度37%、インペラ回転数20%に設定し作業を行いました。

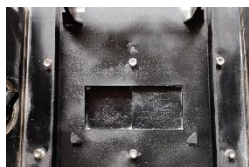
(参考) 実証で使用した散布装置の調整について

・スリット装着

散布する剤の粒径により粒剤散布装置のシャッター（剤がタンクから吐出される出口）とタンクの間スリットを装着し、吐出量を制御します。スリットは6種類用意されており、1 kg粒剤散布時は5.5（赤丸）、種籾等粒径が大きい剤を散布する際は25（青丸）のスリットを使用し吐出量をコ



図8. スリット



シャッター（スリット無し）



スリット 5.5 装着



スリット 25 装着

図9. スリット装着時の状態

ントロールします。

シャッター開度とインペラ回転数の設定は、送信機（プロポ）で行います。

・シャッター開度の設定変更

送信機の散布量調整つまみを回してシャッター開度を設定します。左に回すと開度が狭くなり、右に回すと開度が広がります。

吐出量調整時にも、つまみを回して変更しながら適切な吐出量となるシャッター開度を設定します。



図 10. プロポの設定画面

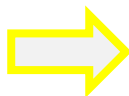
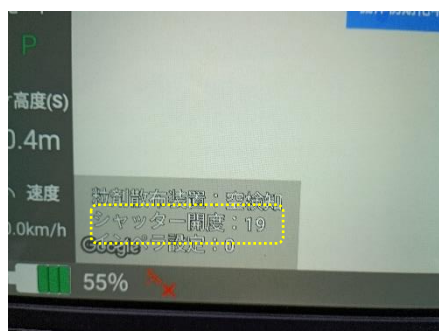


図 11. シャッター開度の設定

・インペラ回転数の設定

送信機の設定画面からインペラ回転数を変更し設定します。

インペラ回転出力の横スライダーを左右にスライドすることで回転数を変更できます。左にスライドすると回転出力が下がり、右にスライドすると出力が上がります。

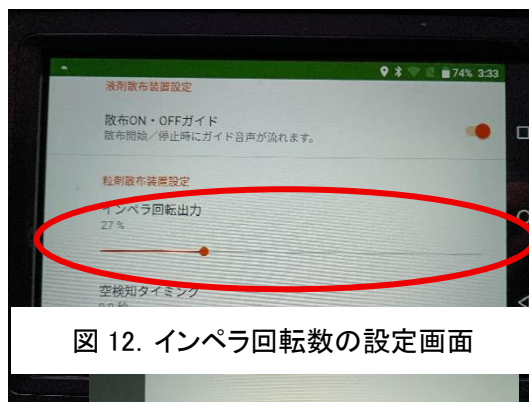


図 12. インペラ回転数の設定画面

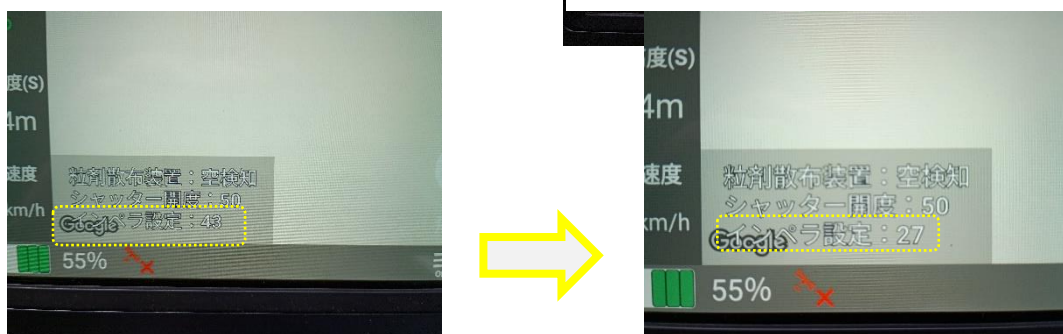


図 13. インペラ回転数の設定

3) コーティング種子の準備について

用意したコーティング種子（5. 種子コーティング参照）を作業中に効率的に補給するため、必要量を小分けにして準備しておくことで能率アップにつながります。大仙市における播種作業では、往復の飛行で播種される面積が 11a 程度となり、現物の播種量が 7kg を超え、AQ 2 のタンク容量を超えたため、2 回に分けて散布しました。そこで、1 往復ごとにコーティング種子を播ききるように小分けにして準備し、1 往復ごとに種子補給を実施しました。図 14 は飛行軌跡ですが、青色が第 1 回目の播種で、赤色が第 2 回目の播種です。それぞれ、1 往復ごとに右側の農道で離着陸している様子がわかります。令和 6 年度の例でいえば、前掲の通り 3.6kg ずつ小分けにして準備しました。

4) 播種作業

農業用ドローンによる散布作業には、基本的な作業手順が定められており、必ずこれを遵守してください。

作業前の基本手順として、機体および装備の点検、周囲の環境・安全の確認、飛行計画の作成を行う必要があります。作業後は、機体の洗浄・点検、作業記録の作成、バッテリーの適切な保管・管理を実施してください。

散布作業中は機体の監視を徹底し、飛行中は常時目視により機体の位置と姿勢を確認し、安全な作業を行うことが重要です。異常が発生した場合は、直ちに手動操作に

切り替え、安全な場所へ着陸させてください。また、作業場所の安全確保のため、作業区域への第三者の立ち入りを禁止し、人・家畜・車両が接近した場合は作業を中断し、安全が確保されるまで再開しないでください。

さらに、メーカー推奨の高度・速度を遵守し、風向・風速を考慮したうえで、周辺環境に配慮した散布作業を実施してください。

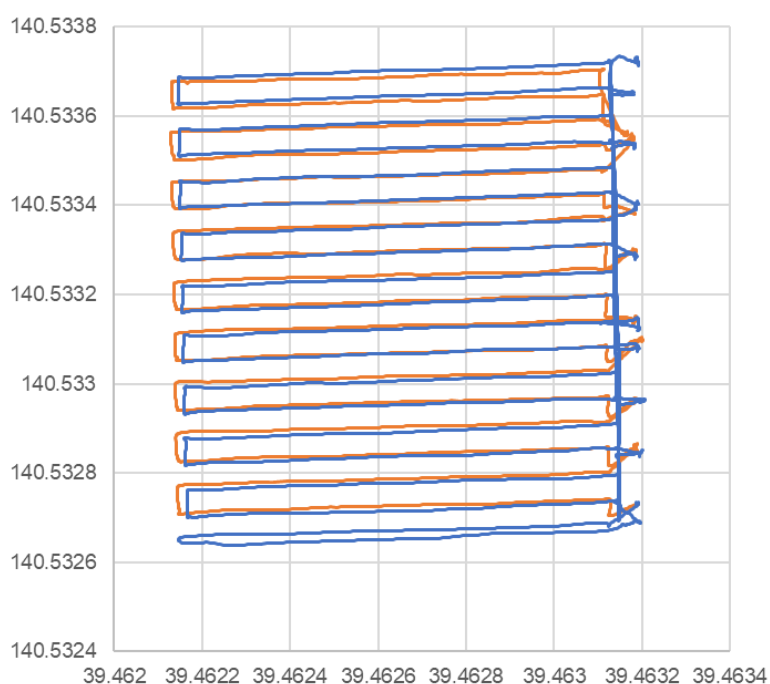


図 14. 播種作業時の農業用ドローンの飛行軌跡

7. 播種後の水管理と初期除草

1) 播種後の水管理

大仙市の実証試験では、播種後初期除草剤散布を行うため、播種後に入水し、圃場全体が冠水していることを確認してから除草剤散布を行いました。ただし、この方法では、令和7年度のように春先に低温が続いた場合、苗立ちが安定しないリスクがあります。除草剤散布のタイミングが難しくなりますが、播種後落水して出芽後湛水、除草剤散布により苗立ちが安定する傾向にあることが報告³⁾されています。

大仙市では令和4～7年度の4年間、播種後入水して除草剤を散布し、出芽・苗立ちまで湛水管理しましたが、令和4年度を除くと苗立ち率が低く、特に令和6、7年度はそれぞれ39%、となるなど、出芽苗成ちは安定しませんでした。

2) 初期除草

令和4・5年度は、ドローン播種後半日ほど入水した時点で、A剤(1kg粒剤)をドローンで散布し、令和6・7年度は、ヒエ抑制のため、E剤(1kg粒剤)に変えて同様に散布しました。

3) 農業用ドローンによる散布作業

(1) 除草剤散布量の調整方法

除草剤の種類によって、散布量や散布方法は異なります。ドローン散布において重要なポイントは、ドローンによる散布方法が当該除草剤で行えるかを確認することです。製品ラベル等に「無人航空機による散布」と記載されている、または「散布」と

表示されている除草剤については、希釈倍率および使用量を遵守することで使用が可能です。不明な場合は、農林水産省のウェブサイトを確認する、または農薬メーカーへ問い合わせてください。

実証では、1kg 粒剤を散布しましたので、以下にその散布量調整方法を記載します。使用した 1kg 粒剤は、10a 当たり 1kg の散布が必要です。散布作業時のドローンの粒剤散布幅の仕様は 5m、飛行速度は 15km/h とし、播種作業と同様の軌跡で散布する計画としました。片道 27 秒で 5.5a、往復 54 秒で 11a の散布となります。この条件に基づき、54 秒間で 1.1kg を吐出できるように、インペラ回転数およびシャッター開度をあらかじめ調整しました。

実証時の設定は、シャッター開度 40%、インペラ回転数 35% としました。なお、剤の種類や使用するドローンおよび散布機によって作業時の設定は異なります。事前に飛行速度や使用量等を基に散布機およびドローンの設定を決定しておくことで、除草剤散布作業をスムーズかつ安全に実施できます。

(2) 散布作業

6. 播種作業でも触れましたが、農業用ドローンによる散布作業には基本的な作業手順が定められており、これを必ず遵守してください。特に、除草剤、殺虫剤、殺菌剤を散布する際には、人体への影響や周辺圃場の作物に被害を与える可能性があります。そのため、周囲の状況確認は播種作業以上に重要となり、以下の点に留意して作業を実施する必要があります。

作業前の基本手順として、機体および装備の点検、周囲の環境および安全の確認、飛行計画の作成を行う必要があります。作業後は、機体の洗浄および点検、作業記録の作成、バッテリーの適切な保管および管理を実施してください。

散布作業中は、機体の監視を徹底し、飛行中は常時目視により機体の位置および姿勢を確認するなど、安全な作業を行うことが重要です。異常が発生した場合は、直ちに手動操作に切り替え、安全な場所へ着陸させてください。また、作業場所の安全確保のため、作業区域への第三者の立ち入りを禁止し、人・家畜・車両が接近した場合には作業を中断し、安全が確保されるまで再開しないでください。

さらに、メーカーが推奨する飛行高度および速度を遵守するとともに、風向および風速を考慮し、周辺環境に配慮した散布作業を実施してください。

8. 大仙市実証試験で実施した生育管理方法

1) 雑草対策

基本的に除草剤の体系処理を実施し、雑草の繁茂状況に応じて追加の除草剤を選択しました。前述したように令和 4 年度は初期剤として A 剤 (1kg 粒剤)、初中期一発剤として C 剤 (1kg 粒剤) を農業用ドローンで散布し、後発ヒエ用に D 剤 (乳剤) を乗

用管理機で散布しました。しかしヒエに対する効果が薄く、最後まで圃場に残りましたが、この段階では除草剤散布のタイミングや水位管理に問題があったのだろうと推察し、翌年度も同様の体系で実施しました。ところが翌年のヒエの発生はさらにひどく、令和4年度と同様の除草剤では対応できませんでした。

そのため、令和6年度以降は、発生した雑草に適した除草剤を選択して対応し、効果を得ることができました。ちなみに隣の圃場では(株)クボタの鉄まきちゃんを使った湛水条播が3年連続で行われ、令和6年度まではすこぶる良い成績を残していましたが、令和7年度は出芽苗立ちが悪く、大量の藻が発生したこともあって継続を断念し、移植栽培に変更していましたので、ドローン直播だけではなく湛水直播そのものがこの地区では出芽苗立ちが悪かったようです。

表3. 大仙市実証試験における栽培概要

項目	試験区		対照区	
	R5	R6	R5	R6
ほ場番号	下払田	下払田	宝龍	下払田
面積	1ha	1ha	1ha	1ha
品種	ゆみあずさ(飼料用)	ゆみあずさ(加工米)	ゆみあずさ(飼料用)	ゆみあずさ(加工米)
栽培様式	直播	直播	移植	移植
栽培方法	ドローン散播	ドローン散播	田植機	田植機
基肥量	基肥まぐもん15kg×2 ケイ酸加里20kg×2	基肥まぐもん35kg ケイ酸加里20kg×2	基肥まぐもん15kg×2 ケイ酸加里20kg×2	基肥まぐもん35kg ケイ酸加里20kg×2
// 施肥方法	ブロードキャスタ	ブロードキャスタ	ブロードキャスタ	ブロードキャスタ
追肥	なし	なし	なし	なし
除草剤	A剤 B剤 C剤 D剤	E剤 F剤 G剤	A剤 C剤 H剤	A剤 C剤 D剤
// 散布方法	ドローン(D剤:乗用管理機)	ドローン(E剤:乗用管理機)	無人ヘリ	無人ヘリ(D剤:乗用管理機)
病害虫防除	広域防除		広域防除	
// 散布方法	無人ヘリ		無人ヘリ	
作業日程				
播種	5/5	5/6	4/22	
移植	—		5/17	6/6
耕起	4/22	4/18	4/22	4/9
代かき	5/3	5/4	5/15	6/3
収穫	9/26	10/1	9/27	10/1
注: 施肥量と除草剤量は10aあたり				

2) 施肥体系

施肥体系は4年間変更なく、基本的に元肥一発施肥で追肥は行わない体系でした。基肥は、まぐもんX (N:27、P:10、K:8) 30kg/10a、ケイ酸カリ 40kg/10aをブロードキャスタで全面散布しています。

3) 病害虫防除

病害虫防除は、無人ヘリによる広域防除が主体です。作業委託費は令和4年度は、2,800円/10aだったのですが、物価高騰の折、令和6年度は3,150円/10aとなってい

ます。農業用ドローンによる除草剤散布や農薬散布も基本的には同一作業委託費で実施されています。

なお、実証試験圃場を提供していただいている法人経営者は、無人ヘリ・ドローン作業請負会社のオペレーターです。

4) 生育の推移

令和5年度の水稲の生育情報として、観測用ドローンを用いたNDVI（正規化植生指数）の測定を実施しました。ここでNDVIは、上空から撮影したときにカメラに入

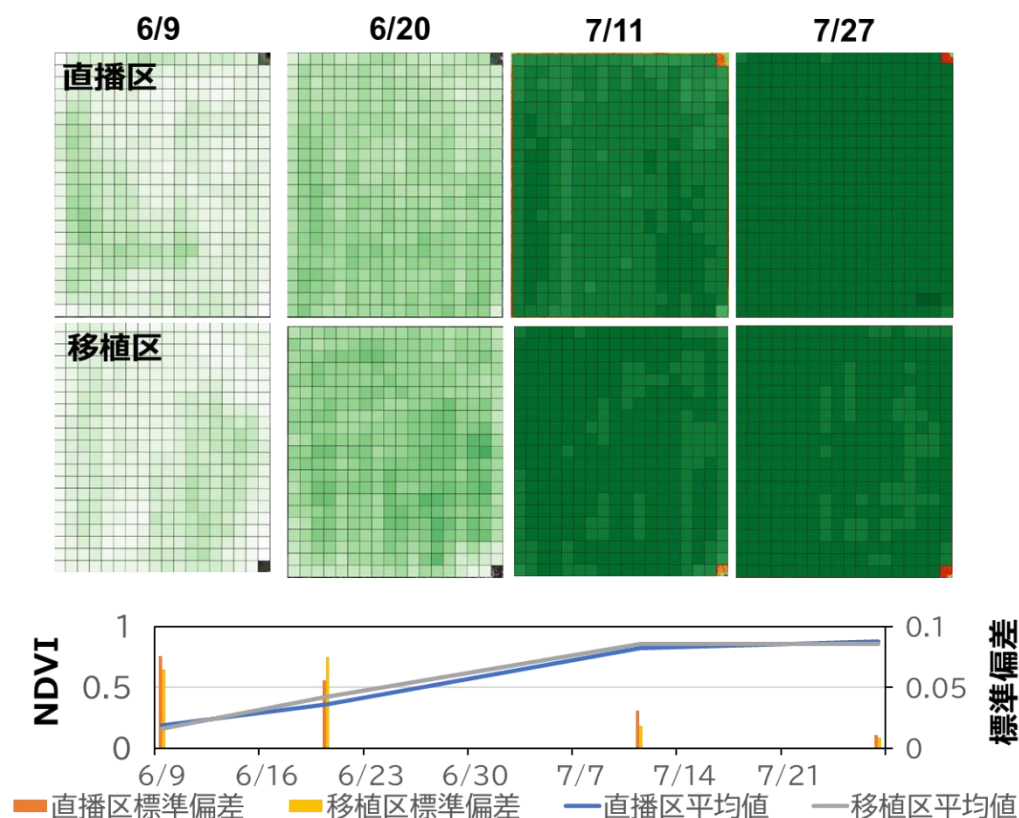


図 15. 水稲生育情報(NDVI: 正規化植生指数)の推移(令和5年度)

ってくる光の成分のうち、赤色（波長 650nm）と近赤外線（波長 840nm）を図 16 のように計算して算出する値です。生育している稲のボリュームと緑色の濃さを掛け合わせた値との相関が高いとされています。

令和5年度の結果を見ると、対照区である移植栽培とほぼ同じような生育を示しています。

図 17 は令和 6 年度の NDVI の推移ですが、永和 5 年度に比べて細かいメッシュで解析したところ、以下のような特徴を見出すことができました。

⑥ 移植区

では条間に沿って筋ができていますが、直播区でも同様に筋が見え、ドローン散布が横方向に均一ではなく中央付近に集中しているのがわかりました。

⑦ 移植区に比べて直播区の色が幅広く、生育ムラが大きいたことがわかりました。特に圃場の外周は生育がまばらで、その結果が反映されています。

農業用ドローンによる播種量が均一ではないという結果ですが、新しい粒剤取布装置が横方向に拡散させる方式から下方に散布する方式に変えた影響が出ているもので、水稻の直播や水中で拡散する除草剤散布については、栽培管理上特に大きな支障はないものと考えています。



正規化植生指数

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

図 16. NDVI: 正規化植生指数

移植区 直播区

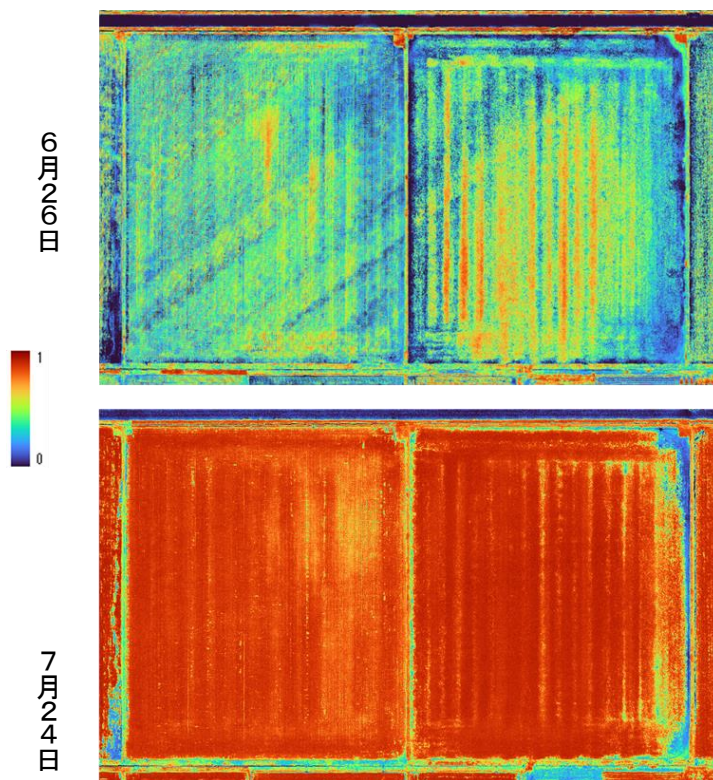


図 17. NDVI の推移(令和6年度)

5) 苗立ちと収量

年を追うごとに苗立ち率が低下し、それを補償するために播種量を増やしたいとの要望が生産者から寄せられ、令和7年度は乾粒換算で6kg/10aとなりました。一方で、前にも述べたように、初期の水管理が苗立ちを抑制する方向に作用しているとも見ることができません。過去の経験から、苗立ち率が50%を下回ると、圃場の中の苗立ちにムラが生じやすくなります。4年間を通して言えることですが、圃場の中で苗の粗密が気になりました。再度検討する必要性を感じています。

図18は、直播区と移植区の収量を年度別に示したグラフです。全刈り収量は4年の平均で直播栽培は移植栽培の13%減でした。一方、新粒剤散布装置と高精度自動飛行を取り入れた直近3か年では平均3%の減少に抑えられています。ただし、見てわかるように、移植栽培は収量があまり変動していないのに対し、直播栽培は年による変動が大きくなっています。雑草対策はもとより、高温障害回避についても直播栽培に対応した方法を見出す必要があります。なお、4年間栽培した「ゆみあずさ」は、多収米ですが暑さに弱いとの評価もあり、近年の猛暑で収量が減少している可能性があります。

表4. 大仙市実証圃場における苗立ち・収量

栽培方法	年度	播種量 乾もみ換算 (kg/10a)	苗立本数 (本/m ²) 苗立率(%)	収量 (kg/10a)
直播	R4	4.0	153 —	389
	R5	5.0	107 56.6	462
	R6	5.0	79 38.9	584
	R7	6.0	43 24.0	420
移植	R4	—	—	631
	R5			510
	R6			511
	R7			486

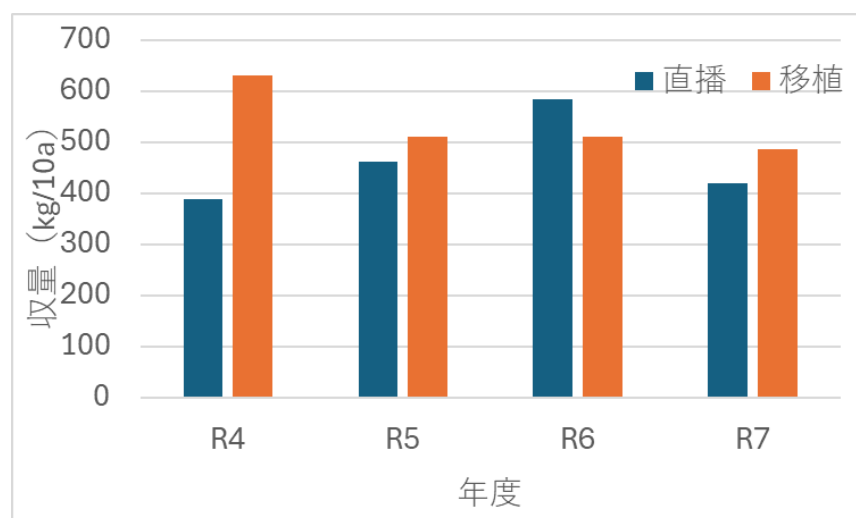


図18. 大仙市実証圃場における収量比較

ます。

9. 経営評価

表5. 経営評価(支出)

費目	直播区			移植区		
	金額(円/ha)		備考	金額(円/ha)		備考
	R4	R6		R4	R6	
種子	34,279	34,100	種子+モリブデン	49,500	49,500	180枚
基肥	102,780	120,340		102,780	120,340	
除草剤	87,516	95,425	3剤/4剤	67,694	91,597	2剤/3剤
病虫害防除	28,000	31,500	広域防除作業委託	28,000	31,500	広域防除作業委託
減価償却費	129,300 95,700	129,300 95,700	トラクタ、コンバイン、ドローン等	109,300	109,300	トラクタ、コンバイン、田植機等
労働費	25,400	37,950	25.4時間	29,900	45,255	29.9時間
合計	407,275 373,675	448,615 415,015		387,174	447,492	

減価償却費: 緑字は農業用ドローンを作業委託によって実施した場合

表6. 経営評価(収支)

項目	直播区		移植区	
	R4	R6	R4	R6
用途	加工米	加工米	加工米	加工米
総重量	3,889	5,841	6,310	5,106
販売額	486,129	934,560	788,750	816,960
助成金	300,000	300,000	300,000	300,000
収入計	786,129	1,234,560	1,088,750	1,116,960
支出計	407,275 373,675	448,615 415,015	387,174	447,492
収支	378,854 412,454	785,945 819,545	701,576	669,468

対象法人は、生産した直播水稻を基本的には「加工米」として販売しており、直播

収量が最も低かった令和4年度と最も高かった令和6年度を比較してみました。

表5の支出を見てみると、直播栽培で、種子・育苗関係費用、労働費が移植栽培に比べて少ないのに対し、除草剤にかかる経費とドローンを導入したと仮定したときの減価償却費が増加しています。令和4年度は直播にのみドローンを利用したと仮定した場合の試算をしたので、移植栽培より支出が大きくなりましたが、農薬散布で移植栽培でも利用すれば、減価償却が直播栽培と移植栽培に案分され、ほぼ同程度の支出になるものと考えられます。ドローンによる播種作業を外部委託した場合も試算してみました(緑字)。いずれにしても、直播栽培では移植栽培に比べて支出は削減されませんが、表5に示すように収量が収支に大きく影響するため、そのまま直播栽培と移植栽培の収支に反映されることになります。

このように、単純に生産コスト面から比較すると、安定性に勝る移植栽培が有利ということになりますが、経営規模が拡大してくると様々な制限要因がこれに加わります。いずれも移植栽培に関係することで、増えた農地を移植栽培で行おうとすると、苗の生産量を増やすため、育苗ハウスやそれに伴う施設の増設が欠かせません。さらに、田植作業には多くの人員を要しますから、作業集中がますます顕著になり、作業員の確保が課題となります。直播栽培を導入することで、これらを解消でき、経営規模の拡大をスムーズに行うことができ、結果的に経営の安定につながることができます。

以上、まとめると、

- ①単位面積当たりの生産コストとして評価すると収量に依存するため、移植並みの収量が必要という結果になりますが、
- ②直播栽培の導入により、作業時期がずれて春作業の平準化が図られ、育苗量の削減が可能となり、人手を増やさずとも容易に経営面積を拡大して、収益増につながります。

10. 謝辞

本実証試験は、内閣府の地方創成推進交付金事業(Society5.0)に秋田県、大仙市、秋田県立大学が中核機関となって応募し採択された「秋田版スマート農業モデル創出事業」の中で、分野融合型研究として位置づけられた開発・実証研究として令和3年度から令和7年度の5か年にかけて実施したものです。実証試験実施に当たっては、(株)食農の圃場をお借りし、同法人がこれまで培った湛水直播に関する知見を総動員していただき、4か年にわたる実証試験を完遂できました。また、管轄地域内の普及指導員、JA営農指導員、大仙市担当職員など、多くの方々のご助言を得て、様々な問題に対しても迅速に対応できました。

ここに、関係していただいたすべての皆様に心よりの謝意を表しますとともに、本手引きが、秋田県内はもとより、国内における水稻作の発展に寄与できれば幸甚で

す。

【参考資料】

- 1) https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/benmoly_manual.pdf
- 2) 水稲ベンモリコーティング動画（秋田県立大学撮影）
- 3) <https://www.kankyuu-marc.jp/fukyuu/pdf/950103.pdf>

【連絡先】

- 秋田県立大学アグリノベーション教育研究センター：0185-45-2858
- 東光鉄工株式会社 UAV 事業部：0186-57-8755