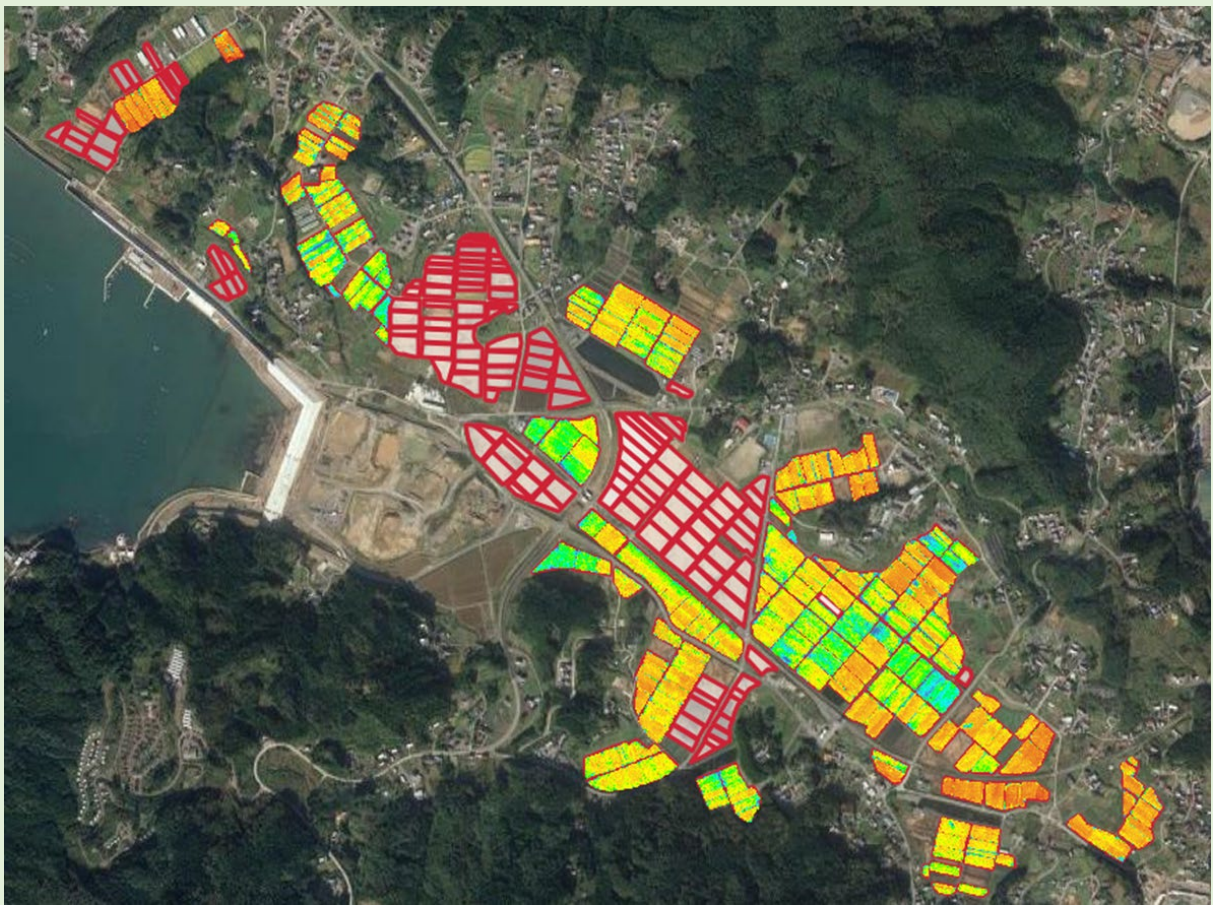


食料生産地域再生のための先端技術展開事業「復旧水田における
先端技術導入による水田営農の高度安定化に向けた実証研究」成果集

先端技術を活用した 水稲の生育ムラ改善策



(令和2年7月4-6日ドローン撮影、陸前高田市小友町)

令和3年3月

研究代表機関

岩手県農業研究センター

共同研究機関

農研機構農業技術革新工学研究センター

国立大学法人山形大学

はじめに

岩手県沿岸地域では東日本大震災津波からの復旧がすすみ、本格的に稲作が再開しています。しかし、大規模かつ短期間に復旧・造成された水田では、年数の経過とともに、水田の耕盤や作土の不均平が生じており、水稲の生育ムラの発生や低収の一因になっています。また、緻密な水管理を必要とする湛水直播栽培の定着の妨げにもなっています。

そこで、生育ムラ改善技術として、先端技術である耕うんと同時に耕盤均平を図る技術や、リモートセンシングによる水稲生育量評価および生育に応じた追肥技術（可変施肥）を実証し、その効果を確認しましたのでご紹介します。

なお、本技術は復旧水田に限らず活用できる技術です。

最後になりますが、陸前高田市の農事組合法人サンファーム小友様には、実証にあたり多大なるご協力いただきましたこと、感謝申し上げます。

紹介する先端技術

レーザー制御ロータリ耕起による耕盤均平技術	1～8ページ
リモートセンシング（ドローン撮影）による 水稲生育量評価および可変追肥	9～13ページ
技術の導入事例（総合実証）	14～16ページ
引用・参考文献	17ページ

- 本研究プロジェクトは、東日本大震災で被災した農業分野及び漁業分野の復興に貢献するために、先端的技術を再構築して被災地の現場に導入し、技術の有効性を実証しつつ大幅な経営改善を目指して実施したものです。
- プロジェクト実施期間は、平成30年度～令和2年度の3年間です。

レーザー制御ロータリ耕による耕盤均平技術

1 技術のねらい

岩手県沿岸部の復旧水田において、年数経過とともにほ場の耕盤や田面の不均平化が見られ、生育ムラや除草効果の不安定化、湛水直播栽培での発芽不良などの影響が生じています。また、作土深が浅い場所では、生育量の不足等が見られます。さらに耕盤の凹凸は、水稻移植機等の走行安定性を悪化させる原因となります。

そこで、耕盤均平技術により耕盤の高低差を少なくし、併せてレーザーレベラによる田面の均平化により、生育の均一化とほ場管理の効率化を図ります。

2 技術の内容・特徴

- (1) 耕盤均平技術は、ロータリをレーザー制御により上下させ、耕起する高さを一定にして作業を実施することができる技術です（図1）。
- (2) 必要な装備は、レーザー制御対応のトラクタ、直装式レーザーコンローラー一式、レーザーポールとウエイトを装着したロータリです。ウエイトは作業安定化のため、ロータリに荷重を付加する目的で追加します。また、レーザーポールとウエイトをロータリに装着する台座は装備機械に合わせて製作する必要があります。



図1 耕盤均平技術の概要

3 導入効果

- (1) 耕盤均平作業により耕盤の高低差±2.5 cm以内の割合を9割以上に均平化が可能です(図2)。
- (2) 耕盤を均平化することで、生育ムラを少なくし、移植機等の走行安定化等が図られます。また、併せて実施する田面の均平化により、除草剤効果の安定化、水管理の効率化及び直播栽培での出芽安定化等の効果が期待できます。
- (3) 導入経費は、通常の田面均平を行うことができるトラクタ、直装式レーザコントロール及びロータリ等の装備を所有していることを前提とすると、新たに必要な部品は、ウエイトとレーザポールとウエイトをロータリに装着する台座です。参考に今回の実証で使用したロータリの場合の導入経費は、ウエイトは9個で約130千円、台座は自作する場合は材料費約7千円程度であり、農機販売店等に製作を依頼した場合は約165千円です。

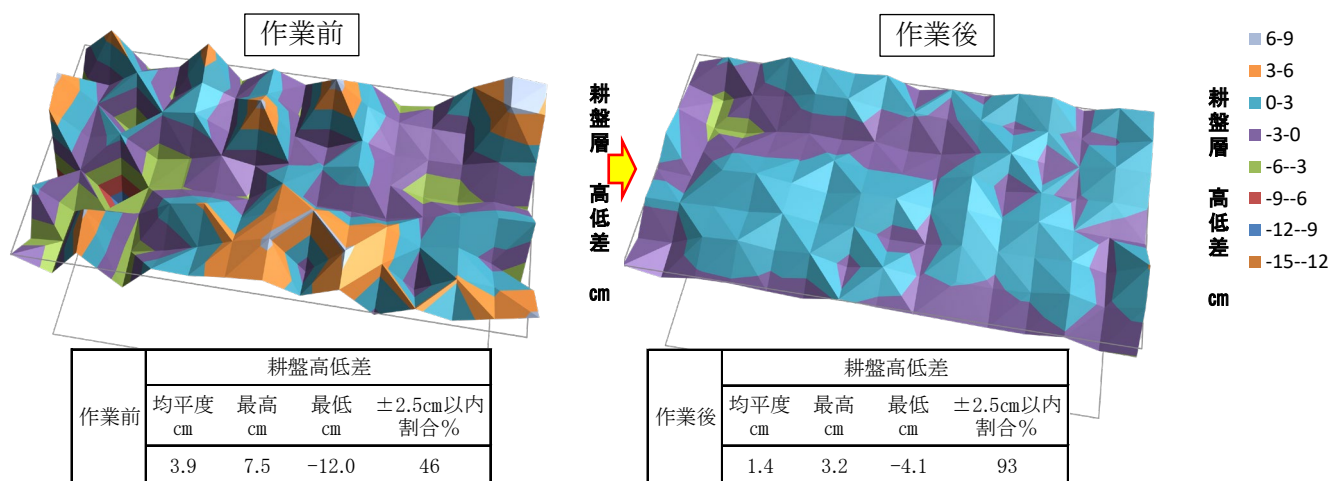


図2 耕盤均平作業による耕盤高低差の変化

注) 陸前高田市小友地区ほ場(埴壤土)での実証結果。

5mメッシュで高低差を調査。作業前は前年秋に、作業後は作付年春の耕盤均平作業後に調査。均平度は高低差の標準偏差。±2.5 cm以内割合は調査全地点に占める割合。

4 技術導入の手順

(1) 耕起深の設定

耕起深は、発光器の上下及びレーザポールの伸縮により調整します。

事前にはほ場内の田面高低差を把握し、田面が高い場所で一度耕起して深さを確認しながら目標の耕起深に設定してください。耕起深は15 cmを目標とします。

(2) 作業時期(作業順)

作業時期は、秋耕起あるいは春耕起として実施できるが、秋耕起は通常耕起(均平なし、耕起深はやや浅めに設定)で行い、春耕起に耕盤均平技術により実施することが望ましい。

また、耕盤の均平化に併せて、レーザレベラにより田面の均平化を実施することが望ましい。その際の作業は、慣行耕起(砕土)、田面均平、耕盤均平の順で実施してください。

5 留意事項

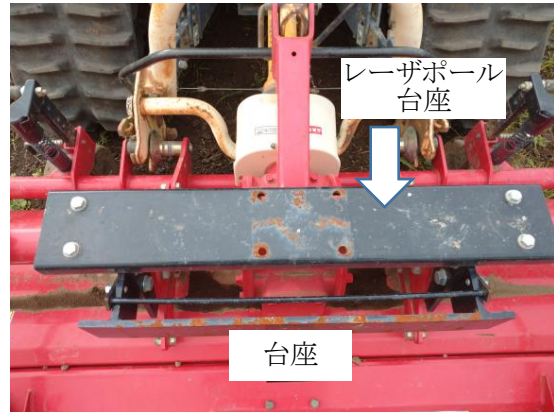
- (1) 作業速度が速いと作業機が安定せず均平が不十分となるので、田面の硬さ等と作業状況を考慮し作業速度を調整してください。今回の実証では作業速度約 2.0km/時で作業を実施しました。
- (2) 装着するウエイトの重量が不足すると作業の安定性が劣る場合があるので、作業状況に応じて荷重を調整してください。
- (3) この技術はロータリによる耕起作業のみであり、耕盤層の鎮圧はできないので、下層が軟弱な場所は改善は困難です。
- (4) 今回実証した沿岸の水田では、耕盤均平後も不等沈下が部分的に発生する場合があるため、均平度を維持するためには耕盤均平作業は基本的に毎年実施することが望ましい。ただし、他の地区の土壌条件によっては、不等沈下等の発生状況が異なる場合があるので、耕盤高低差の状況を確認して実施を判断してください。
- (5) 生育モデルにより作土深の違いによる収量の変動を試算すると、作土深が 5 cm (±2.5 cm) 変動すると、収量は約 30 kg/10a 変動することが予測されます。このため、耕盤の高低差が ±2.5 cm 以上の部分がほ場内に散見される場合には、当該技術により耕盤の均平化とレーザレベラによる田面の均平化を図ることで生育、収量ムラを少なくすることができると考えられます。

【参考】 レーザポール、ウエイト固定台座の取付に係る改良

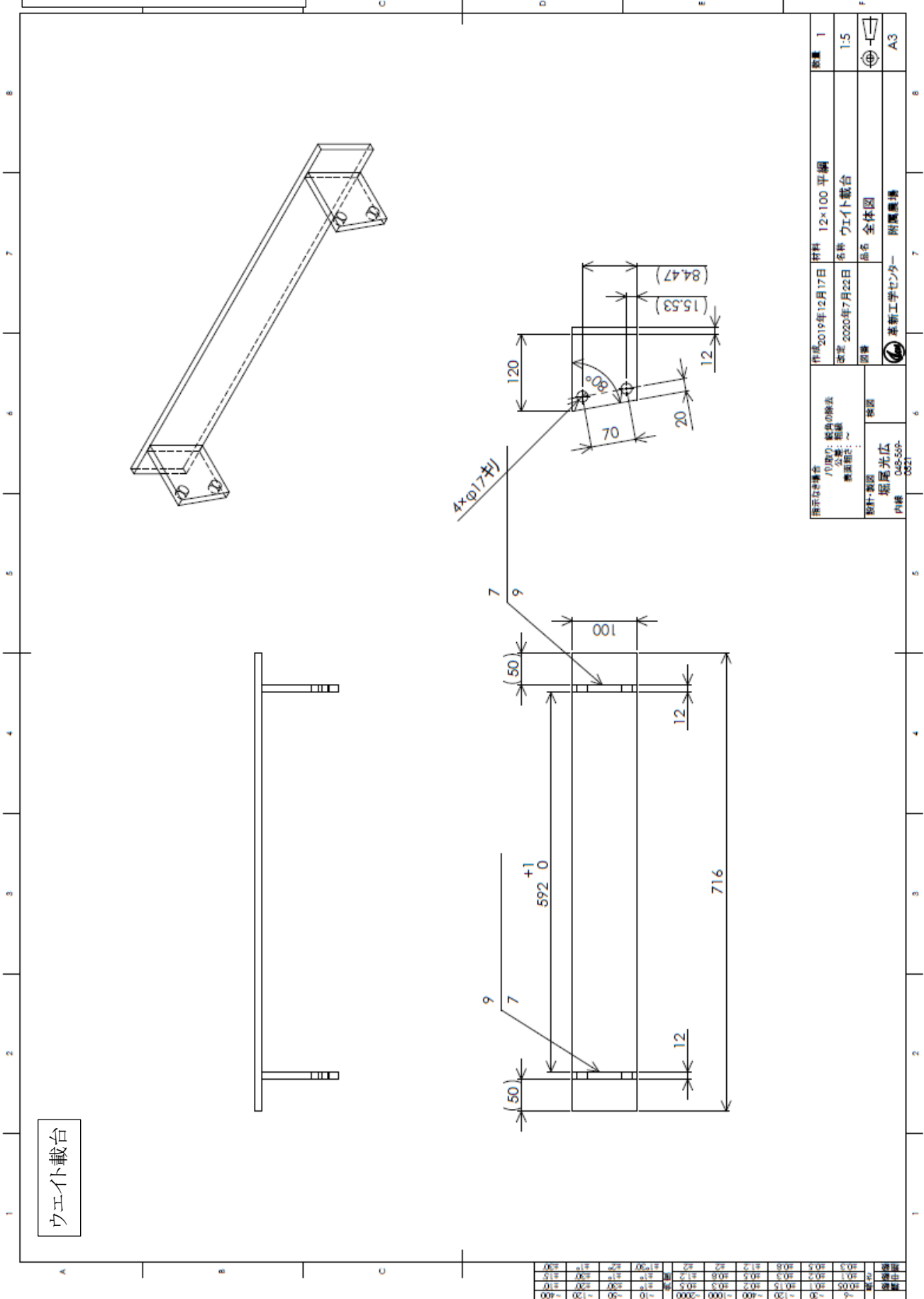
今回、実証で利用した機械装備では、固定台座の取付改良は以下のとおりに実施しました。

ただし、使用するロータリの構造等により、固定台座の部材等は適宜変更する必要があるので、以下の台座を参考に個別に改良を行ってください。

《使用ロータリ：松山株式会社 ニプロ SXL2211-4L、作業幅 220 cm》



図面 1 ウェイト載台



指示基準書名	JIS規格: 鋸山の除去 公差: 参照 標準単位: ~	作成	2019年12月17日	材料	12×100 平鋼	数量	1
設計-実務	堀尾 光広 048-568- 内線 0321	校閲	2020年7月22日	名称	ウェイト載台	比率	1:5
				図番	品名 全体図	図記号	A3
					製図者 革新工学センター 0321		

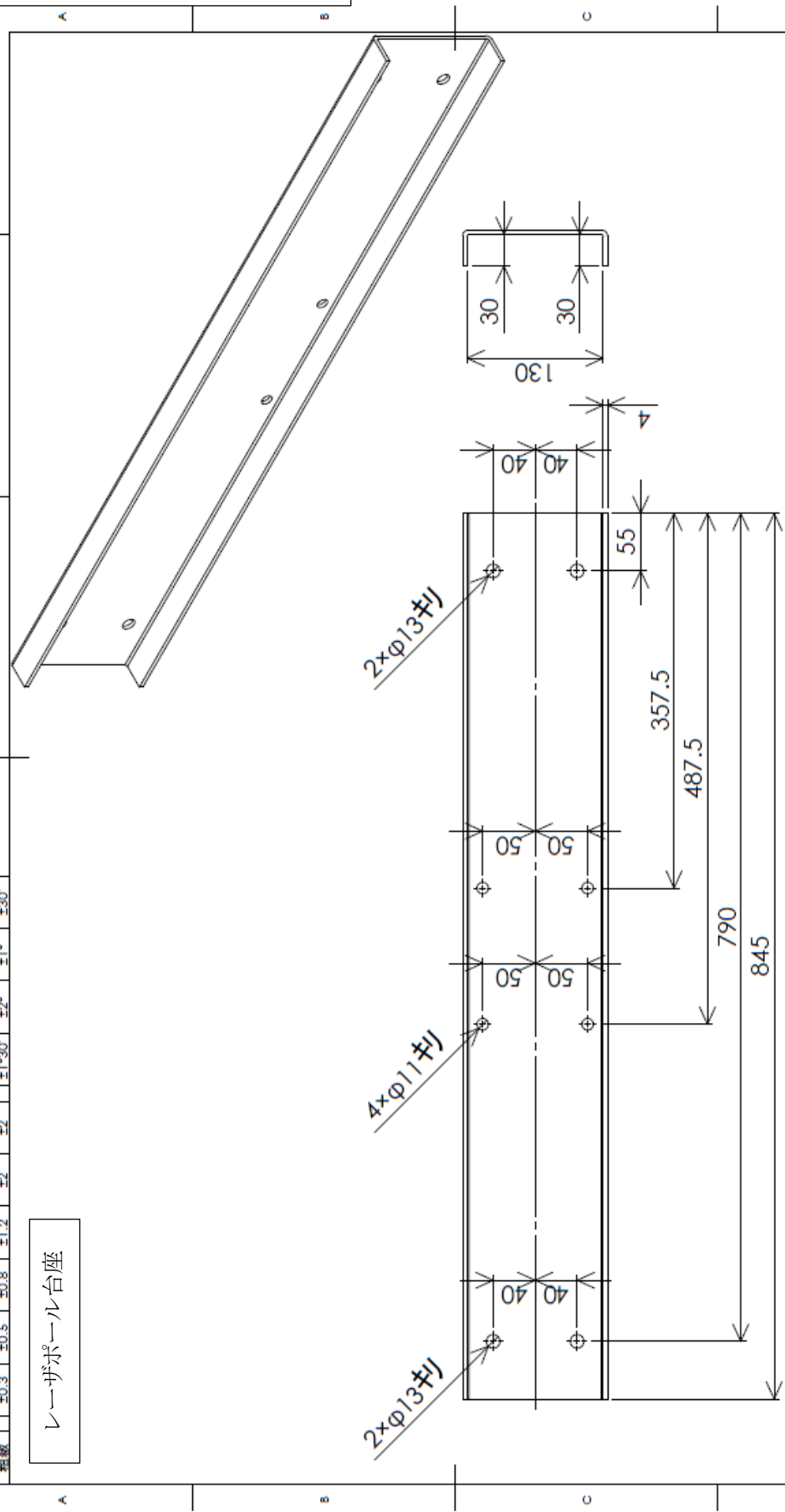
ウェイト載台

種別	2	3	4	5	6	7	8
用途	403	405	407	408	409	410	411
規格	412	413	414	415	416	417	418
寸法	419	420	421	422	423	424	425
公差	426	427	428	429	430	431	432
表面	433	434	435	436	437	438	439
加工	440	441	442	443	444	445	446
検査	447	448	449	450	451	452	453
保管	454	455	456	457	458	459	460
廃棄	461	462	463	464	465	466	467
その他	468	469	470	471	472	473	474

図面 2 レーザポール台座

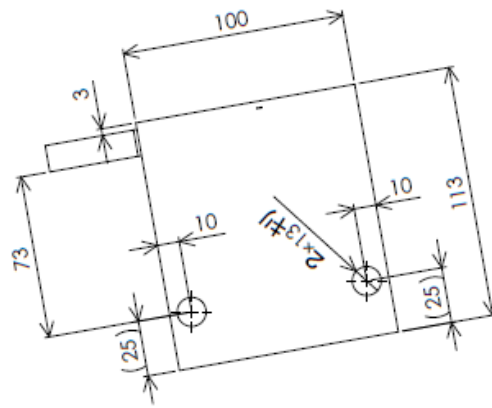
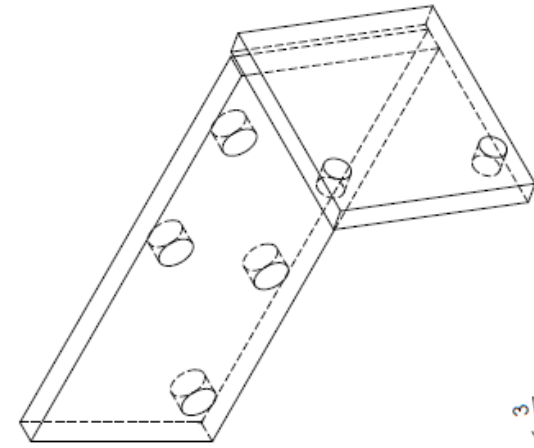
精度	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0	±3.0	±5.0	±10	±15	±20	±30	±40	±50	±75	±100	±150	±200	±300	±400
公差	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±5	±10	±20	±30	±40	±50	±75	±100	±150	±200	±300	±400	±500	±750	±1000
角度	±0.3°	±0.5°	±0.8°	±1.2°	±2°	±3°	±5°	±10°	±15°	±20°	±30°	±45°	±60°	±75°	±90°	±120°	±150°	±180°	±225°	±270°	±315°	±360°	±400°

レーザポール台座



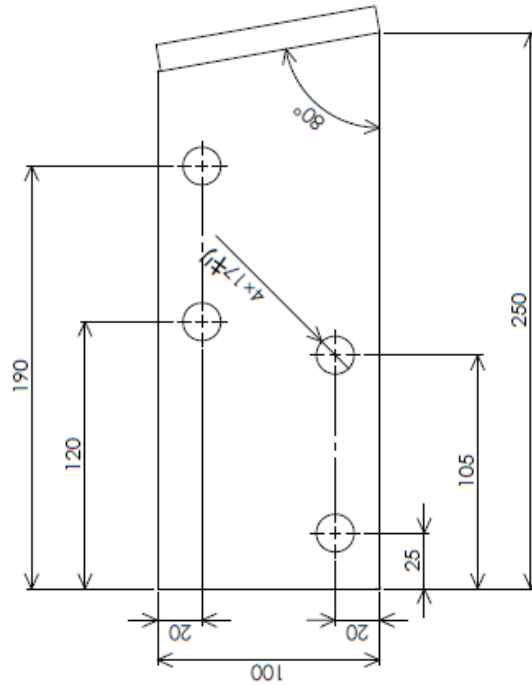
指示なき場合 バリ取り: 鋭角の除去 公差: 粗級 表面粗さ: ~	作成 2019年12月17日 改定 2020年7月22日 図番	材料 t4.0 鋼板 名称 レーザポール台座 品名 レーザポール取付台	数量 1
設計・製図 堀尾光広 内線 048-569-0521	校図	革新工学センター 附属農場	1:5 A4

図面3 ウェイト台ステー (右)



図面ビュー A

ウェイト台ステー (右)



寸法	公差	寸法	公差
φ17	±0.05	φ17	±0.05
φ13	±0.05	φ13	±0.05
φ10	±0.05	φ10	±0.05
φ8	±0.05	φ8	±0.05
φ6	±0.05	φ6	±0.05
φ4	±0.05	φ4	±0.05
φ3	±0.05	φ3	±0.05
φ2	±0.05	φ2	±0.05
φ1	±0.05	φ1	±0.05
φ0.5	±0.05	φ0.5	±0.05

指示なき場合は JIS規格の除去 公差: 標準 公差指定: ~	作成 2021年2月19日 変更 2021年2月19日	材料 12×100平鋼 名称 レーザボール&ウェイト取付台	数量 1
設計: 渡辺 校核:	図番 品名 取付ステー(右)	標準工学センター 附属機構	1:2
製図者:	製図:		A3

リモートセンシング（ドローン撮影）による 水稲生育量評価および可変追肥

1 技術のねらい

岩手県沿岸部の復旧水田では、地力ムラに起因すると思われる圃場内の生育ムラが見られることから、水稲の生育に応じて施肥量を調整できる可変追肥技術により、圃場内・圃場間における収量のばらつき軽減を図りました。

ここでは、ヤンマーアグリジャパン株式会社（以下、ヤンマー）のサービスを活用した可変追肥の実施事例を記載しました。

なお、現時点ではドローン撮影で得られた NDVI による穂肥判定基準はないことから、NDVI に基づく追肥量を仮で設定した実施事例を記載しています。

今後、主要な品種について幼穂形成期の NDVI を活用した穂肥判定基準やドローン撮影時期の検討を行う予定です。

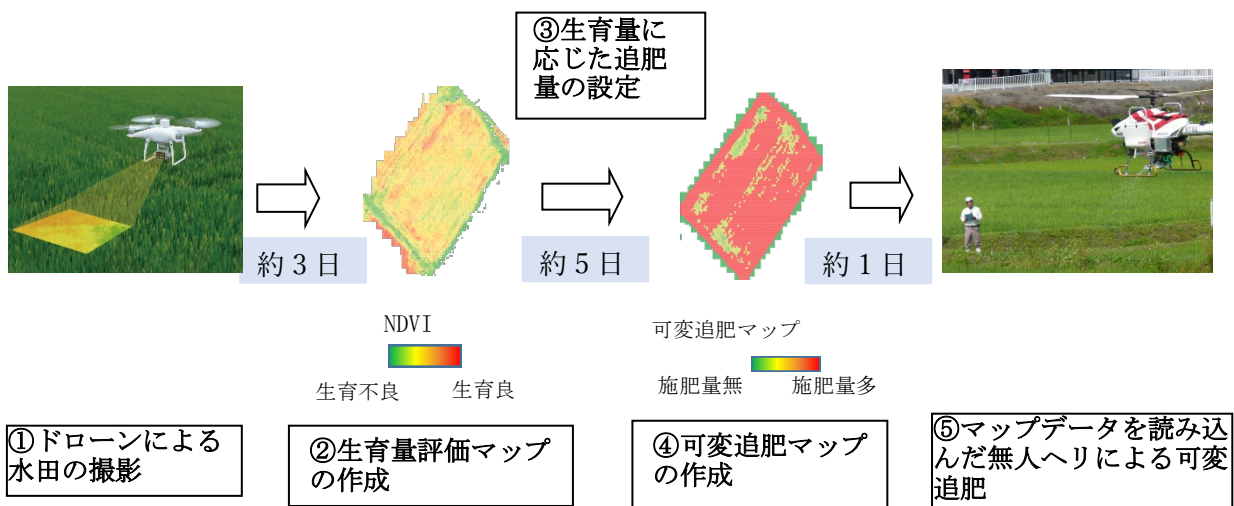
2 技術の内容・特徴

(1) 可変追肥はドローン撮影で得られた NDVI から生育量とそのムラを評価し、その結果に応じて作成した可変施肥マップに基づいて無人ヘリで追肥する技術です。

(2) 可変追肥の工程は以下の5つです。①水田の撮影、②解析による NDVI の算出、③NDVI による追肥量の設定、④可変追肥マップの作成、⑤マップデータを読み込んだ無人ヘリによる可変追肥。

今回利用したサービスでは①②④⑤をヤンマーが、③を利用者が行うことになっています。

(3) 現在 NDVI 解析までには約3日、さらに可変追肥マップ作成までには約5日要することから、ドローン撮影は適期追肥時期の10日前に行う必要があります。



3 導入効果

- (1) 可変追肥により、低 NDVI 箇所（生育不良箇所）ほど増収効果が大きく（図 1）、圃場全体の収量も可変追肥導入により増加することが確認できました（図 2）。
- (2) 可変追肥により、収量のばらつきは7月上旬の NDVI（生育量）のばらつきから大幅に低下し、対照との収量のばらつきの差が縮まりました（図 3）。このことから可変追肥による圃場内・圃場間の収量ばらつき軽減効果が確認できました。
- (3) 可変追肥作業にかかる掛かり増し経費は4,000円/10aです（表1）。
単価設定はドローン撮影で10ha単位、可変追肥では5ha単位（どちらも追加料金は1haごと）です。

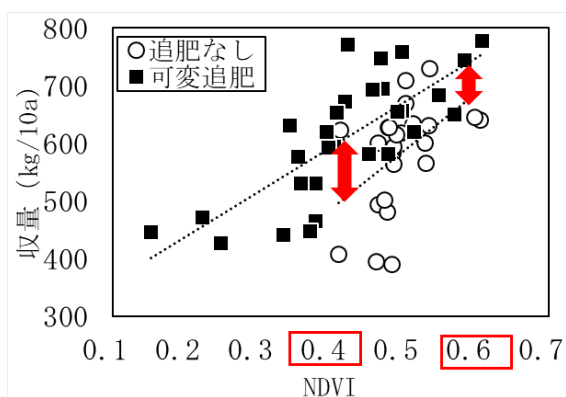


図1 7月上旬のNDVIと収量の関係

(注) NDVIは撮影で得られる生育量の評価値

生育量が高いNDVI 0.6では、処理による収量差はほとんどみられません。一方、生育量が小さいNDVI 0.4では可変追肥による増収効果が大きいです。

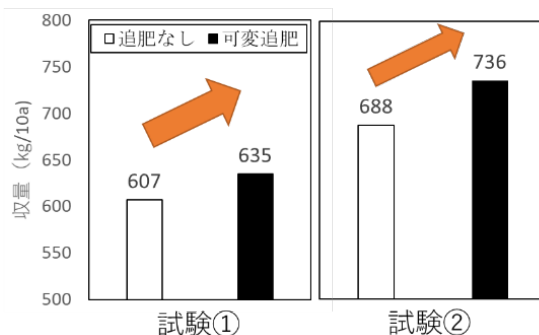


図2 収量 (kg/10a)

- 注1) 品種はひとめぼれ
注2) 試験①②圃場は地力が低く、基肥に緩効性肥料を使用。
注3) 各試験区の7月上旬撮影のNDVIは、試験①追肥なしが0.47、可変追肥ありでは0.42、試験②追肥なしが0.56、可変追肥ありでは0.39

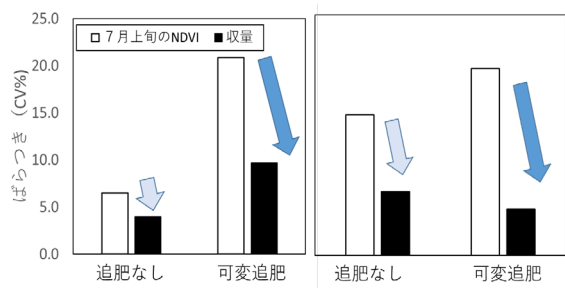


図3 収量ばらつき (CV%)

- 注1) 品種はひとめぼれ
注2) 試験①②圃場は地力が低いため基肥に緩効性肥料を使用。
注3) 各試験区の7月上旬撮影のNDVIは、試験①追肥なしが0.47、可変追肥ありでは0.42、試験②追肥なしが0.56、可変追肥ありでは0.39

表1 可変追肥にかかる経費

項目	単価	費用 (円/10a)
ドローン画像撮影	75千円/10ha	750
データ解析費	75千円/10ha	750
無人ヘリでの可変追肥	125千円/5ha	2,500
かかり増し費用 (円/10a)		4,000

4 技術導入の手順

(1) 事前申し込みと圃場登録（ドローン撮影 1 か月前まで）

ヤンマーのサービス利用にあたり、事前に申し込みを行います。
申し込み後は Web 上で撮影圃場の登録を行います。

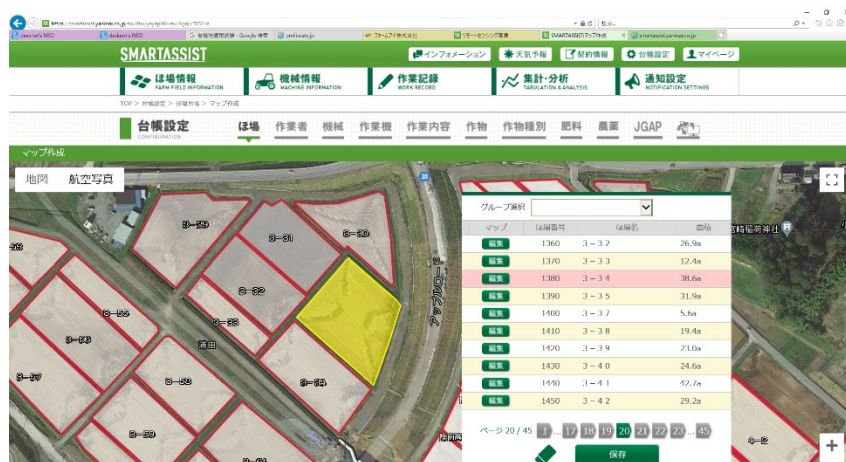


図4 撮影圃場の登録画面

(2) 撮影日程の連絡・調整（ドローン撮影 1 か月前まで）

ドローン撮影、可変追肥実施 1 か月前までにヤンマーへそれぞれの作業の日程、面積を伝えます。

※ 天候等による微調整は可能です。

※ 可変追肥実施の場合は、NDVI 解析に 3 日、可変追肥マップ作成にはさらに 5 日要することから、ドローン撮影を適期追肥時期の約 10 日前に行う必要があります。

※ オペレーター手配の関係から、可変追肥実施面積についてはドローン撮影結果をふまえた若干の変更は可能です。

(3) 無人ヘリ散布肥料の確認（可変追肥 1 か月前まで）

可変追肥 1 か月前に、使用する肥料を 1.5L ペットボトル等（500ml×3 本でも可）に入れ、ヤンマーに送付し、無人ヘリで散布が可能か試験を行う必要があります。

※ 無人ヘリで散布実績がある肥料は送付の必要ありません。散布実績はヤンマーへ確認が必要です。

(4) ドローン撮影、NDVI 解析の実施（可変追肥 10 日前まで）

ヤンマーに委託する場合はオペレーターがドローン撮影します。その後ヤンマーで NDVI 解析を行います。

(5) 解析結果の確認と施肥量の設定（可変追肥 5 日前まで）

ドローン撮影から 3 日後にはネット上で解析結果を確認できます。また、圃場ごとの NDVI、植被率、NDVI×植被率の平均値や圃場内・圃場間のばらつき等の詳細なデータを得ることができます。

可変追肥量の最大値と最小値、標準量を設定しヤンマーへ伝えます。

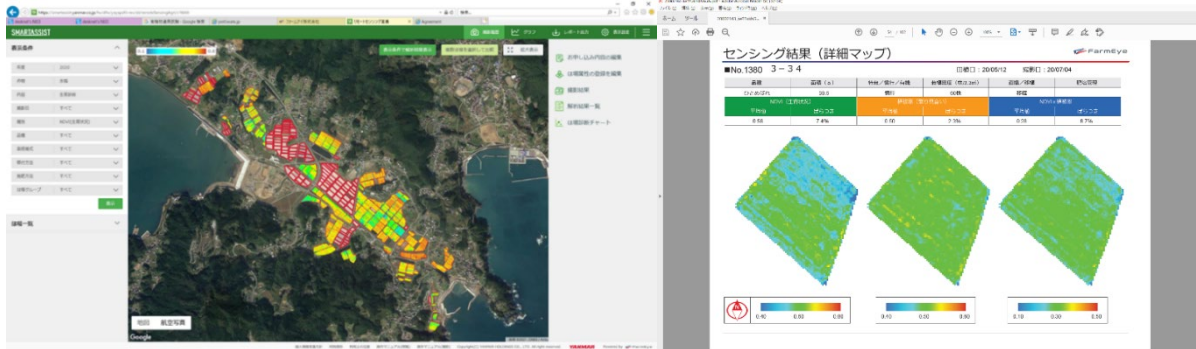


図5 Web上で確認できる解析結果例

可変追肥マップ作成&散布作業に必要な情報																					
① 作業当日集合住所、集合時間（原則：8：00）、前日・当日連絡携帯電話 を ご確認ください。 ② 追肥を実施する圃場名、施肥量、肥料に関する情報を記載ください。 ③ 散布肥料が別途リストにない場合は、下記宛肥料サンプル1.5Lを送付ください。								<table border="1"> <tr><td>オーナーID</td><td></td></tr> <tr><td>オーナー名</td><td>様</td></tr> <tr><td>会社名</td><td>様</td></tr> <tr><td>住所</td><td></td></tr> <tr><td>集合時間</td><td>8:00</td></tr> <tr><td>前日毎日連絡 電話（携帯）</td><td></td></tr> </table>		オーナーID		オーナー名	様	会社名	様	住所		集合時間	8:00	前日毎日連絡 電話（携帯）	
オーナーID																					
オーナー名	様																				
会社名	様																				
住所																					
集合時間	8:00																				
前日毎日連絡 電話（携帯）																					
<table border="1"> <tr><td>リモセン予定日</td><td>月</td><td>日</td></tr> <tr><td>施肥予定日</td><td>月</td><td>日</td></tr> </table>		リモセン予定日	月	日	施肥予定日	月	日														
リモセン予定日	月	日																			
施肥予定日	月	日																			
品種	リモセン		施肥		圃場名(圃場番号・SA-R登録番号)	施肥量(現物量) kg/10 a			肥料の情報		肥料試験実施 にチェック										
	筆数	面積ha	筆数	面積ha		最大量	標準量	最小量	窒素含有量%	肥料名/メーカー名											
ひとめぼれ			8	2.74	3-31、3-34、5-12、5-13、3-17、5-32、5-33、5-34	NDVI値0.6以上 0kg	1kg	NDVI値0.4以下 2kg	21	宇部确实											
ひとめぼれ			1	0.29	5-36	NDVI値0.7以上 0kg	1kg	NDVI値0.4以下 2kg	21	宇部确实											
ひとめぼれ			1	0.40	5-35		2	2	21	宇部确实											

図6 可変追肥マップ作成に必要な情報

(6) 可変追肥の実施

実施当日にサービス利用者が肥料をオペレーターへ渡します。

(7) スケジュールの事例

月日	内容	備考
5月25日	事前申し込み、圃場登録	
6月5日	撮影日程決定	ドローン撮影 1か月前まで
6月14日頃まで	試験散布用の肥料送付	可変追肥 1か月前まで
7月5日	ドローン撮影	可変追肥 10日前まで
7月8日頃	NDVI 解析結果の確認	可変追肥 5日前まで
7月9日頃	ヤンマーへ追肥量伝える	可変追肥 5日前まで
7月14日頃	追肥マップ完成	
7月15日頃	可変追肥実施	追肥当日

5 留意事項

(1) 追肥量については、7月上旬のNDVIから幼穂形成期の簡易栄養診断値を推定し、県の栄養診断基準に基づいて設定しました(図4)。

※ 県では、穂肥の要否判定に簡易栄養診断基準値(草丈×茎数×葉色)を活用しています。

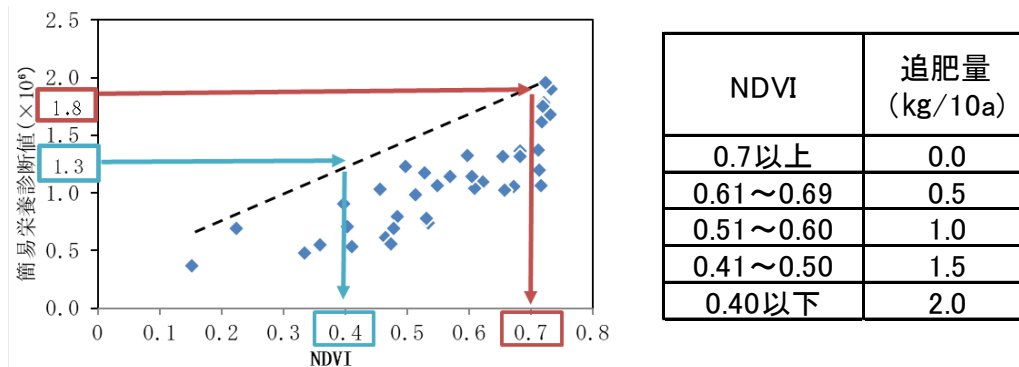


図7 本試験におけるNDVIと簡易栄養診断値(草丈×茎数×葉色)の関係およびそれに基づき設定した追肥窒素量

点線は実際の幼穂形成期時点の簡易栄養診断値を推定したものです。調査日(7/9)から幼穂形成期(7/15)までの簡易栄養診断値の増加量を 0.2×10^6 としました。

- (2) 試験圃場は地力が低いため基肥に緩効性肥料を使用しました。
- (3) ヤンマーのサービスを利用する場合、ドローン撮影を自身で行うことも可能です。その場合は、ヤンマーのリモートセンシング用ドローン(P4M)を用いて撮影する必要があります。
- (4) 欠株や雑草が多い圃場では、可変追肥の効果が得られない場合があります。
- (5) 面積が小さい圃場は、設計量に対し実際の散布量が少なくなる傾向があります。

6 技術導入の相談先

ヤンマーアグリジャパン株式会社 東北支社 岩手ブロック

〒023-0003 岩手県奥州市水沢佐倉河字竈堂 116

TEL: 0197-22-8080

技術の導入事例（総合実証）

1 実証場所 陸前高田市小友町

2 実証方法

（1）実証区の構成と実施技術

地カムラによる生育ムラ解消の対応策として、耕盤均平と可変追肥を組み合わせた技術導入実証を行いました。その際、ウミネコ被害防止対策、コウキヤガラ除草体系も併せて実証しました。

なお、可変追肥量の設定にあたっては、現在開発中の生育・収量モデル(東北農業研究センター)も参考にしました。

表1 実証区の構成と実施技術

区名	ほ場 No	耕盤均平	可変追肥	鳥害対策 (ウミネコ)	コウキヤガラ 除草体系
総合 a	5-32	○	○	○	○
総合 b	5-33	○	○	○	○
対照	5-31	-	-	○	慣行体系

注1) ○：当該技術を実施、-：実施なし

注2) 基肥（窒素成分）：総合 a、b：8 kg/10a、対照 9 kg/10a

（2）耕種概要

- ア 耕盤均平 4月14日（レーザー制御装置を装着した慣行ロータリ）
- イ 品 種 ひとめぼれ
- ウ 有機物 稲わら秋すきこみ
- エ 施 肥 基肥：エルピー085号（側条）
追肥：硫安（7月17日、可変追肥）
ドローン撮影：7月4～6日
- オ 田 植 え 5月13日
- カ 除 草 剤 総合 a、b：アッパレジャンボ、レブラスジャンボ
対照：クラールEW、銀河ジャンボ
- キ 鳥害対策 5月13日～6月2日まで（水曜日、日曜日を除く）
ドローン自動操舵による追い払い（1日あたり8回）
- ク 病虫害防除
 - ア) 葉いもち防除：ファーストオリゼフェルテラ粒剤（田植同時処理）
 - イ) 穂いもち防除：コラトップ1キロ粒剤（7月18日）
 - ウ) 斑点米カメムシ：スタークルメイト液剤（8月10日）
 - エ) ごま葉枯病対策：これまで発生してこなかったことを踏まえ、対策なし

3 実証結果

- (1) 耕盤均平技術実施後、圃場内の高低差は±2.5 cm以内が95%以上改善が図られました(表1)。
- (2) 田植後、7月8日時点の水稲の生育は、総合aが対照並みでしたが、総合bは2つのほ場よりも劣っていました(写真)。
- (3) 7月4日～6日のドローン撮影による水稲生育量評価(NDVIの値)によると、総合aが対照並みと評価されるのに対し、総合bは2つの圃場より全体的に生育は劣り、生育ムラが大きいという評価になりました(表2、図1)。総合a、bには、7月17日にラジコンヘリコプターで可変追肥を行いました(表3)。
- (4) 収量は、総合aが573 kg/10a(対照対比114)、総合bは608 kg/10a(対照対比121)、平均591 kg/10a(対照対比122)となりました(図2)。また、圃場内の収量ムラは対照に比べて軽減していました。
- (5) 耕盤均平と可変追肥を組み合わせた対策を実施したところ、圃場内・圃場間の生育・収量ムラが改善し、増収が図られました(図2)。

表1 耕盤均平の改善効果

区名	ほ場 No	均平直後 (R2年4月)		均平前 (R元年11月)		備考
		均平度 (cm)	±2.5 cm以 内割合%	均平度 (cm)	±2.5 cm以 内割合%	
総合a	5-32	1.2	98	3.7	69	均平2年目
総合b	5-33	1.2	95	2.7	68	均平2年目

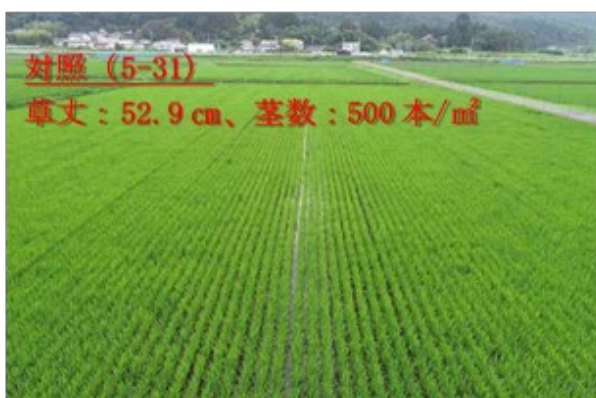
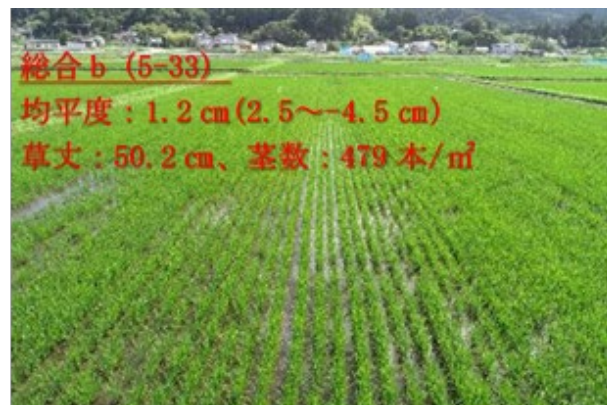
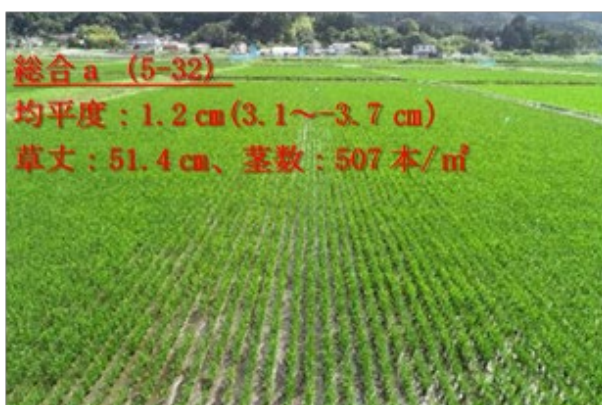


写真 水稲の生育状況 (7月8日)

出穂期は、全区とも8月7日

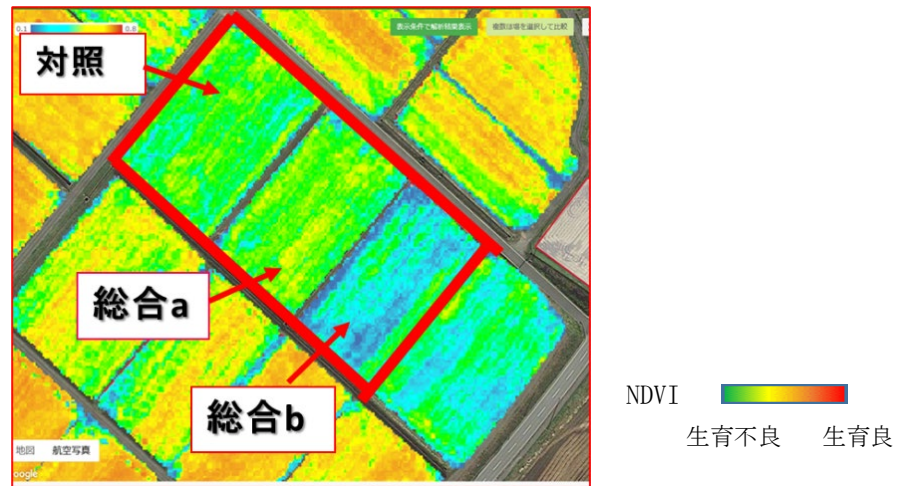


図1 NDVIマップ（撮影7月4日～6日）

表2 7月上旬のNDVI

区名	ほ場 No	NDVI	
		平均値	CV%(生育ムラ)
総合 a	5-32	0.47	12.7
総合 b	5-33	0.31	30.1
対照	5-31	0.45	14.2

表3 可変施肥（追肥）（窒素成分施用量）

区名	ほ場 No	実散布量(kg/10a)	散布精度 (%)
総合 a	5-32	1.25	88
総合 b	5-33	2.05	105

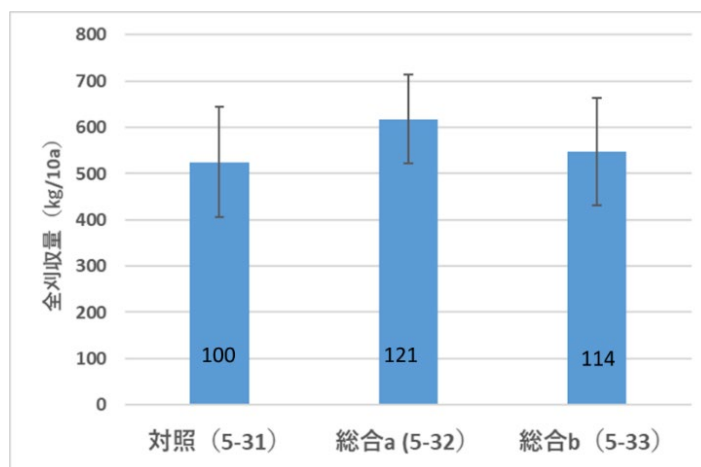


図2 全刈収量 (kg/10a)

(注) 棒グラフ内の数値は、対照を100とした場合の対比

引用・参考文献

レーザー制御を利用したロータリ耕うんによる耕盤均平作業技術
(農研機構生物系特定産業技術研究支援センター 成果情報 2009年)

お問合せ先

岩手県農業研究センター

生産基盤研究部生産システム研究室 TEL.0197-68-4413 FAX.0197-71-1081

生産環境研究部土壌肥料研究室 TEL.0197-68-4422 FAX.0197-71-1085

〒024-0003 岩手県北上市成田 20-1

この内容は、農林水産省・復興庁が実施する「食用生産地域再生のための先端技術展開事業」のうち、「復旧水田における先端技術導入による水田営農の高度安定化に向けた実証研究」(JPJ000418)による研究成果に基づくものです。