

# 大規模水田作複合経営（水稻・麦・キャベツの輪作体系）での スマート農業一貫体系導入による環境保全型省力・高収益モデルの実証

(有)フクハラファーム（滋賀県彦根市）

## 背景及び取組概要

＜経営概要 190ha(水稻180ha、麦27ha、キャベツ15ha) 実証面積 190ha＞

- 滋賀県の耕地は水田率が高く(92%)、農業は土地利用型経営が中心。
- 中央に琵琶湖を抱えており、環境に配慮した営農活動が特徴。
- 農地集積が進む中、大規模経営での人材・収益確保が課題。

上記の背景や課題を解決すべく、実証する各品目について、ロボット・オートトラクタ、GPS機能、ドローン(病害虫・雑草防除)、リモートセンシングなどの積極的活用(共用)に加え、水稻では直播や密苗移植、自動水管理、麦では省力播種、可変施肥、キャベツでは、AI収穫機等を組み合わせ、スマート農業一貫技術体系を構築し、労働時間の削減と品質・収量の高位安定化を目指す。

## 導入技術

### ロボット・オートトラクタ

協調作業や自動直進により、省力化や作業精度の向上

### GPSレベラー

均平作業の効率化

### オート田植機

自動直進と密苗移植・直播により、省力化と環境保全

### 自動操舵付きキャベツ全自動移植機

自動直進により、省力化や作業精度の向上

### 自動給水システム

水管理作業の省力化と適切な水位管理

### 可変施肥プロキヤス

施肥の効率化とリモセンに基づく可変施肥

### ドローン防除

ドローンによる防除の省力化と適期防除

### 情報取得型コンバイン

効率的な収穫、作付計画や肥培管理に活用

### AI機能搭載のキャベツ全自動収穫機

自動運転と自動収穫による省力化



圃場準備

移植等

栽培管理  
(施肥・防除)

収穫

# 目標に対する達成状況等

## 実証課題の達成目標

- 水稲  
生産コストを県平均より40%削減
- 麦  
収量を県平均より50%増加
- キャベツ  
労働時間を60%削減

## 各研究項目の現在の達成状況

- 水稲
  - ・大区画圃場において、オート田植機や自動給水システム等により、労働時間は大きく削減できた（21.6時間 ※1→6.5時間/10a）。
  - ・生産コストは、40%削減した（15,837円※1/60kg→9,447円/60kg）。
- 麦
  - ・ドローンのリモートセンシングに基づく可変施肥により、圃場内の生育のばらつきが63%改善した。
  - ・収量は、62%増加し（277kg※2/10a→450kg/10a）、目標を上回った。
- キャベツ
  - ・自動収穫機とそのAI化により、収穫作業時間を（2.8時間/10a）まで削減した。
  - ・全労働時間は、70%削減し（85時間/10a→25時間/10a）、目標を上回った。

※1 統計調査（農林水産省）  
滋賀県データ（2016年）

※2 統計調査（農林水産省）  
滋賀県データ（2017年）

# 【ロボットトラクタ】や【オートトラクタ】による耕起・播種等の効率化

## 取組概要

- ① ロボットトラクタ（無人機）とオートトラクタ（有人機）との2台協調隣接圃場作業により、カットロータリーでの碎土（無人機）、ドリルシーダーでの播種（有人機）の同時作業を行い、作業時間を低減。
- ② ロボットトラクタ（無人機）とオートトラクタ（有人機）の2台協調同一圃場作業での碎土の同時作業を実施、作業時間の低減。
- ③ ロボットトラクタ（無人機）の通信距離を延長し、乾田直播や代掻き作業を実証。

(使用機器)

- ・ロボットトラクタ 113馬力
- ・オートトラクタ（有人） 90馬力

(実証面積) 35ha



## 実証結果

- ①-1 有人の碎土作業については、作業時間を慣行比で50%低減。（有人の作業時間には、圃場認識時間や外周碎土作業を含み、総作業時間は24%増加）
- ①-2 無人による碎土作業時間中に、有人機による播種作業を実施することで、碎土・播種作業全体では、28%効率化。
- ①-3 播種作業での直進性能は、標準偏差(SD)±0.6cm以内で高い精度。

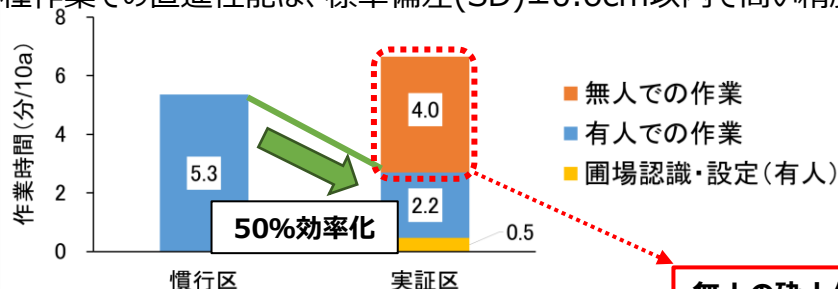


図1. 碎土作業での無人機による有人作業時間の削減効果

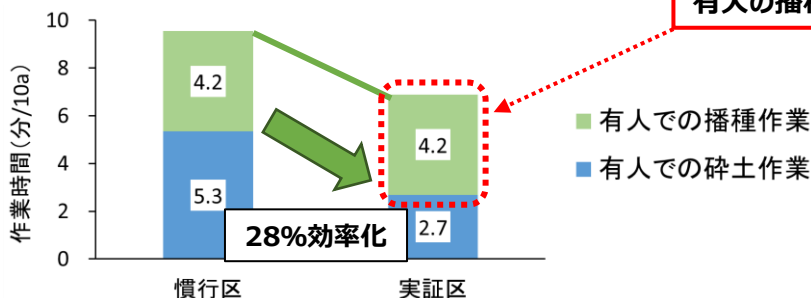


図2. 麦作の碎土・播種作業での無人機と有人機の協調による有人作業時間の削減効果

- ② 2台【ロボットトラクタ（無人）+通常トラクタ（有人）】による同一圃場での碎土協調作業では、29%効率化。
- ③ ロボットトラクタ（無人機）は、停止リモコン※の利用により遠距離通信（400m）が可能となった。（※停止リモコンを使用する場合には約500m以内での監視が必要）

## 今後の課題（と対応）

作業機部分の高さ調整や昇降位置等の調整が十分ではなく、代掻きや播種作業の作業精度は不十分であった。

# オート田植機による水稲移植・直播作業の効率化

## 取組概要

- オート田植機の自動直進機能で可能となった、深水での移植や直播により、**濁水等の流出防止**を図る。
  - オート田植機の自動直進機能と密苗、直播により、**作業時間の低減**を目指す。
- (使用機器) オート田植機 8条：2台  
 (実証面積) 150ha  
 (移植:110ha、湛水直播:40ha)



## 実証結果

- 自動直進機能により、**移植（直播）前に強制落水することなく移植（直播）作業が可能**となり、環境保全型農業を実践。
- 深水状態でも、直播での苗立率に有意差なし。
- 自動直進機能で作業者の負担が軽減および**移植の作業時間を6%低減**。
- **直播作業は、作業者1名で実施可能となり、移植（実証区）と比べて67%の効率化が可能**。育苗作業の労働時間を含めると、さらなる効率化が可能。

表. 移植(直播)時の田面水に含まれる環境負荷成分 (kg/10a)

浮遊物質(SS)	全リン	全窒素
72.5	0.22	0.54

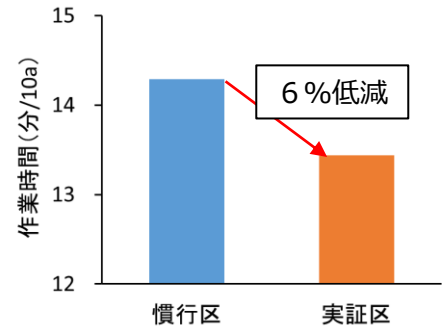


図1. 移植作業時間\*の低減  
 (\*運転手のみの作業時間)

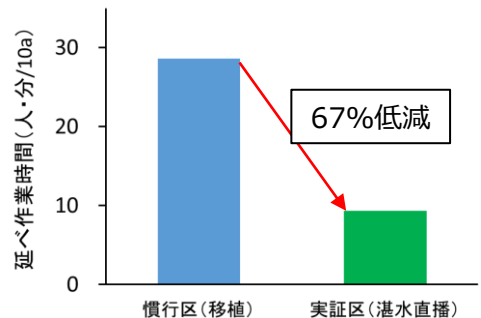


図2. 直播作業時間\*の低減  
 (\*運転手と補助者の延べ作業時間)

## 今後の課題（と対応）

- 自動旋回モードでは、作業未熟者が精度の高い作業を可能とするが、熟練者では外周作業と旋回時間の増加により、作業時間が10～25%増加。

# 自動給水システムによる水管理作業の省力化

## 取組概要

- 自動給水システムを導入し、遠隔操作やタイマーによって入水することで、**水管理作業の省力化**を目指す。
  - 水位センサーにより、過剰な入水を防ぎ、**濁水の流出防止**や用水量の削減を目指す。
- (使用機器) 自動給水・水管理システム  
(実証面積) 12ha (自動給水システム：25基設置)



## 実証結果

- 水稻の生育状況や病害虫の発生状況、漏水箇所の見回り作業等もあるが、**自動給水システムの導入により、66%の省力化を実現。**
- 水位センサーで入水がとまるために、節水効果は大きい。
- 隣接圃場で同時に入水すると水圧が低下してしまうが、本システムでは給水開始時間を時間差で設定することにより**計画的な入水が可能。**
- 入水側の畦畔に車が進入できない圃場では、管理作業の省力効果は大きい。

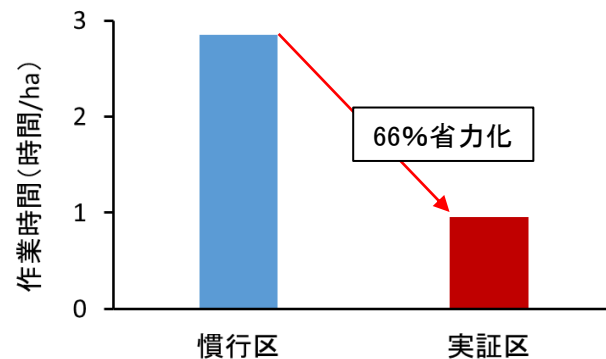


図. 水管理等<sup>※</sup>作業時間の削減効果  
(<sup>※</sup>水管理等には、水稻の生育状況や病害虫の発生状況、漏水箇所の見回り作業を含む)

## 今後の課題 (と対応)

- 圃場が均平でないと、水位センサーだけでは圃場全体の水位を管理できない。
- **大区画圃場が集約されていると、慣行の水管理時間自体が少ないため、費用対効果が高いとは言えない。**
- さらなる省力化を図るためには、自動給水システム同士が連携して、隣接圃場を自動で順番に入水する仕組みなどが望まれる。

# ドローンのリモートセンシングとその活用方法の検討

## 取組概要

- ドローンによるリモートセンシング（リモセン）を実施し、**リモセン結果に基づく可変施肥**を行うことで、**肥料削減と均一な生育・収量向上**を目指す。

(使用機器) リモセン：ドローン

(マルチスペクトルカメラ搭載)

可変施肥：水稲 無人ヘリコプター

(実証面積) 44ha

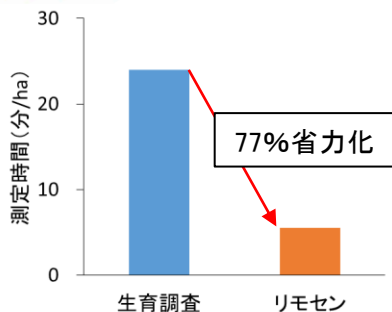
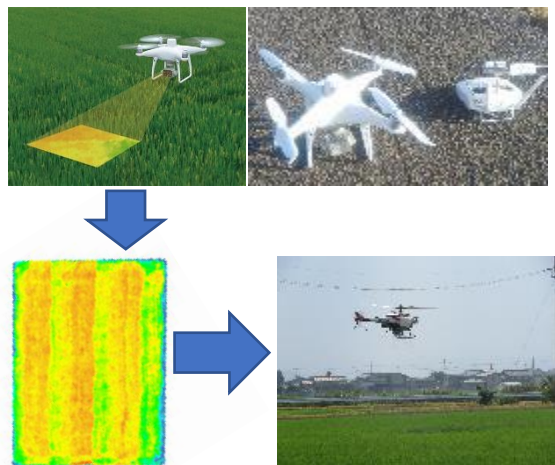


図1. 生育調査の省力化効果

## 実証結果

- 麦と水稲で、ドローンによるリモセンを実施することで、圃場内全体の生育量（NDVI値）を把握でき、**調査時間も77%低減**。
- リモセン結果に基づき、水稲で可変施肥（生育が良い：減肥、生育が不良：増肥）を実施（対照区として、均一施肥も実施）。その結果、**対照区と比べて、収量の10%向上と施肥量の9%削減を実現**。

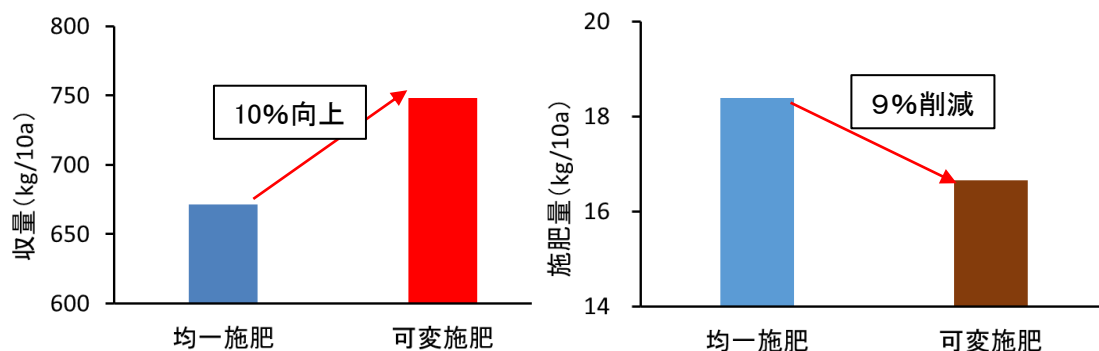


図2. 無人ヘリの可変施肥による水稲収量向上(左)と施肥量削減(右)の効果

## 今後の課題（と対応）

- リモセンと可変施肥の2工程を要するため、**適期の作業が難しい**。
- ドローンのリモセンは小さいメッシュ単位で把握できるが、**現状の施肥機では大きなメッシュ単位での可変施肥**となる。
- NDVIは、生育量だけでなく**欠株や土質、水路跡等**の可変施肥に不要な情報も加味して解析してしまい、適切な可変施肥量とならないことがある。そのため、リモセンから、可変施肥に必要な情報のみを解析できる仕組みが必要である。

# ドローンによる病害虫防除の省力化

## 取組概要

- ドローンによる病害虫防除により、適期防除と**省力化**を実証。

(使用機器) 防除用ドローン  
(実証面積) 20ha



## 実証結果

- **ドローンによる農薬散布で、52～60%の作業時間の低減を実現。**
- 特に大区画圃場では、背負式散布機の場合、圃場内に入って散布する必要があるため、ドローンによる防除は**作業者の負担軽減**に大きく貢献。
- 実証年度の水稻作では、いもち病やコブノメイガ、トビイロウンカの発生に対して**急な防除に迫られた**が、外部委託する無人ヘリと異なり、ドローンは農場所有で、その対応が可能であり有益な技術。

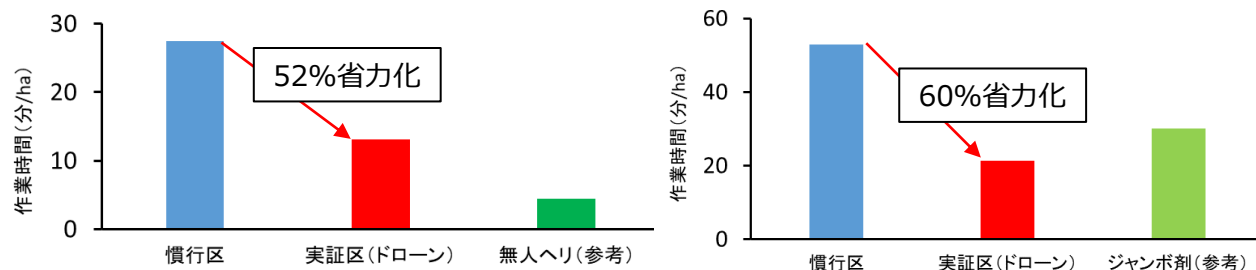


図1. ドローンによる液剤(左)と粒剤(右)散布の省力効果※  
(※作業時間は、それぞれ散布のみの時間)

## 今後の課題 (と対応)

- ドローン防除は、広範囲の圃場を実施する場合、バッテリー交換や薬剤補給の時間が追加され、総作業時間が散布時間の1.5～2倍となった。そのため、ドローン自体は運搬しやすい現状の大きさを維持しつつ、**バッテリー能力の向上 (飛行可能時間の増加)**や**薬剤搭載量の増加 (薬剤補給回数の削減)**が求められる。

# 収量・水分情報取得型コンバインによる作付・営農計画の改善

## 取組概要

- 情報取得型コンバインで得られたデータを、**乾燥作業の効率化**や次年度の**作付計画**や**肥培管理**に活用する。

(使用機器) 収量・水分情報取得型コンバイン

7条刈：2台

(実証面積) 190ha



## 実証結果

- リアルタイムに収穫物の水分と収量を把握し、さらに大区画圃場を2台のコンバインで短時間に収穫することで、**籾水分の均一化と効率的な乾燥作業**が可能。
- 営農支援システムで**圃場別や地区別、品種別等の単収を把握でき、次作の作付計画や施肥設計に反映可能。**

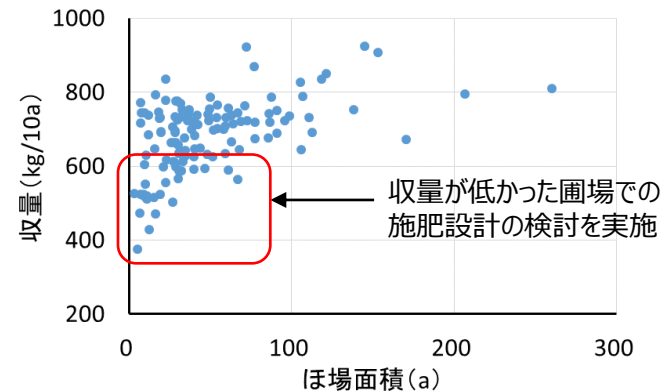


図2. 水稲での情報コンバインによる圃場別の収量

## 今後の課題（と対応）

- スマホでの作業開始・終了が切り替えできていない場合、隣接圃場の収穫と混同する事例が生じたため、収穫作業の**位置情報把握能力の向上**が必要。

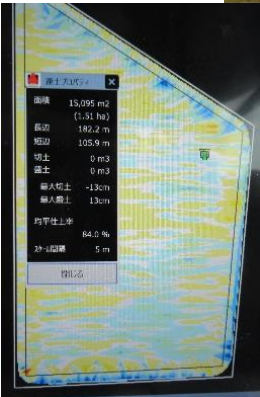


# GPSレベラーによる均平作業の効率化

## 取組概要

○ GPSレベラーによって、リアルタイムに圃場の凹凸を把握することで、**作業時間の低減**を実証。

(使用機器) GPSレベラーシステム  
(実証面積) 30ha



## 実証結果

- 均平作業前の凹凸状況や仕上げの均平精度の違いから、GPSレベラーとレーザーレベラーの間で**作業時間に有意な差はなかった**。また、両者の**均平精度に有意な差はなかった**。
- リアルタイムに圃場内凹凸を把握できるため、**合筆直後や圃場内で大きな高低差がある場合等では効率的に作業が進められ、作業時間の低減効果**が期待できる。
- レーザー発光機が必要ないため、その設置や運搬の手間がなくなるとともに、隣接圃場の他農業者からの**混信を回避**できた。

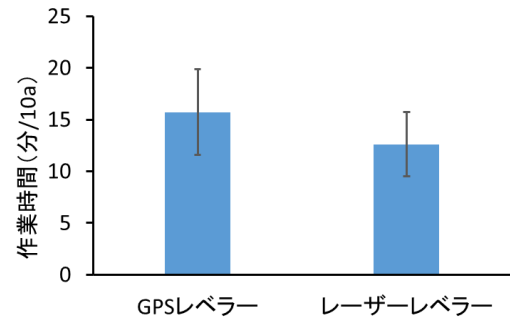


表. 両レベラーでの作業後の圃場内高低のバラツキの比較

	GPSレベラー	レーザーレベラー
標準偏差	±1.377	±1.347

図. 両レベラーでの均平作業時間の比較

## 今後の課題（と対応）

- 有意差はないものの、GPSレベラーで作業時間が多くなったのは、時間帯や場所によって作業中に均平がとれない事例が生じたためである。これは、**GPSを適切に受信できなかった**ためと思われる。
- 価格が下がれば、今後増えると見込まれる区画拡大による**大区画圃場や作業未熟者**がいる集落営農法人では、より有益な技術である。

# 可変施肥ブロードキャストによる生育の均一化と施肥量の削減

## 取組概要

- ドローンによるリモートセンシング（リモセン）を実施し、リモセン結果に基づく可変施肥を行うことで、圃場内の生育のばらつきを減らした均一な生育を目指す。
- GPS機能や経路ガイダンス、セクションコントロールにより、圃場外・重複施肥を減らし、施肥量の削減を目指す。

(使用機器) 可変施肥ブロードキャスト  
オートトラクタ (有人) 90馬力  
(実証面積) 40ha



## 実証結果

- リモセン結果に基づき、麦の追肥での可変施肥（生育が良い：減肥、生育が不良：増肥）を実施（対照区として、均一施肥も実施）。その結果、対照区と比べて、追肥散布時の生育が良い区と不良の区との生育差が縮まった（生育のばらつき63%改善）。
- GPS機能等により、重複・圃場外散布が削減でき、設定量から平均誤差5%以内で散布可能。
- 背負い式動力散布機と比較して、80%作業時間を低減でき、軽労化の効果は大きい。

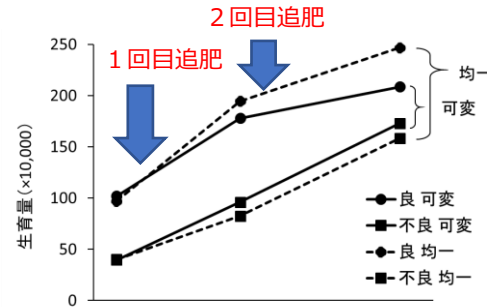


図1. 麦のリモセン結果に基づく可変施肥による生育量※の推移  
(※生育量は、茎数(本/m<sup>2</sup>)×草丈(cm)×葉色(SPAD値)を示す)

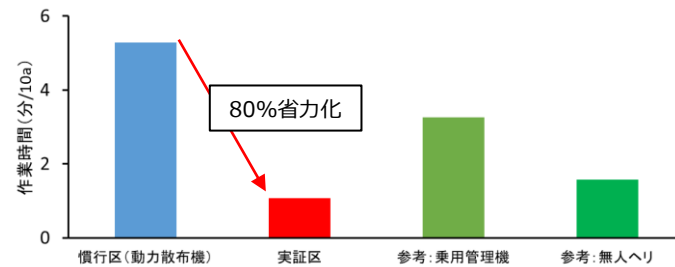


図2. 可変施肥ブロードキャストによる追肥作業時間の削減効果

## 今後の課題 (と対応)

- 散布幅が24mと広いため、100a以下の圃場では設定量からの施肥量の誤差が大きくなった。

# 自動操舵付キャベツ全自動移植機による定植作業の効率化

## 取組概要

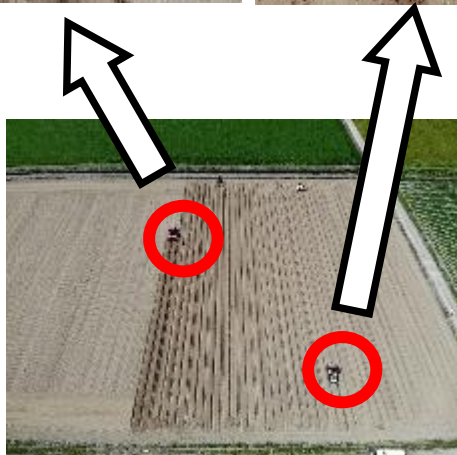
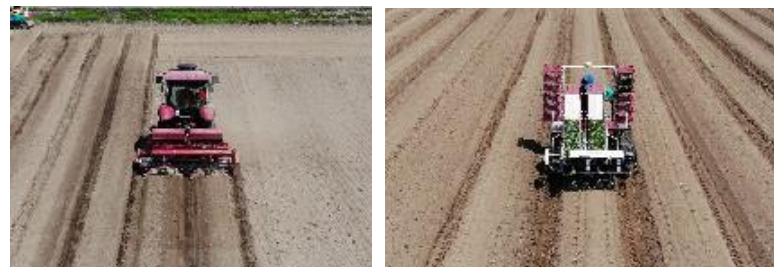
○ オートトラクタ（自動直進）によって直線精度の高い畝を形成し、その後、自動操舵によるキャベツ定植作業を実証。

○ 上記により、**作業の効率化と精度向上**を目指す。

（使用機器）乗用全自動野菜移植機（自動操舵付）

畝立：オートトラクタ（有人）90馬力

（実証面積）10ha



## 実証結果

### ★畝立て

- オートトラクタによる自動直進機能により、**直線精度の高い畝立て**が実現。
- 大区画圃場での作業において、疲労軽減や精度の高さが評価できる。

### ★定植

- 上記の畝により、精度の高い定植作業が実現。
- 加えて、**自動操舵機能により、後方の定植部位の確認に集中できるとともに、7%作業時間の低減を実現。**

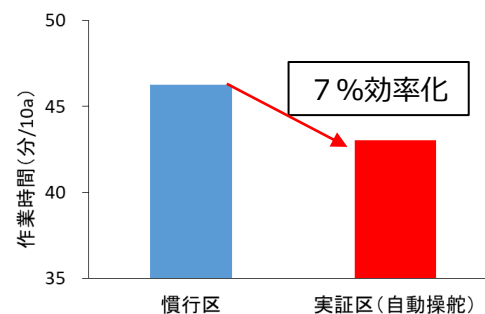


図. 自動操舵付キャベツ全自動移植機による定植作業時間の削減効果

## 今後の課題（と対応）

- 土壌水分が高い等の圃場条件が悪い場合、曲がった畝になり、移植機の自動操舵機能が十分に発揮できないため、圃場条件に影響されない直線精度の向上が求められる。
- 将来、**畝立てから収穫までの複数の作業機で畝やキャベツの位置情報を共有化**できれば、さらなる効率化が期待できる。

# AI機能搭載のキャベツ全自動収穫機による収穫作業の効率化

## 取組概要

○ AIやICT技術により、キャベツ収穫物の位置や傾き等を瞬時に判断し、自動操舵と自動収穫により、**収穫作業の全自動化（運転手なし）**を実証。

○ 上記により、**総作業者（延べ作業時間）の削減**や**熟練者並みの収穫精度**を目指す。

(使用機器) キャベツ全自動収穫機  
自動操舵および自動収穫の改造

(実証面積) 2ha



## 実証結果

○ AI機能や自動操舵機能等を活用して、導入したキャベツ収穫機の改造（収穫機の自動運転および収穫部の自動調整）を行い、運転手なしでの**自動収穫を可能**とした。

○ 畑作と異なり、水田作では高畝や土壌の絡みつき等の課題が生じたため、本体の傾き制御や収穫位置の修正等により一定は改善した。また、品種により葉の色や形の違いでAI認識が悪くなったため、モノクロ学習等に対応した。その結果、運転手なしと熟練運転手の間で収穫精度に差はなかった。

○ **収穫機の運転手の削減（1名）により、延べ作業時間の20%低減が可能。**

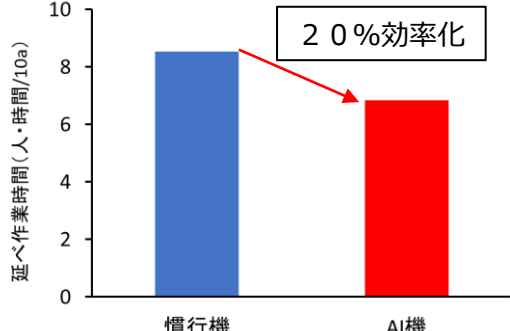


図. AI機能搭載のキャベツ全自動収穫機による収穫作業時間<sup>※</sup>の低減効果  
(<sup>※</sup>慣行機は3名(運転手1名、後部作業者2名)、AI機は2名(後部作業者2名)の作業時間)

## 今後の課題（と対応）

○ さらなる利便性や普及の向上を目指すためには、**水田作に適した走行部や収穫部の改良**が望まれる。また、積雪等の不測の状況に対応できるように、**AI認識の積み上げ**が必要である。

○ **メーカー等と連携して、実用化**に向けた取組を実施中。

# 実証を通じて生じた課題

## 実証を通じて生じた課題

### 今回の実証で導入したスマート農業機械・技術

作業内容	機械・技術名	技術的な課題
耕起・代かき ・播種	ロボット トラクタ	無人作業は可能となったが、作業機部分も有人操作時と同様の作業精度が必要である。例えば、代かき作業では、均平を保つため、水張り後の高低を見極めて水田ハローを自動で上下させながら作業することが求められる。
作業全般	ロボット トラクタ	集積かつ大区画のほ場で能力をより発揮した。そのため、無人運転を最大限に有効活用できるよう、農地集積と区画拡大、区画整理、農道整備、用排水整備といった環境（基盤）整備が必要である。
作業全般	ロボット トラクタ	無人作業が可能となったが、現状では常時監視や畦畔際や圃場間移動の有人操作等が必要となっている。そのためレベル3の遠隔での操作が実現しないと、ロボットトラクタの普及は進まないと思われる。
作業全般	トラクタ等の 自動操舵装置	トラクタ等の自動操舵は、作業精度の向上や作業者の精神的負担の軽減に役立つが、その効果を数値等で表せるとなるとおしい。
作業全般	トラクタ等の 自動操舵装置	複数の機械作業（例えば、野菜の畝立-定植-除草-施肥-収穫）で、それらの作業位置情報が共有できていない。そのため、畝や野菜の位置情報を共有できれば、機械作業の効率化や精度の向上が期待される。
移植	オート田植機	自動旋回は旋回時間の増加等により、作業時間は増加した。そのため、運転手なしの自動運転が可能となれば、苗運搬の車移動等も含めて1名で作業できるため、労働時間の大きな削減が期待される。
ドローン センシング ・可変施肥	ドローン、 可変施肥 ブロキャス	営農現場では複数の品種や作型を同時に撮影することとなり、適期撮影できないことも生じ施肥につなげることが難しかった。また、ドローンセンシングはcm単位の詳細な生育のバラツキ等がわかるものの、ブロキャスではm単位の可変施肥となるために、センシング結果に基づく精密な施肥は実施できなかった。
防除	防除用ドローン	バッテリー交換や薬剤補給が必要であり、総作業時間としては散布作業時間の1.5～2倍となった。そのため、ハンドリングしやすい（軽トラで運搬可能など）大きさを維持しつつ、バッテリーの大容量化や薬剤搭載量の増加が求められる。 また、液剤散布では高濃度散布を基本としており、野菜等では散布できる薬剤が非常に少ないため、今後、野菜等で高濃度散布可能な薬剤の増加が望まれる。

## ○ 問い合わせ先

滋賀県農業技術振興センター (Email: gc57150@pref.shiga.lg.jp)

本実証課題は、農林水産省「スマート農業実証プロジェクト」（事業主体：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）の支援により実施されました。

農研機構スマート農業実証プロジェクトホームページ  
<https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/>