

令和5年度  
農業機械研究部門研究報告会

令和6年3月7日

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
農業機械研究部門



令和5年度 農研機構 農業機械研究部門研究報告会  
開催要領

1. 日 時 令和6年3月7日(木) 10:30~17:15
2. 場 所 ソニックシティ 小ホール (埼玉県さいたま市大宮区桜木町1-7-5)
3. 開催方法 対面方式
4. 次 第
  - 1) 開 会 10:30
  - 2) 挨拶・情勢報告
    - (1) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
農業機械研究部門 所長 安原 学 10:30
    - (2) 農林水産省大臣官房 10:40
    - (3) 農林水産省農産局 11:10

(昼 食) 11:40~13:00
  - 3) 農業機械研究部門の研究概要報告 13:00~14:45
    - (1) 機械化連携推進部
    - (2) 安全検査部
    - (3) 知能化農機研究領域
    - (4) 無人化農作業研究領域
    - (5) システム安全工学研究領域
  - 4) トピックス
    - (1) F-R E I 事業：遠隔監視型無人自動走行システムの実装化に向けて
    - (2) カタログ調査による農業機械仕様の最近の傾向

(休 憩) 14:45~15:05
  - 5) 研究報告会 15:05~17:10
    - (1) ロボットトラクタの作業機自動交換技術の開発  
知能化農機研究領域 ヌウェン ヴァン ナン
    - (2) 両正条田植機の開発 無人化農作業研究領域 山田祐一
    - (3) 小型A I 除草ロボットの開発 無人化農作業研究領域 吉田隆延
    - (4) V Rを活用した危険体感型農作業安全教育手法  
システム安全工学研究領域 紺屋朋子
    - (5) 農作業アシスト装置による農作業の身体負荷軽減効果の評価手法  
システム安全工学研究領域 向 霄涵
  - 6) 閉 会 17:15



## 目 次

1. ロボットトラクタの作業機自動交換技術の開発	1
2. 両正条田植機の開発	13
3. 小型A I 除草ロボットの開発	25
4. VRを活用した危険体験型農作業安全教育手法	35
5. 農作業アシスト装置による農作業の身体負担軽減効果の評価手法	49



# ロボットトラクタの作業機自動交換技術の開発

知能化農機研究領域 ヌウェン ヴァン ナン、趙元在、田中慶

## はじめに

ほ場内作業やほ場間移動の自動化技術の研究開発が進められているが、ロボットトラクタ（以下、ロボトラ）を利用した作業の一層の省人化を達成するためには、作業工程に応じた作業機への交換作業の自動化が不可欠である。そこで、作業機着脱の自動化を可能とするヒッチ機構とトラクタ制御技術を開発した。

## 1. ヒッチ機構の構成と性能

作業機自動交換を実現するには、作業機着脱時のロック解除やハーネスやワイヤの接続など、通常は手作業で行われる多数の操作を自動化する必要がある。開発したヒッチ機構は、トラクタ側のフレームと作業機側のフレームから構成され、作業機の着脱と同時に、油圧カプラ及び電気・通信コネクタの接続または接続解除を行うことができ、電動アクチュエータを動作させることで、PTO 軸の断続及びフレームのロックを自動で行うことができる。電気・通信コネクタは、電源等の配線のほかに、CAN BUS の通信線の接続にも利用できる。作業機側とトラクタ側のフレームはトラクタの3点リンクヒッチのカテゴリ 1 及び 2 に適用でき、前後のずれが約 3cm、左右のずれが約 5cm、前後左右の傾きが約 5° 以内であれば装着可能である。本機構を用いた場合、作業機着脱に要する時間は、日本農業機械工業会が定めた標準オートヒッチを用いて着脱した場合と比べて最大で約 5 割短縮できる。

## 2. トラクタと作業機との位置合わせの制御方法と精度

ロボトラの作業機交換では、トラクタ本機と作業機の位置と角度を正確に合わせる必要がある。GNSS 測量のみでは、作業機を取り外した時にトラクタに対する作業機の相対位置を正確に計測できないのため自動装着の成功率は 70%程度に留まった。そこで、ロボトラに搭載した単眼カメラで作業機に取り付けた基準マーカを認識し、作業機の位置・姿勢を高精度に計測するマシンビジョンを構築した。さらに、構築したマシンビジョンと RTK-GNSS を融合し、自動着脱のための経路生成手法とトラクタ制御技術を開発し、作業機装着位置付近ではロボトラを極低速で誘導することで、位置誤差 $\pm 2$ cm、角度誤差 $\pm 2^\circ$  以内の位置合わせ精度を実現した。これにより、屋外の平坦地において一定の光条件（照度 10 万 lux 以下、カメラへの入射角  $30^\circ$  以上）では 100%の成功率で作業機の自動装着が可能となった。現在、安全かつ作業機の取り外しから装着まで一貫して動作するようにシステムの改良を進めている。

## おわりに

作業機交換は、有人で行う場合でも手間がかかり、非熟練者には難度が高く危険が伴う作業である。そこで、有人トラクタ向けに作業機の着脱をアシストするガイダンス装置のプロトタイプの製作も進めている。開発技術の早期社会実装に向けて農機メーカーの皆様の協力が得られれば幸いである。

## 参考文献

- 1) Nguyen, V.N. et al. (2023). Development of hitch coupler for autonomous hitching of agricultural implements. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 85, 97-106.
- 2) Cho, W. et al. (2023). Multi-sensor fusion based tractor guidance system for autonomous implement hitching. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 85, 314-323.

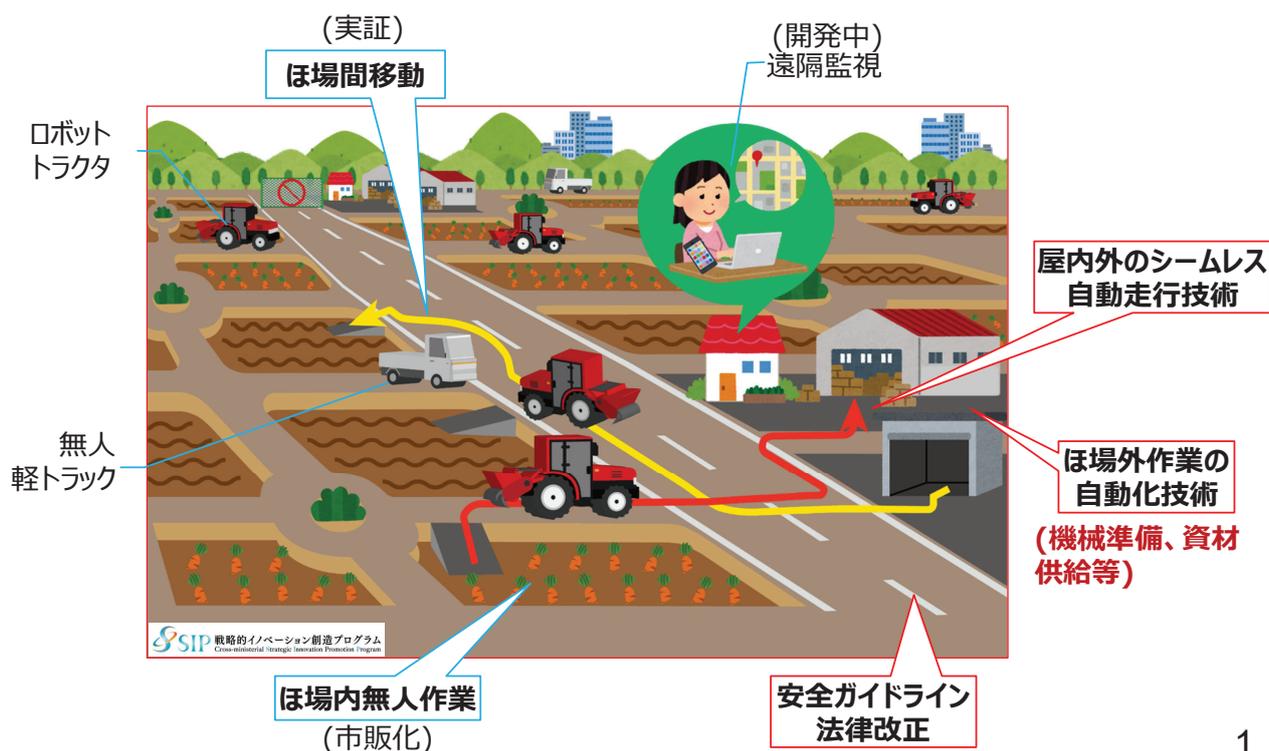
# ロボットトラクタの 作業機自動交換技術の開発

農研機構 農業機械研究部門  
知能化農機研究領域  
ヌエン ヴァン ナン、趙元在、田中慶

NARO

## 研究開発の背景・目的

### 車両系ロボット農機を中心とするほ場間移動を伴う農作業体系（SIP2期）



## トラクタによるほ場外作業の例



作業機の取外し



作業機の装着



資材補給



(ビデオ再生速度x10倍)

### 作業機着脱の問題点：

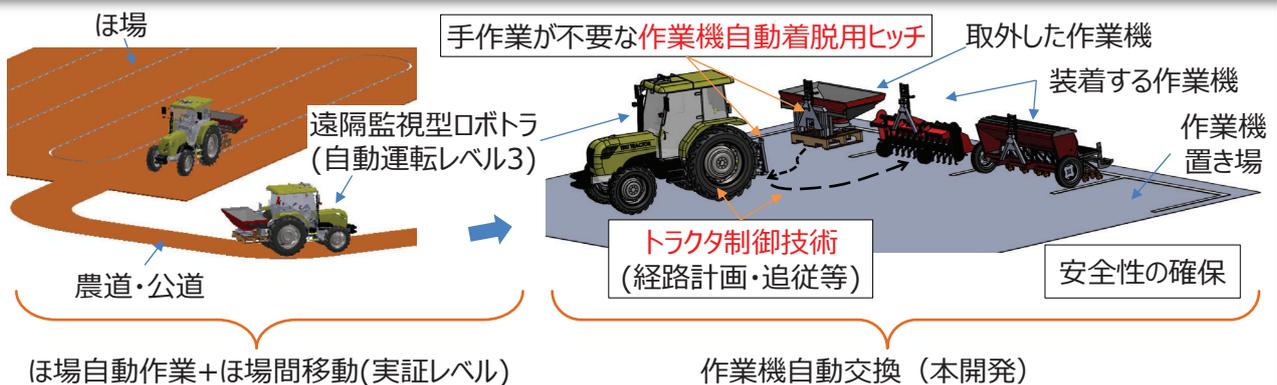
- 危険で**事故が多い**（トラクタ農作業事故の**18%**）  
※出展：全国共済農業協同組合連合会  
<https://www.ja-kyosai.or.jp/files/2022/202205-7.pdf>
- **煩雑で手間**がかかる
- 位置合わせの難易度が高く**熟練**が必須

ロボットトラクタを利用した作業の一層の省力、省人化を達成するためには、**ほ場外作業の自動化により、作業への人の介入を極力削減**する必要がある



作業機の交換作業を  
自動化する技術を開発する

## ロボトラによる作業機自動交換の概要



### 1) 要素技術

- ① 手作業が不要な**作業機自動着脱用ヒッチ**
- ② 作業機の取外しから装着までを行うための**トラクタの制御技術**（経路計画、経路追従等を含む）
- ③ 安全性の確保手段（安全性を確保した上で作業機に接近し、位置合わせや装着動作を行う）

### 2) 前提条件

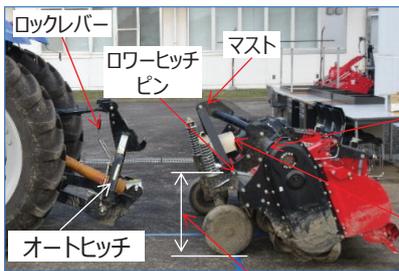
- ① 作業機の交換はほ場作業の合間に、GNSS測位可の屋外の平坦地の専用作業機置き場で行う。
- ② 直装式作業機を対象とする。

### 3) 具体的な目標スペック

- ① トラクタ・作業機の位置合わせ精度 位置 左右± 3 cm、前後± 1 cm、姿勢± 2°
- ② 着脱成功率： 切り返しを伴う2回の試行で100%

項目	オートヒッチ (国内、日農工)	A型ヒッチ (海外)
適応規格	JIS B 9224	ISO 11001-2
対応する三点ヒッチ機構	標準・特殊仕様CAT0, 1, 2	CAT 2
自動着脱ポイント数 (P)	4P～6P※	3P
人手の操作が必要な系統	油圧継手、センサ等の配線コネクタ、ヒッチフレームの固定	PTOシャフト、油圧継手、センサ等の配線コネクタ、ヒッチフレームの固定
作業機の装着姿勢の規制	高さ及び前傾角度	高さ及び水平度
位置合わせの許容誤差	全方向が小さい	左右方向は大きい

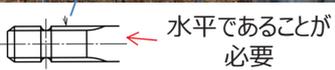
※ 6P = ヒッチ点×3P + PTO×1P + デプスセンサ×1P + 電源コネクタ×1P



オートヒッチの装着例



約20°の傾きが必要



Aフレームの装着例

## 作業機自動交換のためのヒッチ開発

### 開発機の機能・目標

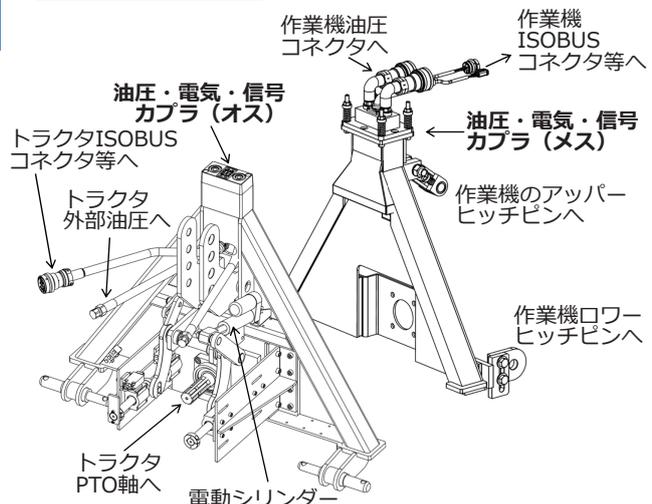
- ① 作業機着脱に関する操作は全てトラクタから制御できること
- ② CAT 1・2の三点ヒッチと作業機に適応すること
- ③ トラクタ・作業機の位置合わせでは、大きい許容誤差を有すること

検討結果：A型ヒッチの改造による作業機自動着脱に適したヒッチ機構の開発

### 開発機の構成

トラクタ側フレーム 作業機側フレーム (後付け型)

油圧・電気・信号カプラ部  
オス (作業機側)      メス (トラクタ側)



※ ISO 11001-2 と JIS B9224 を参考に設計

# 作業機自動交換用ヒッチの仕様

項目	トラクタ側フレーム	作業機側フレーム
寸法WxHxD mm	955 x 741 x 400	866 x 823 x 261
質量 kg	63	44
取り付けヒッチ	CAT 1、2	
油圧・電気・ 信号カプラ	油圧継手	メス 3/8"×1 系統
	電気・センサコネクタ (DC 12V) ※	オス 3/8"×1 系統 70A ×1 系統、25A×1 系統、 ターミナル (センサ信号) ×2 系統、グラウンド×1 系統
PTO コネクタ	1 3/8" 6スプラインシャフト or スリーブ	
ロック機構	フックラッチとリンク	受け孔
アクチュエータ	電動シリンダー	-

※ISOBUS part2 (Physical Layer) で規定されている電源、通信線を確保可能



作業機側フレームとトラクタ側フレームの装着状態



設計上の両フレームの嵌合時の許容誤差

- ・距離 左右5cm、前後3cm以内
- ・角度 ピッチ・ロール・ヨーともに5°以内

6

# 作業機自動交換用ヒッチのトラクタ・作業機への装着

## 開発機の外観・仕様

☞ トラクタの3点ヒッチへの取り付け



140PSトラクタ、CAT2三点ヒッチ

☞ トラクタ側フレームと作業機側フレームをはめ合わせる時の動作



85PSトラクタ、CAT2三点ヒッチ

☞ 作業機への取り付け

- ✓ 円滑に作業機を着脱できるように作業機側フレームの姿勢を垂直に規制する必要がある。
- ✓ 作業機側フレームの後付けでは、全長が伸びることや作業機側が重くなることあるため、トラクタへのフロントウェイトの取付けや旋回時の注意が必要



ロータリ耕運機 (CAT2)



不耕起大豆播種機 (CAT2)



代かき専用ロータリ (CAT2)

7

## 開発機による作業機交換

- 簡単に作業機着脱ができる。
- キャビン内からリモコンで、トラクタから降りることなくPTO軸の接続とフレームのロックを行うことが可能。



作業機交換の様子（再生速度x3倍）



耕うん作業

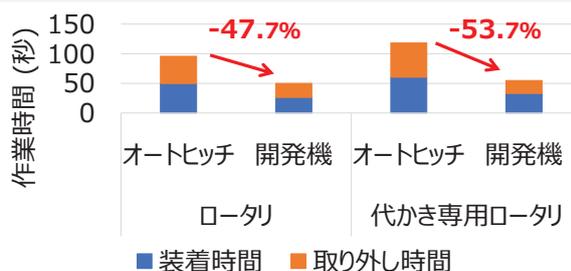


代掻き作業（再生速度x3倍）

作業機自動交換用ヒッチで装着した作業機による作業

## 開発技術の利用効果

■ ヒッチ機構（開発機）とオートヒッチ（従来機）を利用した作業機着脱の所要時間



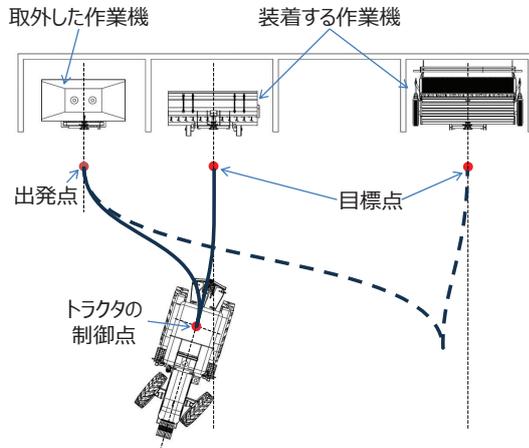
作業機着脱の所要時間測定例

作業内容（作業機：代かき専用ロータリ）		作業時間 (s) ※		割合 (%)
		オートヒッチ	開発機	
装着時間	後進・位置合わせ	17	19	-
	作業機を上げる	3	4	
	エンジンを停止し、パーキングレバー引き、下車する	8	0	
	油圧カブラ、電気コネクタを装着する	18	0	
	ユニバーサルジョイントをトラクタのPTOシャフトに装着し、ヒッチの安全ロックをかける	4	10	
	乗車して、エンジンを始動し、パーキングレバーを下げる	12	0	
小計	62	33	53%	
取外し時間	作業機の設置位置まで後進して、エンジンを停止し、パーキングレバー引き、下車する	14	6	-
	作業機を下げる	3	0	
	油圧カブラ、電気コネクタを取り外す	18	0	
	ユニバーサルジョイントを外し、ヒッチの安全ロックを解除する	4	10	
	乗車して、エンジン始動し、パーキングレバーを下げる	12	0	
	ロワリンクを下げてトラクタを作業機から離脱させる	5	6	
小計	56	22	39%	
着脱時間 (s)		118	55	46%

※3回測定の平均値

# 作業機交換の自動化技術の開発 —経路を生成するための作業機位置の計測手法の検討

☞トラクタの移動経路を生成するためには、**出発点と目標点の測位が必須**



作業機交換時に想定される出発点・目標点  
及びトラクタの移動経路

ロボトラのRTK-GNSSのみで出発点と目標点を計測

- 出発点測位：高精度かつリアルタイムに計測可能
- 目標点測位：作業機を取り外し時に作業機の装着位置を目標点として計測して記憶

**問題点：**作業機取外しの際に、ヒッチの動作や地面の状況によって**作業機がわずかに動いてしまう。**



目標点を正確に設定できず、作業機自動装着の**成功率は70%程度に留まり**、取り外し後の作業機の位置を高精度に計測する必要があることが明らかになった

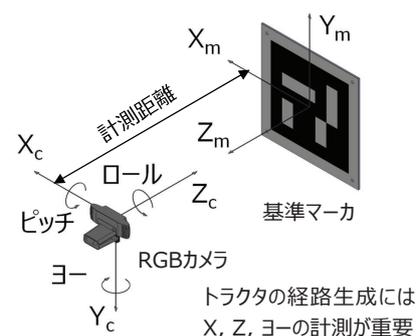


作業機側にGNSS等の測位システムを搭載することはコスト的に現実的ではないため、トラクタ側からみた**作業機の3D相対位置や姿勢をマシンビジョンで計測**し、同時に作業機IDの識別や装着可否判断を行うこととした。

# 作業機交換の自動化技術の開発 —マシンビジョンによる作業機位置の計測手法の開発



基準マーカとRGBカメラによる作業機の位置計測のためのマシンビジョンの構成



基準マーカとRGBカメラによる計測項目

## マシンビジョンのハードウェア構成

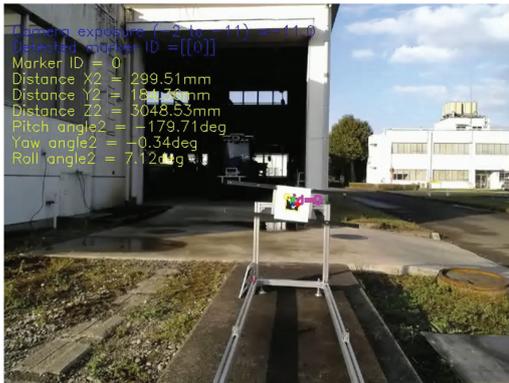
RGBカメラ： Logicool webcam C930e  
基準マーカ： ArUco、黒い部分：ポリウレタン、白い部分：アクリル板(コモグラスマット)

ソフトウェア Opencv-ArUcoライブラリ

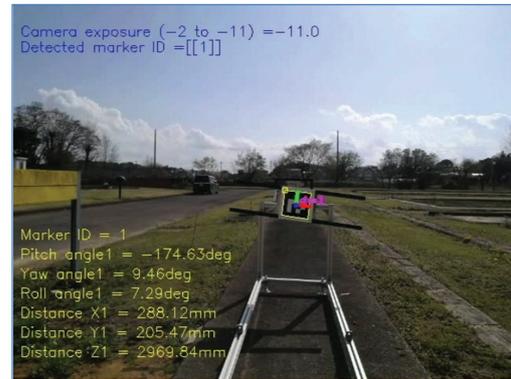
## 目標計測精度

水平位置 (X,Z)：1cm、角度 (ヨー) 1°

# 作業機交換の自動化技術の開発 ーテストベンチにおけるマシンビジョンの精度検証の概要



順光、10cmの基準マーカ

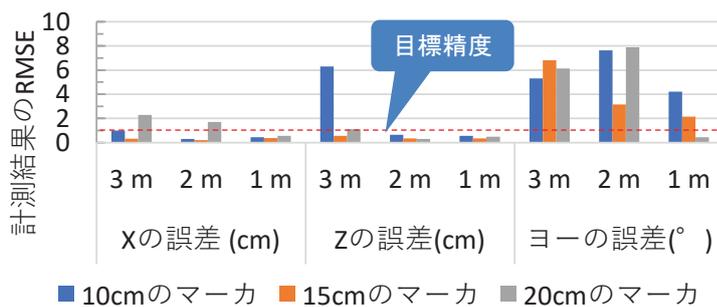


逆光、20cmの基準マーカ

- 試験条件** : 光照度 約 8万~12万lux、太陽高度約25°~45°  
 カメラの解像度 640x480ピクセル、フレームレート30FPS  
 カメラの移動速度約0.1m/s、マーカのサイズ 10x10cm、15x15cm、20x20cm  
 カメラとマーカのオフセット設定 ピッチ5°/ロール5°/ヨー5°
- 計測方法** : 静止撮影距離 3m → 2m → 1m、静止計測時間約30秒 (=900画像フレーム)
- 精度評価指標** : 距離と姿勢角度の計測結果のRoot mean square error (RMSE)

12

# 作業機交換の自動化技術の開発 ーテストベンチにおけるマシンビジョンの精度検証の結果



- ☞ 計測距離が短いほど、計測精度が高い
- ☞ マーカサイズがより大きいほど、計測精度が高い
- ☞ 目標精度を満たした条件は、**20cmの基準マーカと計測距離 1m**

作業機取り外し時に作業機の  
相対位置・姿勢を計測

## 作業機着脱でのマーカ認識の問題点と解決方法



☞ トラクタや構造物の影がマーカ表面の一部にかかり、マーカ検出が不能



☞ 解決手法 : カメラの露出時間を調整して、影の影響を無くす

13

# 作業機交換の自動化技術の開発 —実機におけるマシンビジョンの精度検証の概要と結果

GNSSコンパス GNSS受信機

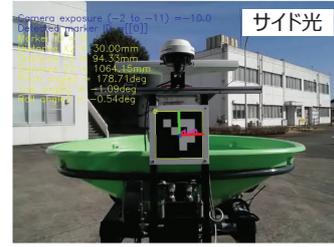
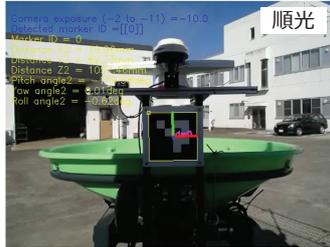
## 作業機取外しでのマシンビジョンの精度検証



**試験条件** 光照度 約6千～8万lux、太陽高度約35°、カメラの解像度 640x480ピクセル、フレームレート30FPS  
マーカのサイズ 20×20cm

**計測方法** : トラクタから作業機を分離した直後に作業機の相対位置・姿勢計測、静止計測時間約30秒RTK-GNSSでマーカの平面座標を測位して、真値とした

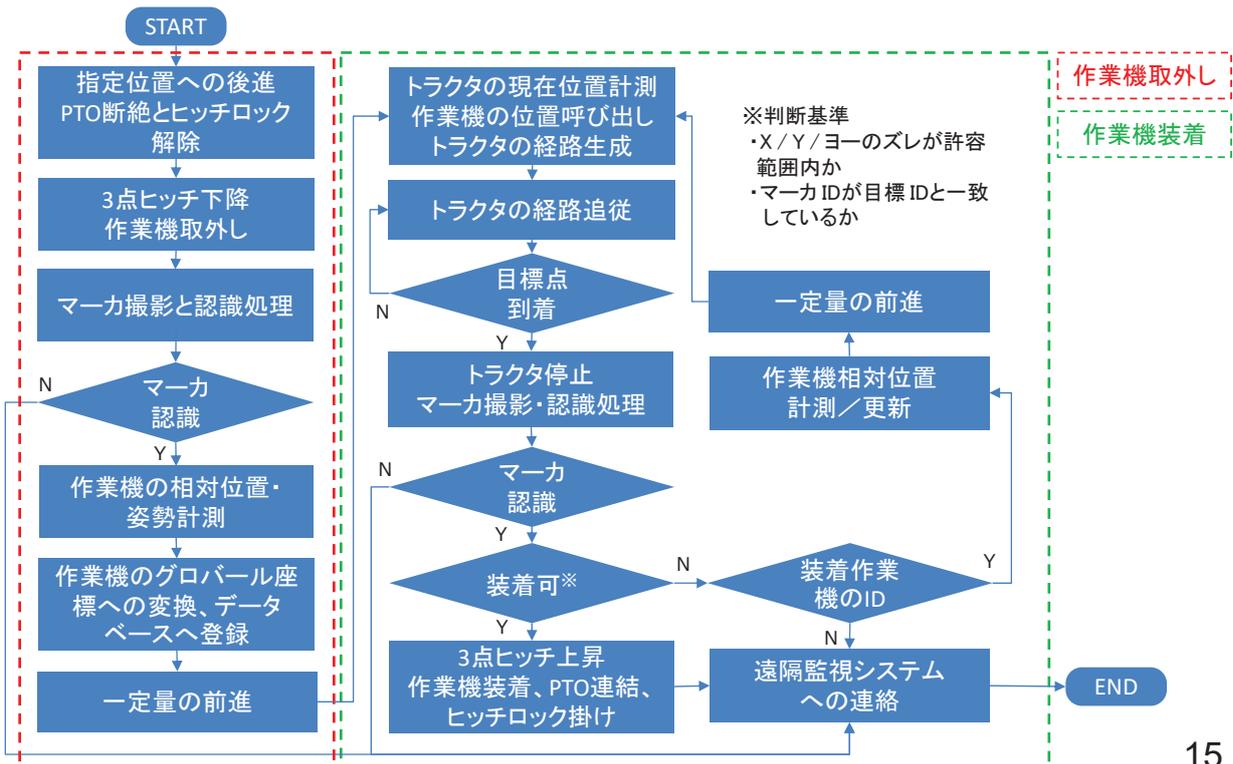
**精度評価指標** : 平面座標のXY距離とヨー角度の計測結果と真値との絶対誤差



☞ 作業機を取り外した直後の計測誤差では、光の条件に関わらず  
**距離が1cm以下と角度が1°以下を実現**

# 作業機交換の自動化のための動作の流れ

## 【トラクタ制御アルゴリズム】



## 【トラクタの経路生成手法】

**目標点計測**：作業機の取り外し直後に、マシンビジョンにより作業機のトラクタに対する相対位置・姿勢を計測し、RTK-GNSSによるトラクタの絶対座標に加算することで、高精度に作業機の装着位置（目標点）の座標を算出

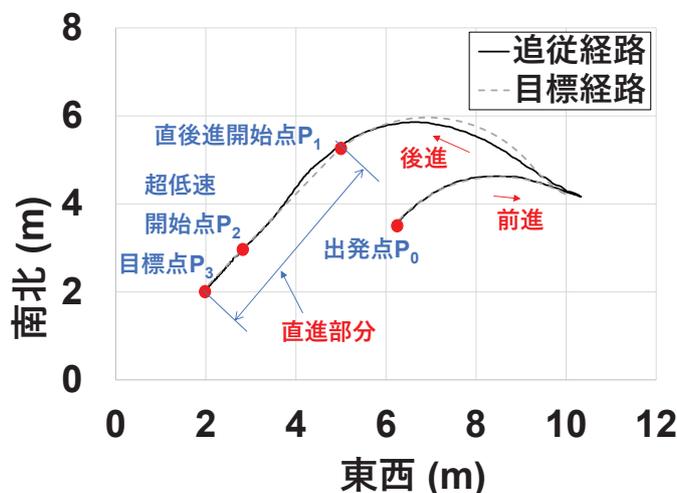
**経路生成**：経路のカーブと直進部分を設けて、Reeds-Sheppアルゴリズムで計画

## 【トラクタの経路追従】手法

☞ **速度制御**：3段階で接近時の極低速走行制御

☞ **追従制御**：Pure-pursuit法

☞ 固い平坦地では、位置誤差左右 $\pm 2\text{cm}$ 、前後 $\pm 1\text{cm}$ 、角度誤差 $\pm 2^\circ$ 以内の精度での位置合わせが可能で、作業機自動装着の成功率100%を実現



※トラクタの速度制御:

$P_0 \rightarrow P_1$  0.5 m/s、 $P_1 \rightarrow P_2$  0.3 m/s

$P_2 \rightarrow P_3$  0.1 m/s

# 作業機自動装着の試験結果の例

## 【作業機自動装着の基礎実験の様子】

草地上における作業機自動装着



舗装面上における作業機自動装着



## 1) 作業機交換の自動化のための制御技術の開発

- 作業機の「交換」（取り外しから装着まで一貫して実施）実現のために、トラクタの制御システムを改良
- 実証試験による性能評価と改良

## 2) 作業機制御技術の開発

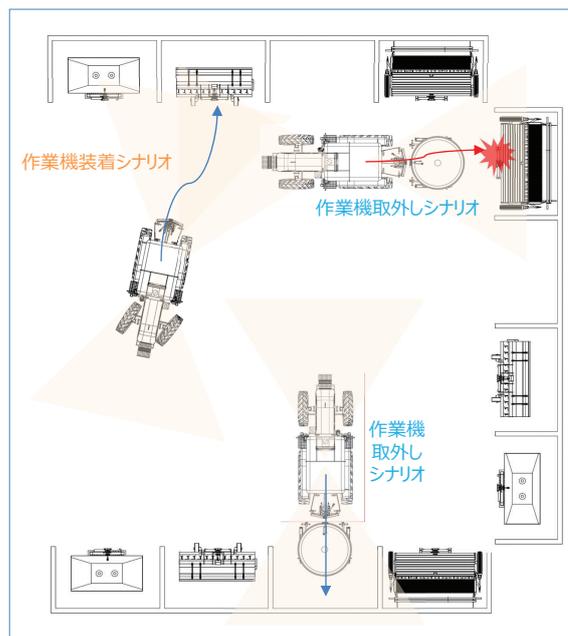
- 作業機姿勢調整の自動化
- 作業機の接地輪や定規輪などの取り扱いの自動化

## 3) 安全性確保手法の検討

- 安全性確保の手法検討
- シナリオベース安全性評価フレームワーク(ISO 34502)に基づき作業機自動交換の安全性を評価

## 4) ヒッチ構造の検討

- A型をベースに試作したヒッチの大・中型作業機への適応性を検証し、標準化を検討
- 日農工（株）の標準オートヒッチをベースとした、小・中型作業機に適した自動交換用専用ヒッチを検討



作業機置き場におけるシナリオ作成・解析の例



# 両正条田植機の開発

無人化農作業研究領域 山田祐一、重松健太

## はじめに

農林水産省が策定したみどりの食料システム戦略の目標達成のため、有機農業の取組面積拡大に資する技術開発が急務となっている。みどりの食料システム戦略では、2050年までに有機農業の取組面積を100万haに拡大する目標が掲げられている。現在の有機農業取組面積が2.5万ha程度であることから、大幅な拡大が必要である。

有機農業の取組面積拡大における課題の一つが雑草防除であり、特に栽培面積が大きな水稻において効率的な雑草防除技術を確立することが不可欠である。水稻の雑草防除技術としては、主に機械除草が使用されている。しかし、除草ロータが作用する条間に対して、除草ロータが作用せずレーキなどで除草する株間の除草効果が低いことが課題となっている。このため、雑草量の多いほ場では手取り除草を行う必要があり、面積拡大の阻害要因となっている。

## 直交除草と両正条田植機

この解決策として、株間にも除草ロータを作用させる直交除草体系を提案するとともに、これを実現する両正条田植機を開発する。両正条田植機は田植機の進行方向と直交する方向にも苗を整列させて移植することが可能な田植機である。これにより、機械除草機が田植機進行方向だけでなく直交方向にも走行可能となり、株間の除草効果向上が期待できる。除草作業時に除草ロータと苗の接触を避けるため、 $\pm 3\text{cm}(2\sigma)$ 以内を両正条田植機の植付位置精度の目標値とした。

## 両正条田植機の原理

両正条田植機の基本原理は、RTK-GNSSの測位情報を基に植付爪の角度を制御することである。RTK-GNSSはロボット農機にも使用される高精度測位技術である。具体的には、まず田植機進行方向と直交する方向に、仮想的な植付目標線を設定する。そして、RTK-GNSSの測位情報と設定した植付目標線から目標植付爪角度を逐次計算する。更に、目標植付爪角度に対する実際の植付爪角度の誤差を計算して、この誤差を解消する方向に、無段変速機であるHSTの変速比を調整する。これにより、目標植付爪角度と実際の植付爪角度が一致し、予め設定した植付目標線上に苗が移植される。

## 両正条田植機の開発状況

みのる産業製のポット苗田植機(RXG800D)をベース機とし、クラスター課題として開発を進めている。本ベース機は、株間変速機にHSTを採用していることから、最小限の改造で両正条田植機の機能を実現可能である。現在、試作1号機の部品組付け、配線、プログラム作成が終了し、ほ場での動作確認が完了した段階である。

なお、ベース機の納期の都合から、車体が共通であるクボタ製のマット苗田植機をベースに先行試作を行い、ほ場で植付位置精度試験を実施したところ、目標とする $\pm 3\text{cm}(2\sigma)$ 以内を達成している。

# 両正条田植機の開発

農研機構 農業機械研究部門  
主任研究員 山田祐一  
上級研究員 重松健太

※みのる産業との共同研究課題であり、「農業機械技術クラスター事業」で実施

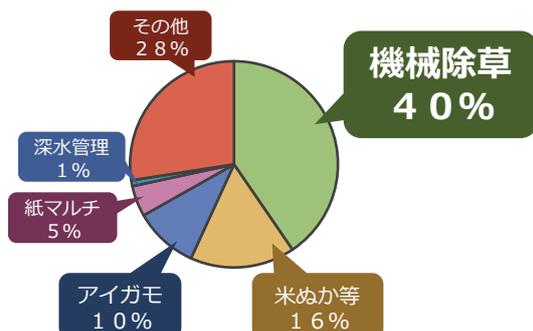
## 背景

### みどりの食料システム戦略

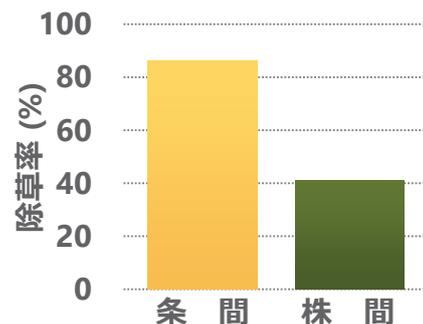
有機農業の取組面積を25%、100万haに拡大

### 両正条植え+直交除草

省力かつ効果的な除草システムを構築

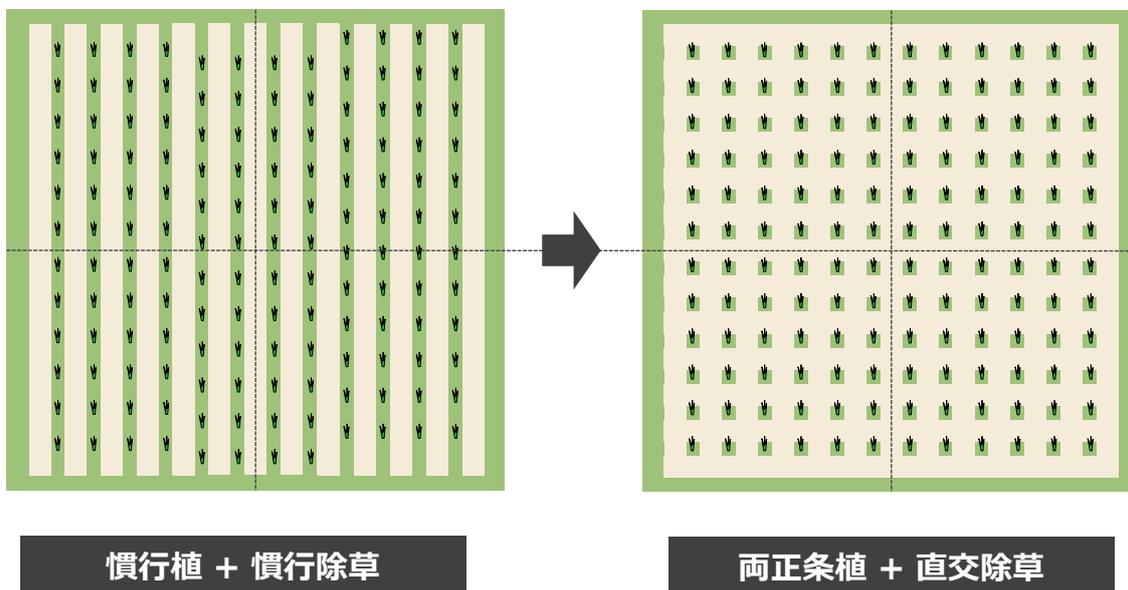


主な除草方法は機械除草



機械除草は株間の除草効果が低い

## 株間の除草効果を大幅に向上



2

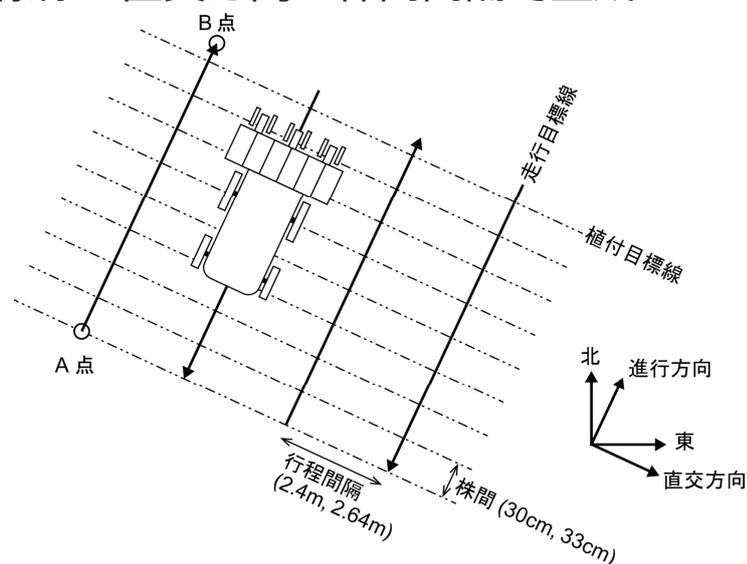
## 両正条田植機の原理

### 走行目標線

A点とB点から行程間隔で生成

### 植付目標線

走行目標線の直交方向に株間間隔で生成



3

## 開発機種の概要

### 電動方式マット苗両正条田植機

ベース機：イセキPZV-60

開発目的：両正条の機能実証機



2014年度開発済

### HST方式マット苗両正条田植機

ベース機：クボタNW8S-F-GS

開発目的：HST方式の基礎試験機



新規開発

### HST方式ポット苗両正条植田植機

ベース機：みのるRXG800D

開発目的：クラスター課題開発機



新規開発

4

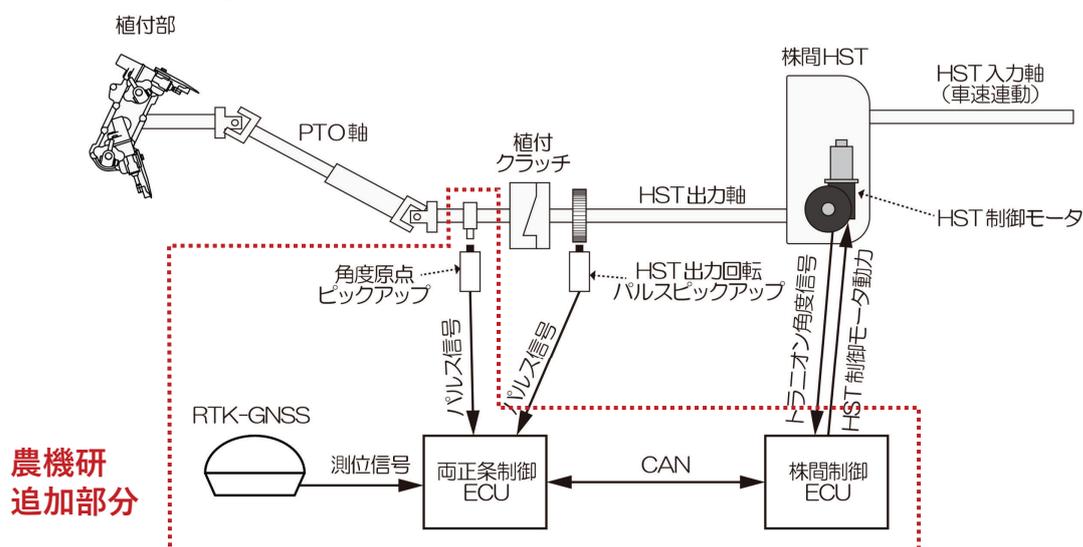
## HST方式両正条田植機の構成

### 制御の流れ

RTK-GNSSから植付爪の目標角度を決定

パルス信号から実際の植付爪の角度を計算

目標と実際の角度の差を計算してHST制御モータを調整



5

## 主な機能

- 田植機の姿勢推定
- 植付爪回転パルスの積算
- 両正条制御（目標変速比の決定）
- 自動直進・自動旋回制御（目標操舵角の決定）

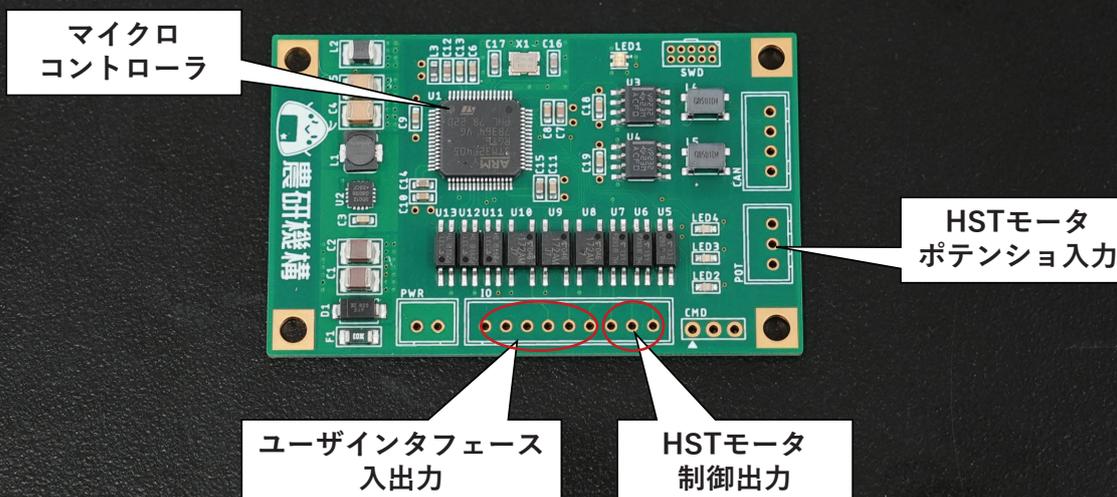


6

# 株間制御ECU

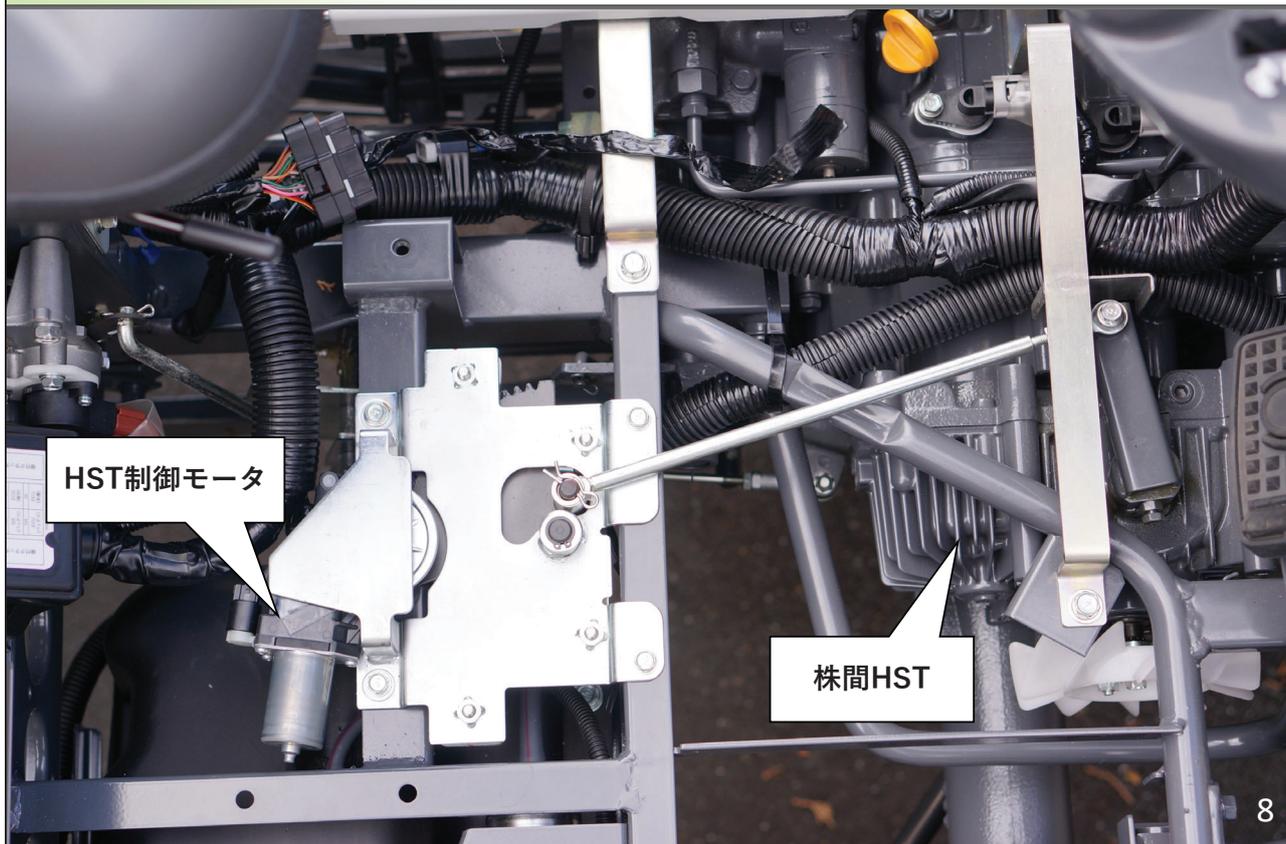
## 主な機能

- HST制御モータの角度制御
- AB点ボタン等のユーザインタフェース制御

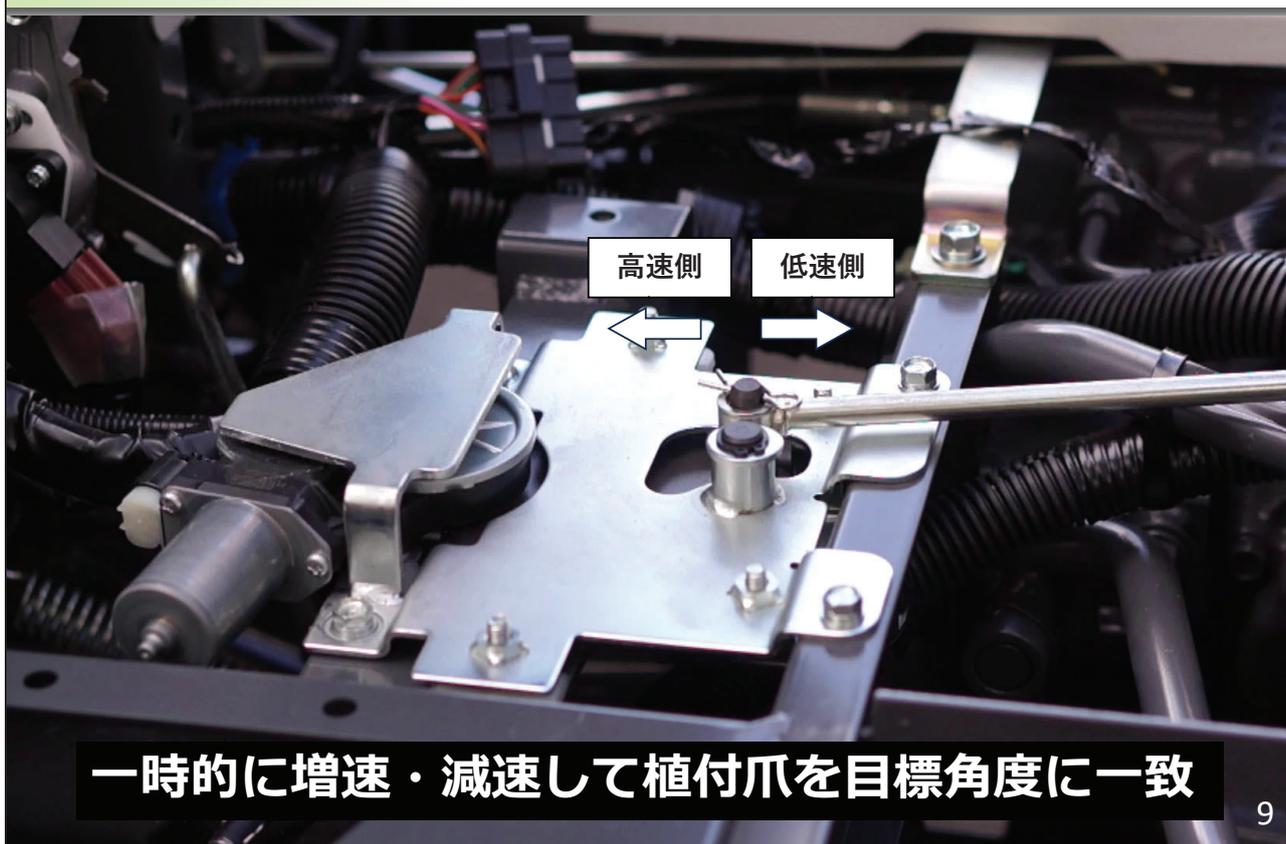


7

## 株間HSTとモータ



## 植付爪角度の制御



## 植付爪角度の制御



## マット苗両正条田植機 (2023年度仕様)



## マット苗両正条田植機の動作



12

## 自動旋回制御



13

## 現地実証試験（大潟村）



14

## 現地実証試験結果（両正条制御）



15

## 現地実証試験結果（自動直進制御）



## 直交除草（農機研 附属農場）



# ポット苗両正条田植機



# ポット苗両正条田植機の動作





20

## おわりに

### マット苗両正条田植機を試作

HST方式でも制御可能であることを実証  
目標精度である $2\sigma$ で3cm以内を達成



### ポット苗両正条田植機を試作

GNSSアンテナを衛星遮蔽の少ない高所に移動  
GNSSアンテナフレームの高剛性化  
アンテナ位置の変更に伴う制御プログラムの改良



### マット苗両正条田植機を改良

ポット苗仕様での改良点をマット苗仕様にも適用



21

# 小型 AI 除草ロボットの開発

無人化農作業研究領域 吉田隆延

## はじめに

有機野菜栽培においては、除草に要する作業時間が長く、労働力不足もあり作付面積の拡大を困難にしている。特に条間の狭い軟弱野菜等では全て手作業に頼っており、「みどりの食料システム戦略」の目標である有機栽培作付面積の飛躍的拡大のためには、除草作業の大幅な省力化が急務となっている。そこで、有機野菜を対象に、AIにより作物と雑草を識別して、自律走行しながら自動で機械除草を行う自律型の小型 AI 除草ロボット VRS13 を開発し、除草作業にかかる労働時間を大幅に削減する。本ロボットの利用により、有機栽培野菜 3 品目以上について、野菜の有機栽培における除草作業時間の 5 割削減することを目指し、研究開発を行った。

## 1. 開発機の概要

本ロボットは、走行システムはクローラ式で、本体前方に搭載するカメラの取得画像の情報をもとに、AI 走行システム<sup>1)</sup>により作物列を自動認識し、作物を踏まないように自律走行を行いながら、本体後部に装着した機械除草機構により自動で除草作業を行う。また、本ロボットは、作物列の終端もカメラの取得画像から AI 走行システムにより自動認識し、自律旋回を行なって自動で次の作物列へ進入して除草作業を行う。この自律走行及び自動除草を繰り返すことで、ほ場内の作物列の条間の除草作業を行う。機体の大きさは、長さ 950mm×幅 720mm×高さ 550mm、重さ約 28kg（除草機構を含む）で、軽トラック等での運搬が可能である。また、本ロボットは、ラジコン（周波数 2.4GHz）による遠隔操作も可能で、スイッチの ON/OFF により自律走行モードに切り替えが可能である。さらに、音声によるガイダンス機能があり、ロボットの動作状況が把握できる。

## 2. 開発機の性能等

本ロボットは、リチウムイオン二次電池パック（25.9V、5.2Ah）を 2 個搭載し、フル充電で約 4 時間程度稼働することができ、除草の作業能率は約 5a/h である。また、野菜 3 品目（ホウレンソウ、コマツナ、チンゲンサイ）の有機栽培ほ場での除草試験の結果、2 回の往復除草作業で除草率 60%以上（最大除草率 94%）を達成しており、上記の除草試験では、手取除草作業時間を約 5 割削減することが可能であった。また、旋回地点の枕地が整備され、認識可能な大きさの作物が栽培されている試験ほ場では、本ロボットは旋回も含めた完全自律走行が可能であった。

## おわりに

本研究成果は、農林水産省委託プロジェクト「国際競争力強化技術開発プロジェクト」により得られた成果である。また、本研究開発は、農研機構中日本農業研究センター、群馬県農業技術センター、鹿児島県農業開発総合センター、みのる産業(株)、NTT コミュニケーションズ(株)、(株)NTT ドコモとの共同研究で行ったものであり、ご協力頂いた皆様に深くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 北出ら(2023)、「画像認識を用いた小型農業用ロボット向け作物列追従システムの提案」、情報処理学会研究報告、9(19):1-8.

# 小型AI除草ロボットの開発

農水省委託プロ「国際競争力強化技術開発プロジェクト」

協力分担：農研機構 中日本農研、群馬県農業技術センター、  
鹿児島県農業開発総合センター、みのる産業、  
NTTコミュニケーションズ、NTTドコモ

**農研機構 農業機械研究部門**  
**吉田 隆延**

NARO

## 背景と目的

### 研究開発の背景

有機野菜栽培においては、除草に要する作業時間が長く、農業就業者の高齢化と労働力不足もあり、有機栽培取組面積の拡大が難しい状況。

農水省は「みどりの食料システム戦略」策定により、下記の目標を設定。

- 有機農業の取組面積の割合を25%に拡大。
- 化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減。



農業生産現場では、除草作業に係る労力の省力化や農薬等の使用量削減による環境負荷低減型の雑草防除技術の開発が求められている。

## 研究開発の目的

除草作業を自動で行う小型AI除草ロボットを開発する。



## 具体的な開発目標

有機野菜を対象に、AIにより作物と雑草を識別して、自律走行しながら自動で機械除草を行う自律型の小型AI除草ロボットを開発する。

小型AI除草ロボットの利用により、有機栽培野菜3品目以上について、野菜の有機栽培における除草作業時間の5割削減する。

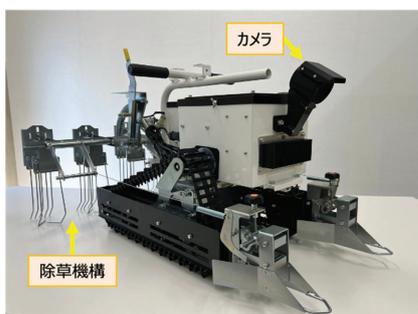


2

# 開発機の概要

走行システムはクローラ式で、本体前方に搭載するカメラの取得画像の情報をもとに、作物列をAI走行システムにより自動認識し、作物を踏まないように自律走行を行いながら、本体後部に装着した機械除草機構により自動で除草作業を行う。

作物列の終端もカメラの取得画像からAI走行システムにより自動認識し、自律旋回を行って自動で次の作物列へ進入して除草作業を行う。



前面

側面

後面



除草機構

3

# 開発機の概要

機体の大きさは、長さ950mm×幅720mm×高さ550mm、重さ約28kg（除草機構を含む）で、軽トラック等での運搬が可能である。また、本ロボットは、ラジコン（周波数2.4GHz）による遠隔操作も可能で、スイッチのON/OFFにより自律走行モードに切り替えが可能である。さらに、音声によるガイダンス機能があり、ロボットの動作状況を常にアナウンスする。

## 小型AI除草ロボットの主要諸元

名称	小型AI除草ロボット	
型式	VRS13	
機体寸法 (mm)	950×720×550 (長さ×幅×高さ)	
機体重量 (kg)	28 (除草タイプB型 含む)	
輪距離調整範囲	300~450	
軸距 (mm)	370	
車輪	駆動ギヤーピッチ径 (mm)	42
	クローラー (mm)	64×1184 (幅×周長)
	接地輪径 (mm)	100 (前後)
速度 (m/s)	0.32	
電装関係	駆動モーター	DC24V ブラシレスモーター XE-2023-1005-00/シナノケンシ × 2 ・定格出力 30[w] ・定格トルク 1.35[N・m]
	除草部電動シリンダ	DC24V JC35N1 24V IP54 ストローク150mm/JIECANG
	バッテリー	リチウムイオン二次電池(バック 25.9V 5.2Ah 2並列 18650/7S2P 25.9V/5.2Ah / システムA V × 2
	充電器	充電器(29.4V 2A出力 1.2M ACコード込み) / システムA V
	プロボ	Futaba T4PM Plus(4-CHANNEL COMPUTER SYSTEMS)
	ラジコン用周波数	2.4GHz
	ヒューズ	ガラス管ヒューズ Φ6.4×30 15A 5A

## ラジコンによる遠隔操作も可能



4

# AIを利用した走行システムの概要

カメラからの画像から作物列及び雑草を自動認識して自律走行  
 現在は、直進&終端認識も画像によるAI認識を利用  
 (位置情報は使っていない←ハウス内除草対応)

除草 & 走行試験ほ場 (群馬県農業技術センター (伊勢崎市))



5

## AIを利用した走行システムの概要

カメラからの画像から作物列終端を自動認識して自律旋回、自動で移動し、次の作物列へ進入して除草作業を行う。

除草 & 走行試験ほ場（農研機構中日本農研ほ場（つくば））



6

## AIを利用した走行システムの概要

カメラからの画像から作物列終端を自動認識して自律旋回、自動で移動し、次の作物列へ進入して除草作業を行う。

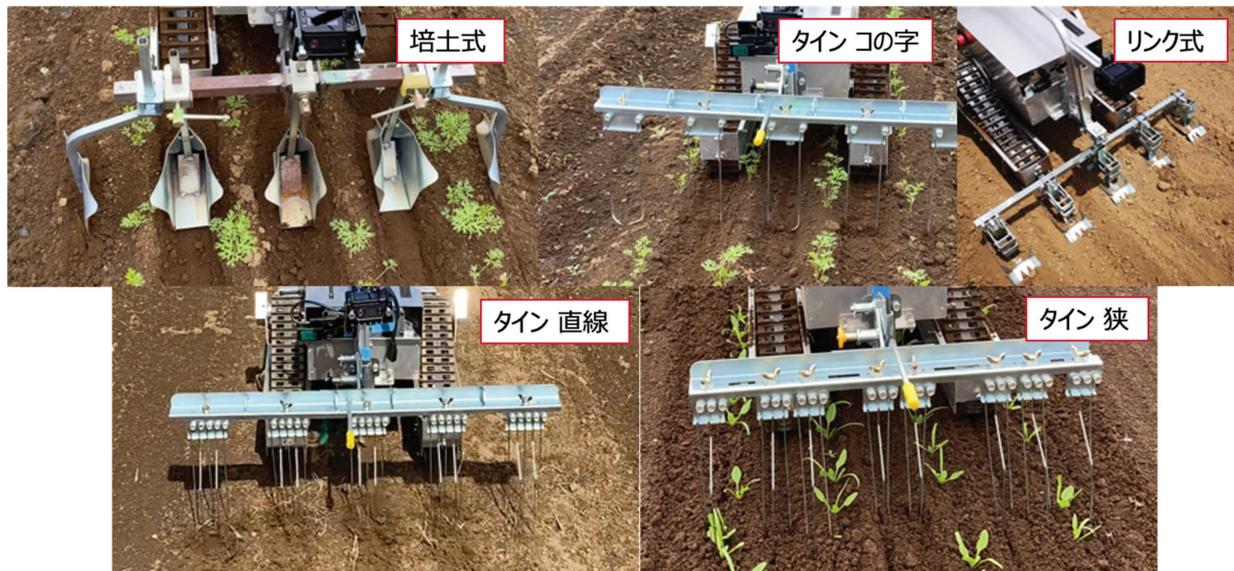
除草 & 走行試験ほ場（鹿児島県農業総合開発センター（南さつま市））



7

# 機械除草機構の概要

ハウレンソウ、コマツナ、チンゲンサイ、ニンジン、ベビーリーフ等  
(条播種作物用) 様々な除草機構の除草率を検討



8

# 機械除草機構の除草効果と作業能率

開発した2連ツースの機械除草機構

ハウレンソウ、コマツナ、チンゲンサイについて、**除草率60%以上**、  
(最大94%)、**手取除草時間を約5割(最大8割)削減可能**であった。  
作業時間はフル充電で約4時間、作業能率は約5 a/h程度。



9

## ホウレンソウ作における1回目除草作業時の優占雑草種の葉齢と除草率（2022）

試験地	播種日	1回目の除草作業日と優占雑草種（葉齢）*	除草率（%）	
中農研	4月28日	5月10日	ザクロソウ（子）、コアカザ（子）	60%以上
		5月17日	ザクロソウ（子～1）、コアカザ（子～2）	60%以下
		5月23日	ザクロソウ（1～2）、コアカザ（2～4）	
	9月6日	9月16日	ホソアオゲイトウ（子～1）、ザクロソウ（子～2）	60%以上
		9月21日	ホソアオゲイトウ（2～3）、ザクロソウ（3～4）	60%以下
		9月27日	ホソアオゲイトウ（4～5）、ザクロソウ（6～7）	
群馬県	5月10日	5月23日	ゴウシウアリタウ（子～2）、イネ科雑草（2）	60%以上
		5月26日	ゴウシウアリタウ（2～4）、イネ科雑草（2～4）	60%以上
	5月20日	6月1日	ゴウシウアリタウ（子）、イネ科雑草（1）	
		6月4日	ゴウシウアリタウ（子～2）、イネ科雑草（2）	
	9月27日	10月11日	広葉雑草（子）	60%以上
		10月15日	ハキダメギク（2）	60%以下
鹿児島県	4月25日	5月6日	イネ科雑草（1～2）	60%以上
		5月11日	イネ科雑草（2～3）	
		5月16日	イネ科雑草（3～4）	
	9月22日	10月6日	オヒシバ（2～4）	60%以下

\* 2回目の除草作業は1回目の約1週間後に実施（いずれも往復作業）、草種が判別できなかった場合は「イネ科雑草」「広葉雑草」と表示

## 小型AIロボット除草作業の基本体系

- ・ 除草機構は**2連ツース**を使用。
- ・ **1回目**ロボット除草作業はホウレンソウなど**本葉1～1.5cm**（雑草は**2葉期**までに）の時期に行う。
- ・ その後約**1週間**後に**2回目**ロボット除草作業を行う。
- ・ 1回の作業は**往復走行**とする。



## 1. 成果の概要

条播野菜を対象としてAIにより作物列を識別し、作物列に沿った走行と枕地旋回を自律的に行い、条間の雑草を機械除草する**小型AI除草ロボット**を開発。

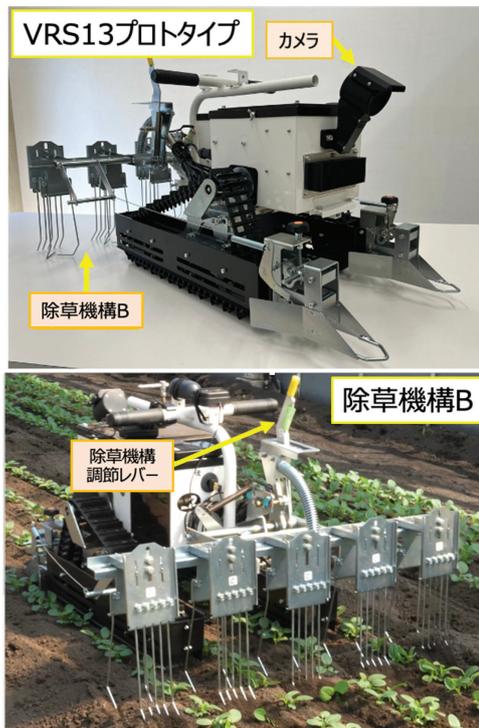
## 2. 成果の新規性・有効性

**有機野菜3品目**（ホウレンソウ、コマツナ、チンゲンサイ）で**手取除草時間を約5割以上削減可能**。  
本除草ロボットにより**除草率60%以上**。

## 3. 社会実装の展望

共同研究機関である農研機構、みのる産業、NTTコミュニケーションズ、NTTドコモと実用化について調整中。  
大規模有機生産者での実証試験を通して、社会実装目指し検討中。

### 小型AI除草ロボットのプロトタイプと除草機構



12

## 小型AI除草ロボット動画紹介



13

本研究成果は、農林水産省委託プロジェクト「国際競争力強化技術開発プロジェクト」により得られた成果です。

また、本研究開発は、農研機構中日本農業研究センター、群馬県農業技術センター、鹿児島県農業開発総合センター、みのる産業（株）、NTTコミュニケーションズ（株）、（株）NTTドコモとの共同研究で行ったものです。ご協力頂いた皆様に深くお礼申し上げます。



# VR を活用した危険体感型農作業安全教育手法

システム安全工学研究領域 紺屋朋子、大西明日見、積栄、皆川啓子

## はじめに

事故の未然防止には、事故を自身の問題として実感させることが不可欠であり、仮想現実（VR）を活用した啓発資材が着目されている。従前の研究により、VR ゴーグル等の簡易な個人用機材を活用した啓発資材について、コンテンツ作成及び啓発での利用に関して目途が得られつつあり、農作業事故の抑止に大きく貢献し得るものと判断できた。そこで本研究において、農作業安全教育に活用し得る VR を活用した危険体感型の啓発資材を開発するとともに、その活用方法を確立した。

## 1. コンテンツの概要

開発コンテンツの視聴時間は、VR 酔いを防止し、体感・理解効果を促進させるのに妥当とされる 3～5 分程度とし、農作業事故情報の要因分析結果を踏まえつつ、事故再現部分と、事故原因や適切な作業に関する解説部分から構成した。本研究課題においては、農用運搬機編、脚立編及び田植機編を制作し、公開済のトラクタ編等と合わせた計 8 コンテンツを、JA 共済連「農作業事故体験 VR」として実用化した。具体的には、これらを視聴できる VR ゴーグル 260 台を保有・無償貸出（JA 共済連）するとともに、JA 共済連ウェブサイト上での公開、農機研のウェブサイト「農作業安全情報センター」における周知等も行い、全国の農作業安全研修会等で広く利用できる体制を構築した。

## 2. 「農作業事故体験 VR」を活用した研修（VR 安全研修）

研修の試行・類型化を通して、①VR 危険体感を主軸にする形態、②座学や実機体験等を主軸として VR 危険体感も組み込む形態、の各実施モデルを構築した。①は事故の疑似体験を共有し、意見交換を活性化させ、新たな気づきの促進・共有を図るもので、②は話題提供やグループ討議を進める途中または最後に VR 危険体感を取り入れ、経験の掘り起こしや研修内容の定着を高め、具体的な改善活動に繋げるものである。

研修を受講した農業者や開催側の関係者を対象にアンケート調査を行った結果、VR 安全研修の利点（「飽きずに研修を受けられる」「没入感があり理解しやすい」「具体的な改善や対策に繋がった」「また受講したい/受講を勧めたい」「農業者が『自分ごと』として考えられる」）のいずれも、回答者の 9 割以上が肯定し、より効果的な安全研修を実現すると考えられた。また、指導者・関係者の 9 割以上が「話題提供を行いやすくなる」「研修内容を考えやすくなる」「実際に VR 安全研修を開催したい」としたことから、安全研修の開催を促す効果も期待された。その他、農業機械作業の経験の少ない人でも作業をリアルにイメージできる、経験の多い人にとっては自身の振り返りになる、補助作業者にとっては機械作業者の状況も実感できる等、受講者の属性に応じた VR 活用効果も示唆された。

## おわりに

「農作業事故体験 VR」は、すでに農業イベントや農作業安全研修会等で多くの農業者等に視聴され、高い評価を得ている。さらに今年度中に、本研究において確立した研修方法（マニュアルや研修に活用できるワークシート、実施例を含む）についても JA 共済連の専用サイトで公開し、全国の農作業安全啓発の現場での、より効果的な活用につなげる予定である。

# VRを活用した 危険体感型農作業安全教育手法

農研機構 農業機械研究部門  
紺屋朋子、大西明日見、積栄、皆川啓子

【共同研究】 JA共済連

## 背景 危険体感型の安全教育

危険を具体的に示し、「見て、聞いて、感じる」のプロセスを踏まえることで、体験者に身近な危険を理解させる。

主な利点：

- ・ **シンプルかつ直感的**に危険を感じられる
- ・ **経験として**学ぶことができる
- ・ マンネリ化の打破

中村隆宏 2008. 安全工学Vol.47 No.6,

巻き込まれ、挟まれ、感電、高所、…等の危険体感の**設備・施設、出張車両**



農業機械での事例（トラクタ転倒）

VR(Virtual Reality)の導入・活用事例

# VRの導入に関する検討（基礎調査）

## 危険体感型の安全教育資材を試行、アンケート調査

供試資材	A	B	C	D
VR方式	VRゴーグル +コントローラ	VRゴーグル (3dof)	VRゴーグル (3dof)	VRゴーグル (3dof)
映像	CG	CG	実写	実写
対象業種	林業	林業	林業	農作業
コンテンツ数	8事例	3事例	1事例	5機種
コンテンツ概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>伐木作業で発生の多い、伐木のずれ、作業者への倒木、チェーンソーのキックバック等</li> <li>Bは、Aの事例と同等のもの。</li> </ul>		他人が伐倒した木の激突事例を、受講者用・指導者用に、編集	乗用トラクタ（転倒） 耕うん機（後進作業） コバイン（巻き込まれ） SS（挟まれ） 刈払機（刃の接触）



# VRの導入に関する検討（基礎調査）

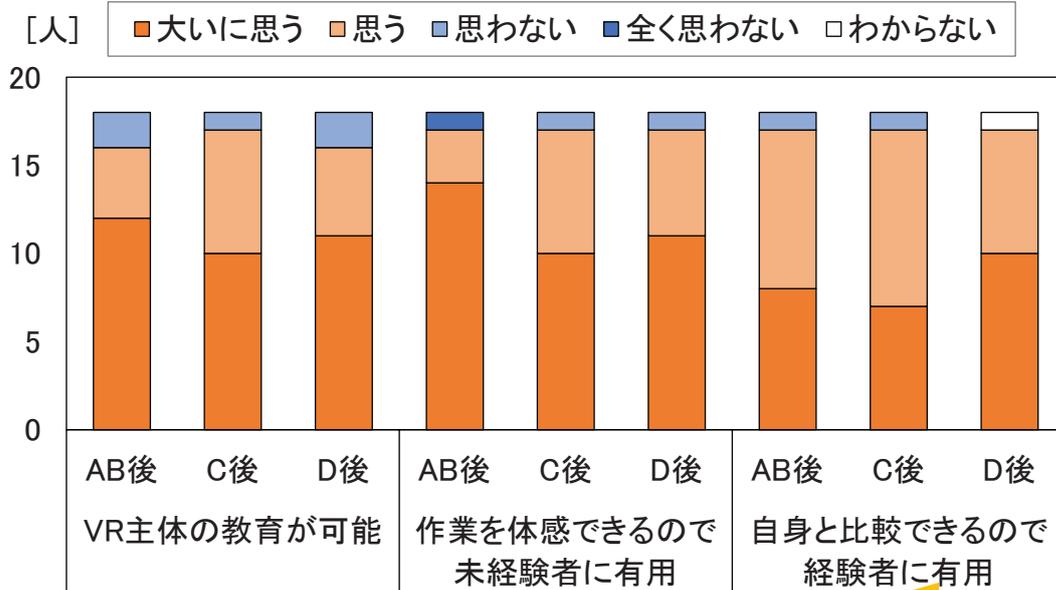
## Q:教科書や動画等で学ぶ場合と比較して、理解が進みましたか？

供試資材	A	B	C	D
VR方式	VRゴーグル +コントローラ	VRゴーグル (3dof)	VRゴーグル (3dof)	VRゴーグル (3dof)
映像	CG	CG	実写	実写
教科書や動画 <b>以上</b> に 理解が進んだ	18	13	12	16
教科書や動画と <b>同等</b> の理解だった	0	5	6	1
その他	0	0	「シナリオが丁寧で、 動作を伴わなくても 引き込まれた」	
計	18	18		

**動作を伴い、没入感が高まることで、理解が進んだ**

**シナリオの重要性**

Q:VRを活用した安全教育についてどのように思いますか？

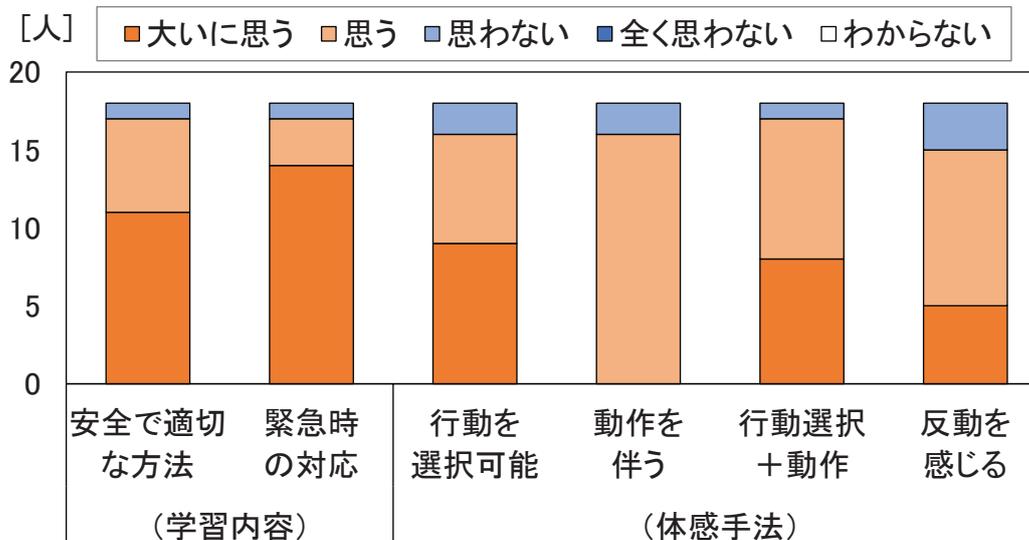


危険を知る

経験と比較する

利用場面の広がりを含む期待の高さ

Q:農作業安全教育用に向けて、より有用な研修資材とするには？



危険体感

では、どうすればいい？

+ 危険体感後のフォローが重要

コストを含む**維持管理体制**の構築  
**人材育成**（安全指導＋機材操作）

没入感高

技術展開・普及拡大に不可欠となる課題解決に向けた**環境整備・連携構築**を進める



VRゴーグル＋  
コントローラ



動作を伴う体感ができる



VRゴーグル (3dof)

VRゴーグル (6dof)

移動を伴う体感ができる

見渡せる

2次元動画

没入感低 見る

これまで蓄積した知見に基づき、**対応可能な手法から、着手**

6

## 目標・方法

### 【目標】

- ・ 疑似体感型の農作業安全啓発コンテンツを開発
- ・ 農作業安全研修における活用方法を確立

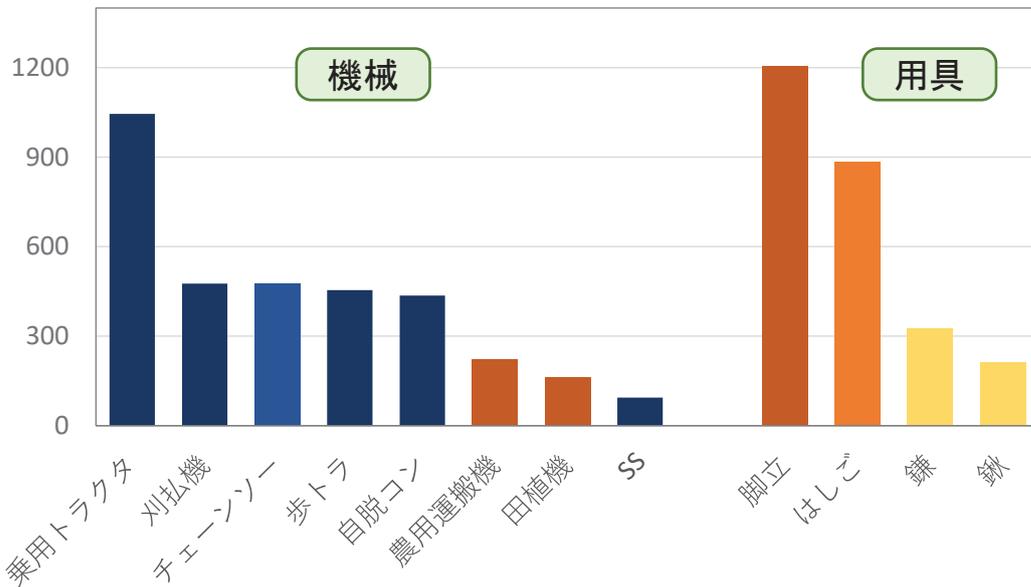
### 【方法】

- 1) 農作業事故詳細分析結果や共済金支払データに基づく分析結果を参考に、**VR動画を制作、公開**
- 2) VR動画を活用した研修を試行し、**実施モデルを提案**、モデルの**実証事例を蓄積**。VR動画やVR安全研修に関するアンケート調査も実施
- 3) VR安全研修の実施拡大に向け、**VR動画活用マニュアルを作成**

7

# 新規コンテンツの選定

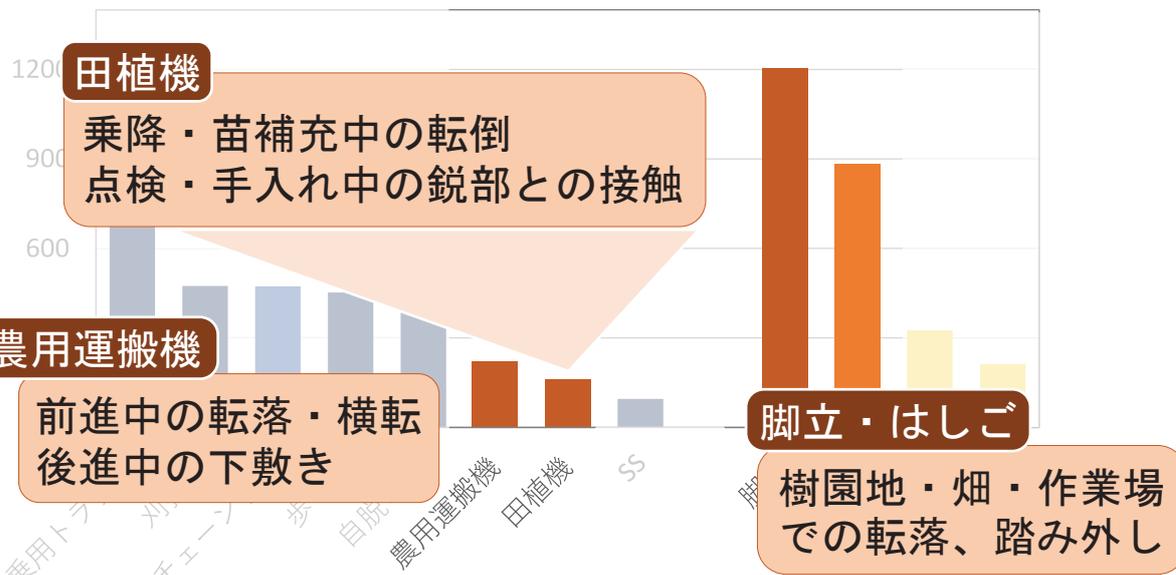
## JA共済連の共済金支払データを元に、発生状況を分析



**農用運搬機、田植機、脚立を選定**

# 危険事象の選定

## 発生頻度・重症度の高い危険事象を対象としたい



教育現場での活用においては、  
既コンテンツとの重複も避けた

# 危険事象の選定

## 既存のVRコンテンツとの重複を調整

	乗トラ	耕うん機	コンバイン	SS	刈払機	田植機	運搬機	脚立/はしご
機械の転落	路肩転落						悪路	
人の転落						補助者		高所
転倒 (車体傾き)	ほ場退出					畔越え	悪路/過積載	
視認性	夜間視認性		後方視認性 (乗トラ編)					
巻き込まれ			手扱ぎ		詰まり除去			
挟まれ		後進挟まれ		樹木挟まれ				
ひかれ							作業方向 (耕うん機編)	
刃との接触 (切創)					他者接触	整備時		
積み下ろし							積み込み	

10

# 危険シナリオの作成

構成：事故再現部＋危険理解・適正作業の解説部  
 動画の視聴時間：3～5分

いずれのVRコンテンツにおいても、  
**第三者視点→作業者視点**の流れで、心理的な導入を図る



作業状況の認知



作業者へ没入

11

# 危険シナリオの作成

## 田植機編：畔越え時の補助者の転落



作業状況の認知



作業者（補助者）  
へ没入

「しない」だけではなく  
「させない」

運転者としても  
体感



# VR動画編集用素材の撮影

## 2022.6.20～21：農機研附属農場

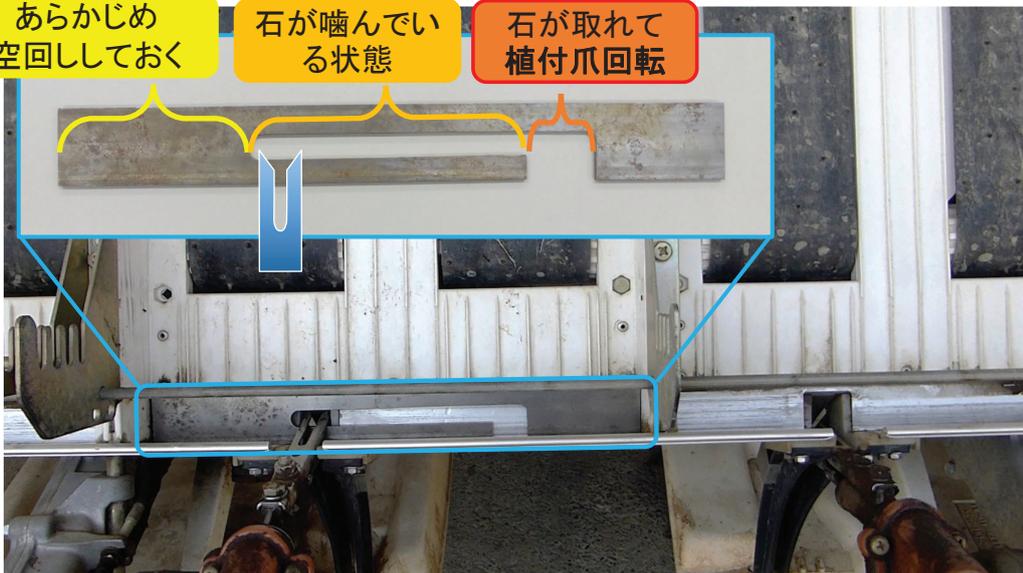
植付部の異物を取り除き、切創

あらかじめ  
空回ししておく

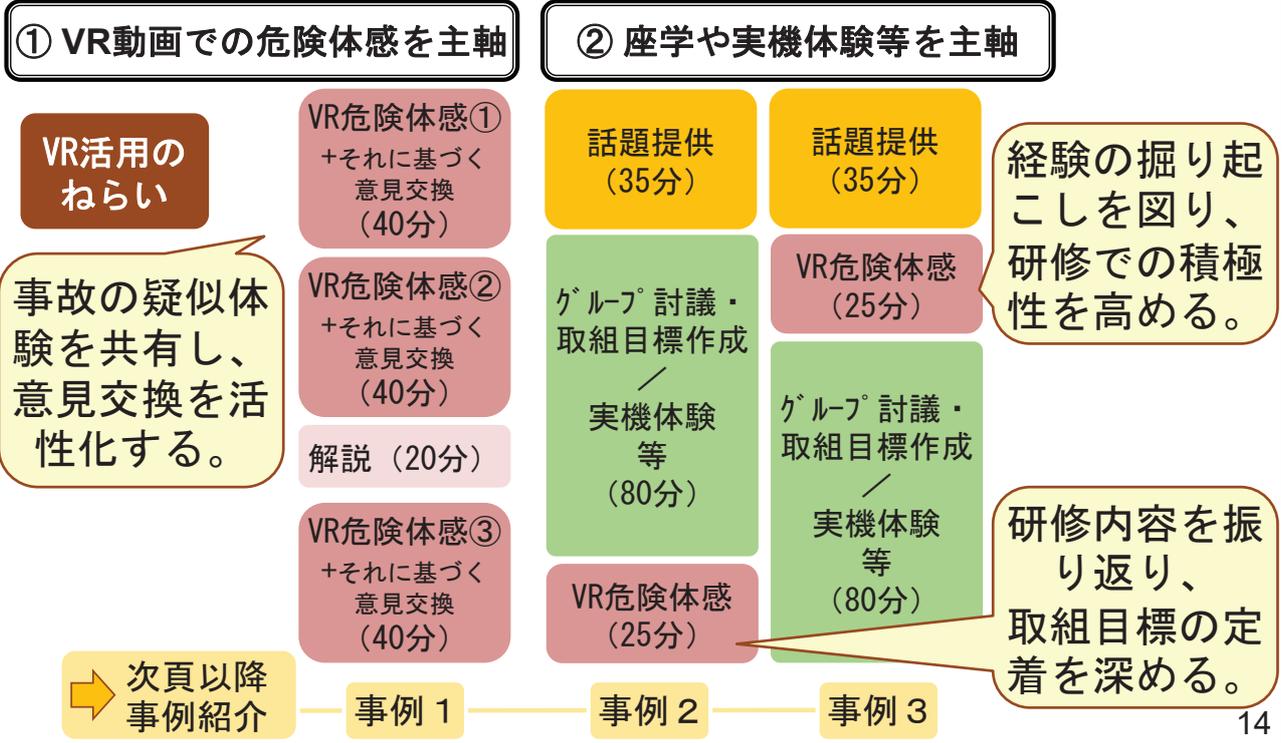
石が噛んでい  
る状態

石が取れて  
植付爪回転

←  
苗載台の  
移動方向



## 研修試行を通して類型化、モデルの提案（※時間は一例）



## 研修試行事例 1 (危険体感VR)

- ・ 学生（農産園芸コース／畜産コース）
- ・ **VR体験と、それに基づく意見交換**
- ・ 新たな気づきの共有を図る

VRはリアルで理解しやすい。

**学生感想**

事故の状況を仮体験することで、何が危険か理解できた。

事故防止への意識が持てた。

経験のない学生にとって理解しやすく、取り組みやすい

**教官の声**

## 研修試行事例 2 (対話型研修 + 危険体感VR)



- ・新規就農者（1～3年程度）
- ・話題提供⇒グループ討議・取組目標作成⇒**VR体験**
- ・研修内容の定着を深める

「対話型研修」との  
組合せによる相乗効果



受講者の声

リアリティがあって良い。

VRを通して悲惨さを痛感した。



若い人は負傷事故が多いと聞いた。VR体感は負傷事故のリアリティが高く、若い人に、より有効だと思う

主催者の声

16

## 研修試行事例 3 (危険体感VR + 対話型研修)



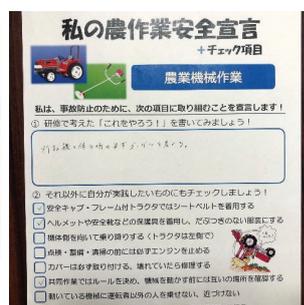
- ・農業法人
- ・話題提供⇒**VR体験**⇒グループ討議・取組目標作成
- ・自分の経験を振り返る



受講者の声

VRでリアルな体験をすることで、実際の作業時に注意が深まる。

若い人が興味を持ってくれて、研修への参加を促しやすかった。

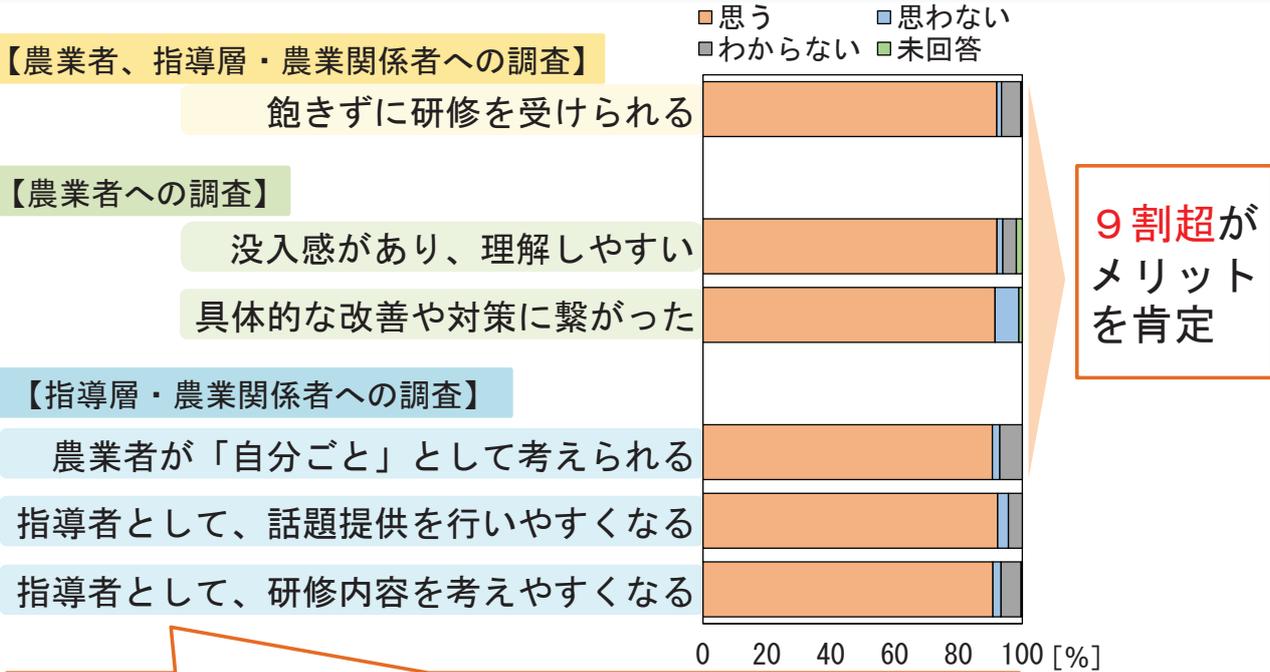


主催者の声

機械作業に慣れていない人も作業をイメージしやすい。

17

# アンケート調査結果（VR活用利点）

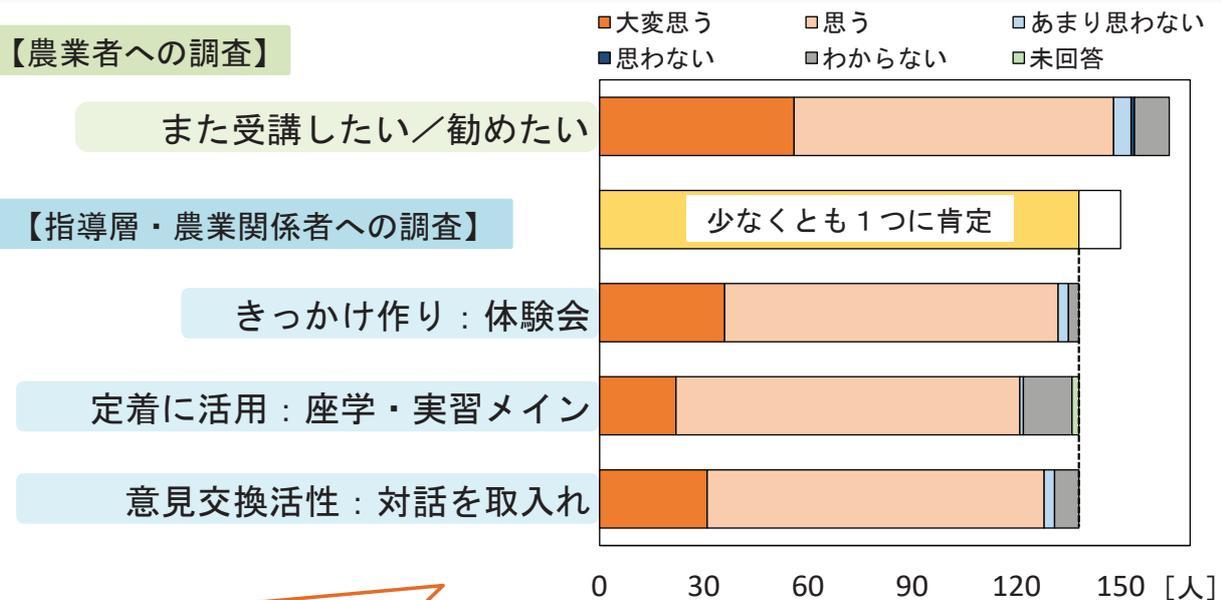


**9割超が  
メリット  
を肯定**

指導者としての活用利点についても、**9割超が肯定**

**VR活用が、より効果的な安全研修を実現**

# アンケート調査結果（受講／開催への意向）



活用方法の例を示すことで、  
**9割超が「研修を開催したい」**

**安全研修の開催・受講増加が期待される**

## 指導担当者へ、VR安全研修実施のノウハウ提供

VR安全研修実施モデル  
↓  
研修企画のイメージ作り

VR動画の活用効果  
↓  
研修時の声掛け・働きかけ

	① VR動画での危険体感を主軸にする形態	② 座学や実機体験等と組み合わせた形態
VR活用 のねらい	事故の疑似体験を共有し、意見交換を活性化する。	・研修内容の理解・定着を深める。 ・経験の振り返りを図り、具体的な改善活動に繋げる。
概要	 <p style="text-align: center;">VR危険体感 意見交換 ※研修時間等に応じて、視聴するVR動画の種類や数を調整 気づきの共有</p>	 <p style="text-align: center;">話題提供 ヒヤリハット事例や安全対策に関するグループ討議・取組目標作成 実機体験等 VR危険体感 ヒヤリハット事例や安全対策に関するグループ討議・取組目標作成 実機体験等 農作業安全宣言</p>

ワークシート等 → 会場設営や研修資料として即利用可能




年度内にJA共済連webにて公開

## まとめと今後の予定

- **まとめ**
- 1) 疑似体感型の農作業安全啓発コンテンツとして、VR動画 **3編**（**農用運搬機・脚立・田植機**）を制作、公開した。
  - 2) VR動画を活用した農作業安全研修実施モデルを提案、モデルの実証事例を10件蓄積。安全研修へのVR活用利点を明らかにした。
  - 3) VR安全研修の実施拡大に向け、VR動画活用マニュアルを作成、**年度内にJA共済連webサイトに公開予定。**

- **今後の予定**
- 1) 都道府県等の指導層によるVR安全研修実施を促進する。
  - 2) VR安全資材に関する開発要望や他産業における技術動向を踏まえ、引き続き、関連研究を実施予定。

## 農作業事故体験VR機器セットは JA共済連にて無償貸出を行っています

### 〈実績〉

R2年度：108件

R3年度：109件

R4年度：163件

R5年度：164件（12月時点）



[https://www.youtube.com/playlist?list=PLNLIASpk0375\\_axZgODjzA500IDV0Jmd](https://www.youtube.com/playlist?list=PLNLIASpk0375_axZgODjzA500IDV0Jmd)

JA共済公式YouTubeチャンネル  
農作業安全啓発動画 公開中



# 農作業アシスト装置による農作業の身体負荷軽減効果の評価手法

システム安全工学研究領域 向霄涵、田中正浩、菊池豊、梅野覚、紺屋秀之、小林慶彦、松本将大

## はじめに

腰部負荷は生体力学において腰椎の安全性を評価するための最も重要な指標である。現在開発されている腰補助用アシスト装置は、主に着用者の腰関節を中心としたモーメントを補助することで、農作業者の腰部負荷を軽減している。しかし、着用者の腰関節を中心としたモーメントを補助する方法は全ての農作業の動作に対応しているとは言えない。アシスト装置の効果が高い農作業を明らかにするためにその性能や効果に対する評価試験方法の確立が望まれてきた。そこで本研究では、三次元生体力学人体骨格筋モデルを開発することで動的アシスト力測定装置から得られたアシスト力による農作業での持ち上げ動作等における腰部負荷の軽減効果を定量的に評価することを可能にする。

## 1. 農作業アシスト装置による身体負荷軽減効果の評価手法の開発

本研究では三次元生体力学に基づく人体の骨格筋モデルを用いた農作業アシスト装置による身体負担軽減効果の評価手法を開発した。具体的には、まず、動的アシスト力測定装置を用いて腰補助用アシスト装置が前後方向に 90° 回転する際のアシスト力を異なる回転速度で連続的に記録し、得られたアシスト力を平滑化し、回転角度と角速度の回帰式として表した。次に、前腕、上腕、頭、肩、胸椎、腰椎、骨盤、大腿、下腿の 13 のセグメントから構成され、各セグメントの位置と外力からセグメント間の関節に作用する力、トルク、L5/S1 椎間板圧縮力を推定する機能を持った三次元生体力学モデルを開発した。さらに、アシスト力、農作業動作、手に生じる外力を三次元生体力学モデルに入力することで、モデルが農作業動作を実行し、発生した腰部トルクからアシスト力が差し引かれ、アシスト装置使用時の腰部トルクや椎間板圧縮力の軽減効果が明らかになった。

## 2. 評価手法の検証

開発したモデルの妥当性を検証するために、Wilke(1999, 2001)が報告した人体の腰部における腰部負荷を実測した値と比較した結果、級内相関係数 $>0.9$ となり、三次元生体力学モデルから推定した腰部負荷は実測値とほぼ一致していることが分かった。

## 3. アシスト装置の負担軽減効果の結果

アシスト装置を使用した場合の椎間板圧縮力は、使用しない場合と比較して有意に下がり、椎間板圧縮力の増加に繋がる体幹前傾角も同様に有意に下がった。供試機の利用により、椎間板圧縮力は回転ありの持ち上げ動作で 8%、回転なしの持ち上げ動作で 12% 下がり、体幹前傾角は回転ありの持ち上げ動作で 6°、回転なしの持ち上げ動作で 7° 下がった。これらの結果から、供試機は効果的に腰痛リスクを軽減させることができると考えられた。

## おわりに

本研究で開発した評価手法は、製品評価だけでなく、人間の体格差や農作業環境などを考慮した農作業専用アシスト装置の設計にも貢献できると考えられる。

# 農作業アシスト装置による農作業の 身体負荷軽減効果の評価手法

農研機構農業機械研究部門  
 システム安全工学研究領域 協調安全システムグループ

向霄涵、田中正浩、菊池豊、  
 梅野覚、紺屋秀之、小林慶彦、松本将大

NARO

※ 農研機構（のうけんきこう）は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。

## アシスト装置

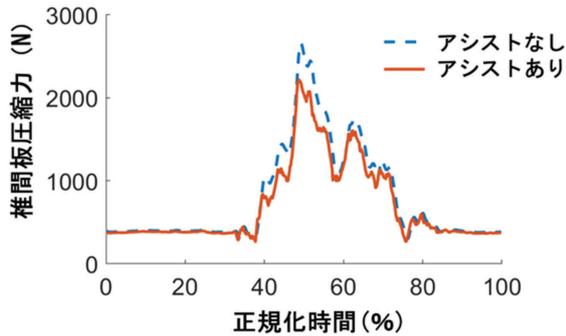


腰の負担軽減を目的とした作業支援（重量物の持ち上げ）が多い  
 アシスト安全規格（ISO13482やJIS B8445）はアクティブが主な対象

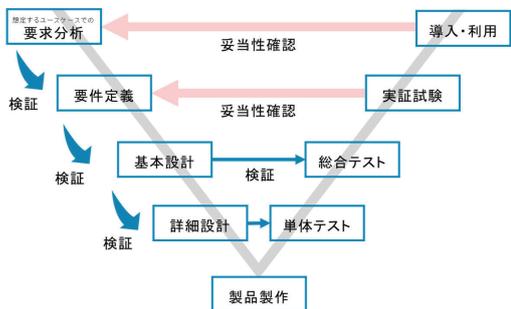
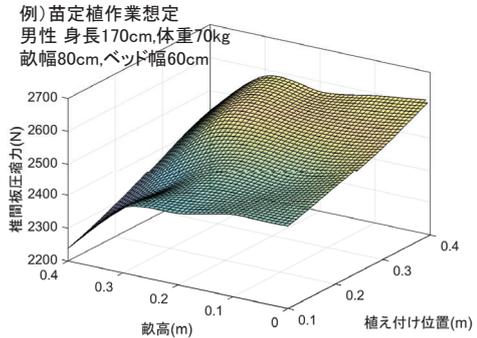
アシスト装置 の分類 ※市販品を分類		形 状	
		外骨格タイプ	サポータータイプ
動力の有無	アクティブ タイプ	HAL®腰タイプ作業支援用 ATOUN MODEL Y マッスルアッパー J-PAS LUMBUS Cray X、Ep+ROBO WIN-1、PAIS-M100 など	Assist Vest など
	パッシブ タイプ	マッスルスーツ Every レイボ エクソスケルトン Way-sist ラクベスト、腕楽つく TASK AR2.0、TasKi マッスルスーツ GS-ARM アルケリスFX など	ラクニエ、スマートスーツLite WORKING POWERSUIT X サポートジャケットBb+ ワークサポートスーツ ルフトベスト、Aero Back DARWING Hakobelude e.z.up® など

# 負荷軽減効果の評価手法を開発することで

## 農作業での負荷軽減効果の評価



## 農作業に必要なアシスト力の設計



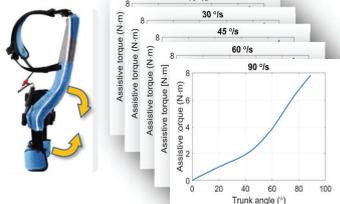
アシスト装置の性能向上のための  
V&V (Verification and Validation)  
による製品開発

# 開発した腰痛リスク評価方法

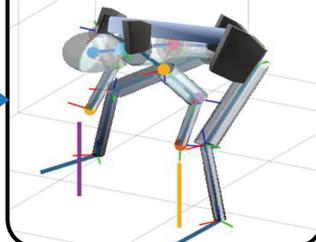
入力: 農作業動作



入力: アシスト力(動トルク)

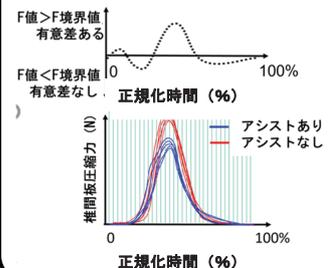


動力学解析



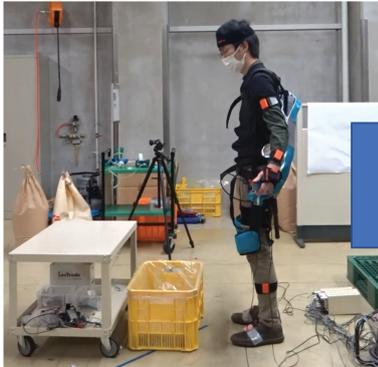
3次元生体力学モデル

出力: 負担軽減効果

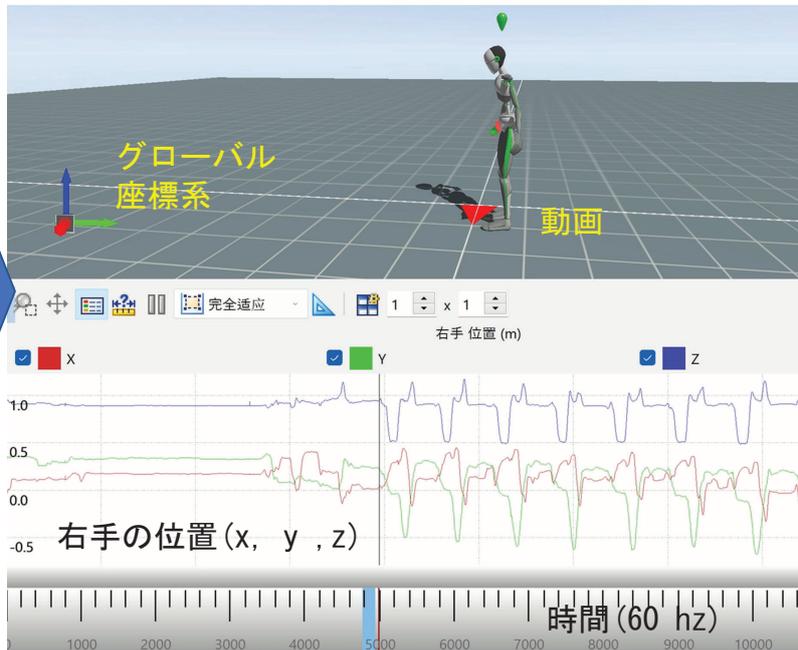


# 入力:農作業動作(持ち上げ)

持ち上げ動作



モーションキャプチャで動作を取得



# 入力:アシスト力(パッシブタイプ)

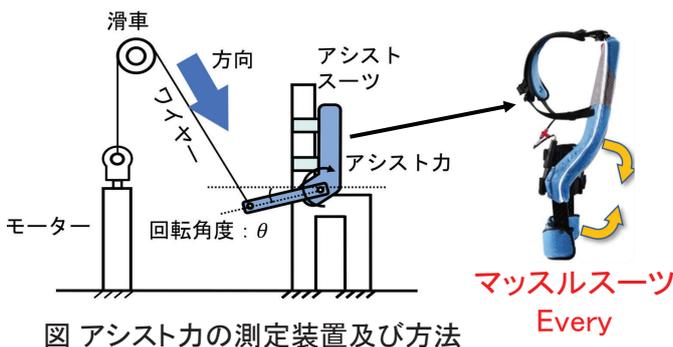
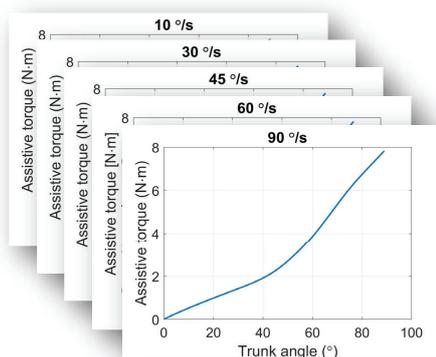


図 アシストカの測定装置及び方法

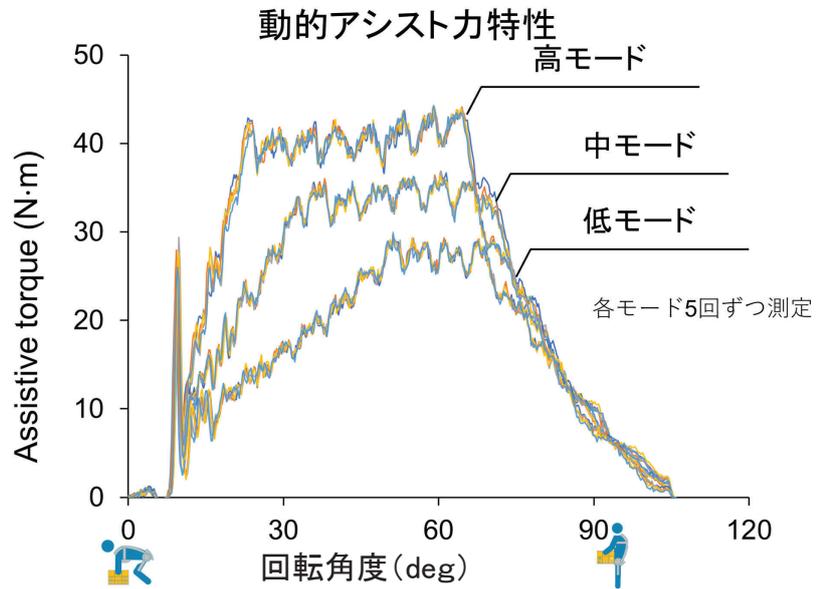
回転速度によるアシスト力を取得した



電動シリンダの速度: 50、150、...450 mm/s

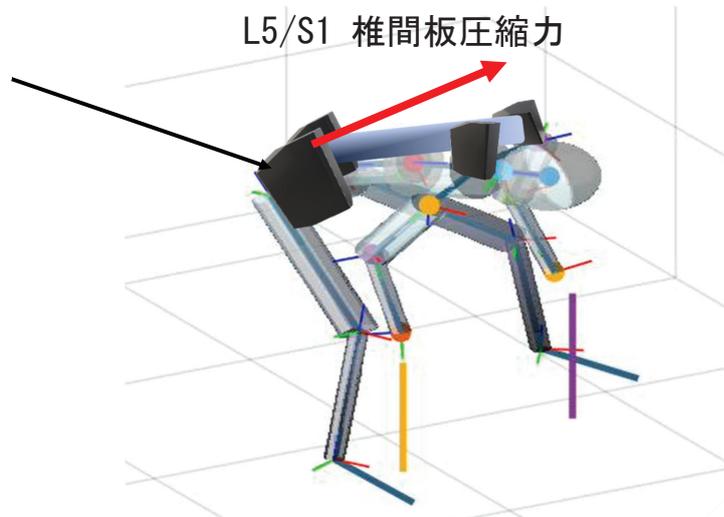
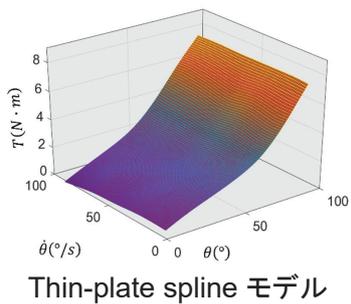


# 入力:アシストカ(アクティブタイプ)



# 動力学解析

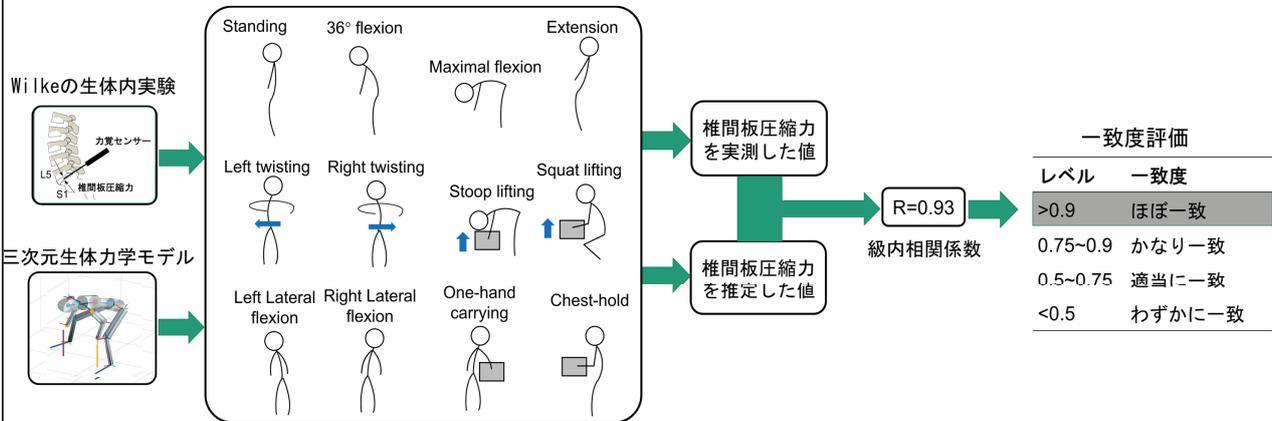
アシストカ =  $f(\text{回転角度、回転角速度})$



三次元生体力学モデル  
農研機構 職務作成プログラム登録済 (機構-Y16)

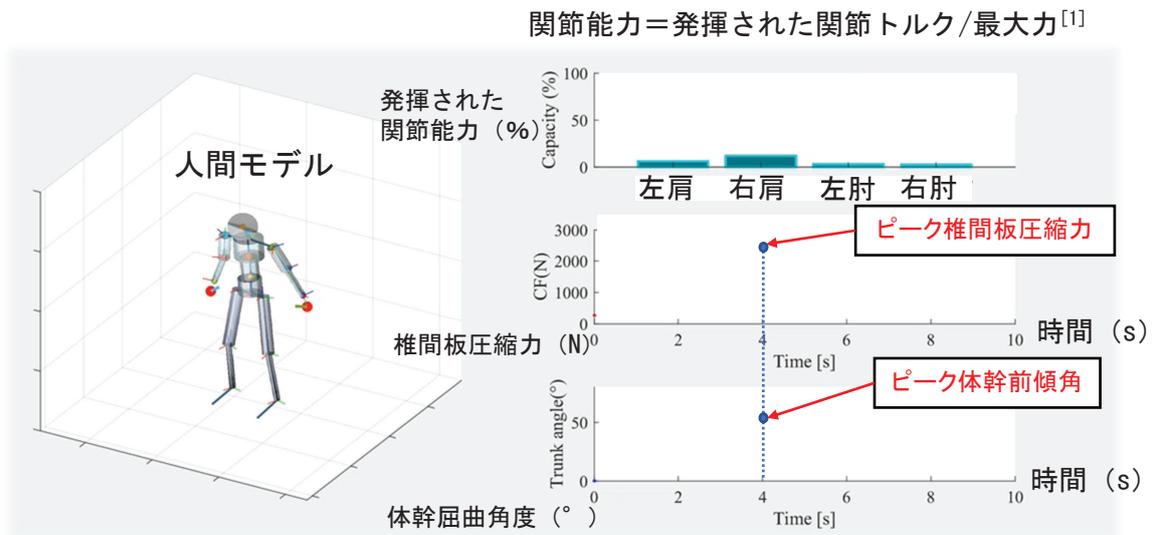
# 三次元生体力学モデルの検証

## 過去の人体実験での実測値と比較



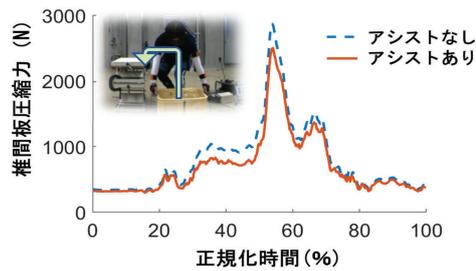
級内相関係数 $R > 0.9$  (L5/S1における椎間板圧縮力の実測値とほぼ一致)。

# 例：持ち上げ模擬作業の分析

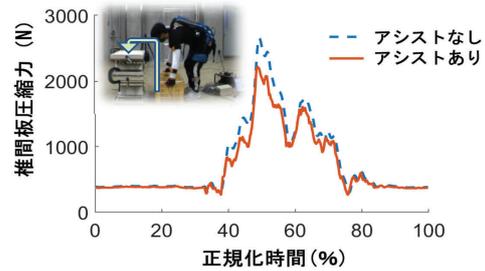


# 出力: 負担軽減効果

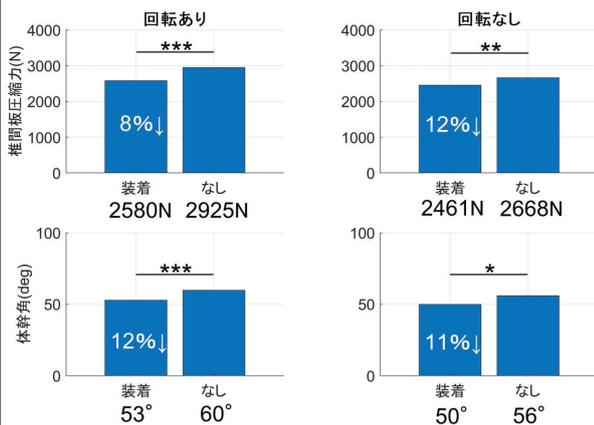
持ち上げ: 回転あり



持ち上げ: 回転なし



持ち上げ模擬作業でのアシスト装置の有無によるL5/S1椎間板圧縮力の比較



ピーク椎間板圧縮力とピーク体幹前傾角の変化 (Mann-Whitney U test, \*\*\*  $p < .005$ , \*\*  $p < .01$ , \*  $p < .05$ )

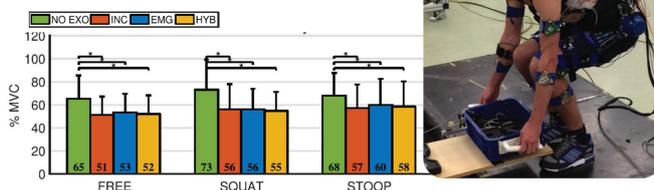
### 結果

- アシスト装置を使用した場合の椎間板圧縮力と体幹角は、使用しない場合と比較して有意に下がった
- 体幹角  $> 25^\circ$  にアシスト装置を使用した場合の椎間板圧縮力の軽減効果 ( $p < .05$ ) があった。

10

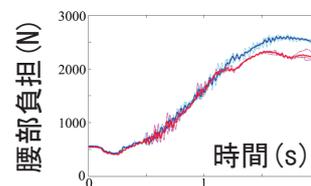
# これまでの評価方法と比較して

## 筋電図



(Koopman et al., 2019)

## ロボット



(Nabeshima et al., 2018)

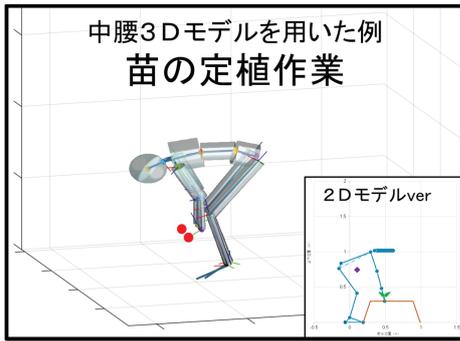
### メリット

開発した評価方法: 実測値と生体力学解析の組み合わせによる評価



- 個人差が少ない (筋電図と比較して)
- 低コスト (ロボットと比較して)
- 複雑な動きが再現可能 (ロボットと比較して)

11



rakunie



## アシスト装置の基本構造

体に装着した弾性材(ゴムやバネ)、モーター、人工筋肉の収縮力(N)や回転力(N・m)により、人間の筋の収縮力や関節トルクを代替する

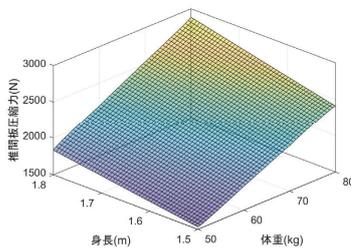
定植作業での中腰補助に必要なとなるアシスト力

→収縮力(N)や回転力(N・m)算出

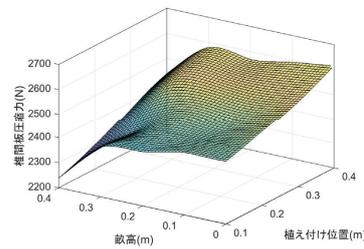
<https://www.morita119.com/study/rakunie/>

人間の体格差による必要アシスト力の変化を考慮した製品設計が可能に

作業環境によって同じ人間でも必要な可動範囲やアシスト角度は異なる



type Low(150cm65kg< - 180cm50kg<)  
type Middle(150cm65~80kg - 180cm50~65kg)  
type High(150cm80kg> - 180cm65kg>)



環境に適合する可動範囲やアシスト角度範囲の設計  
製品が得意とする作業環境の提案

12

## まとめ

腰補助用農作業アシスト装置の開発支援を目的として、椎間板圧縮力を推定できる手法を開発した。パッシュタイプアシスト装置を供試して持ち上げ動作時の椎間板圧縮力を推定したところ、椎間板圧縮力軽減効果された。本評価手法を構成する動的アシスト力測定装置と三次元生体力学モデルの精度や再現性は高く、アシスト装置による腰部負担の軽減効果を十分に評価することができると思われる。

13

### 本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製（コピー）することを禁じます。  
転載・複製に当たっては、下記までお問い合わせください。

問い合わせ先：

農業機械研究部門 研究推進部 研究推進室（広報チーム）

メール：iam-koho@ml.affrc.go.jp

電話：048-654-7030

FAX：048-654-7130

令和5年度 農業機械研究部門研究報告会

---

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
農業機械研究部門

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町1-40-2

---

令和6年3月7日発行

