

令和7年度
事業報告

令和8年3月

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

目 次

I 研究業務

(以下、原則として 2025 年度で完了する課題を記載)

1. 機械化連携推進部

連携－1 機械化連携推進室

- 連携－1－1 高湿材適応コンバインの開発…………… 4
- 連携－1－2 ほ場栽培データと乾燥調製データを統合したデータ駆動型
水稲作の実証…………… 6
- 連携－1－3 土塊・石礫除去装置付きポテトハーベスタの開発…………… 8
- 連携－1－4 現場改善による農作業安全の実証研究…………… 10

2. 安全検査部

検査－1 安全評価グループ

3. 知能化農機研究領域

知能化－1 国際標準・土地利用型作業グループ

- 知能化－31－1 国際標準規格に基づく制御通信技術の開発
 - －国際標準規格への提案に向けた TIM-ECU の開発…………… 16
- 知能化－31－2 国際飼料データベースサイト構築ツールの開発…………… 18
- 知能化－31－3 省力的均平作業技術の開発・実証…………… 20
- 知能化－31－4 AI とマシンビジョンを統合した作業機交換の自動化技術 …… 22

知能化－2 施設園芸生産システムグループ

- 知能化－32－1 果菜類成育情報診断システムによる労務管理の最適化
 - －ドローンを活用したイチゴの作物計測・栽培管理支援技術
の開発…………… 24
- 知能化－32－2 成育モニタリング情報を利用した収量予測システムの開発 …… 26
- 知能化－32－3 施設園芸用マルチタスクロボット実現に向けた下葉取り
ロボットの開発…………… 28

4. 無人化農作業研究領域

無人化－1 小型電動ロボット技術グループ

無人化－41－1	送風受粉等の施設内省力的栽培管理技術の研究開発	32
無人化－41－2	栽培管理の省力化と効率化につながる生体観測技術の開発	34
無人化－41－3	農業用自律作業台車等に搭載する AI を利用したスポット散布システムの開発	36

無人化－2 革新的作業機構開発グループ

無人化－42－1	籾殻燃焼灰の微細粒分離技術の開発	38
無人化－42－2	穀物の高速乾燥技術の開発	40
無人化－42－3	飼料収穫機用粉砕機の開発	42
無人化－42－4	乳牛 BCS 推定技術の精度向上と自動化の検討	44

5. システム安全工学研究領域

安全－1 予防安全システムグループ

安全－51－1	農作業安全関連研究開発及び情報発信に向けた農作業事故詳細調査・分析	48
安全－51－2	VR を活用した危険体感型農作業安全教育資材の高度化に向けた研究	50
安全－51－3	トラクタ用 ROPS のバーチャルテスト手法の検証及びマウント部モデルの開発	52
安全－51－4	シミュレーションを活用した農用トラクタの安全性評価 ートラクタの重大事故抑止のためのドライビングシミュレータ及び安全啓発コンテンツの開発	54

安全－2 協調安全システムグループ

安全－52－1	スマート農業技術（アシストスーツ）の国際標準化	56
安全－52－2	遠隔監視型ロボット農機の安全機能評価試験方法に関する研究	58
安全－52－3	農業機械作業時における危険状態に応じた協調安全技術の開発 ーコンバインへ接近する作業者の状態に応じた協調安全技術	60
安全－52－4	農業機械作業時における危険状態に応じた協調安全技術の開発 ーポテトハーベスタでの巻き込まれ事故に対応した協調安全技術	62

安全-52-5	農業運搬ロボットの協調安全システムに関する基礎的研究	64
安全-52-6	農作業現場における身体障害を評価するための人体デジタルツインの開発	66

II 安全性検査等業務

1.	安全性検査	70
2.	一般性能試験	75
3.	OECDテスト	76
4.	農耕作業用自動車等機能確認	76

III 試作工場、附属農場の運営

1.	試作工場	78
2.	附属農場	80

I 研究業務

1. 機械化連携推進部

課題分類：5（1）、12（1）

課題 I D：20902-2-29

研究課題：高湿材適応コンバインの開発

担当部署：農機研・機械化連携推進部・機械化連携推進室、無人化農作業研究領域・革新的作業機構
開発グループ

協力分担：井関農機(株)、宮崎大学、岩手農研セ、JATAFF

予算区分：クラスター

研究期間：完 2023～2025 年度（令和 5～7 年度）

1. 目的

夜露等の影響を受けた高水分穀物の収穫に関して、高い適応性を備えた高湿材適応コンバインを開発する。

2. 方法

- 1) 6条刈り収量コンバインをほ場試験に供試し、新たな作業モード（車速制御）に必要な閾値の境界式を明らかにし、境界式を用いた車速制御のアルゴリズムを考案した。考案した車速制御アルゴリズムを実装した6条刈り収量コンバイン（以下、「試作機」という（図1）。）の車速制御を行うための操作工程は図2の通りとした。この試作機をほ場試験（精度試験）に供試し、雨上がり直後や夜露等の露が付着した水稻に対する適応性について確認するため、穀粒口流量、穀粒水分、脱穀選別損失（排塵口損失）、穀粒品質（脱ぶ・損傷粒割合）について調査した。（2023～2024年度）
- 2) 試作機をほ場試験（能率試験）に供試し、雨上がり直後や夜露等の露が付着した水稻に対する適応性について確認するため、作業時間、ほ場作業量、燃費等について調査した。（2024～2025年度）
- 3) 滞留防止装置の仕様書を作成し、滞留防止装置を試作するとともに、試作機に実装した（図1）。次に、ほ場試験に供試し、滞留防止装置の効果について調査した。（2023～2025年度）

3. 成果の概要

- 1) 試作機を精度試験に供試し、車速制御ありと車速制御なしの場合について調査した結果、雨上がり直後や朝露等の露が付着した穀粒水分が25%以上の高水分水稻を収穫した場合でも、新たな作業モード（車速制御）を利用した場合では、利用しない場合と比較して、脱穀選別損失（排塵口損失）及び脱ぶ・損傷粒割合が低減することが明らかとなった（表）。脱穀選別損失（排塵口損失）については65.6%低減可能であり、プロジェクトの基本目標（脱穀選別損失を約5割程度低減）を達成することができた。
- 2) 試作機を能率試験に供試し、「①朝露あり＋制御あり」と「②朝露なし＋制御なし」の場合について調査した結果、ほ場作業量は、①では29.1a/h、②では63.9a/h、燃料消費量は、①では3.29L/10a、②では2.44L/10aであった。能率試験の実測値及び穀粒水分の日内変化の実測値から1日当たりの作業可能面積について試算を行った結果、新たな作業モード（車速制御）を利用した場合では、利用しない場合と比較して、1日当たりの作業可能面積を30.3%拡大可能であることが示され（図3）、プロジェクトの基本目標（1日当たりの作業可能面積を3割以上拡大）を達成することができた。
- 3) 試作機に実装した滞留防止装置に関しては、穀粒水分が25%以上の高水分条件下であってもグレンタンクにおける滞留は発生しなかったため、グレンタンクに新たに実装した滞留防止装置を稼働させる必要はなかった。これはコンバインの標準装備である滞留防止装置（振動式）の効果が十分にあるためと考えられた。一方、揺動選別機構については、穀粒水分が25%以上の高水分条件下でほ場試験を行った結果、揺動選別機構のグレンパンにおける機内残重量を約35～40%低減可能であったため、装置の効果を確認することができた。

以上、夜露等の影響を受けた高水分穀物の収穫に関して、高い適応性を備えた高湿材適応コンバインを開発するとともに、プロジェクトの目標（脱穀選別損失を約5割程度低減、1日当たりの作業可能面積を3割以上拡大）を達成することができた。

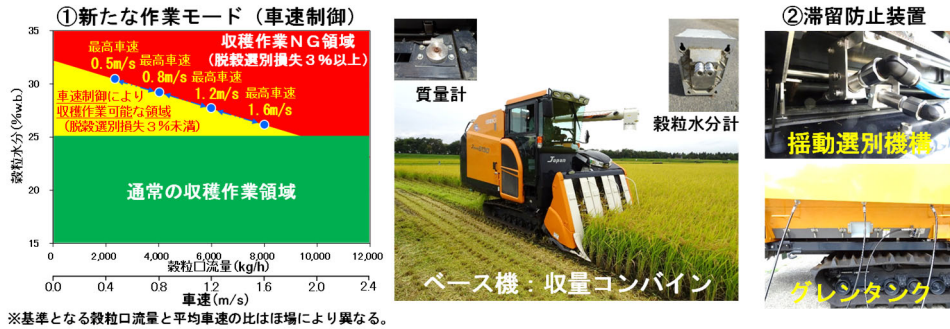


図1 試作機の概要



図2 車速制御を行うための操作工程(①~③)

表 試作機によるほ場試験結果(宮崎、岩手、埼玉)

試験地	精度試験条件*			新たな作業モード(車速制御)								脱穀選別損失(排出口損失)の低減割合(%)	
	試験日	品種	取収量(kg/10a)	車速制御あり(HST最速)				車速制御なし(HST最速)					
				穀粒水分(%)	本試験区間作業速度(m/s)	排出口損失(%)	脱ぶ・損傷粒割合(%)	穀粒水分(%)	本試験区間作業速度(m/s)	排出口損失(%)	脱ぶ・損傷粒割合(%)		
宮崎	7/26	コシヒカリ	805	有(降雨直後)	28.6	0.83	1.49	0.42	28.8	2.14	1.00	0.85	
岩手	9/26 ~ 9/27	銀河のしずく	607	有(晴)	28.6	1.32	2.01	0.24	29.3	1.84	3.81	0.78	
					29.1	0.77	1.99	0.22	28.7	2.00	3.07	0.35	
					26.7	1.81	1.33	0.09	25.4	2.05	1.42	0.15	
					30.0	0.47	1.97	0.17	28.5	2.05	2.74	0.18	
					29.8	0.30	2.14	0.32	29.8	2.03	7.44	0.61	
					29.0	0.56	2.26	0.24	29.5	1.95	11.00	0.42	
埼玉	10/18	影のかがやき	504	有(降雨直後)	25.8	0.58	0.65	0.08	29.7	2.04	13.57	0.66	
					29.6	0.94	4.31	0.10	30.1	1.91	10.23	0.35	
					29.4	0.92	3.84	0.16	30.8	1.93	10.80	0.19	
					30.1	0.91	2.96	0.10	30.6	1.91	9.66	0.27	
					29.3	1.00	1.49	0.08	28.2	1.85	5.84	0.20	
					26.7	1.06	1.45	0.14	28.0	2.02	3.70	0.27	
全試験地平均					28.5	0.88	2.15 ^a	0.18 ^o	29.0	1.97	6.24 ^b	0.41 ^d	65.6

※供試機:1社製取収量コンバインHJ6130(刈取条数:6条、エンジン出力:95.6kW(130ps))、こぎ深さ設定:標準、送塵弁設定:標準、チャフシープ設定:標準、助走区間:45m、本試験区間:5m
 ※t検定により、aとbは1%以下の水準で有意差あり。oとdは1%以下の水準で有意差あり。

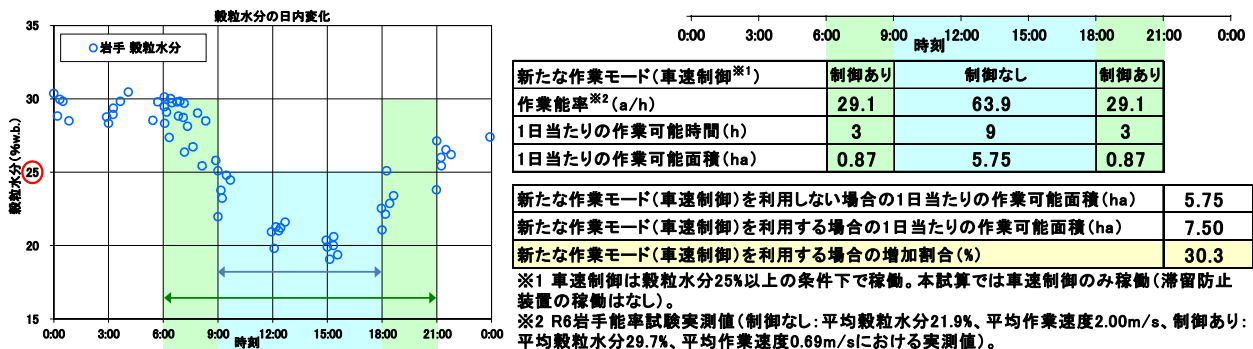


図3 試作機による1日当たりの作業可能面積の試算(実測値)

4. 成果の活用面と留意点

- 1) 高湿材適応コンバインの社会実装に関しては、2026年度に井関農機(株)が実用化する予定である。
- 2) 基準となる穀粒口流量と平均車速の比は、ほ場毎に取得する必要がある。降雨条件下等の穀粒水分が32%を超えるような過度に高い条件下では、収穫作業を行わないよう留意する必要がある。

5. 残された問題とその対応

今後、必要に応じて現地実証を行い、乾燥機とのマッチング等について、データを取得する。

課題分類：5（1）

課題 ID：20902-2-30

研究課題：ほ場栽培データと乾燥調製データを統合したデータ駆動型水稻作の実証

担当部署：農機研・機械化連携推進部・機械化連携推進室

協力分担：中農研、(株)サタケ、(有)穂海農耕

予算区分：クラスター

研究期間：完 2023～2025 年度（令和 5～7 年度）

1. 目的

データ駆動型の水稲作の普及を進めるためには、生産者の意思決定の支援に資するデータの種類を精査・特定するとともに、プレ・ポストハーベストデータの紐づけおよびデータの可視化等既存システムの機能改善、不足するデータの効率的かつ汎用的な取得技術の開発を行い、機械・機器や生産者の規模等に依存しない幅広い普及に繋げる必要がある。

そこで、ほ場にて得られた作付情報や収穫情報等のプレハーベストデータ、およびスマートライスセンター（スマート RC）等のポストハーベスト工程で得られたデータをもとに、収量や品質等が低いほ場を特定し、低収量等の要因を分析等することで、その改善に向けた生産者の意思決定を支援する手法を構築する。また、既存システムの機能改善や標準化、追加データの効率的な取得技術の開発等を行うことにより、広範に普及させることを目指す。

2. 方法

- 1) ほ場および RC での取得データの精査・特定により、生産者による栽培管理の意思決定を支援する手法を検討し、支援手法をマニュアル等として示す。（2023～2025 年度）
- 2) 追加データの効率的な取得技術について検討し、現地において実証する。（2023～2025 年度）
- 3) RC の既存システムの機能改善等について検討し実施する。（2023～2025 年度）
- 4) 支援手法が営農管理システムに統合利用されることを想定して API 標準仕様案を策定し（2023～2024 年度）、現地実証により仕様案の見直し等を行う。（2024～2025 年度）
- 5) ほ場および RC での各種作業データの取得を実施する。（2023～2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) 生産者による栽培管理の意思決定を支援する手法の確立：プレ・ポストハーベストデータをもとに、収量や品質などが低いほ場を特定し、それらの要因を分析して、栽培管理の改善に向けた生産者の意思決定を支援する「見える化ツール」（図 1）を作成するとともに、具体的な使い方を説明した「見える化ツール」の手引き（図 2）を作成した。見える化により栽培管理の改善を行った結果、収量の低いほ場が減るとともに、ほ場ごとの収量のバラツキが小さくなり、全体での収量が増加したことで、見える化による改善の効果を確認することができた（図 3）。実証生産者のもとでの「見える化ツール」の使用では、データを集約して見える化するまでの作業時間を従来比約 8 割削減でき、有用であるという評価を得た。
 - 2) 追加データの効率的な取得技術の開発：無線式トラックスケールによる荷受収の計量により、計量誤差 5% 以内で簡易かつ効率的な荷受収の計量が行えることを明らかにした。
 - 3) 既存システムの機能改善：スマート RC システムのシステム改善を実施し、積算温度や日照時間等の自動集計機能、生産者によるデータ出力機能等を実装し、実証生産者から収穫時期の判断等に有用であるとの評価を得た。
 - 4) 支援手法に必要な乾燥調製データの標準化：乾燥調製施設の調査等を通じて、優先的に取り組むべき乾燥調製データを絞り込み、そのデータを包含した荷受データ提供用の API 仕様を策定した。また、現地実証により荷受計量データの計測、クラウドへの保存、API 提供を行う一連のデータ収集システムを試作し、プレ・ポストハーベストのデータ連携の検証を行った結果、自動化の適切性を確認するとともに改善点を抽出した。
 - 5) ほ場および RC での各種作業データの取得：作期を通して、実施した作業および使用した資機材等のプレハーベストデータをアグリノートに、収穫後のポストハーベストデータを kintone にそれぞれ記録した。
- 以上、主に「見える化ツール」およびツールの使い方を説明した手引きを作成し、実証生産者のデータ整理に要する作業時間を 8 割削減できた。

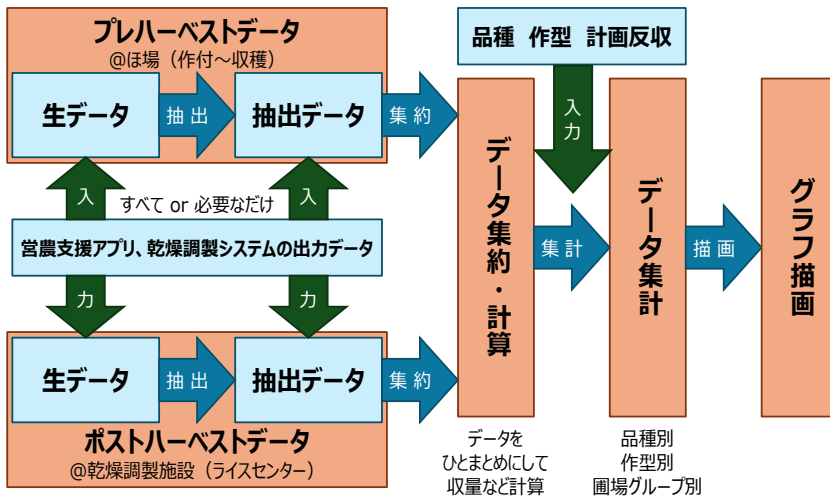


図1 「見える化ツール」のフローチャート

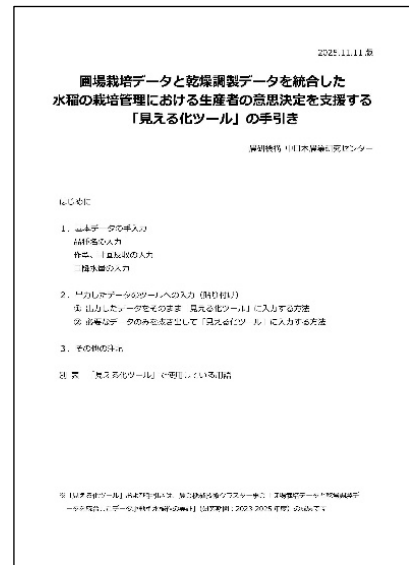


図2 手引きの表紙イメージ

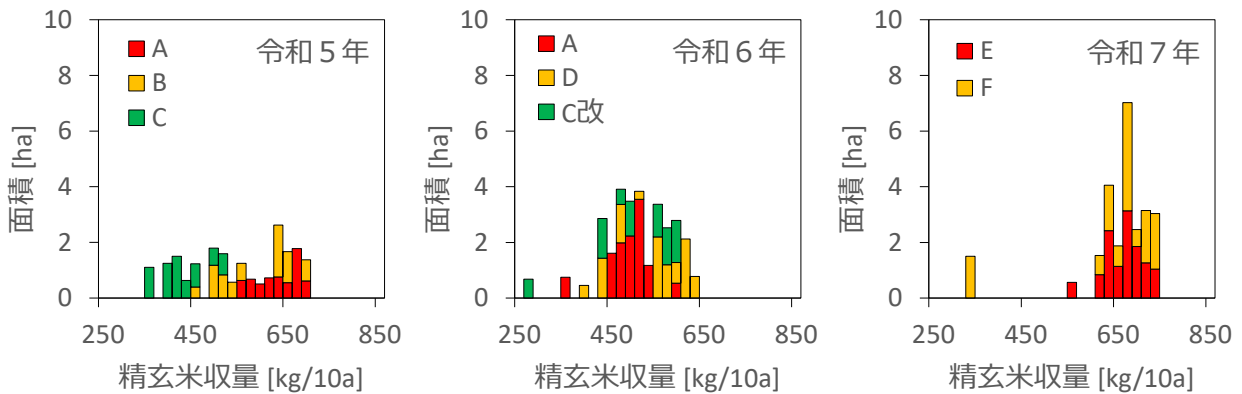


図3 「にじのきらめき」の精玄米重量の年度比較

4. 成果の活用面と留意点

「見える化ツール」を農研機構職務作成プログラムに登録 (2026. 2)。「見える化ツール」は、2026 年に 5 軒の生産者のもとで試用を実施予定であり、その試用による動作検証結果等をもとに不具合の修正や機能改善を行った後、全国の生産者に展開する。スマート RC システムについては、(株)サタケが「KOMECT」(生産者向け)として、2025 年 4 月 1 日よりサービス開始した。

5. 残された問題とその対応

なし。

課題分類：5（2）、12（2）

課題 ID：20902-2-103

研究課題：土塊・石礫除去装置付きポテトハーベスタの開発

担当部署：農機研・機械化連携推進部・機械化連携推進室

協力分担：北農研、東洋農機(株)、JA 鹿追町、十勝農協連、ロボ研

予算区分：クラスター

研究期間：完 2023～2025 年度（令和 5～7 年度）

1. 目的

北海道のバレイショの投下労働時間は約 11.5h/10a で、そのほぼ半分の 5.7h が収穫作業時間である。バレイショの作付面積減少を抑えるには、収穫作業の高能率化と、機上選別要員を減らす収穫機の開発が急務である。

そこで、土塊や礫を除去する装置を搭載したポテトハーベスタを開発する。

2. 方法

- 1) AI 検知部(センシング・制御ソフトウェアの開発)については、システム機材の変更(高性能化)やプログラムの改良等を行いながら、定置試験や圃場試験等にてその効果等を確認して、性能の向上を図った。除去システムや試作 AI ポテトハーベスタについても、試験結果を踏まえて、コンベヤの幅拡大や速度向上、フラップの数・形状・レイアウト変更を行った。(2023～2025 年度)
- 2) 多様な地域(土壌)・品種等に対し、教師画像を JA と協力して各地から収集し、アノテーション作業等を行った。実際の収穫で労働人数を含めた体系試験を行い、実用性を評価するとともに、導入後の経済効果や普及効果を評価した。(2023～2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) AI 検知部と土塊・石礫除去部で構成されるシステムを構築し、圃場試験にて課題等を確認した。AI 検知部の処理速度やフラップの動作タイミングに課題が見つかったことから、AI 検知部機材の更新(高性能化)やプログラムの処理の分散管理、PLC 内でのタイミング調整などを行い、安定稼働を実現した(図 1)。バレイショの誤認識割合を低減し、ハーベスタの作業速度を上げた場合にも対応するため、除去部のレイアウト調整やコンベヤ幅を拡大し(図 2)、AI 検知部のプログラム処理の並列・高速化やタイミング調整もを行い、性能を向上させた。これらにより圃場での実証試験で、最終年度には 2 km/h での夾雑物の除去率は約 8 割で誤選別率は 0.3%と目標値(除去率 6 割以上・誤選別 1%未満)を達成し、さらに作業機速度が 4 km/h まで同等の性能であった(表 2)。併せて学習モデルについても、追加学習を繰り返すことによって多様な条件(土壌、品種、土の状態など)に対応し、AI 検知部での各認識率が非常に改善された。
- 2) 教師画像については、合計 7 農場で約 10 種類の土壌と 12 品種の教師画像を数十日分収集し(表 1)、数十万個以上のバレイショ及び夾雑物のアノテーション処理を実現した。また経済効果のシミュレーションについては、精度が向上して、土塊・石礫等を除去する人員が 2 名配置されていたのが削減でき、選別要員が 4～5 名が 2～3 名、約 40～50%削減になること、速度も収量によるが、平年の収量では 3 km/h で可能である事が実証出来、現状の速度が平均 2 km/h である事から、1.5 倍程度になる。このことから、労働時間としては 50～59%削減される。また、バレイショの栽培面積は 1.5 倍以上になり、所得の拡大が見込まれる。

以上、AI ポテトハーベスタを開発・性能を向上させ、複数の品種や土壌条件に対応した学習モデルを作成でき、圃場試験において目標性能を達成した。

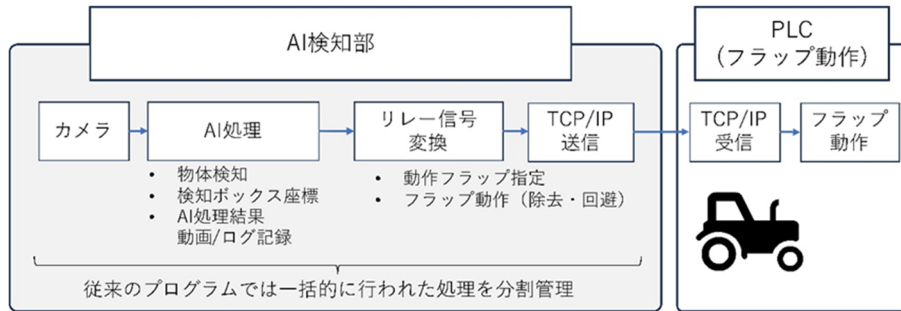


図1 AI 検知部と PLC の連携の概要

表 1 教師画像収集

土壌	品種
褐色低地土、アロフェン質黒ボク土	男爵、トヨシロ、きたひめ、スノーデン
礫質下層低地アロフェン質黒ボク土	トヨシロ、ハロームーン、きたひめ
細粒質腐植質褐色低地土	ワセシロ、トヨシロ
典型下層台地多湿黒ボク土	さやか
褐色低地土、黒ボク土	メイクイン、スノーマーチ
褐色低地土、黒ボク土	きたひめ、メイクイン、コナヒメ
褐色低地土、灰色低地土	キタアカリ、ホッカイコガネ、コナヒメ

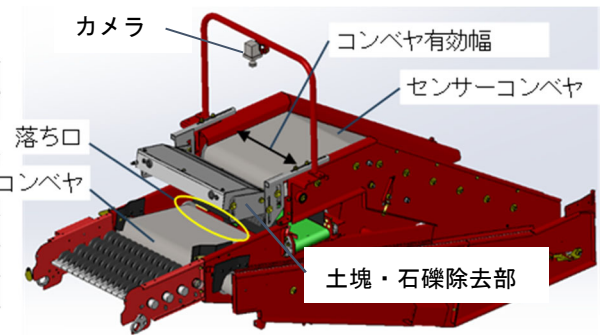


図2 コンベヤ部概略図

表 2 圃場試験結果

試験 年月日	品種 (土壌分類)	作業機速度 (km/h)	石コンベヤ				メインタンク			圃場状態	
			土塊	石礫	合計	誤選別	除去ミス	塊茎	夾雑物		
			除去率	誤選別	除去ミス	塊茎	土塊	石礫	合計	kg/10a	kg/10a
2023 10/12	トヨシロ (黒ボク土)	1	22%	18%	19%	1.4%	11%	45%	45%	3133	1929
2024 9/11	トヨシロ (黒ボク土)	1	82%	87%	85%	0.4%	2%	8%	6%	4647	775
		2	73%	74%	74%	1.9%	0%	14%	13%	5160	946
2024 10/1	スノーデン (褐色低地土)	2	87%	100%	88%	3.0%	3%	0%	3%	3951	190
		3	79%	84%	79%	3.4%	4%	0%	3%	5371	403
2025 8/28-29	男爵 (黒ボク土)	2	84%	100%	85%	0.3%	0%	0%	0%	4206	103
		3	74%	100%	74%	0.2%	4%	0%	4%	3835	214
		4	82%	100%	82%	0.3%	1%	0%	1%	4507	200
2025 9/17	きたひめ (褐色低地土)	3	71%	69%	69%	0.6%	0%	9%	8%	4572	514
目標値		2	6割以上		1%未満		%は重量割合				

※除去ミスはメインタンクに混入した土塊、石礫の割合

4. 成果の活用面と留意点

2026年にマイコン化・レイアウト改善・除去装置改良、2027年にモニター試験、2028年に限定販売開始。販売価格は、現在販売しているオフセットポテトハーベスタ TOP1e の価格にプラス 300 万円程度を想定している。論文 3 件、特許出願 4 件。第 35 回国際農業機械展 (2023. 7) にて展示。

5. 残された問題とその対応

アノテーション作業及び学習モデル作成等の、メーカーへの技術移転を行う。市販化にはコストダウン・耐久性の向上・損傷軽減などが必要、新たな事業を利用して開発を進める予定。

課題分類：11（9）

課題 I D：20903-1-05

研究課題：現場改善による農作業安全の実証研究

担当部署：農機研・機械化連携推進部・機械化連携推進室、安全検査部・安全評価グループ、システム安全工学研究領域・予防安全システムグループ

協力分担：(一社)日本労働安全衛生コンサルタント会、宇都宮大学、JATAFF

予算区分：クラスター

研究期間：完 2022～2024～2025 年度（令和 4～6～7 年度）

1. 目的

農業生産法人では、雇用する従業員の労働安全を確保するためのルールや作業手順、事故発生時の報告書等を作成する他、危険箇所の洗い出しに取り組んでいる法人もあるが、軽度の負傷事故やヒヤリハットが後を絶たない場合や、重大事故が発生している場合もある。また、ルールや作業手順が励行されていない場合や、その内容が不十分であるようなケースも見られる。さらに、危険箇所の改修への資金投入がためらわれ、従業員への注意喚起にとどまらざるを得ないことから、注意事項が増えて作業効率が低下しがちなケースも見られる。そこで、法人経営のモデル農場に対して専門家の指導に基づいた安全管理体制、関係書類、リスクアセスメント（以下、RA）の適切化を図り、取組の前後における事故発生リスクの低減効果および経営に与える影響を明らかにする。

2. 方法

- 1) モデル農場（表 1）で労働安全衛生上の問題点を抽出し、農場職員（以下、職員）を対象に、その認知度と安全上・業務遂行上・作業の快適性の重要度の高さをアンケート調査した。認知度及び重要度が高い項目及び職員への聞き取り調査も参考に、現場改善を試みた。（2022～2024 年度）
- 2) 作業方法や環境等の改善に繋がるよう、職員に対して 5S、危険予知訓練、RA、刈払機の安全な使い方等をテーマに研修を計 6 回行った。また、作業手順書作成に向けて、座学と実習による研修を行った。対象作業は農場内で物損事故が発生したスライドモータ作業、事故リスクの高い刈払機作業とし、実現性が高くなるよう職員と検討した上で、作業手順書を作成した。（2023～2025 年度）
- 3) 安全対策への取組みに対する意識変化等について、モデル農場とその系列農場の職員にアンケート調査を行った。また、各安全対策の実施前後におけるリスクを見積るとともに、リスクが高かった危険源を対象として、安全対策を施さない場合に事故に至ると仮定した際の損害額及び安全対策による生産性向上等の副次的効果を算出し、安全対策の費用対効果を明らかにした。（2025 年度）

3. 成果の概要

- 1) 現場ではリスクが高い状態の機械類や、経年劣化が著しい通路等が確認された。これらに対して職員の認知度が高かった項目及び職員への聞き取りの結果により、安全対策を実施した。
- 2) 研修後は整理整頓が行われ、保護具の着用やトラクタ作業でのシートベルトの着用がルール化された。基本ルールとイラストを用いた作業手順書の他、点検リスト、教育実施の記録簿、作業指示書、報告書、服装・携行品リストを作成し、作業前に作業指示書を作業者に手渡すこととした。
- 3) アンケートの結果、他の農場と比較して安全対策の重要性への認識は高かったが、現在の労働環境への満足度は低く、さらなる改善が必要と考えられた（表 2）。現場改善により、危害シナリオの発生リスクはいずれも低下した。さらに、対策不要レベルまで低減するには、選果場のフォークリフト作業では作業手順書の整備等、刈払機及びスライドモータ作業では危険な作業環境の改善等が必要と考えられた。職員の満足度も全ての安全対策について肯定的な反応が得られた（表 3）。選果場床の改善の費用対効果は、死亡事故の発生リスクを抑えたことにより対策費用に対して大きな効果が試算された。ハウス間通路の改善では、重量物運搬作業での効率化の影響も大きく、刈払機作業の改善も費用対効果は 1 を上回り、安全対策が経営上プラスに働くことが示唆された（表 4）。以上、モデル農場を対象に現場改善を行うとともに、改善がリスク及び経営に与える効果を試算した。

2. 安全検査部

3. 知能化農機研究領域

課題分類：12（9）

課題 I D：20901-1-04

研究課題：国際標準規格に基づく制御通信技術の開発
—国際標準規格への提案に向けた TIM-ECU の開発

担当部署：農機研・知能化農機研究領域・国際標準・土地利用型作業グループ

協力分担：ロボ研

予算区分：農研機構創造プログラム（NIP）、理事長裁量

研究期間：完 2021～2025 年度（令和 3～7 年度）

1. 目的

TIM (Tractor Implement Management) は、AEF (国際農業電子財団) が策定する作業機とトラクタの間の通信規格である。TIM クライアント (作業機側) と TIM サーバ (トラクタ側) で構成され、TIM クライアントが指示データを TIM サーバに送ることで作業機からトラクタの挙動を変更する。本課題では、知能化農機のは場内作業の適用範囲拡大を目的に、TIM に準拠した機器間通信ソフトウェアの開発およびロボットトラクタ (以下、ロボトラ) と作業機間の制御連携の実現による自動作業の自律化・高度化の可能性を検証するとともに、国際標準規格の提案に資する知見を得る。

2. 方法

- 1) TIM に必要な技術要素と TIM の開発に利用可能なライブラリについて調査を行った。(2021 年度)
- 2) 調査結果に基づき、TIM 対応トラクタに制御要求送信可能な TIM クライアント ECU を開発した。(2022～2024 年度)
- 3) ロボトラを制御可能な TIM サーバ ECU および、ロボ研の開発する碎土率センサと連携した速度制御耕うんシステムを開発し、性能評価を行った。(2024～2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) TIM では、サーバとクライアントが電子的な証明書による相互認証を行う。「ルート証明書→Test Lab 証明書→機材証明書」という信頼チェーンに基づき、接続時に相手の証明書の署名を検証する。証明書が妥当であれば、双方は公開鍵と秘密鍵を使って共通鍵を生成し、その共通鍵を保存し、次回以降は、同じ鍵を持つかを確認して認証する。使用される暗号技術は、RSASSA-PSS (署名)、SHA256、MGF 1、RSA、ECDH (共通鍵生成)、CMAC (鍵確認) である。また、既にリリースされ開発に利用可能なライブラリは、商用ライブラリの SecLib (ITK Engineering、ドイツ) のみであった。
- 2) 前年度に調査した結果に基づき、TIM クライアント ECU を開発した (図 1)。開発した ECU を TIM 対応トラクタ F516VARI0 (Fendt、ドイツ) に接続し、TIM の通信に基づきトラクタの車速が制御されていることを確認した (図 2)。その過程で、TIM クライアントの指示に対するトラクタの挙動には、規格では定義されていない遅れや遷移時間が含まれていることが明らかとなり、トラクタの機種に拠らず一定の挙動を実現するには、追加の指示データが必要な可能性があると考えられた。
- 3) ロボトラを制御可能な TIM サーバ ECU を開発し、ロボ研の開発した碎土率センサと連携した速度制御耕うんシステムを開発した (図 3)。開発したシステムを供試し実証試験を行い、TIM によるトラクタの速度制御によって、碎土率の分散が慣行作業より低下することが示された。一方で、システムの性能はトラクタの応答性に依存するため、TIM の通信においてトラクタの応答性を明示的に扱うための規格を追加する必要があるとあり、将来的な「作業機からのトラクタ通信制御技術の国際標準化」に資すると考えられた。

以上、TIM サーバ・クライアントを開発し、速度制御耕うんシステムに組み込み実証試験を行うことで、TIM を用いた耕うん作業の自動化及び将来的な国際標準化に資する知見を得た。

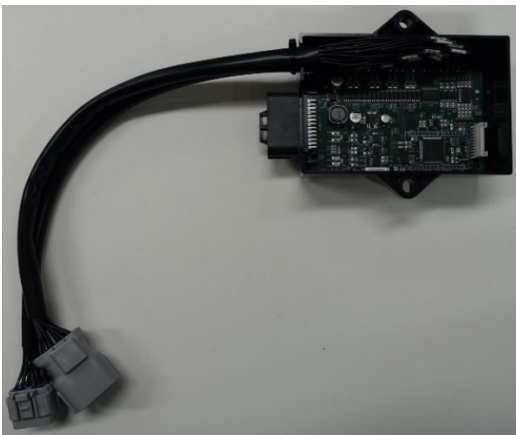


図1 開発したTIM-ECU

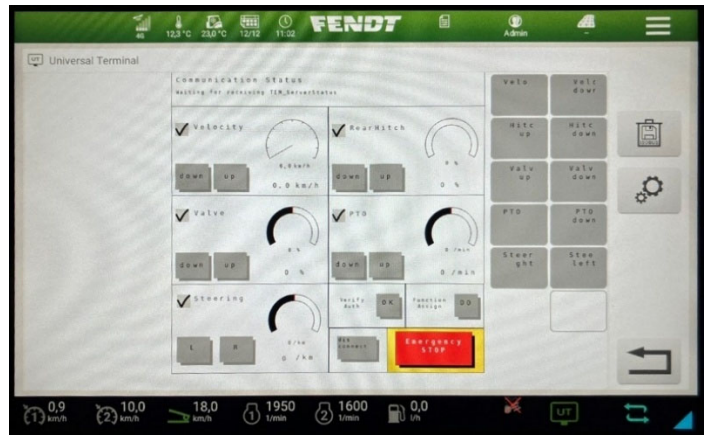


図2 TIM制御時のVT (ISOBUS 対応端末) 画面

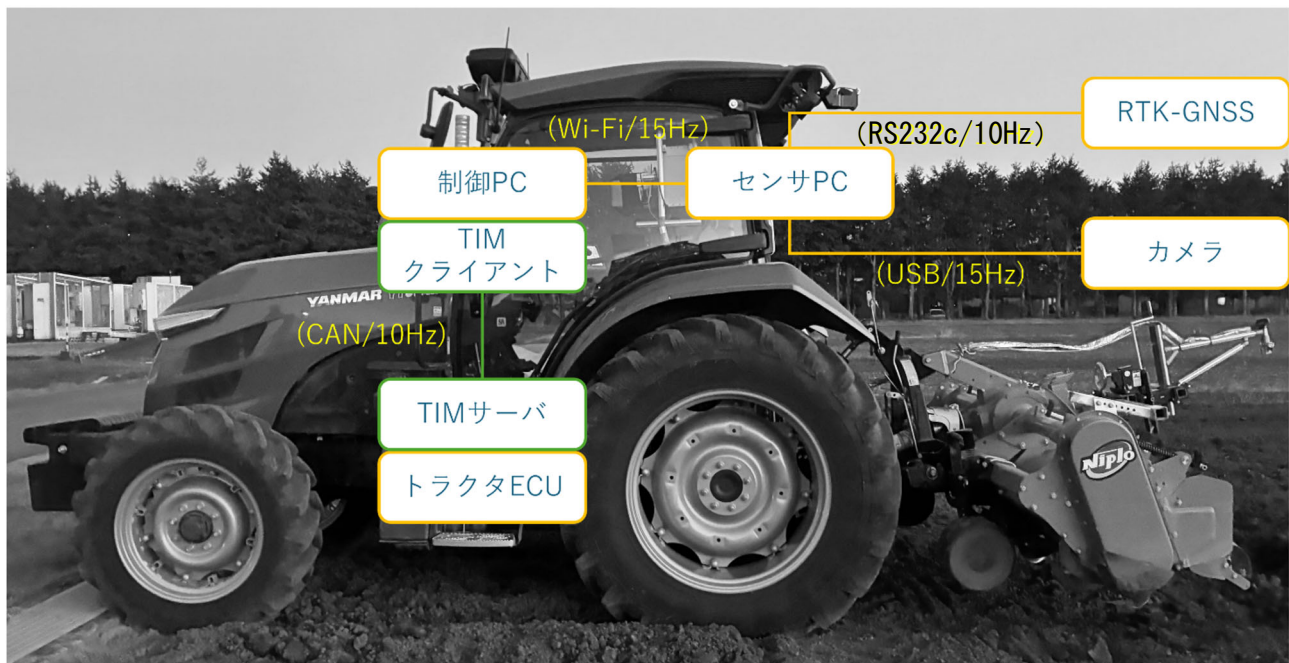


図3 開発した速度制御耕うんシステムの構成

4. 成果の活用面と留意点

現在のTIMは有人作業の支援を目的とした規格であり、ロボット農機への適応はスコープ外である。これに対しAEFではロボトラを含むロボット農機の通信方式やシステムアーキテクチャの規格であるAutonomyの策定を進めており、ロボット農機への適用を目指したTIMの再設計が行われる予定である。

5. 残された問題とその対応

速度制御耕うんシステムの試験は、ほ場1筆の結果であるため、異なる土壌性質のほ場で改めて試験を行い、システムが多様な条件に対応可能であるかを評価する必要がある。また、前述のように作業精度に影響を与えられと考えられるトラクタの応答性は、TIMの規格に含まれていないため、規格の拡張や、ロボトラでの利用には応答性の差異を補償するような制御の仕組みが必要である。

課題分類 : 12 (9)

課題 ID : 20901-1-16

研究課題 : 国産飼料データベースサイト構築ツールの開発

担当部署 : 農機研・知能化農機研究領域・国際標準・土地利用型作業グループ

協力分担 : 畜産研、九冲研、広島大学、日本科学飼料協会

予算区分 : 受託 (JRA)

研究期間 : 完 2023~2025 年度 (令和 5~7 年度)

1. 目的

飼料需要の拡大や国際情勢の変化に伴う飼料費の歴史的な高騰は、畜産経営に深刻な影響を与えている。輸入飼料依存から脱却するため、子実トウモロコシなどの国産飼料の利用促進や放牧推進の取組みが着々と進められているが、ウシへの飼料設計に不可欠となる、信頼性が高い成分データの整備は国産飼料では進んでいない。

そこで、わが国の主要な自給飼料について、共通の分析方法で得られた成分値を、共通テンプレートをを用いてデータ化し一元管理することで、わが国独自の飼料データベースサイトを構築する。

2. 方法

- 1) 既存オントロジー (ウシ用飼料オントロジー、ウシ用飼料成分オントロジー) に基づき、飼料の種類や栽培履歴ごとに成分データを分類整理し、共通テンプレートでデータを作成するアプリを開発する。また想定する利用者に利便性等を聞き取り調査し、改良を加える。(2023~2024 年度)
- 2) 畜産研により分析された飼料成分値について、開発アプリを用いて共通テンプレートを使いデータ化する。データは既存の「ウシ用飼料原料・疾病情報検索システム : MOW ペディア (<https://cavoc.org/mowpedia/>)」に収録し、公開する。(2025 年度)
- 3) 公開サイトや開発アプリの普及を目指し、マニュアルの作成、説明会を行う。(2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) 飼料成分データ管理アプリ Japan Feed Nutrient Data Manager (以下、JFNDM) を開発した。JFNDM は、既存のオントロジーに基づいた共通テンプレートを生成 (MS-Excel) し、公開のために HTML へと変換する機能を持つ (図 1)。JFNDM は、①初期設定、②データ列設定、③対象飼料設定、④テンプレート生成、⑤データ用意 (人力)、⑥HTML 生成の手順で実行する。JFNDM のデータ管理者である畜産研に、マニュアルを共有し、操作方法の説明会を行った。また JFNDM に関する聞き取り調査に基づき、データ表示方法等を改良した。
- 2) 畜産研が収集した自給飼料 25 種類【イタリアンライグラス(生草・サイレージ・乾草)、飼料イネ(生草・サイレージ)、稲ワラ(乾草)、モミ、玄米、エンバク(生草)、オーチャードグラス(生草・サイレージ)、オオムギ(生草)、ギニアグラス(生草)、スーダングラス(生草)、チモシー(生草)、テフグラス(生草)、トウモロコシ(サイレージ)、トウモロコシ子実(生草、サイレージ)、トールフェスク(生草)、バヒアグラス(生草)、フェストロリウム(生草)、ペレニアルライグラス(生草)、リードカナリーグラス(生草)、ローズグラス(生草)】、飼料成分 10 種類【水分、粗蛋白質、粗脂肪、可溶無窒素物、粗繊維、粗灰分、aNDFom、ADFom、ADL、デンプン】の成分値を、共通テンプレートを使いデータ化し、HTML、csv データへと変換して MOW ペディアで公開した (図 2)。
- 3) 本事業の趣旨、および MOW ペディアを介した成分データの利用方法等を記載したパンフレットを作成し、商業誌へ掲載するとともに、コントラクタ・TMR センター等に配布した。

以上、開発したアプリを用い、わが国の主要な自給飼料 25 種類について、共通テンプレートをを用いてデータ化し、MOW ペディアで公開することで、我が国独自の自給飼料のデータベースサイトを構築できた。

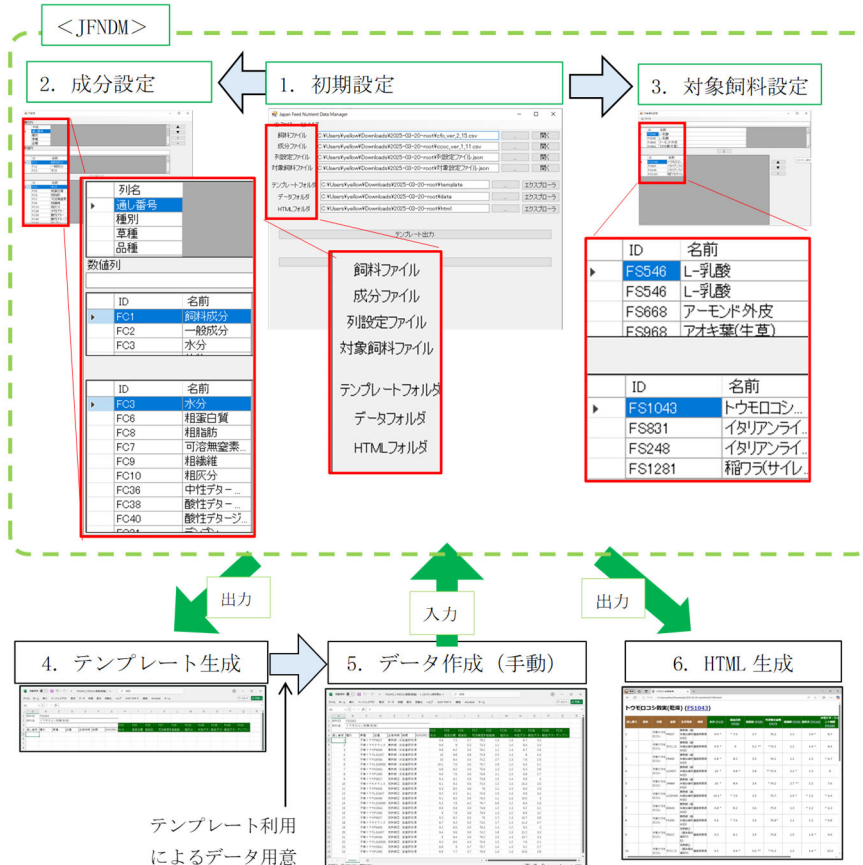


図1 JFNDMの機能

The figure shows the process of finding feed component data on the MOW Pedia website:

- ① MOWペディアトップページ** (MOW Pedia Home Page): <https://www.cavoc.org/mowpedia/index.html>
- ② 自給飼料リストページ** (Self-produced Feed List Page): https://www.cavoc.org/mowpedia/data/feed_data/index.html
- ③ イタリアンライグラス (生草) の成分データページ** (Italian Ryegrass (Fresh) Component Data Page): https://www.cavoc.org/mowpedia/data/feed_data/FG511.html
- ④ イタリアンライグラス (生草) ページ** (Italian Ryegrass (Fresh) Page): <https://cavoc.org/mowpedia/feed/FG511.html>

The screenshot of the component data page includes a table with the following columns:

採り番号	飼料名	品種	収穫時期	採取日	採取場所	備考	出品	水分 (FC)	粗蛋白質 (FC6)	粗繊維 (FC8)	可溶性繊維 (FC9)	粗脂肪 (FC9)	粗灰分 (FC10)	酸性价数 (FC38)	酸性データ値 (FC40)	タンパク	
25	イタリアンライグラス	ワセオパ	1	2023/04/18	徳島県研究牧場	国産法 19.4%、粗 繊維中水分 7.7%		82.1	9.3	2.4	49.1	*23.7	7.8	*45.9	*28.2	*4.8	1.1
26	イタリアンライグラス	はたあお	1	2023/04/20	徳島県研究牧場	国産法 19.3%、粗 繊維中水分 6.6%		82.0	6.9	1.9	50.7*	27.3	*6.6	*47.8	*29.6	5.3	1.1
27	イタリアンライグラス	タナマツリ	1	2023/04/24	徳島県研究牧場	国産法 19.1%、粗 繊維中水分 6.2%		82.2	8.1	2.3	47.5	28.1	*7.2	*49.6	*30.5	5.6	*0.9

図2 公開ページ イタリアンライグラス (生草) の例

※ ウシ用飼料原料・疾病情報検索システム：MOW ペディア (<https://cavoc.org/mowpedia/>) から公開

4. 成果の活用面と留意点

MOW ペディアを介して入手した成分データは飼料設計に活用できる。

5. 残された問題とその対応

成分データを収録した国産飼料の種類が不足しており、データを拡充すべく次期 JRA 事業に応募している。

課題分類：1 (1)

課題 ID：20901-1-03

研究課題：省力的均平作業技術の開発・実証

担当部署：農機研・知能化農機研究領域・国際標準・土地利用型作業グループ

協力分担：東北研

予算区分：受託（先端プロ）

研究期間：完 2021～2025 年度（令和 3～7 年度）

1. 目的

水田輪作体系において、ほ場均平性の維持は発芽・生育不良や雑草・病害の蔓延を防止するために重要である。しかし、慣行の均平作業技術では、ほ場凹凸分布の把握や運土手順の決定に熟練を要し、さらに作業時間も長くかかるため、未習熟者でも効率的に作業可能な技術の開発が求められている。そこで、ほ場凹凸計測手法や均平作業補助技術を開発し、ほ場試験を実施することでオペレータによる作業時間を慣行比 2 割減、さらに自動運転技術により 5 割減が可能なことを実証する。

2. 方法

- 1) ほ場凹凸計測には、ほ場均平性の評価に十分な精度と、1 度に大面積を計測可能な能率が求められる。そこで、福島県南相馬市の生産者作付け地域(撮影範囲124ha・149筆)を対象に、写真測量用ドローンDJI Phantom 4 RTKにより飛行高度等を変えて撮影し、作業時間を記録した。また、写真測量ソフトPIX4D mapper等によりドローン写真からはほ場凹凸マップを生成し、撮影範囲内ほ場をトータルステーション(以下、TS)で計測した凹凸データと比較することで、ほ場凹凸計測手法の精度と能率を検証した。(2021～2023年度)
- 2) ほ場凹凸の分布は目視把握が困難なため、ほ場毎の均平作業の要否判断は容易ではない。そこで、ほ場ごとの凹凸分布と均平度を計算し可視化する地域マップ生成プログラムを開発した。(2023～2024年度)
- 3) 均平作業は長時間を要するため、効率的な作業が求められる。そこで、上記プログラムで生成されるほ場凹凸マップをオペレータに提示することで作業時間の短縮を試みた(図2)。また、均平機の高さ制御装置について、慣行のレーザーシステムをGNSSシステムに置き換えることで、レーザーシステム利用時に必須となる機器の運搬・設置撤収作業の削減効果についても検証した。(2023～2025年度)
- 4) 均平作業のさらなる省力化を目指して、均平作業時にオペレータがほ場凹凸分布を見ながら作業可能な均平作業ガイダンス装置を開発し、ロボットトラクタ試作機に自動均平機能を実装した(図5)。また、農機研つくば拠点試験ほ場60aでこれら装置を使用した均平作業を実施し省力効果を確認した。(2022～2025年度)

3. 結果の概要

- 1) 飛行高度73m、鉛直下向き+斜め角度、撮影重複=横60%・縦80%の撮影条件において、ドローンとTS間の凹凸誤差はSD約1cmと十分な精度を確保しつつ、撮影作業時間は約2時間と高能率に計測可能であった。
- 2) プログラムはドローン撮影の標高データとほ場外形データより、ほ場毎の凹凸マップと統計量(標準偏差、平均高さ±2.5cm面積割合)を計算しgpkgフォーマットで出力する。これをGISソフトで表示印刷することで、地域全体のほ場凹凸傾向を一目で把握できるため、均平作業の要否判断や作業計画に活用できる(図1)。
- 3) 同生産者作付けほ場にてレーザーシステムで均平作業試験を実施した結果、凹凸マップ提示によりほ場内作業時間を31分/筆削減できた(図3、4)。また、レーザーシステムの運搬・設置撤収作業時間は1日2筆作業する条件では約14分であった。これらより、1日に1ha規模ほ場2筆を作業する場合、GNSSシステム利用とマップ提示作業の組合せにより75分/日の削減、慣行比21%の省力効果を見込めることが分かった。
- 4) 作業の結果は、ほ場内作業時間は自動作業が44分、その後のオペレータによる仕上げ作業が58分であった。これより、慣行方法での60aほ場の平均作業時間152分比べて人によるほ場内作業時間は62%削減となった。以上、ほ場凹凸計測手法等を開発し現地試験を実施することで、均平作業の1日作業時間を2割削減可能なことを現場実証した。また、自動運転技術により人によるほ場内作業時間を5割以上削減可能なことを示した。

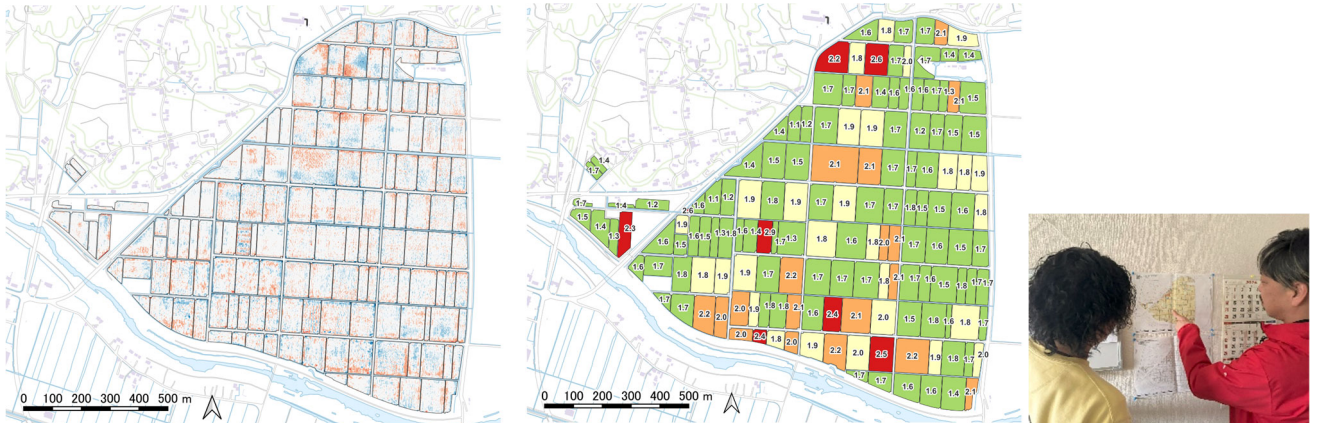


図1 プログラムで生成したマップ（地域凹凸マップ・地域均平度マップ・現場活用風景）

※地域凹凸マップは、各ほ場の平均高さ±2cm以内を白、それ以上の凸部を赤、それ以下の凹部を青で色分け表示

※地域均平度マップは、各ほ場の凹凸の統計量より、作業の必須ほ場を赤、推奨ほ場を橙、要確認ほ場を黄、低優先ほ場を緑で色分け表示

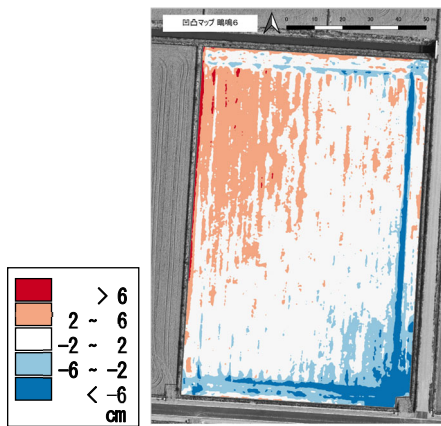


図2 提示するほ場凹凸マップの例

※ほ場全体に入排水と逆勾配の傾斜があり、畦畔際にプラウ山と溝があることが分かる



図3 ほ場均平作業

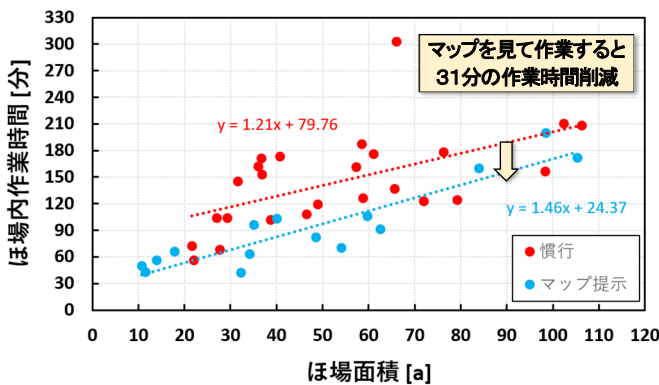


図4 凹凸マップ提示による均平作業時間の削減効果



図5 トラクタに装着した均平作業ガイダンス装置

4. 成果の活用面と留意点

- 1) ドローンによる高精度・高能率なほ場凹凸計測には、作業体系に合わせて撮影時期の調整が必要である。
- 2) 特許出願1件、学会発表4件。

5. 残された問題と対応

開発した技術の実用化と現場普及には、プログラムや装置のパッケージ化や適応性拡大が必要であるため、次年度から後継課題を開始し引き続き取り組む予定である。

課題分類：12（9）

課題 ID：20901-1-08

研究課題：AI とマシンビジョンを統合した作業機交換の自動化技術

担当部署：農機研・知能化農機研究領域・国際標準・土地利用型作業グループ

協力分担：なし

予算区分：農研機構創造プログラム（NIP）、理事長査定、理事裁量

研究期間：完 2022～2024～2025 年度（令和 4～6～7 年度）

1. 目的

ロボットトラクタ（以下、ロボトラ）を用いた作業を更に省人化するには、作業工程に応じた作業機の交換作業を自動化することが不可欠である。そこで本研究では、作業機の自動交換を実現するための基盤技術を開発する。

2. 方法

- 1) ロボトラ搭載カメラで作業機の基準マーカを認識し、GNSS 情報と統合して作業機の位置・姿勢を高精度に計測する手法を開発し、異なる光条件で精度を検証した。また、自動交換の実現に向けて、作業機識別手法を開発し、実機で作業機識別の性能評価を行った。（2022～2024 年度）
- 2) 作業機の自動交換を実現するトラクタの走行経路生成・追従技術を開発した。高精度な後退接近・位置合わせのための制御技術を構築し、作業機自動交換の基礎実験を実施した。（2023～2024 年度）
- 3) トラクタ側フレーム（TRF）と作業機側フレーム（IMF）で構成される自動着脱用ヒッチについて、異なる IMF 高さや地面の凹凸に応じて最適な TRF 位置や両フレームのズレ修正を行う姿勢制御技術を開発するとともに、農業現場での交換試験により作業機自動交換における本技術の有効性を確認した。（2024～2025 年度）
- 4) 農業情報設計社製トラクタ用自動操舵装置に GNSS 方式（予め記憶した作業機位置に基づく誘導）、マシンビジョン方式（図 3、事前登録なしでカメラ映像で作業機位置を計測し誘導）の機能を追加したアシスト装置を試作し、農業現場での着脱動作試験を実施して生産者の意見を集約した。（2024～2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) マシンビジョンによる作業機分離直後の相対位置・姿勢の計測誤差は、位置 1 cm 以下・角度 1° 以下を達成し、トラクタの GNSS と組み合わせ作業機の絶対位置・姿勢を高精度に計測可能であった。作業機の識別については、AI モデルとして YOLO v9 を利用し 22,412 枚（作業機 6 種等）のデータセットで学習を行い、平均認識精度（mPA@0.5）96%以上を確保するとともに、Jetson AGX Xavier と HDR カメラを用いた試験で、処理速度が約 20 FPS であること、認識距離 5m 以内の識別精度 95%以上であることを確認した。
- 2) トラクタの移動可能領域を考慮したハイブリッド A*（エースター）探索アルゴリズムにより、作業機交換のための最適経路の生成が可能になるとともに、生成した経路に追従する走行制御により作業機の自動交換を実現した（図 1）。
- 3) 約 3m の距離からマシンビジョンにより作業機の基準マーカ ID、トラクタと作業機の相対的な位置・姿勢を認識し、傾斜条件に応じてトップリンク（TL）、リフトシリンダとロッドの伸縮により TRF の高さやピッチ・ロール角を変化させて両フレームのズレを修正し、最適なヒッチ姿勢を自動設定することが可能であった（図 2）。また、農機具が置かれる凹凸のある地面でも作業機の装着と取外しを円滑に行えることを確認した。
- 4) GNSS 方式は 2 回目の試行で装着成功率 100%を達成した。一方で、マシンビジョン方式は、試行 3 回の装着成功率は 75%に留まったことから、マシンビジョンの改良とビジュアルフィードバック制御の導入により成功率の向上を図る方針とした。現地試験では、作業機装着アシスト機能は有効との意見がある一方、トラクタの自動停止機能やリスクの高い大型作業機への適用の要望が挙げられた。

以上、本研究では作業機自動交換に必要な装着位置計測、作業機識別、ロボトラ経路の生成・追従制御、ヒッチ姿勢制御の各要素技術を開発し、作業機自動交換を実現した。また、本課題の目標とした自動交換のために開発した技術を応用した作業機装着アシスト装置を試作し、現地実証試験によって生産者の意見を収集した。



※実験条件: ・Logicool C930eカメラ、30fps、計測距離約1m、試験回数:12回
 ・光照度約2万lux(曇)~10万lux(晴)、太陽高度約25°~65°

図1 ロボットトラクタによる作業機自動交換の様子

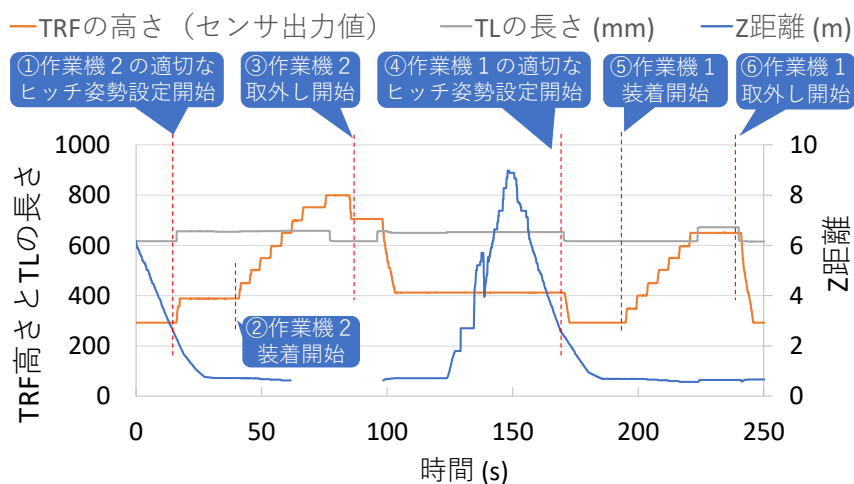


図2 ヒッチ姿勢制御の機能試験結果の一例



図3 マシンビジョン方式による作業機装着アシストのGUI (左)と現地実証試験の様子 (右)

4. 成果の活用面と留意点

本年度までに得られた成果を活用し、今後自動操舵による作業機装着アシスト機能の実用化を目指す。特許出願5件、論文5報、成果情報1報、農研機構プレスリリース1報。農機研研究報告会で報告。

5. 残された問題とその対応

遠隔監視型ロボトラの利用体系における無人での作業機交換の実現には、保管状態の作業機に装着されているスタンド等の格納や作業機姿勢の調整への対応を図るための技術開発が必要である。

課題分類：9 (4)

課題 ID：20901-2-04

研究課題：果菜類生育情報診断システムによる労務管理の最適化

ー ドローンを活用したイチゴの作物計測・栽培管理支援技術の開発

(NICT プロ：ドローンによるダウンウォッシュを活用したスマートイチゴ栽培管理手法)

(横串プロ：生産効率を大幅に向上するイチゴ栽培高収益モデルの構築)

担当部署：農機研・知能化農機研究領域・施設園芸生産システムグループ、無人化農作業研究領域・小型電動ロボット技術グループ

協力分担：岡山大、阿南高専、徳島県、NTT ドコモビジネス(株)、(株)NTT ドコモ、野花研

予算区分：NICT プロ、横串プロ、科研費 (基盤C)

研究期間：完 2021～2025 年度 (令和3～7年度)

1. 目的

イチゴ栽培は施設園芸の中でも労働時間が長く、作業管理の効率化や省力化が強く求められている。特に促成栽培では、休眠管理をはじめ、作物の生育状態を詳細に把握することが重要となる。また、受粉にはミツバチなどの花粉媒介昆虫を導入しなければならないが、気温や天候をはじめ様々な要因で受粉不良が発生するリスクを常に抱えている。これらの課題解決には、近年のスマート農業技術を活用し、イチゴの生育調査・栽培管理におけるコスト低減・省力化・生産安定化などを目指す必要がある。

そこで本研究では、近年農業現場での利用が進むドローン技術を施設園芸分野にも応用し、これらの課題を解決するための要素技術の開発を進めるとともに、温室内でドローンを飛行させ、そのダウンウォッシュを利用して作物生育状態の把握やミツバチ等を利用しない送風受粉を行うスマートイチゴ栽培管理手法を開発する。

2. 方法

- 1) 電波の受信が不安定で GNSS が利用できない施設内でも飛行可能なドローンの種類・特徴を明らかにし (2021～22 年度)、安全かつ安定して飛行させるための要件、安定飛行を阻害する要因・条件などを明らかにする。(2023～25 年度)
- 2) 群落内に隠れている成長点周囲(新葉・花蕾)を観測するのに適したダウンウォッシュ量を明らかにし (2021～22 年度)、ドローンによる作物計測を実現するための飛行・解析手法について検討する。(2023～25 年度)
- 3) ダウンウォッシュによる送風受粉の実現可能性を明らかにし (2022～23 年度)、送風受粉の効果を高めるための各種条件を検討し、送風受粉の性能を評価する。(2023～25 年度)

3. 結果の概要

- 1) GNSS を利用しないドローンとして、SLAM 自己位置推定、AR マーカ、トータルステーション、有線などの方式を比較評価した。また SLAM 方式のドローンを用いて施設内での飛行実験 (約 1600 フライト) を行い、安全に飛行するための留意点・安全飛行の阻害要因・飛行の事例報告などについて取りまとめた (図 1)。
- 2) ドローン計測を行う場合、葉面積などの基本情報はダウンウォッシュ量が風速 6m/s 以下、新葉・花蕾などの群落内情報では風速 6m/s 以上が適した。風速は、ドローンの飛行高さ・オフセット・飛行速度・姿勢によって調整可能となった。実際にドローンを飛行させ、群落内が計測できることを確認した (図 2)。
- 3) 試験装置で送風受粉の評価を行った結果、風速を大きくするにつれ可販果率が増え、風速 8m/s で 80%以上となった。また風速・送風頻度は受粉割合に影響する一方、1 回の送風時間は影響しないことが確認された。実際にドローンでの送風受粉の試験を行った結果、可販果率はミツバチと同等となった (図 3)。

以上、ドローンを用いたスマートイチゴ栽培管理手法の実現に向けた要素技術である、ハウス内でのドローン飛行、ドローンによる生育モニタリング、ダウンウォッシュによる送風受粉が、有効に行えることを明らかにした。

高度通信・放送研究開発委託研究

データ活用等のデジタル化の推進による
社会課題・地域課題解決のための
実証型研究開発(第2回)

(採択番号 23301)
ドローンによるダウンウォッシュを活用した
スマートイチゴ栽培管理手法

成果資料

狭所・非GNSS環境となる温室内での
ドローン飛行に向けた事例報告・運用留意点

令和7年12月 (Ver.1.0)

研究代表: 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
研究分担: 国立大学法人 岡山大学
独立行政法人 国立高等専門学校
徳島県
NTTドコモビジネス株式会社
株式会社NTTドコモ

第1章:安全飛行を阻害する主な要因(最重要注意事項)

1-1. 視覚センサーの限界

日照の反射など、物体からの光の反射をドローンの障害物センサーが感知し、対象を障害物とみなし回避運動を取る場合がある

• 透過:透明な物体の認識不可(幅58cm(23インチ)を超す透明な面や反射面、窓、鏡など)

ビニールハウス内の内幕など、透過性の高いものが航路上にある場合、センサーが認識しない場合がある

• 細すぎる物体:規定値以下のワイヤーや細い枝、電線、ロープ、網などの認識不可(例:直径1.27cm=0.5インチ以下)

図1 温室内でのドローン飛行に向けた事例報告・運用留意点



図2 ダウンウォッシュによる新葉計測の例

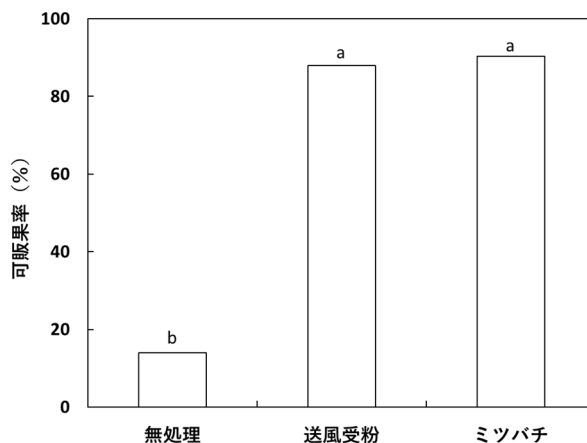


図3 送風受粉の調査

4. 成果の活用面と留意点

温室内でのドローン飛行、ダウンウォッシュによる生育計測および送風受粉の詳細については、それぞれ研究成果情報として公開。ドローンで取得されたイチゴの詳細な時系列情報から、病虫害予測や生育診断、収量予測などへの活用が期待できる。ドローンの飛行は、専門的な知識・技術を備えた者が行う必要がある。

5. 残された問題とその対応

本成果を活用するのに適した市販ドローンは、現状高価で選択肢も少ない。ドローン市場の発展を見据え、研究成果の情報発信に努めるとともに、得られた要素技術がドローンの状況に依存せず生産現場で活用できるよう、システムの改良を進める。

課題分類：12（4）

課題 I D：20901-2-07

研究課題：生育モニタリング情報を利用した収量予測システムの開発

担当部署：農機研・知能化農機研究領域・施設園芸生産システムグループ

協力分担：(株)タカヒコアグロビジネス

予算区分：理事裁量、科研費（若手）

研究期間：完 2022～2025 年度（令和 4～7 年度）

1. 目的

施設面積が 1 ha を超える太陽光植物工場においても、収量予測のための果実計数は目視により行われており、少ない計測数による低い予測精度と計測者の負担が問題となっている。既往の研究において、施設園芸トマト果実及びパプリカ果実を熟度別に自動で計数する着果モニタリングシステムの開発を行ってきた。本研究では当該システムの実用化に向けて商業的太陽光植物工場にて現地試験を実施し、継続的な現地試験による果実検出、果実計数、収量予測における性能に加えて、計測列数が収量予測に与える影響及び収量予測が取引価格に及ぼす影響を調査した。

2. 方法

- 1) 計測システムの軽量化及びコスト低減に加え、操作・制御部の簡略化、両側同時撮影機能の搭載を行った。（2022 年度）
- 2) 改良したシステムを用いて商業的太陽光植物工場にて毎週 1 回の着果モニタリングを 12 週間実施した。計測は、0.6ha の栽培区画(144 作物列、72 作業列)で栽培されているパプリカ（ナガノ 108 個体/列）を対象に、作物列 6 列（作業通路の両側 2 列×3）を日没後に計測し、果実検出及び果実計数性能、収量予測誤差について調査した。（2022～2025 年度）
- 3) 栽培区画の 144 列の作物列のうち 1 列おきに半数の 72 列（1 計測 2 列のため 36 サンプル）を対象に網羅的着果モニタリングを 6 回実施し、ブートストラップ法でサンプルを抽出した平均果実数と着果モニタリング翌週の総収量の回帰分析を 1000 回繰り返して算出された各サンプル数における平均決定係数 (R^2) から計測列数が収量予測に与える影響について評価した。（2023～2024 年度）
- 4) 40 週間の出荷情報を基に、収量予測誤差が取引価格に及ぼす影響について検討した。なお、全出荷品目のうち、調査期間を通して売上に対する割合が最も大きい品目を解析対象とした。（2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) 改良したシステム（図 1）は、旧式装置に比べ質量 50%減、製造原価は 1/3 以下となった。両側同時撮影機能により 2 作物列の計測所要時間を 8 分から 5 分に短縮し、計測列数の増加が可能となった。
- 2) 果実の検出性能 AP (Average Precision, 平均適合率) は約 0.7 であったものの試験実施期間を通して安定していた（表 1）。また、熟度別の目視による果実計数と着果モニタリングシステムによる果実計数の比較したところ、いずれの熟度においても両者に相関が認められた（図 2）。異なる組合せの熟度別の平均検出果実数を説明変数とする重回帰モデルを構築し、一つ抜き交差検証によって着果モニタリング翌週の栽培区画全体の総収量を予測したところ、熟度 1-40%、41-80%の果実数の組合せにおいて WAPE (Weighted Absolute Percentage Error, 加重絶対誤差率) が最小の 21.35%となった（表 2）。
- 3) 計測列数が収量予測に与える影響について、サンプル数 1 では R^2 値は 0.56 であった（図 3）。サンプル数が増加するにつれて R^2 は急速に上昇し、サンプル数 5 で 0.76 に達した。サンプル数 8 で R^2 の増加率はほぼ飽和し、0.80 に近づいた。これらの結果は、着果モニタリング翌週の収量を予測する場合、サンプル数 8（16 作物列）で、サンプル数 36（72 作物列）と同等の予測性能が得られる可能性を示唆していた。
- 4) 対象とした品目では、着果モニタリングによる収量予測を実施することで、想定以上の出荷に起因する取引価格の下落を緩和し、取引価格を平均 5.6%上昇に相当する効果が得られる可能性が示された。

以上、計測システムを改良して、装置質量、製造原価、計測所要時間を削減した。また果実検出、果実計数、収量予測における性能を明らかにした。さらに、計測列数と収量予測性能における関係及び収量予測誤差が取引価格増に資する可能性について明らかにした。

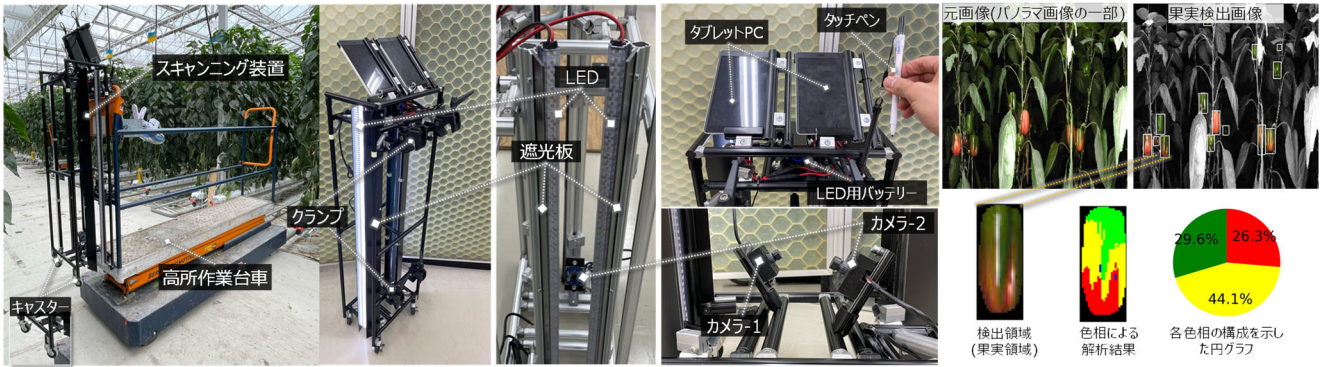


図1 改良したパプリカ用着果モニタリングシステムの写真(左)、撮影したパノラマ画像の一部と果実検出結果(右上)、熟度判定結果(右下)

表1 各週の果実検出性能

週 No.	AP ^{IoU=0.50}	週 No.	AP ^{IoU=0.50}
1	0.71	7	0.76
2	0.71	8	0.74
3	0.73	9	0.73
4	0.77	10	0.71
5	0.72	11	0.74
6	0.76	12	0.73

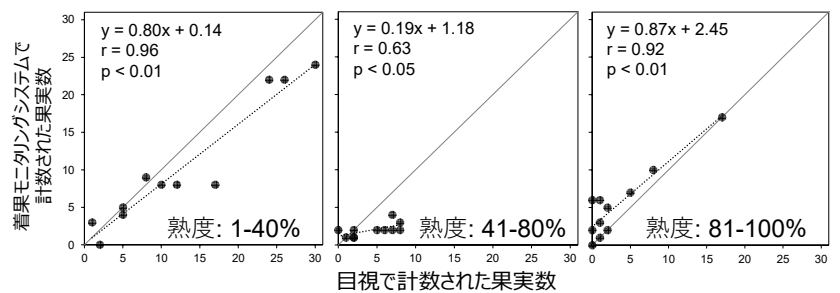


図2 熟度別の目視による果実計数と着果モニタリングシステムによる果実計数の比較。熟度1-40% (左)、熟度41-80% (中)、熟度81-100% (右)

表2 重回帰式の説明変数の各組合せにおける収量予測誤差

説明変数(熟度)の組合せ	収量予測誤差 (WAPE)
('1-40%', '41-80%')	21.35
('1-40%', '41-80%', '81-100%')	24.06
('41-80%')	25.70
('41-80%', '81-100%')	28.70
('1-40%', '81-100%')	29.24
('1-40%')	38.53
('81-100%')	63.18

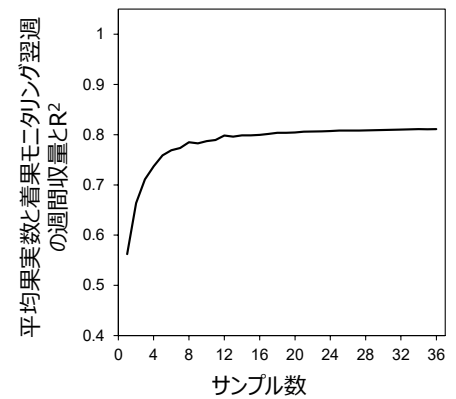


図3 サンプル数が果実計数に基づく収量予測に及ぼす影響

4. 成果の活用面と留意点

GreenSys2023 (2023. 10)、GreenSys2025 (2025. 6)で発表済み。『Horticulturae』に投稿・掲載済み。特許出願中。着果モニタリングシステム用学習済みモデル及び画像解析プログラムを公開予定。

5. 残された問題とその対応

トマト用・パプリカ用の着果モニタリングシステムの市販化に向けて、専用のアプリケーションを試作し実証を推進する。収量モデルの改良によるさらなる収量予測精度の向上を目指す。

課題分類：9 (4)

課題 ID：20901-2-05

研究課題：施設園芸用マルチタスクロボット実現に向けた下葉取りロボットの開発

担当部署：農機研・知能化農機研究領域・施設園芸生産システムグループ

協力分担：東京科学大

予算区分：交付金（つくば）、理事長裁量、科研費（基盤B）

研究期間：完 2021～2025 年度（令和3～7年度）

1. 目的

大規模施設園芸において、これまで手作業で行われてきた各種栽培管理作業の省力化を図るため、ロボットによる作業管理体系の構築が求められている。下葉処理は収穫に次ぐ労働時間を要し、収穫ロボットを効率的に動作させるうえでも重要な前処理である。また下葉処理は、収穫と作業領域が同じであり、広く研究・開発が進む収穫ロボットとプラットフォームが共有できるため、収穫ロボットの多機能化に向け親和性の高いタスクである。そこで本研究では、下葉処理作業の自動化を実現するため、複数の下葉を連続的に切断できるエンドエフェクタと、トマトの部位や栽培環境の認識モデルを備えた下葉処理ロボットシステムを開発する。

2. 方法

- 1) 下葉処理を効率的に行う手法として、複数の下葉を1回の動作で切断できる・切断箇所の認識が不明瞭であっても実行できる機能を有するエンドエフェクタについて検討・開発した。(2021～2023 年度)
- 2) 栽培環境における果実・主茎・栽培ベッド・ワイヤ・灌水チューブなどの物体を認識する手法として、点群 DNN (PointNet++) や物体認識モデル YOLOv8 の手法を検討した。また、点群あるいは画像から主茎骨格を推定する手法を開発した。(2022～2024 年度)
- 3) 上記で検討したエンドエフェクタ・認識手法・自動走行台車を備える下葉処理ロボットシステムを開発した。また、長段栽培特有の湾曲した主茎に対応する制御手法を開発した。(2022～2024 年度)
- 4) 開発したバリカン型エンドエフェクタによる下葉処理ロボットシステム (図1) の性能評価を実験室内および試験栽培環境下で行った。(2023～2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) エンドエフェクタとして、立ち木用バリカンを利用した方式（農研機構）と、ホールソー内部に主茎を取り込み主茎の全周に伸びる下葉を一括で処理する方式（東京科学大）の、2種類を検討・分担開発した。
- 2) PointNet++を用いた3次元点群のセマンティックセグメンテーションによる栽培環境の認識精度は、主茎、葉、栽培ベッド、その他の物体の IoU (Intersection over Union) がそれぞれ、0.64、0.94、0.91、0.53 となった。一方物体認識モデル YOLOv8 による果実、主茎、栽培ベッド、ワイヤ、灌水チューブの適合率は、それぞれ0.90、0.81、0.84、0.80、0.71 となった。以降、YOLOv8 モデルを採用した (図2)。
- 3) バリカン型エンドエフェクタを備えたロボットを開発し、バリカンの側面を株の主茎に押し付けながら主茎に沿って下葉を処理する動作手法を実現した。また力覚センサを内蔵し、主茎に接触する際の反力を利用した力制御によって、主茎の切断や引っかかりを回避する安定した下葉の切断処理が可能となった (図3)。
- 4) 下葉1枚の基礎試験では、適切な角度でバリカン刃を当てることで全ての試行 (n=20) で下葉の切断に成功した (表1)。複数株連続処理試験では、栽培列内の作業対象株 (17～29 株/列 x 4 列) を認識出来た割合が平均で0.62、本ロボットで下葉処理を実施した際の下葉除去率 (重量ベース) が平均で0.72、列内の全処理対象株に対する下葉除去率の平均は0.42 であった (表2)。対象を認識できれば2回の切断動作で7割の下葉が除去できる結果 (図4) を得たが、株の見逃しが全体の除去率を下げた原因となった。また、生産現場での試験においても同等の性能 (作業時間: 約 60 秒/株、下葉除去率: 最大 0.72) を得ることができた。

以上、バリカン型エンドエフェクタや作物部位・栽培環境認識モデル、力制御手法および自動走行台車を連携させたトマト下葉処理ロボットを開発し、一定の下葉除去性能を有することを確認した。

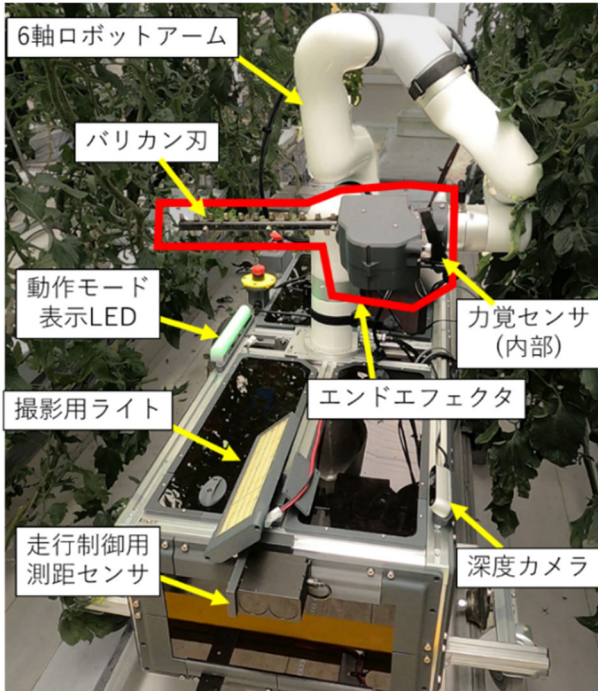


図1 開発した下葉処理ロボットシステムの外観

表1 力制御を用いた切断動作による下葉1枚の切断成功率

バリカン刃と主茎の向き	切断成功率*
平行	100% (n=20)
30° で交わる	100% (n=20)
30° で離れる	45% (n=20)

* 主茎から10cm以内の位置で切断できた試行の割合

表2 野花研高軒温室での試験結果

項目	値
下葉処理実行率	0.62
下葉処理を実行した株の平均除去率	0.72
試験全体の除去率	0.42

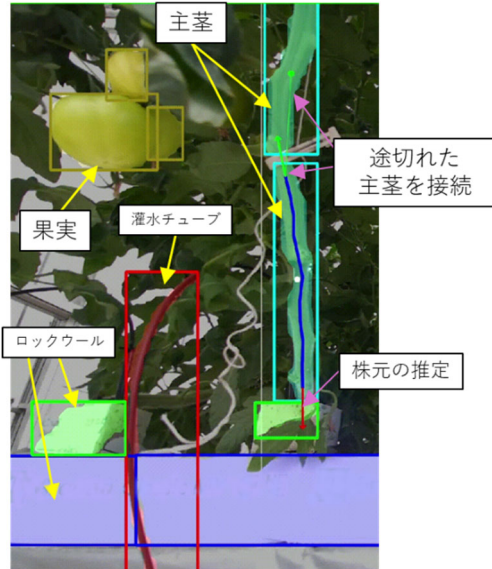


図2 深層学習技術を利用したYOLOv8による栽培環境認識と主茎骨格の抽出

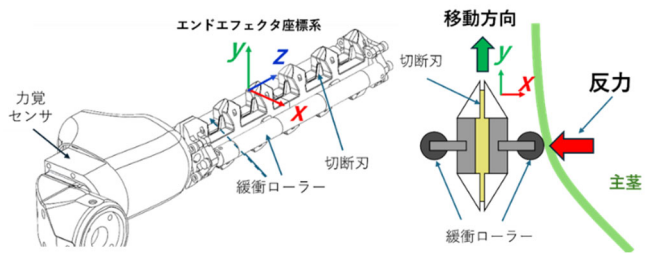


図3 バリカン型エンドエフェクタの外観と力制御の概要 (特願 2025-137166)



図4 下葉処理ロボットによる作業前後の比較

4. 成果の活用面と留意点

本成果は、大玉トマト「桃太郎ホープ」に対する試験結果であり、多品種・他作物へ展開する場合は別途確認する必要がある。本試験での下葉処理は最下層の果房より下にある葉に対してのみ行った。

5. 残された問題とその対応

複数株処理時の見逃し率を低減するよう画像処理手法の改良を行う。本下葉処理手法は果房より上層の下葉の処理に対応していないが、果実位置やバリカンの姿勢を考慮した動的な経路計画と組み合わせて解決する。

4. 無人化農作業研究領域

課題分類：4（4）

課題ID：20902-1-21

研究課題：送風受粉等の施設内省力的栽培管理技術の研究開発

担当部署：農機研・無人化農作業研究領域・小型電動ロボット技術グループ、知能化農機研究領域・施設園芸生産システムグループ

協力分担：徳島農総技セ、阿南高専、岡山大学、NTT ドコモビジネス(株)、(株)NTT ドコモ

予算区分：基礎・基盤、NICT プロ

研究期間：完 2023～2025 年度（令和5～7年度）

1. 目的

果菜類の施設生産において、受粉は商品果収量を決定する重要な生産工程であり、トマトやイチゴでは媒介昆虫の利用が一般的である。しかし、養蜂家の高齢化による媒介昆虫の供給力の低下、媒介昆虫利用作目の増加、天候不順や農薬の影響による昆虫の活動量の不安定さ、過剰訪花による奇形果の発生、等課題も多い。このため、トマトにおいてバイブレータや送風機等を用いて花を揺らして受粉を促進する技術が開発されてきたが、イチゴは多数の柱頭に花粉を付着させる必要があるため受粉が難しく技術開発が進んでいない。本研究ではイチゴを対象とし、ドローンを用いて省力的に送風受粉を行うための条件や手法を明らかにする。また、ドローンを利用したイチゴの生育モニタリングシステムや温室内でのドローンの利用技術等を開発する。

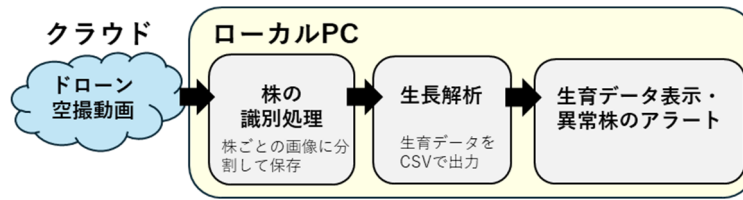
2. 方法

- 1) Visual SLAMにより非GNSS環境下でも安全に自動飛行が可能な小型ドローン（skydio社製、skydio2+、機体重800g）の温室内飛行時の注意点と、ダウンウォッシュの気流特性を調査した。（2023～2024年度）
- 2) ドローンのダウンウォッシュを活用し、イチゴの生育診断に重要な若葉の状態等を株ごとにアラートできるモニタリングシステムを開発した。（2023～2025年度）
- 3) イチゴの受粉に適した送風条件を明らかにし、ドローンのダウンウォッシュの気流特性の調査結果と合わせて、受粉に適した飛行方法を設計した。2024年12月から2025年3月までの間、徳島県農総技セの温室に株間250mm、千鳥植えて栽植された「かおりの」の10m長の高設栽培列に対して、ドローンによる送風受粉を行い、可販果率を調べた。（2023～2025年度）

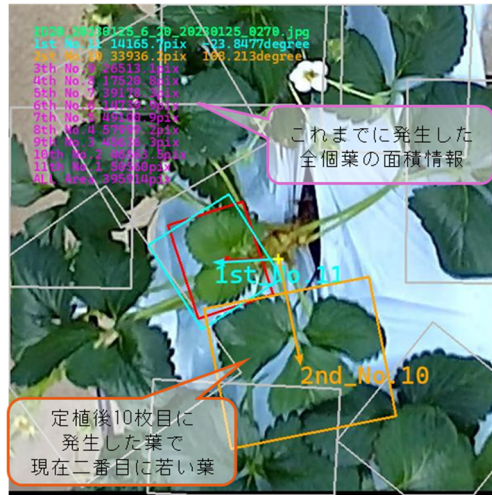
3. 結果の概要

- 1) Visual SLAMによるドローンの温室内飛行では、プラスチック資材（内張やテープ）からの光の反射を検知して予期せぬ障害物回避機能が働く場合があることや、温室内のカーテン展開用の細いワイヤ類などの認識が困難なことに注意する必要があることが分かった。また、ダウンウォッシュの気流特性を調査した結果、気流速は機体の内側で特に強く、高度や飛行速度に比例して低下することが分かった。
- 2) 観測システム（図1）は、ドローンが作物列に沿って空撮した動画をクラウドからダウンロードする。株の植え付け位置（ID）を識別する画像処理を施し、IDと日付情報を持つ株単位の画像として保存する。空撮は日ごとに行い、保存された株ごとの時系列画像に対し、AI等を用いた生長解析処理を行う。生長解析処理では、生育診断に重要な新葉の発生履歴や第2葉の葉面積をはじめ、すべての個葉の面積を生育データとしてCSVファイルに出力する。生育データは、生産者がフロントエンドのダッシュボードで閲覧やダウンロードが可能で、予め設定した面積等の閾値により、異常な生育状態の株IDをアラートできる。
- 3) 花の上方からの送風によっては、送風時間や間欠的な送風回数が、受粉精度の指標となる花粉付着率に影響を及ぼさないことを明らかにした。また、気流を強めると花粉付着率が向上し、10m/s程度以上が適することが分かった。送風頻度が受粉に及ぼす影響を調べた結果、1日1回以上の送風によって収穫した果実の9割以上が可販果となることが確認された。これらの受粉条件と、ドローンのダウンウォッシュの気流特性から、skydio2+では作物の上方500mm高を速度0.9m/sで1日1回飛行させることとした。12月から3月の間、ドローンで送風受粉を行った結果、可販果率は90%程度とミツバチと同等であった（図2）。また、ミツバチによる受粉区では可販果率に季節間差が見られたのに対し、ドローン区では季節間差が見られず、安定した受粉が可能であった。

以上、ドローンの飛行時のダウンウォッシュの分布特性や温室内飛行時の注意点を明らかにした。また、ドローンのダウンウォッシュを活用した、イチゴの若葉の生育モニタリングシステムと、ハチと同等の可販果率を達成する送風受粉技術を開発した。

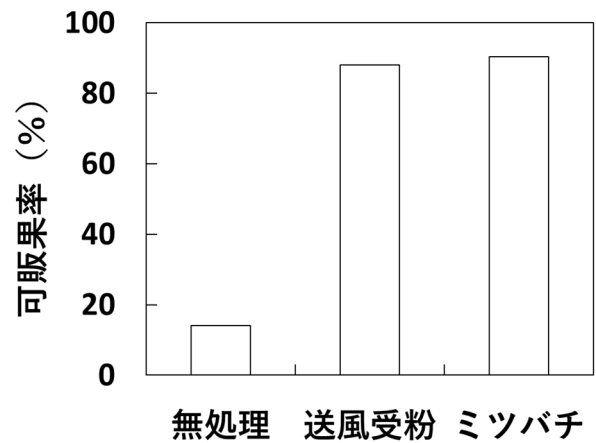
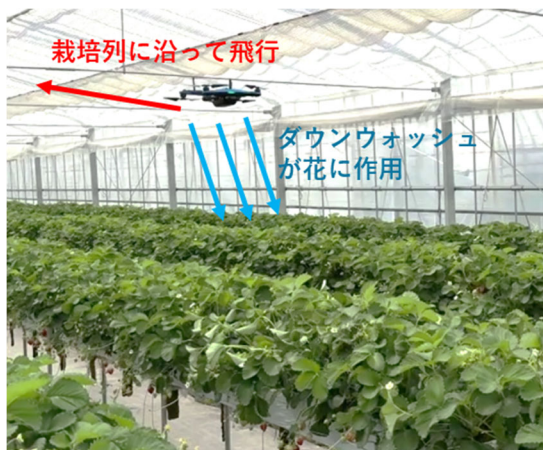


a) モニタリングシステムによる処理の流れ



b) 生長解析処理例

図1 生育モニタリングシステムの概要



* 調査果数:無処理区585, 送風受粉区292, ミツバチ区648

図2 ドローンによる送風受粉の様子 (左) と送風受粉の効果 (右)

4. 成果の活用面と留意点

イチゴのスマート生産システム開発に資する。学術論文発表1件(掲載可)、特許出願1件、国内外学会発表。

5. 残された課題とその対応

現在の市場には、温室内で受粉に適した自律飛行が可能なドローンが少なく、高価である。このため、安価な送風受粉装置等の開発が必要である。

課題分類：12（4）

課題ID：20902-1-23

研究課題：栽培管理の省力化と効率化につながる生体観測技術の開発

担当部署：農機研・無人化農作業研究領域・小型電動ロボット技術グループ

協力分担：中農研

予算区分：交付金、理事裁量

研究期間：完 2023～2025 年度（令和5～7年度）

1. 目的

本研究では、みどり戦略のうち「化学農薬のみに依存しない総合的な病害虫管理体系の確立・普及」、「主要な品目について農業者の多くが取り組むことができるよう、次世代有機農業に関する技術を確立する」に直結する小型電動ロボット技術として、有機農業等において重要な栽培管理作業である、作物の状態、病害虫の発生状況を観察し、定量的に評価することを小型電動ロボット技術によって置き換えるために、植物、昆虫などの生体センシング技術を開発する。

2. 方法

- 1) 複数微小対象の計数要件の解明を行った。スマートフォン（Apple、iPhone15 Pro）を使用し、距離別撮影と接写撮影でバンカー植物の葉に付着したアブラムシ・マミーを撮影した。距離別撮影では200mm刻みで葉面から200～1200mmの距離で撮影した。距離別撮影で撮影した画像を小領域に分割した分割区（200～1200mm）、縦横のピクセル数を半分に縮小（最近傍補間）したのちに小領域に分割した縮小区（200～1200mm）、分割無しは無分割区（200mm）、さらに接写撮影（～20mm）の接写区を用意して、深層学習ベースの物体検出モデルの学習に供試し、テストデータに対する検出精度を比較した。（2023～2025年度）
- 2) 画像計測における有限な観測領域からバンカー全体の状態（マミー/アブラムシ比率、寄生率）を推定する手法を検討した。イチゴの有機土耕栽培試験を行う中農研の実験温室（5.4m×20m）において、バンカー植物上のアブラムシ・マミーの分布調査を行った。バンカー植物のオオムギの部位を葉・茎・穂に分け、付着しているアブラムシ・マミーの個体数を記録した。（2023～2025年度）
- 3) 観測プロトコル・処理システムの精度評価を実施した。構築したアブラムシ・マミー検出AIを組み込んだ画像分割・対象検出プログラムを作成し、考案した推定手法を組み合わせ精度評価を実施した。複数の相対スケール条件下（0.2%、0.8%、1.3%、2.0%）で検出を行い、検出結果を目視で確認した正解と比較した。また、推定式を適用して導出した推定指標を現地調査による真値と比較した。（2024～2025年度）

3. 結果の概要

- 1) モデルの精度を表す mAP@0.3 は分割区の200mmで最大の0.81となった。同じ実験区内では撮影距離が離れるほど精度が低下し、同一撮影距離では分割区が縮小区よりも精度が高い傾向が示された。検出対象が画像全体に対して占めるピクセル領域の割合（相対スケール）が大きいと検出精度が向上する結果となった（図1）。以上の結果から、高画質画像に画像分割処理をすることで、撮影範囲の確保と微小対象の検出性能が両立できることが明らかになった。
- 2) 分布調査の結果、アブラムシ・マミーは上位葉に多く分布しており、上位5葉10枚以上で推定した指標（マミー/アブラムシ比率）が、全体の指標に対して決定係数0.9以上となり、限られた葉数で全体の状態を推定できる可能性が示された（図2）。
- 3) 上位5葉10枚以上が一括撮影可能な、バンカー中心部から400mmの距離（図3）で撮影した画像で精度検証を行った。検出結果のF値は相対スケール1.3%が最も高い34.4%であったが、全体的に検出精度が低く、それに伴って推定精度も低い結果となった（図4）。これは評価用画像と学習用画像の撮影条件の違いに起因すると考えられる。評価用画像はバンカー全体を撮影しているのに対し、学習用画像は数枚の葉にフォーカスした構図で取得されていた。

以上、困難とされる微小対象の計数要件としては高画質画像の分割処理が有効であり、その際に相対スケールが指標となる可能性を示した。また、有限な観測領域からバンカー全体の状態を推定できる可能性を示した。これらの成果は、定量的なバンカー利用マニュアルの作成に貢献するものである。

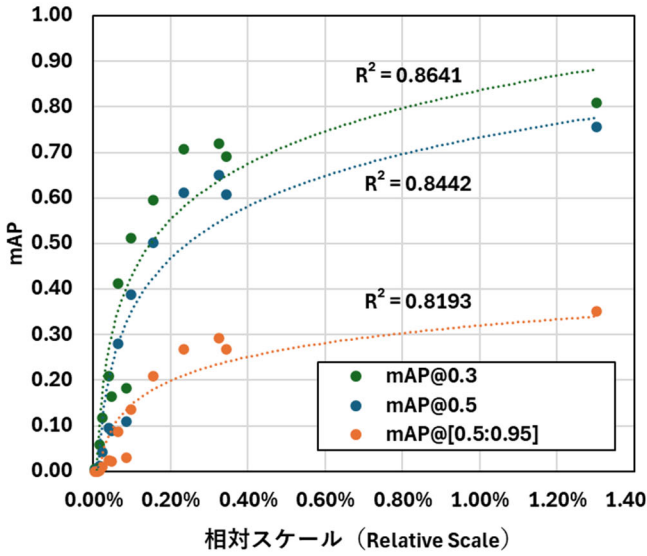


図1 相対スケールと検出精度

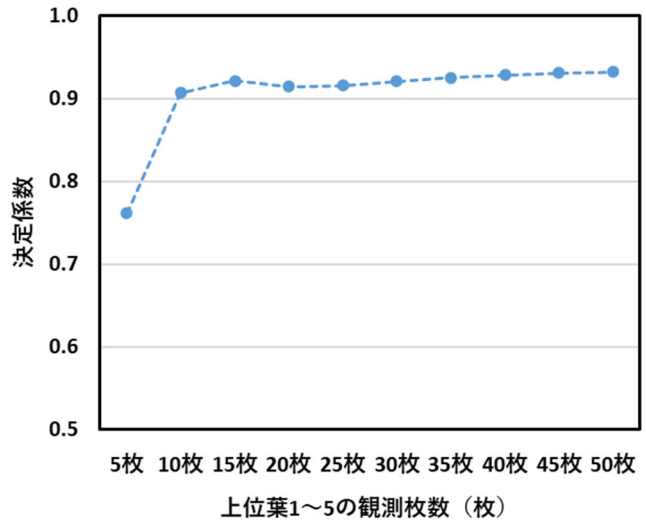


図2 上位葉1~5の計測枚数による推定精度の違い

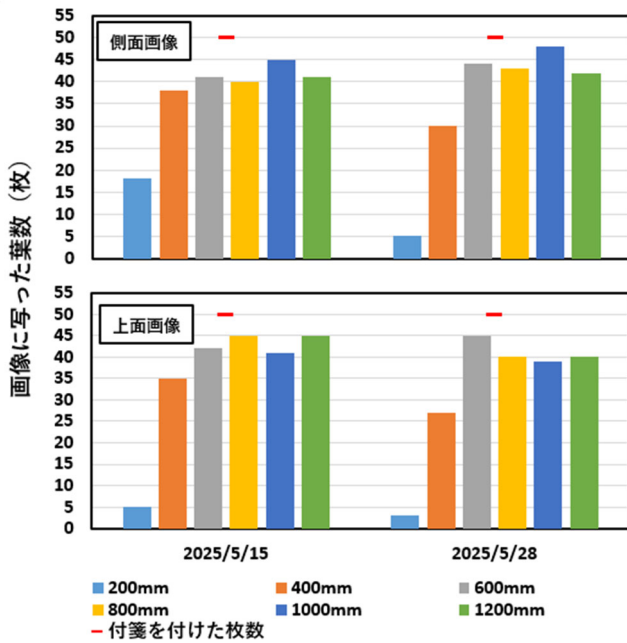


図3 上位葉1~5の撮影要件

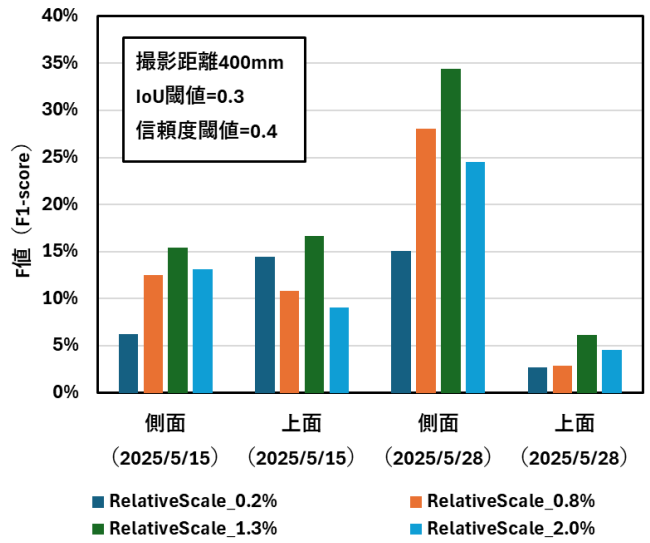


図4 画像分割・対象検出AIプログラムによる検出精度

4. 成果の活用面と留意点

本研究は、天敵管理の場であるバンカーの省力的・定量的モニタリング手法を開発することで、有機栽培イチゴの安定生産に寄与する。

5. 残された課題とその対応

現地への実装を見据えて、本研究で確立した計測手法のマニュアル化、及び定量化した指標を用いたバンカーの管理手法のマニュアル化が今後の課題である。

課題分類：4 (3)

課題 ID：20902-1-27

研究課題：農業用自律作業台車等に搭載する AI を利用したスポット散布システムの開発

担当部署：農機研・無人化農作業研究領域・小型電動ロボット技術グループ

協力分担：なし

予算区分：理事裁量

研究期間：完 2023～2025 年度 (令和 5～7 年度)

1. 目的

現在、雑草抑制および農作業時間・労働コストの削減には除草剤の利用が不可欠である一方、持続可能な農業の観点からは、その使用に伴う環境負荷の最小化が強く求められている。必要部位のみに局所散布するスポット散布は、従来の全面散布と比べて薬剤使用量を大幅に削減し得る手法であり、環境負荷低減とコスト削減の両立に資する技術として期待される。とりわけ非選択性除草剤使用時には、作物への薬害リスクが存在するため、高い空間精度での散布位置制御が不可欠である。本研究は、これらの課題に対し、深層学習に基づくリアルタイム目標検出とスポット散布機構を統合した除草システムの開発を目的とした。具体的には、作物と雑草をリアルタイムに識別し、指定された標的雑草に対して非選択性除草剤を高精度かつ自動的に散布し得るシステムの構築を目指した。

2. 方法

- 1) 本研究では、中型除草ロボットへの搭載を前提に、AI による作物・雑草認識に基づき非選択性除草剤を標的雑草へ選択的に散布する AI 制御型スポット散布システムを設計・試作した (図 1)。システムは、電磁弁スプレーノズル (自動シャットオフタイマー付き) による散布量制御機構、ノズル-地表間距離を一定に保つ高さ調整機構、および横方向・傾斜方向アクチュエータを備えた二軸誘導システムから構成され、作物への薬剤付着を抑えつつ、雑草への高精度なスポット散布を実現することを目的とした。中央制御装置は各アクチュエータを統合制御し、認識モジュールから Modbus RTU を介して送信される作物・雑草の座標情報に基づき、ノズルを標的位置へ高精度に指向させる (図 2)。(2023～2024 年度)
- 2) 除草剤の作物体への付着回避を目的として、実圃場に近接した環境条件下においても高い信頼性を有する AI 作物・雑草検出システムを構築し、その検出性能を検証した。画像取得には Intel RealSense D415 カメラを用い、薬剤散布効率の最適化に資する画像データを収集した。取得画像はリアルタイムに処理し、各雑草個体の位置座標を算出した。これらの座標情報に基づき、制御装置は噴霧ノズルの標的指向制御を実行した (図 3)。さらに、検知結果に基づいてノズル方向制御、バルブ作動、および非選択性除草剤の自律的スポット散布を一體的に制御するプログラムを実装した。本システムの有効性は、固定設置したキャベツ個体ならびに実圃場で取得した雑草画像を供試した室内試験により評価した。(2024～2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) 各モーターの作動範囲および制御精度を評価するため室内試験を行った。その結果、電磁弁は開閉指令に良好に応答し、指令間隔を最小 30ms とした条件でノズル噴霧は安定した。高さ調整機構は、地上高 11～63cm の範囲で高い再現性および均一性を示した。また、噴霧ノズルの実際の散布幅は、ロボットのクローラ幅 (900～1600 mm) と一致した。さらに、水平・傾斜アクチュエータから構成される二軸誘導システムは、作動範囲全域で標準偏差 0.1cm の精度でノズル位置を再現した。加えて、高さ変化が生じた場合でも、ノズルの射出方向および対象物との距離が一定に維持されたことから、両モーターの協調制御が安定して機能していることが示された。
 - 2) 初期運用試験では、固定配置した実際のキャベツを対象とし、実圃場で撮影した雑草画像をランダムに入力して評価した。その結果、自動噴霧ノズルは検出雑草を正確に標的化し、各雑草に対して 1 回の散布が可能であることを確認した。さらに、本システムは作物および各種雑草の識別において、正確度 92%、再現率 88% を達成した。加えて、検出雑草に対する標的指向制御の成功率は 90% であった。
- 以上、本研究では雑草に対してスポット散布できる装置開発を目的として、システム構成を検討した結果、ノズル高さ・水平・傾斜アクチュエータと開発した画像処理技術を組み合わせることで、ノズルを散布範囲内に精度よく指向させることができた。

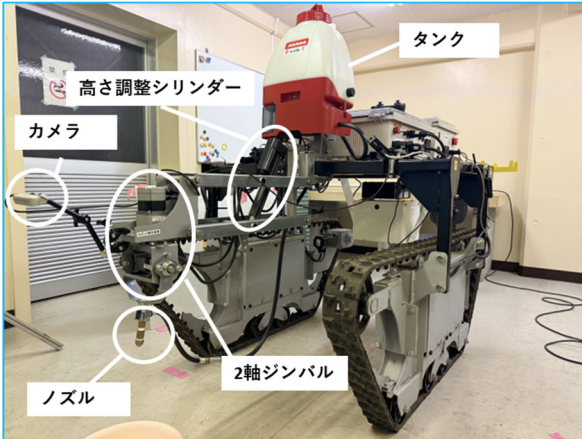


図1 スポット散布システムの試作機

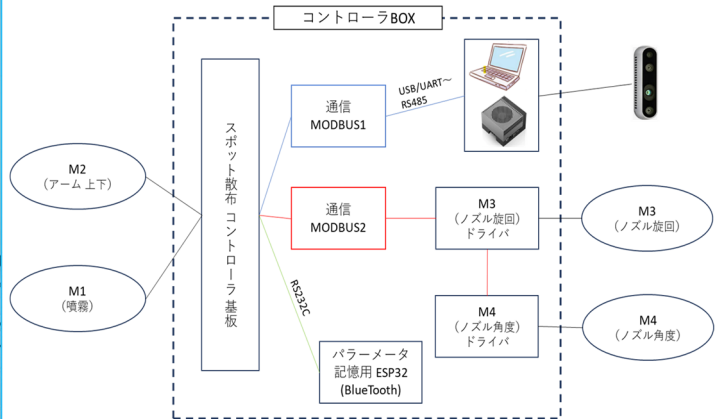


図2 スポット散布システムの制御システムの概略

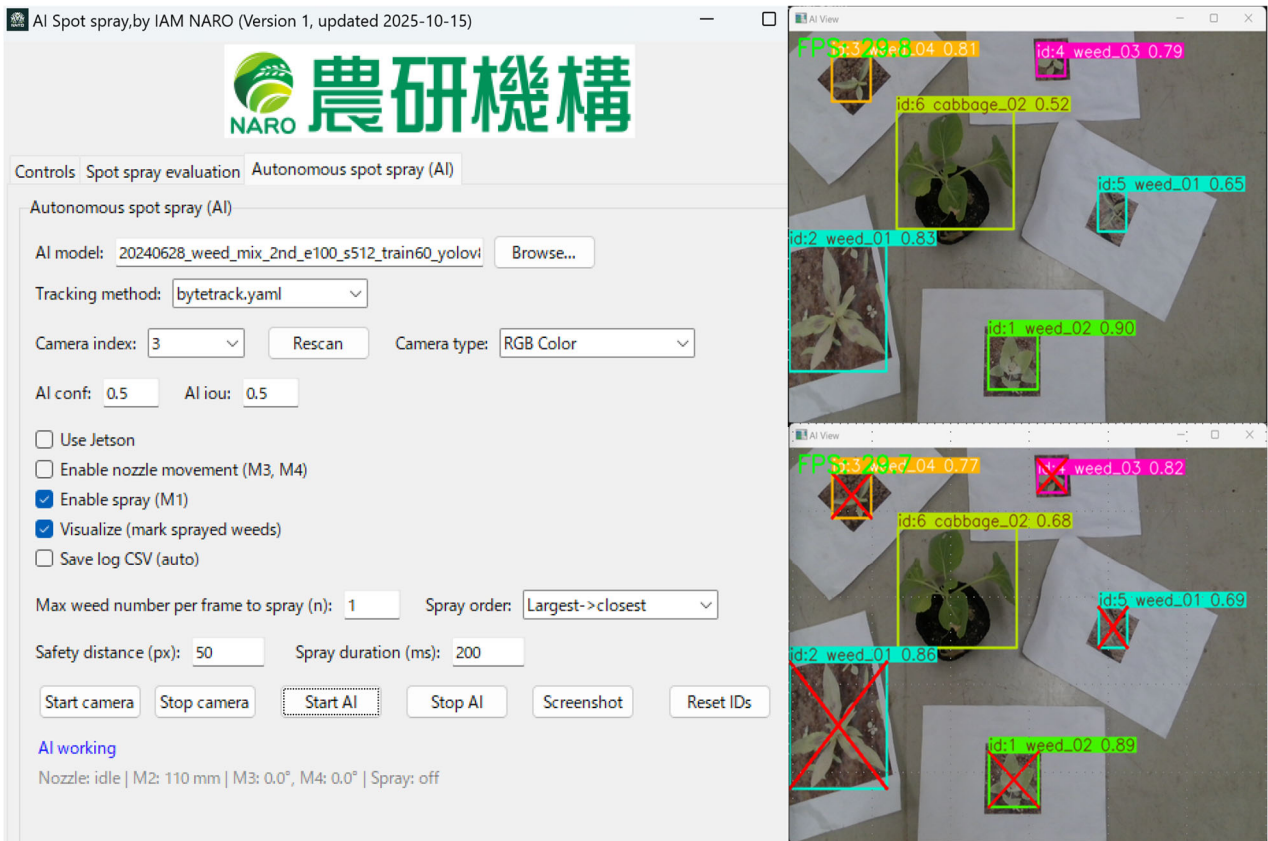


図3 スポット噴霧システムの動作結果の表示

4. 成果の活用面と留意点

野菜等の畑作物をターゲットとした中型除草ロボットの開発に資する。令和8年学会発表予定。令和8年度特許1件出願予定。

5. 残された問題とその対応

現行プログラムではアクチュエータ動作が逐次処理であるため散布速度が制約されており、走行中の連続・円滑なスポット散布の実現に向け、並列動作制御の開発が必要である。また、十分な除草効果を確保し得る除草作業の実施タイミングおよび回数については、実ほ場での実証試験が必要である。

課題分類：5 (1) (8)

課題 ID：20902-2-36

研究課題：籾殻燃焼灰の微細粒分離技術の開発

担当部署：農機研・無人化農作業研究領域・革新的作業機構開発グループ

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2025 年度 (令和 7 年度)

1. 目的

地球温暖化対策計画において、土壌炭素変化量を増加させることを目標としている。これを実現する方策の一つとして、籾殻燃焼装置により生成される籾殻燃焼灰の土壌散布が考えられる。ただし、籾殻燃焼灰は土壌散布時に飛散しやすく、利用上の課題となっている。そこで、本研究では、静電気を用いて飛散しやすい微細粒子を除去する技術を開発する。

2. 方法

1) 微細粒除去による飛散抑制効果調査

篩震とう器を用いて籾殻燃焼灰をふるい、粒度分布を 3 回測定し、その平均値から篩下質量比を算出した。震とう器の設定は投入量約 25 g、振幅 0.75 mm、震とう時間 15 分とした。籾殻燃焼灰を各々の篩目で篩分け、篩上に残った篩分けサンプルを作成し、風洞試験装置を用いて、篩分けサンプルの飛散率を測定した (図 1)。風洞試験装置は高さ 100 mm の風洞、サンプル投入口、回収箱、整流板を備え、サンプルを風洞内に落下させ、100 mm 以上流されない粒を回収した。農薬散布時の推奨風速 3 m/s 未満を参考に、風速設定は 0.9 ~ 2.8 m/s の 3 段階とした。飛散率は投入量と回収量の差を投入量で割った値とし、5 反復の平均値を比較した。

2) 静電気力による微細粒分離試験

静電気力による微細粒分離を行う室内試験装置を製作した (図 2)。室内試験装置を用いて籾殻燃焼灰を静電分離し、静電分離処理物を作成した。静電分離処理物の粒度分布及び飛散率を 1) と同様の方法を用いて測定し、粒度分布は 3 反復、飛散率は 5 反復の平均値を比較した。静電部分離処理物の回収率は、回収量を投入量で割った値とした。回収率は 3 反復の平均値を比較した。室内試験装置の設定は、単電極、電圧 (-5 ~ -15 kV)、回収箱位置 30 mm と設定して試験を行った。

3. 結果の概要

1) 籾殻燃焼灰の 180 μm 篩下質量比は 6.2 % であったが、300 μm を超えると篩下の割合が 10 % を超え、除去する際の処理コストが問題になると考えられる (図 3)。また、篩目が大きいほど飛散率が下がる傾向が見られ (図 4)、180 μm 篩上サンプルは無処理区に比べて 2.8 m/s の飛散率を約 10 % 低減できた。しかし、風速 2.8 m/s の設定では、500 μm 篩上サンプルでも 6 % 程度の飛散率であり、比較的大きい粒でも飛散しやすい粒が混ざっていると考えられた。

2) 静電分離処理物の 180 μm 篩下質量比を図 5 に示す。電圧を大きくすると微細粒の質量比が低下し、電荷を掛けることで微細粒が除去されている。-5 kV の試験区では、無処理区の 180 μm 篩下質量比に近い値であることから、微細粒を分離できておらず、電圧が足りていないと考えられる。-10 kV の試験区では、無処理区に比べて 180 μm 以下の微細粒を約 50 % 低減することが可能であった。-15 kV の試験区では、微細粒の割合が低下したが回収率が大きく低下した。

静電分離処理物の飛散率を図 6 に示す。-5 kV の試験区の飛散率は、無処理区に近い値であり、飛散抑制効果を得られなかった。一方で、-10 ~ -15 kV の試験区では、飛散率が低下しており、飛散しやすい粒を除去できていると考えられた。特に -10 kV の試験区は、篩い分けの試験区よりも飛散率が低く、無処理区に比べ 2.8 m/s の飛散率を 42 % 低減した。

以上、静電気力を用いた微細粒除去技術を開発し、180 μm 以下の微粒子を約 50 % 除去し、籾殻燃焼灰の飛散率を約 40 % 低減させることが可能であることを示した。

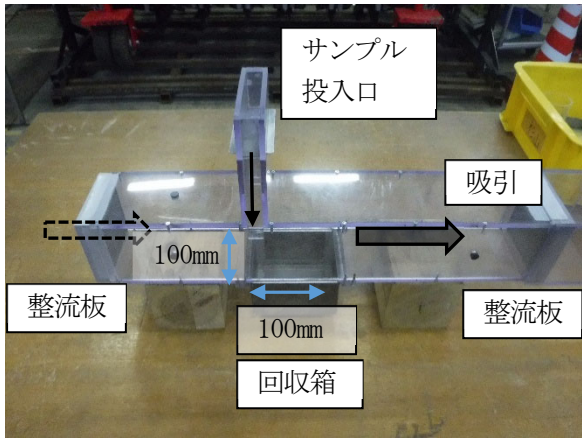


図1 風洞試験装置

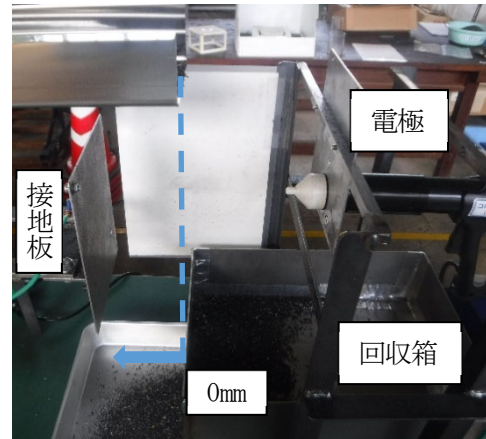


図2 室内試験装置

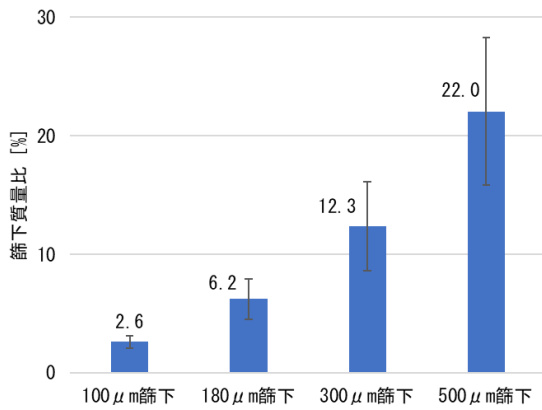


図3 籾殻燃焼灰の篩下質量比

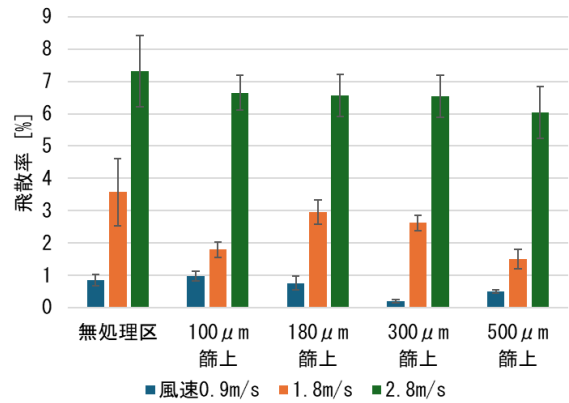


図4 篩分けサンプルの飛散率

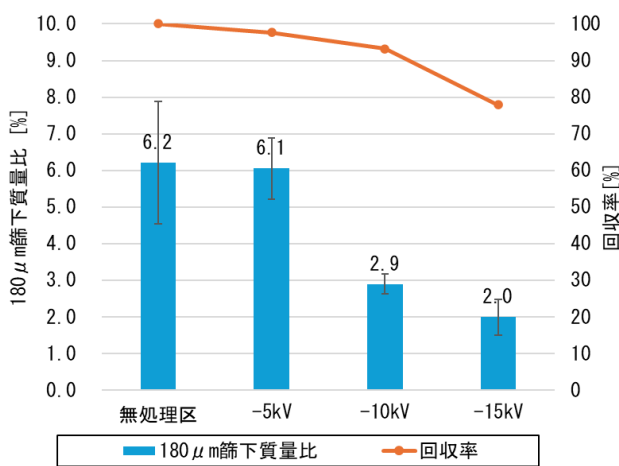


図5 静電分離処理物の180 μm 篩下質量比

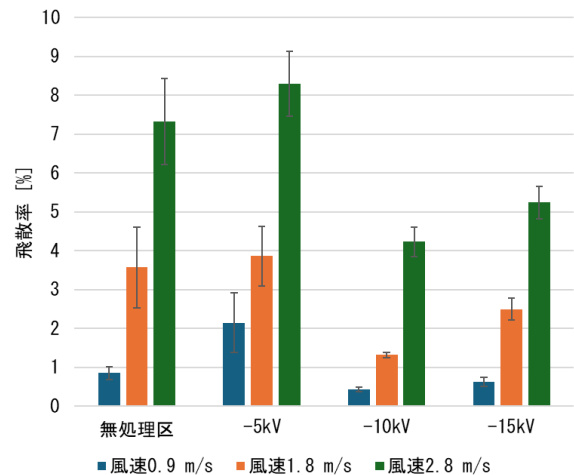


図6 静電分離処理物の飛散率

4. 成果の活用面と留意点

研究結果を基に技術論文を執筆予定。

5. 残された問題とその対応

本技術を用いることで、籾殻燃焼灰の飛散率を低減できるが、ゼロにはできていない。実用化に当たっては、電極から回収箱の高さを伸ばす等、分離を促進する検討が必要である。

課題分類：6 (1)

課題 I D：20902-2-30

研究課題：穀物の高速乾燥技術の開発

担当部署：農機研・無人化農作業研究領域・革新的作業機構開発グループ

協力分担：なし

予算区分：理事裁量

研究期間：完 2023～2025 年度 (令和 5～7 年度)

1. 目的

本研究では、高速で品質を落とすことなく、CO₂などの温室効果ガスの排出を大幅に削減できる新たな乾燥機の開発につながる乾燥手法を見出す。マイクロ波および流動層乾燥による胴割れ米が発生しない加熱条件、乾燥方法について検討する。

2. 方法

- 1) マイクロ波による内部加熱 (以下、マイクロ波乾燥) および流動層による外部加熱 (以下、流動層乾燥) の電子レンジおよび流動層乾燥機を用いて、初期籾水分の高い籾 (平均 34.1%w. b.) の乾燥時間と胴割れ発生の関係を調査する乾燥試験を行った (図左、中)。マイクロ波乾燥においては初期投入籾質量に対するマイクロ波出力を 1.0～5.0W/g、乾燥時間 50～360 秒とし (バッチ式、初期投入籾質量 125～167g)、流動層乾燥においては熱風温度を 60～80℃、乾燥時間 50～360 秒とした (バッチ式、初期投入籾質量 150g)。各試験区における設定乾燥時間経過後は自然乾燥させ、その後 1000 粒手剥きし、胴割れチェッカーを用いて目視で胴割れを調査した。(2023 年度)
- 2) 胴割れ防止対策として適正な乾燥休止時間・方法を調査するため、電子レンジを用いてマイクロ波出力 150W、乾燥時間 120～210 秒 (バッチ式、初期投入籾質量 150g) で乾燥したのち、通風冷却しながら乾燥休止時間 10 分を設け、乾燥休止時間経過後、再度乾燥と休止を 2 回、または 6 回繰り返した。試験終了後は自然乾燥させ、小型籾摺機と穀粒判別器 (S 社) により胴割れを調査した。(2024 年度)
- 3) 1)、2) の結果を踏まえて初期籾水分から仕上げ水分 (15%w. b.) までの乾燥速度が 2.0%以上、胴割れ増加率 3.0%以内となる乾燥条件を見出すため、マイクロ波乾燥及び籾殻燃焼装置の温風を利用した流動層乾燥 (図右) を行った。試験終了後は 2) と同様に胴割れを調査した。(2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) 30%w. b. を超える高水分籾を短時間で 3%w. b. 程度乾燥させても胴割れが増加することはほぼないことが確認された。これは高湿材適応コンバイン等で収穫された高水分籾を循環式乾燥機で通常と同様に乾燥しても胴割れが起こる可能性が低いと考えられ、また、高水分籾を通常乾燥よりも早く乾燥することで、仕上げ水分まで乾燥に必要な時間を短縮できる可能性があった。
- 2) 調査結果を表 1 に示す。乾燥速度は 3.5～6.8%w. b. /h で乾燥-休止 7 回の試験区では水分が低下するため、乾燥速度は小さくなる傾向となるものの、目標値の 2.0%w. b. /h を上回る結果となった。胴割れは 0.3～7.4%で乾燥-休止 7 回の試験区では乾燥時間が 120、150 秒で目標値の 3.0%以下となった。乾燥後は自然冷却ではなく、通風して速やかに籾を冷却することで、再乾燥時の胴割れが抑制可能と考えられた。
- 3) 2024 年度の結果とは異なり、乾燥速度が 2.0%w. b. /h 未満でも胴割れが多く発生し、再現性が確認できなかった。流動層乾燥とマイクロ波乾燥を組み合わせした場合、流動層乾燥、マイクロ波乾燥の順とすることで乾燥速度が上がる可能性があった。

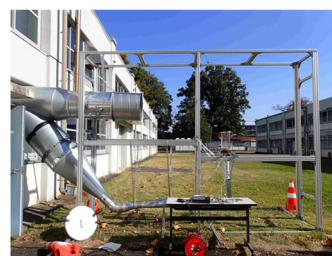
以上、マイクロ波および流動層乾燥による乾燥試験を行い、乾燥条件と乾燥速度および胴割れに対する影響について調査し、乾燥基礎データを得た。



流動層乾燥（電気ヒーター）



電子レンジ



流動層乾燥（粃殻燃焼熱）

図 乾燥試験の様子

表 1 マイクロ波乾燥試験結果（2024 年度）

乾燥-休止回数	回	3				7			
マイクロ波出力	W	150				150			
乾燥時間	秒	120	150	180	210	120	150	180	210
乾燥前水分	%w. b.	24.3	23.8	23.8	23.4	23.3	22.9	23.7	22.8
乾燥後水分	%w. b.	21.6	20.9	20.6	19.9	18.3	17.5	17.3	16.2
所要時間	分	26	27.5	29	30.5	86	90	94	98
乾燥速度	%w. b. /h	6.3	6.3	6.7	6.8	3.5	3.6	4.1	3.0
胴割れ率	%	1.2	1.9	0.3	2.4	1.0	1.9	3.6	7.4

表 2 マイクロ波乾燥試験結果（2025 年度）

マイクロ波出力	W	150				750			
初期粃質量	g	150	150	150	250	250	150	250	250
乾燥時間	秒	120	150	24	40	40	30	50	50
乾燥前水分	%w. b.	31.1	33.0	29.9	23.6	28.3	32.3	28.1	24.1
乾燥後水分	%w. b.	16.3	20.4	15.3	14.6	14.9	21.4	15.2	16.2
所要時間	分	398	285.8	562	223.3	405.3	399	227.5	163.3
乾燥速度	%w. b. /h	2.2	3.4	1.6	1.6	2.0	1.6	3.4	2.9
胴割れ率	%	40.6	31.5	15.2	56.9	26.1	20.7	38.7	62.4

表 3 流動層とマイクロ波による乾燥試験結果

乾燥サイクル		流動層のみ	マイクロ波→流動層	流動層→マイクロ波
マイクロ波出力	W	—	500	
乾燥時間	秒	60	流動層 120、マイクロ波 45	
乾燥前水分	%w. b.	24.2	23.7	23.7
乾燥後水分	%w. b.	17.3	15.2	14.4
所要時間	分	367	315	253.8
乾燥速度	%w. b. /h	1.1	1.6	2.2
胴割れ率	%	10.1	13.3	17.1

注：初期粃質量 150g、乾燥 1 サイクル実施後休止時間 60 分を設定。

4. 成果の活用面と留意点

高水分粃の初期乾燥には有効と考えられるが、その後の乾燥には適切な乾燥休止時間が必要である。

5. 残された課題とその対応

胴割れと乾燥速度に再現性が確認できないため、更なるデータの蓄積による検証が必要である。

課題分類：5 (5)

課題 I D：20902-2-37

研究課題：飼料収穫機用破砕機の開発

担当部署：農機研・無人化農作業研究領域・革新的作業機構開発グループ

協力分担：埼玉農技セ

予算区分：理事裁量

研究期間：完 2024～2025 年度 (令和 6～7 年度)

1. 目的

汎用型飼料収穫機に装着可能なイアコーン収穫用のスナッパヘッドが市販化され、黄熟期に収穫することで良質なサイレージを調製することができ今後の普及が見込まれる。一方で、完熟期に収穫した場合、無破砕子実が増加し、子実が未消化のまま乳牛のふん中に排出されることが懸念される。2022 年度の試験時に完熟期のイアコーンを収穫した際には、およそ 7%が無傷の子実であった。今後イアコーンの普及が進むなかで、天候不順や作業面積の増大に伴い、黄熟期に収穫できず、完熟期にずれ込む場合も想定され、無破砕子実への対応技術の開発が必要であると考えられる。また、ホールクロップサイレージの飼料用イネや飼料用トウモロコシについても、子実を破砕する要望もある。そのため簡易破砕機を開発するとともに、埼玉県と連携しイアコーンなどの給与実証試験を実施し、イアコーン収穫体系を普及促進する。

2. 方法

破砕程度の改善をはかるため、簡易破砕機を開発しその効果を確認した。また、破砕した飼料の消化性を確認するため、肉牛への給与試験を行った。

- 1) 凸形状と凹形状の簡易破砕機を製作し、イアコーン、飼料用トウモロコシ、飼料用イネでその効果を確認した (表 1、表 2)。(2024～2025 年度)
- 2) イアコーンと飼料用イネを肉牛へ給与し、ふん洗いし、ふるい上の固形物の量を調査した。(2024～2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) 簡易破砕機は、アップカット式シリンダ型カッターヘッドの固定刃の上方の壁面に取り付けた衝突板とした (図 1)。切断された飼料は、カッターヘッドの回転に伴い上方に吹き上げられた直後に壁面の衝突板に接触し破砕される仕組みとした。
- 2) 凸形状の簡易破砕機を用いたイアコーン試験では、無傷子実率は作業速度 1.0m/s で無処理区の 7.0%から、破砕区 1 (薄い) で 4.4%、破砕区 2 (厚い) で 4.3%に改善した。作業速度を低下させると無破砕子実率は低下する傾向が見られた (図 2)。飼料用イネの黄熟期試験では、無傷子実率は作業速度 0.2m/s で無処理区の 1.1%から、破砕区 2 で 0.4%に改善したが (図 3)、収穫部での詰まりが発生し、改良が必要であった。完熟期試験でも詰まりが発生し、無処理区は平均 1.8%、破砕区 2 は平均 2.2%であった。
- 3) 凹形状、凸形状の簡易破砕機を用いた完熟期イアコーン試験での無破砕子実率の平均値は凹形状小 3.0%、凸形状 3.6%、凹形状大 4.2%、無処理区 4.5%の順であった。完熟期飼料用トウモロコシでは、設定切断長 6mm 無処理区 1.9%、6mm 凹形状小 2.0%、6mm 凸形状 2.0%、11mm 凸形状 2.9%、11mm 凹形状小 3.3%、11mm 無処理区 4.1%の順であった。完熟期飼料用イネでは、6mm 凸形状 12.2%、6mm 凹形状小 13.2%、6mm 無処理区 19.6%、29mm 凸形状 29.3%、29mm 凹形状 29.7%、29mm 無処理区 36.2%の順であった。詰まりは発生しなかった。
- 4) 簡易破砕装置の有無によるイアコーンを肉牛へ給与した結果、ふるい上の固形物の量に差は認められなかった。子実収量の大きい飼料用イネ夢あおばの給与試験は 2026 年 2 月に実施する予定である。

以上、簡易破砕機を開発し、その効果をイアコーン、飼料用トウモロコシ、飼料用イネで確認し、無破砕子実率が改善することが確認された。

表1 2024年試験条件

簡易破砕機	凸形状 (5mm厚)、凸形状 (10mm厚)、平板 (通常)
設定切断長(mm)	6
作業速度 (m/s)	0.2、0.5、1.0
イアコーン	品種:KD502、完熟期:乾物収量0.8t/10a (含水率24%)
飼料用イネ	品種:つきすずか (極短穂品種)、黄熟期:乾物収量1.8t/10a (含水率62%)、完熟期:乾物収量1.3t/h (含水率54%)

表2 2025年試験条件

簡易破砕機	凸形状 (5mm厚、2024年製作)、凹形状、平板 (通常)
設定切断長(mm)	イアコーン:6、飼料用トウモロコシ:6と19、飼料用イネ:6と29
作業速度 (m/s)	設定切断長6mm:0.2と0.5、19mmと29mm:0.2と1.0
イアコーン、飼料用トウモロコシ	品種:NS125スーパー、黄熟期:乾物収量1.8t/10a (含水率73%)、雌穂乾物収量0.7t/10a (含水率50%)、完熟期:乾物収量1.8t/h (含水率65%)、雌穂乾物収量0.7t/10a (含水率35%)
飼料用イネ	品種:夢あおば、完熟期:乾物収量1.7t/10a (含水率47%)

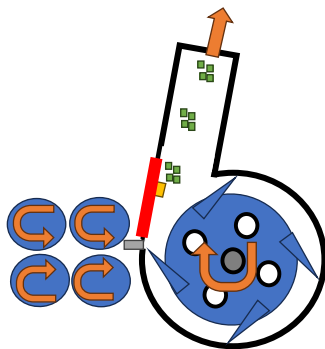


図1 収穫部の模式図 (赤色線分が簡易破砕機)

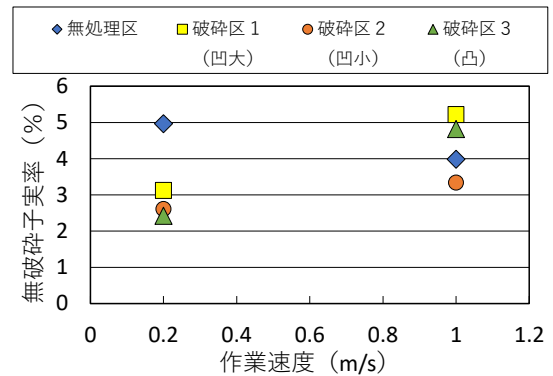


図2 完熟期イアコーン結果 (2025年度)

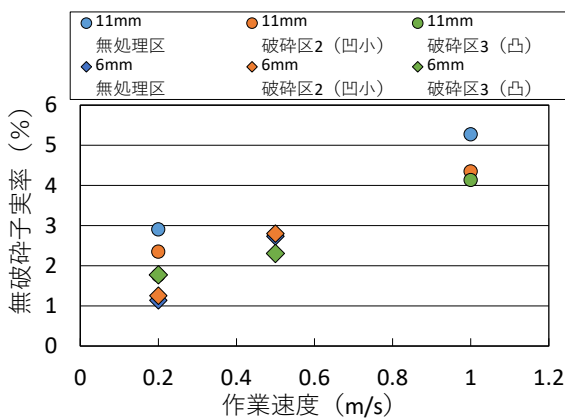


図3 完熟期飼料用トウモロコシ結果 (2025年度)

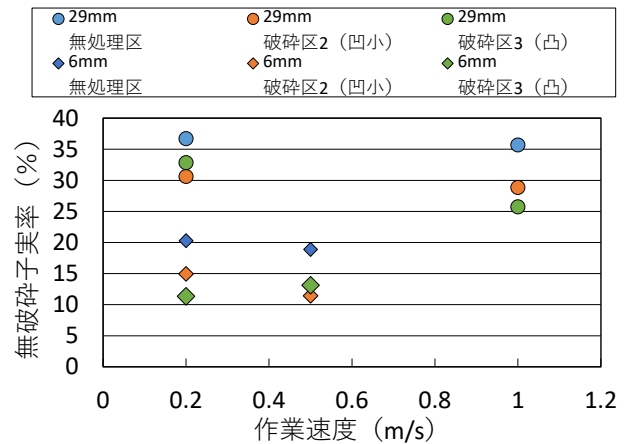


図4 完熟期飼料用イネ結果 (2025年度)

4. 成果の活用面と留意点

簡易破砕装置について特許出願、日本草地学会で発表。

5. 残された問題とその対応

メーカーに技術提案し社会実装を目指す。

課題分類：8 (9)

課題 ID：20902-2-24

研究課題：乳牛 BCS 推定技術の精度向上と自動化の検討

担当部署：農機研・無人化農作業研究領域・革新的作業機構開発グループ

協力分担：畜産研

予算区分：理事裁量

研究期間：完 2024～2025 年度（令和 6～7 年度）

1. 目的

ボディコンディションスコア（以下、BCS）は乳牛の皮下脂肪の蓄積の程度を目視と触診を用いて数値化した指標であり、BCS の客観的判定技術が望まれている。2022 年度までに開発した乳牛後方 2 次元画像から BCS を判定するシステム（以下、既存システム）では、背景除去に課題が残った。2023 年度に BCS 推定に必要な腰角部を拡大した画像を用いることにより、背景除去成功率向上効果と BCS 推定を安定的に算出するアルゴリズムを見いだした。一方で、背景除去は外部サービスに依存しており、コスト低減のために背景除去を用いない BCS 推定技術も必要であると考えられた。そこで既存システムに腰角部拡大画像を利用するアプリケーションを作成し、精度を確認した。また、牛体を 3D モデル化し、背景除去が不要で繋ぎ飼い牛舎でも使用可能な新たな BCS 推定システムを検討した。

2. 方法

- 1) 腰角部を拡大した乳牛後方 2 次元画像から BCS を推定するアプリケーションプログラム（以下、アプリ）を MATLAB で作成し、既存システムとの判定状況の違いを過去に収集した 276 頭分の画像を用いて確認した。（2024 年度）
- 2) 技術移転を見据え、搾乳ユニット自動搬送装置にビデオカメラを取り付け、牛舎内を移動させて各牛床の乳牛を動画で撮影し、動画から乳牛を検出し、BCS を推定するシステムを開発した。（2025 年度）
- 3) 新たな BCS 推定システムにおいて、太陽光に強いモデルの ToF（Time of flight）カメラを用いて腰角部、座骨部を 3D モデル化し、背景除去の外部サービスを必要としない推定手法を開発した。ホルスタイン種の乳牛を後方から ToF カメラで撮影して 3D データを収集した。同時に乳牛の飼養管理を担当する研究員が乳牛を UV 法（触診と目視で判定）で BCS を判定した。収集した 3D データから MATLAB により座骨部位を抽出し、座骨の急峻度を用いて推定した BCS と UV 法による BCS の相関を調査した。（2024～2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) 腰角部を拡大した乳牛後方 2 次元画像から BCS を推定するアプリは、既存システムとほぼ同等の判定精度であることを確認した（図 1）。
- 2) 動画から乳牛を検出し、BCS を推定するシステムは、動画から一定間隔で静止画を抽出し、抽出した静止画から乳牛を検出し、検出した位置の画像を切り抜き、切り抜いた画像を背景除去し、背景除去した画像が BCS 推定に利用できるか否かを判定し、利用できる画像であれば BCS を推定し記録する構成とした（図 2）。
- 3) 新たな BCS 推定システムは、3D データから座骨を抽出し、その急峻度を利用して BCS を推定する構成とした（図 3）。太陽光に強いモデルの ToF カメラを利用することで、光線の影響によるノイズが除去されることを確認したが、夏季の強い日差しのある状況で、太陽光に照らされた窓枠が手前方向に浮かび出る現象があった。UV 法による BCS と新たな BCS 推定システムで推定した BCS の判定精度は決定係数 0.5 程度で、一定の精度で推定できる可能性を得た。判定に適する 3D データを安定的に収集する方法の検討が必要であった。

以上、腰角部を拡大した乳牛後方 2 次元画像から BCS を判定するアプリを作成し、動画から BCS を判定するシステムを構築した。また座骨部の 3D データを利用した BCS 推定手法を考案し、一定の精度で推定できる可能性を得た。

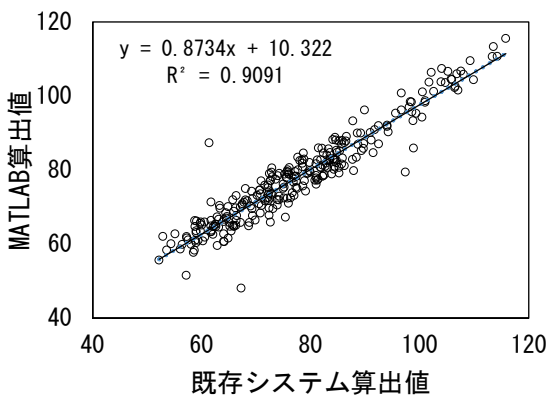


図1 乳牛後方2次元画像を用いたアプリの比較 (2024年度)

ID:202409120_image0_02_1

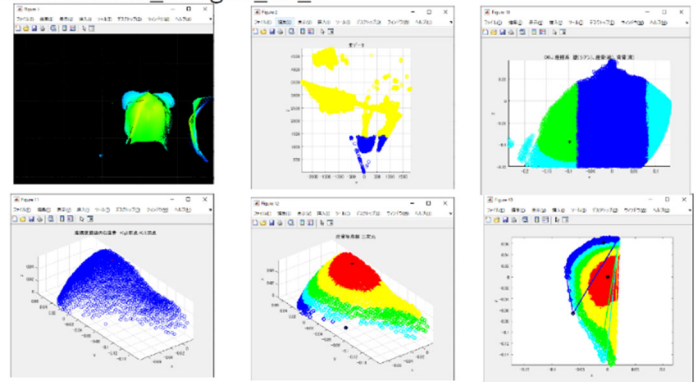


図3 乳牛後方3Dデータを用いたBCS推定手法 (画像解析の一例) (2024年度)

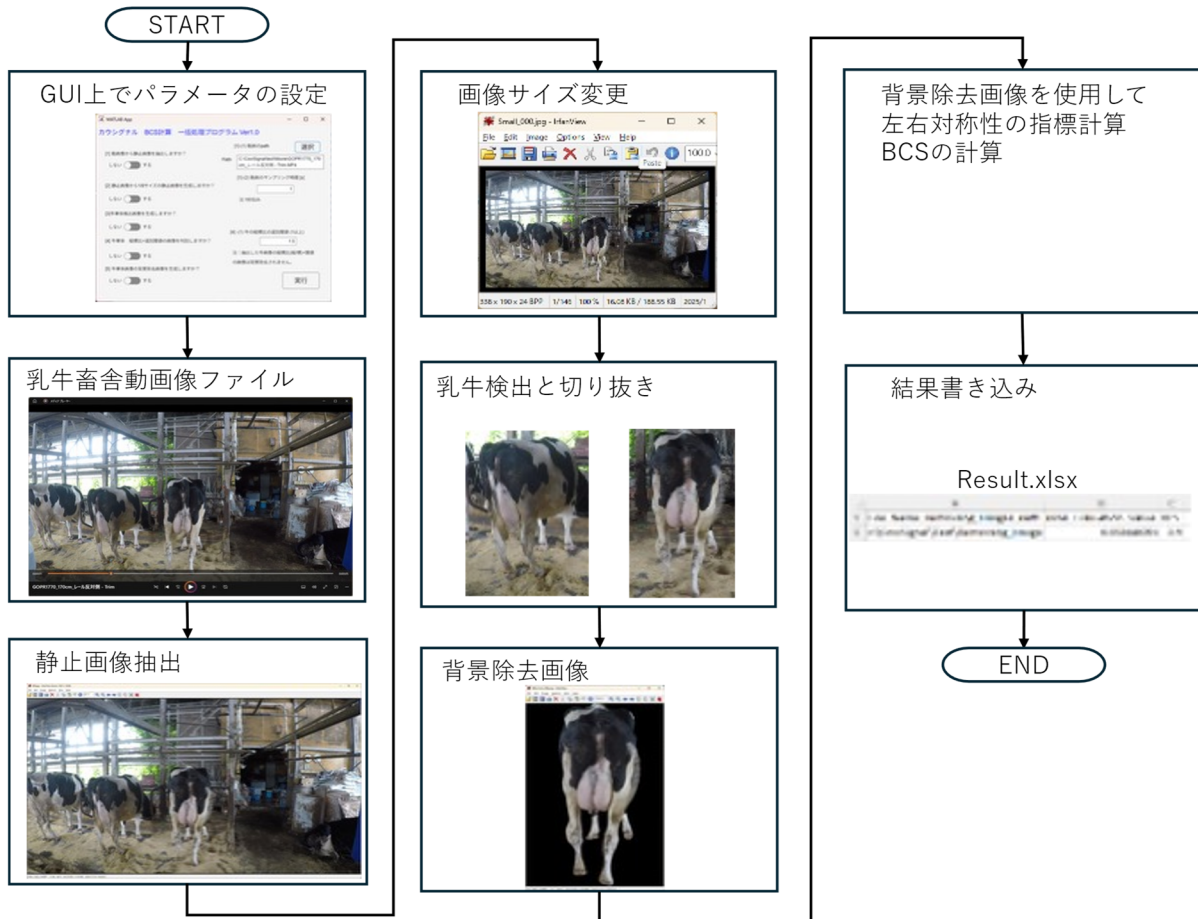


図2 牛舎動画からBCS推定するフロー図 (2025年度)

4. 成果の活用面と留意点

乳牛後方2次元画像からBCSを判定するための手動撮影時での有効な撮影条件について論文投稿予定。
 乳牛後方3Dデータを利用し、座骨部などからBCSを判定する手法について特許を2件出願。
 乳牛の姿勢からBCS判定に用いて良いか判定する手法について特許を1件出願。
 BCS判定アプリを職務作成プログラムに2件登録。

5. 残された問題とその対応

BCS判定アプリの有効性を実証するプロジェクト研究が必要であり、外部資金への応募を検討する。また、技術移転先企業を探索する。

5. システム安全工学研究領域

課題分類 : 11 (9)

課題 ID : 20903-1-07

研究課題 : 農作業安全関連研究開発及び情報発信に向けた農作業事故詳細調査・分析

担当部署 : 農機研・システム安全工学研究領域・予防安全システムグループ

協力分担 : 北海道農作業安全運動推進本部、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、神奈川県、新潟県、富山県、山梨県、長野県、岐阜県、滋賀県、鳥取県、岡山県、広島県、徳島県、福岡県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県、交通事故総合分析センター、中央労働災害防止協会、日本労働安全衛生コンサルタント会、労働安全衛生総合研究所、農工研

予算区分 : 基礎・基盤

研究期間 : 完 2025 年度 (令和 7 年度)

1. 目的

自治体等と連携して、継続的な農作業事故の詳細調査・分析を実施し、得られた知見を事故の未然防止に活用するとともに、ウェブサイトでの情報発信や自治体等を通じた各研究成果・課題の普及・推進に反映させる。また、これらの取組を通じて、成果の社会実装に向けたさらなる課題の把握と対応方法に関する知見を得る。

2. 方法

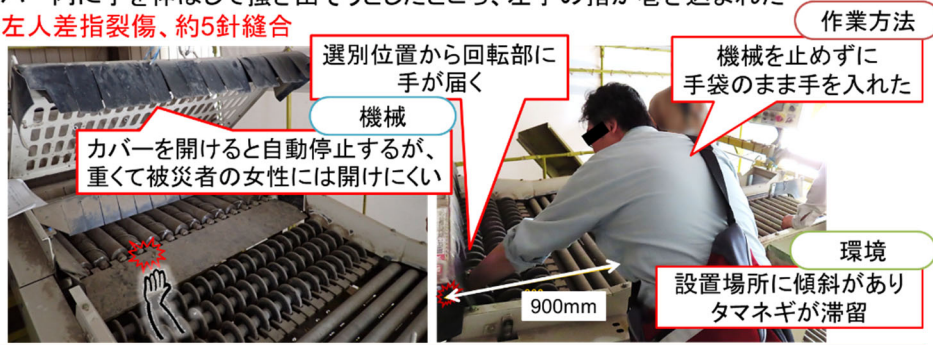
- 1) 調査協力先から提供された農作業事故報告事例や、協力先との連携による現地調査事例について、これまでに確立した各分析手法を用いて、詳細な事故分析を行った。(2025 年度)
- 2) 1) で得られた知見をもとに、ウェブサイト「農作業安全情報センター」での情報発信を行った。また、既往の研究成果(農作業事故事例検索システム、対話型農作業安全研修ツール、農作業事故体験 VR、未然防止行動事例検索システム)の活用とあわせて、自治体等における安全対策・啓発の取組への反映及び支援を行った。(2025 年度)
- 3) 2) の取組を通じて、地域レベルでの安全啓発に係る現状や課題を把握し、関連研究成果・課題における社会実装や推進に反映させた。(2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) 各事例の分析の結果、一定の詳細情報を有する全ての事故で、人に関する要因以外に、機械・施設、環境、作業・管理の各面での要因が確認でき、それらへの具体的改善の必要性が示された。このうち、被災者がリスク自体は認識していたものの、機械等の要因が重なって事故に至った事例を図 1、図 2 に示す。
- 2) 昨年度実施した事故現地調査分析結果 25 件を、新たに「農作業安全情報センター」(農作業事故事例検索システム)で公開し、1) に示した各面での要因と対応する改善手法、生産者による実際の改善事例を発信した(累積 265 件)。同システムや、現場での具体的改善をより効果的に促す手法として開発した対話型農作業安全研修ツール及び農作業事故体験 VR の更なる活用を促すべく、国や自治体等での農作業安全指導者向け各種研修等を通じて、前年度を上回る約 2,600 名以上(累積延べ 8,000 名以上)の地域担当者に周知した。特に対話型研修については、ある協力先自治体での取組を広く周知した結果、新たに複数の自治体が、指導者向けに対話型研修手法の習得研修を独自に行い、開催の促進を図る等、取組の拡大が確認された。また、ある地域の JA 青年部では、前年度の対話型研修で醸成された取組推進の機運を受け、他地域の JA 青年部とも連携した安全推進動画の作成や、事故事例検索システムの掲載事例を用いた対話による対策手法検討会の開催等、生産者主体の活動が更に展開された(図 3)。この活動を他の協力先自治体でも紹介したところ、当地の青年クラブによる対話型研修や現地検討会の活動が行われる等、さらに広域的な展開につながった。
- 3) トラクタ転倒・転落事故防止のためのシミュレーション技術に関する研究成果としての啓発動画コンテンツ作成では、各地域の安全指導担当者が農業機械等に関する経験を有しない場合もある等の現場の実態を踏まえ、事故事例との関連の明示や、生産者による現場に即した対策検討の提案、解説の構成等への反映を行った。また、AI を活用した人検出システムに関する研究課題に関しては、事故調査連携地域での担い手層への事故分析結果のフィードバック(農作業安全研修)にあわせて、将来的な対策手法の提案として試作機のデモを行い、ニーズの高さや活用先の提案、受容価格帯等について、実用化に向けた知見を得た。

以上、農作業事故の詳細調査・分析事例を蓄積し、得られた知見を踏まえて、現地での効果的な啓発促進につなげるとともに、関連研究への反映を行った。

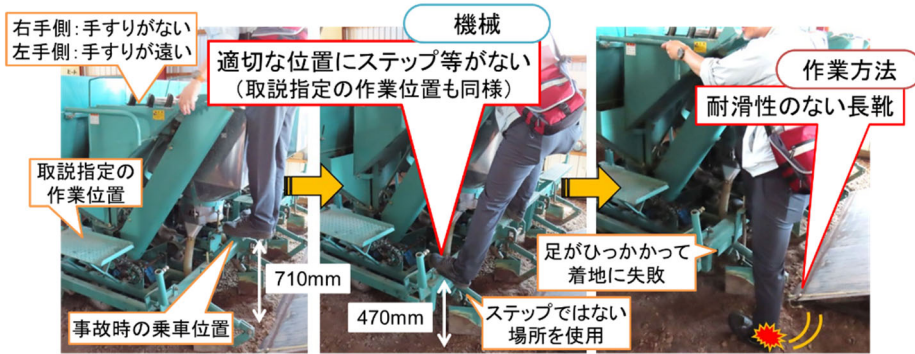
【概要】オニオンタッパのタッピングローラ部にタマネギが滞留したため、選別部からカバー内に手を伸ばして掻き出そうとしたところ、左手の指が巻き込まれた
 ⇒左人差指裂傷、約5針縫合



改善策：手を入れない（設計改善も要）、機械停止、手袋を外す、設置場所見直し等

図1 農作業事故現地調査事例（オニオンタッパに指が巻き込まれた）

【概要】トラクタに直装したポテトプランタに乗って植付作業中、旋回時に降車しようとしたところ、着地に失敗して足首をひねった ⇒左足首捻挫、約2ヶ月固定



改善策：指定位置での作業（乗降部を含めた設計改善も要）、乗車不要な機械に更新等

図2 農作業事故現地調査事例（ポテトプランタから降車時に着地失敗）

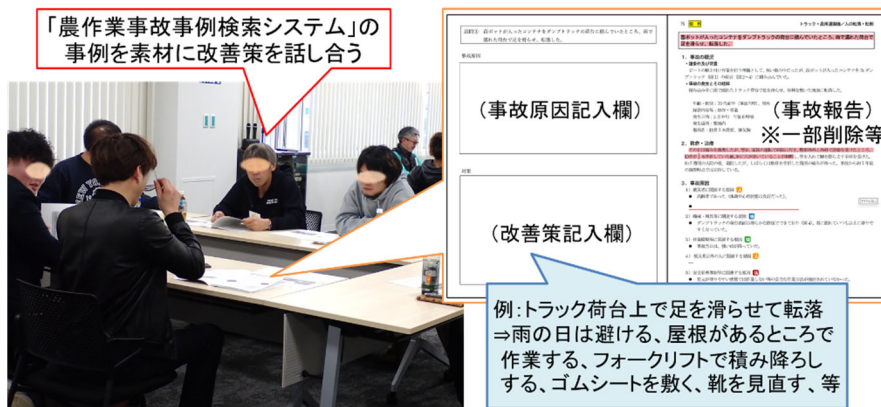


図3 生産者主体の農作業安全活動の展開例（JA 青年部、事故事例を用いた対話による対策検討）

4. 成果の活用面と留意点

農作業事故の現地調査事例については、それぞれ報告書に取りまとめ、次年度にウェブサイト「農作業安全情報センター」内のコンテンツ「事故事例検索」及び「改善事例検索」で公開予定である。ウェブサイト内の情報を活用する際には、コンテンツごとに定められた利用条件を満たす必要がある。

5. 残された問題とその対応

生産現場でのリスクについては、生産方法や使用機械、労働環境等の変化により新たな課題が発生し得るため、今後も継続的に農作業事故の詳細な調査事例を蓄積し、生産者及び現地担当者が活用しやすい形で発信内容の充実化を図ることで、的確な取組の更なる促進につなげる必要がある。

課題分類：11（9）

課題 I D：20903-1-02

研究課題：VR を活用した危険体感型農作業安全教育資材の高度化に向けた研究

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・予防安全システムグループ

協力分担：全国共済農業協同組合連合会、交通事故総合分析センター、中央労働災害防止協会、日本労働安全衛生コンサルタント会、労働安全衛生総合研究所、農工研

予算区分：基礎・基盤、理事裁量

研究期間：完 2024～2025 年度（令和 6～7 年度）

1. 目的

先行課題において「農作業事故体験 VR」を JA 共済連と連携して開発・公開し、VR を活用した安全研修（以下、VR 安全研修）の実施マニュアル（以下、マニュアル）を作成した。本研究では、各地域で行われる安全教育への VR 安全研修の導入を推進するとともに、普及において抽出された課題を踏まえ、学習者の行動に応じて個別に学習内容を提示できる（以下、行動選択型）新たな安全啓発システムを提案する。

2. 方法

- 1) マニュアルを JA 共済連ウェブサイト公開するとともに、円滑な研修実施を実現できる VR 設定方法等の必須ポイントを簡潔にまとめた補助資料を農作業安全情報センターに公開した。また、農作業安全指導者向けの各種研修を通じて、VR 安全研修の開催手法について周知した。（2024～2025 年度）
- 2) 農業以外の産業（以下、他産業）の安全啓発で用いられている行動選択型 VR コンテンツの現状を調査し農作業安全啓発用に開発する行動選択型 VR コンテンツの仕様を整理した。（2024 年度）
- 3) 歩行用トラクタ（以下、歩トラ）の動作確認用 VR コンテンツを試作し、被験者 24 名を対象に、VR 安全研修に活用する上で必要な事項に関するアンケート調査を実施した。（2024～2025 年度）
- 4) 2) 3) の結果を踏まえ、歩トラ用行動選択型 VR コンテンツを試作した。（2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) VR 安全研修の企画・運営時に、自身の経験を踏まえて適切な情報を容易に得られる環境を構築でき（図 1）、地域の安全指導者から「円滑な実施に有用」と評価された。R6～7 年度中、農作業事故体験 VR は 500 件以上活用され（図 2）、VR 安全研修の月平均開催数はそれ以前の約 2 倍と、導入推進を確認した。
- 2) 他産業の VR コンテンツは、現場の事故や災害に応じた操作方法やシナリオで構成されていた（表 1）。共通事項として、①違和感や VR 酔いの軽減のため、VR 映像が 3DCG で高品質かつ遅延せず滑らかであること、②心理的・肉体的な負担の軽減のため、1 シナリオ当たりの体験時間が長くなりすぎないこと、が挙げられ、これらは農作業安全啓発用の VR コンテンツにも必要な要件と考えられた。また、従来の VR 安全研修の実施状況を踏まえると、開発する行動選択型 VR コンテンツは、体験者が容易に使用可能で、かつ研修実施者が可搬性・設置性・取扱性の観点から運用しやすい形態とする必要性が確認された。
- 3) 動作確認用 VR コンテンツは、VR ゴーグル（Meta Quest 3、Meta 社）に付属するコントローラの特定のボタンを押下することで、仮想空間上の機体が前進、後進、ダッシング、挟まれの挙動を示す簡易的な構成とした。アンケート調査の結果、仮想空間上の機体の操作方法、通常時の機体の動作、挟まれ・ダッシング時の動作、新たな危険事象の追加、事故体験後の解説等の改善提案が得られた（表 2）。
- 4) 試作した行動選択型 VR コンテンツは、3) に示した VR ゴーグルを使用し、仮想空間上の機体を、現実世界の手またはコントローラが反映された仮想空間上の手で操作できるものとした。作業内容は、ビニルハウス内の妻面への後退及び妻面付近からの耕うん作業とした。体験者は、エンジン回転数と抵抗棒の高さの設定、クラッチレバーとハンドル高さを操作することができ、誤った操作を行った場合には挟まれ、跳ね上がり、ダッシングの危険事象が発生し、正しい操作を行った場合には危険事象を回避できるシナリオとした。さらに、事故体験後には事故対策に関する解説を視聴する構成とした（図 3）。なお、ダッシングが発生した際には、危険発生時の対処方法も体験できるよう、デッドマン式クラッチの解放や緊急停止装置の押下により機体が停止するようにした。

以上、VR 安全研修を地域で自律的に開催できる環境を確立するとともに、他産業での行動選択型 VR コンテンツの調査を実施し、農作業安全啓発用の行動選択型 VR コンテンツを試作した。

VR研修マニュアル(JA共済連ウェブサイト)

VR研修の企画・運営方法について網羅的に解説

【基本編】
①準備・進行等をパターン別に解説
②VR動画・機器機能、活用方法や学習効果について、紹介・解説

【発展編】
③グループ討議、講師の役割、研修ツールの紹介

補助資料(農研機構ウェブサイト「農作業安全情報センター」)

最低限必要なVR設定方法やコツ・ポイントを紹介

- ・体験者が容易に視聴できるVR設定方法
- ・体験前に、体験者に伝えておくことリスト
- ・より快適に体験できるための資料紹介

- 活用方法(例)
- ・農作業安全研修の経験がない ⇒ VR研修マニュアル①、②を主に活用
 - ・農作業安全研修の経験はあり、VRを取り入れたい ⇒ VR安全研修マニュアル②、③(参考)、補助資料を主に活用
 - ・VR安全研修をさらに活気あるものにしたい ⇒ VR安全研修マニュアル③
 - ・とにかく農作業事故体験VRを体験させたい ⇒ 補助資料を活用

図1 マニュアル・補助資料の概要と活用方法例

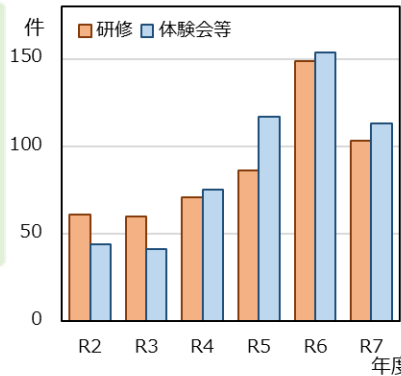


図2 農作業事故体験 VR 活用実績 (※R7年度は11月時点)

表1 他産業の行動選択型 VR コンテンツの調査結果

コンテンツの種類	・現場での事故(機械乗車時以外):墜落・転落、転倒、機械との衝突、感電・短絡、伐木による伐倒等 ・現場での事故(機械乗車時):転倒・転落、作業者との衝突 ・避難訓練、消火訓練
VR映像の質	3DCG、高品質、遅延せず滑らかな動作
1シナリオ当たりの体験時間	1~5分程度
VR内の手または機械の操作方法	ハンドコントローラ、ハンドトラッキング、専用コントローラ(操舵用ハンドル、操舵用レバー、現物模造品等)
VR内の身体の移動方法	不動(身体の移動を想定していない、VR内で自動で移動する)、体験者自身の移動、ハンドコントローラでの移動
附属品	・VR内の行動・事故とともに振動する服、椅子、床 ・VR内の事故とともに微弱の電流を流す手袋、コントローラへのアタッチメント
シナリオ分岐	・安全行動で事故回避、不安全行動で事故発生 ・必ず事故に遭遇
シナリオの流れ	・体験のみ ・体験→危険要素の確認 ・状況確認→体験→第三者視点での事故の確認

表2 動作確認用 VR コンテンツの体験に基づくアンケート調査結果(抜粋)

仮想空間上の機体の動作方法	・現実世界の手またはコントローラが反映された仮想空間上の手による操作がよい ・仮想空間上の手でハンドルの上下が反映できるとよい
通常時の機体の動作	・エンジン回転数の設定に合わせて、エンジン音が変わったほうがよい ・耕うん前の土は乾いた色で、耕うんした範囲の土の色を変えたほうがよい ・機体の操作方法の説明があるとよい
挟まれ時の機体の動作	・後退時に後ろに気付かず機体とハウスの支柱に挟まれるシナリオがあるとよい ・挟まれる際は、初めはハンドルが上がらず、直前で急激に上がると臨場感がある
ダッシング時の機体の動作	・ハウスの際での硬い土のところで耕うん時に、ダッシングしてハウスの支柱に衝突するシナリオがあるとよい
新たな危険事象の提案	・停止した状態で、後進にギアを入れ、エンジン回転数が高でクラッチを接続した際に、急激にハンドルが跳ね上がる「跳ね上がり」を導入したほうがよい
事故体験後の解説	・事故体験後は、第三者目線で事故の振り返りや解説、対策があるとよい

①体験者による設定・操作

- ・エンジン回転数等の設定
- ・クラッチレバーの操作
- ・ハンドルの操作

②設定・操作に基づく分岐

エンジン回転数:低
耕うん深さ:深い

過負荷によるエンジン停止
①に戻る

エンジン回転数:高
耕うん深さ:深い

ダッシング
③に進む

エンジン回転数:高
耕うん深さ:浅い

無事故
③に進む

③解説

事故及び対策に関する解説

図3 歩トラ用行动選択型 VR コンテンツのシナリオ構成(例:耕うん作業)

4. 成果の活用面と留意点

試作した歩トラ用行动選択型 VR コンテンツを活用した VR 安全研修の試行を通じて、行動選択型 VR の有用性や具体的な活用方法を明らかにし、実用化を図るとともに、他機種に展開する。農業食料工学会(2026.9)で報告予定。特許出願1件。

5. 残された問題とその対応

今後の VR 技術の進展や農業機械の安全装備普及状況に応じて、「農作業事故体験 VR」のマニュアル・補助資料やコンテンツの更新が求められる可能性がある。行動選択型 VR の実用化に向けた開発と併せて、引き続き、JA 共済連と協力して進める予定である。

課題分類：11（9）

課題 I D：20903-1-03

研究課題：トラクタ用 ROPS のバーチャルテスト手法の検証及びマウント部モデルの開発

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・予防安全システムグループ

協力分担：なし

予算区分：理事裁量、受託（科研費）

研究期間：完 2024～2025 年度（令和 6～7 年度）

1. 目的

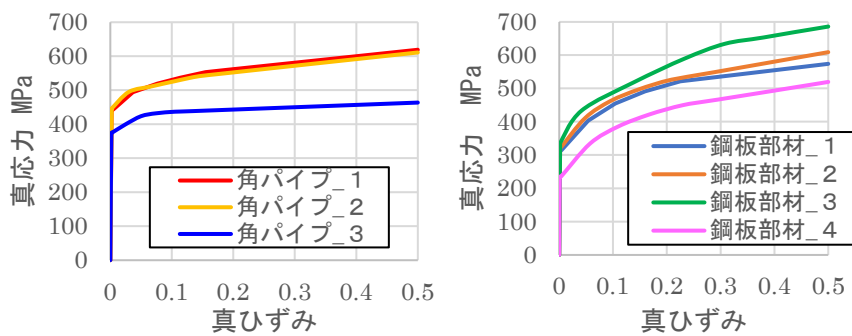
先行課題で構築したバーチャルテスト（強度試験シミュレーション、以下 VT）手法を安全性検査等へ活用するためには、異なる構造の安全キャブ・フレーム（以下 ROPS）への適用による検証が不可欠である。そこで、異なる型式及び試験コードの安全フレームを対象に VT を実施する。また、防振ゴムを有する ROPS 取付部（以下マウント部）の詳細な構造を再現したモデルには計算コスト等の問題があることから、低計算コストかつ妥当性の高い簡略化モデルの開発ならびにその妥当性の検証に向けた基礎データを得る。

2. 方法

- 1) 中型トラクタ用安全フレーム（検査コード II、ヤンマー-SF552A、33～47kW クラス、マウント部防振ゴム無、以下中トラ F）の VT との比較用実機試験のうち、前部・側部負荷、第 2 圧壊を実施した。（2024 年度）
- 2) 中トラ F の主要部材 7 箇所について、VT 用材料特性の取得のため、試験後部材から切り出した試験片を用い、埼玉県産業技術総合センターにて引張試験を実施し、応力-ひずみ曲線を作成した。（2024～2025 年度）
- 3) VT の後部・前部・側部負荷を各単独で実施し、1) の実機試験結果と比較した。VT では、仮の弾塑性材料特性を用い、フェンダやフロア部材のモデル、折曲部のボルト・ピンの簡易モデルも用いた。なお、本来各負荷の間に圧壊試験が行われるが、VT 上の制約のため単独で実施した。（2024～2025 年度）
- 4) 新たなマウント部モデル開発と妥当性検証用装置製作のため、先行課題で得た小型トラクタ用 ROPS の VT 結果の拘束部位反力から、前後左右の各マウント部に個別に作用する荷重を推定した。（2024 年度）
- 5) 将来的な国際基準（OECD テストコード）への反映に向けた議論のため、OECD トラクタテストコード TWG 会議における情報提供及びメーカー実務担当者との意見交換を実施した。（2024～2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) 特に問題無く全ての負荷試験（後部→圧壊→前部→側部→圧壊）が完了し、VT との比較用データを得た。
 - 2) 部材 7 箇所の試験データを種類別に整理した（図 1）。角パイプ（STKR）と鋼板部材（SS400、SPHC 等）の間には、耐力や耐力点後の傾きに差が見られた。
 - 3) 実機に対し、後部負荷では変位-6.7%/荷重+1.2%、前部負荷で-12.8%/+10.0%、側部負荷で-6.9%/ -8.4%で、先行研究より高精度だった（図 2、図 3、図 4）が、リジッドなマウント部の影響が考えられた。
 - 4) 側部負荷結果への影響が大きいと考えられるリアマウント部では、上下方向の反力が支配的であった。右側の例を示す（図 5）。この推定荷重から、マウント部単体の VT 及び試験装置の製作の実現可能性を得た。
 - 5) 先行課題で得た小型トラクタ用 ROPS の成果と、2) で示した成果について、報告及び意見交換を行った結果、OECD 会議では、他国の同様の解析の経験者から議論への貢献に対する謝意や、種々のアプローチは今後の標準化に非常に重要との意見を得た。また、議長からも研究の継続と今後の成果の共有への期待が寄せられた。実務者との意見交換では、検査等での利用時のエネルギー付与方法について、問題意識を共有した。
- 以上、中トラ F を対象とした VT 手法の検証において、後部負荷の実機試験比が目標の±15%以内の精度を達成した（前・側部負荷は参考）。また、新たなマウント部モデルの開発及び妥当性検証のための基礎データを得た。



角パイプ (STKR) (左)、鋼板部材 (SS400、SPHC 等) (右)
 図1 部材ごとの応力—ひずみ曲線 (多直線近似) の例

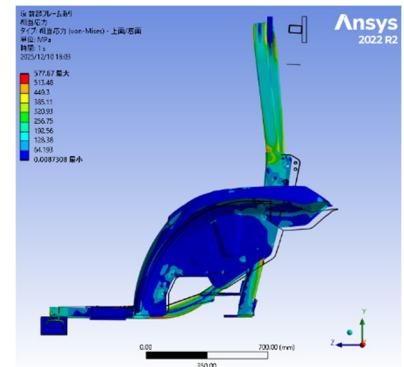


図2 VT 結果 (後部負荷最大変形時)

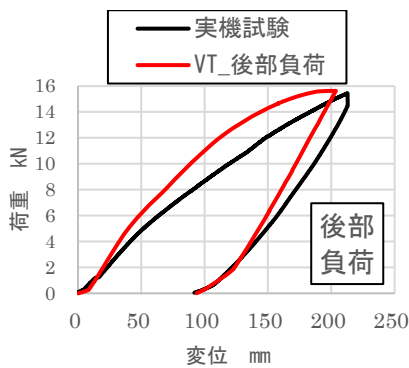


図3 中型トラクタ用安全フレームの試験結果の比較 (後部負荷)

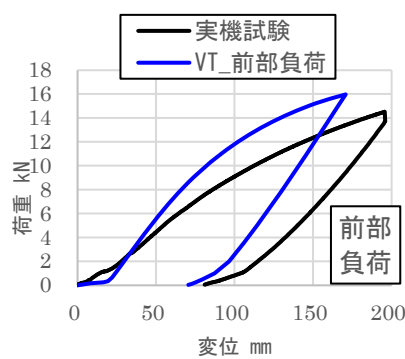
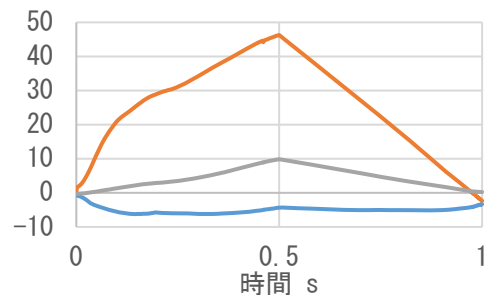
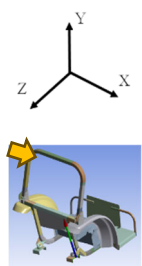
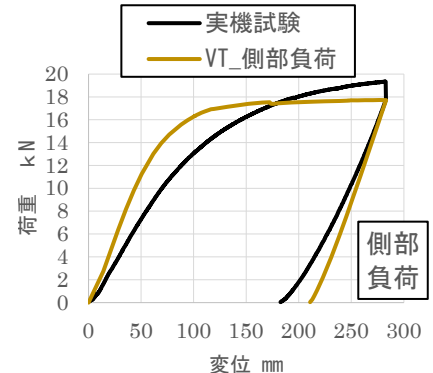


図4 中型トラクタ用安全フレームの試験結果*の比較 (前部・側部負荷 単独) *参考データ



(0s 負荷開始、0.5s で負荷最大、1.0s で除荷完了)

図5 小型トラクタ用ROPSにおける側部負荷時の右リアマウント部の反力*
 *マウント部の詳細モデルを使った場合

4. 成果の活用面と留意点

将来的に、OECD テストや検査等における ROPS の構造変更時の試験省略の可否判断に VT が利用される場合の参考情報として、開発手法を活用できる。中トラ F の結果については農食工学会及び OECD トラクタコードの会議で発表予定である。本成果では、実際の材料データが未反映であることや、連続での負荷が未実施であること、また、溶接ビードやボルト等に簡略化モデルが用いられている点に留意が必要である。

5. 残された課題とその対応

検査等で参考情報として使用する場合には、各方向の負荷 (圧壊、側部も含む) を連続して実施した場合の VT (未実施) と実機試験結果を比較して判断する必要がある。

課題分類：11（9）

課題 ID：20903-1-04

研究課題：シミュレーションを活用した農用トラクタの安全性評価

ートラクタの重大事故抑止のためのドライビングシミュレータ及び安全啓発コンテンツの開発

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・予防安全システムグループ

協力分担：東京農工大、宇都宮大

予算区分：理事長査定、受託（科研費）

研究期間：完 2024～2025 年度（令和 6～7 年度）

1. 目的

先行研究において、小型トラクタを用いて安全かつ非破壊で脱輪、横転倒及びバウンシングの危険挙動を再現できる実験用プラットフォームを構築した。これを利用することで、今まで困難であったバウンシング挙動に関する既存の車両運動モデルを用いたシミュレーション結果の検証及び脱輪転倒挙動の詳細な分析並びに事故防止技術の開発が可能となった。本課題では実機データにより実証したシミュレーション等を用いて、農業者に実感を持って伝えることが可能な安全啓発コンテンツを開発する。

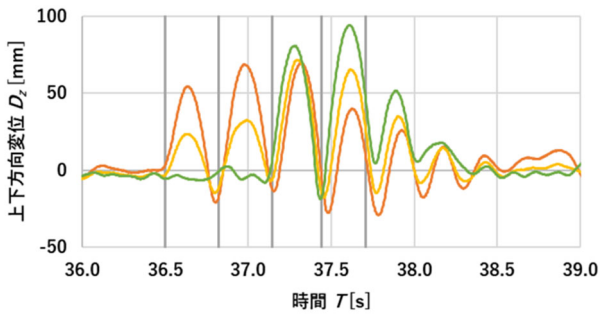
2. 方法

- 1) これまでに構築した共振ジャンプ実験用走行路（障害物高さ：50 mm、間隔：635 mm）を用いた実験結果を東京農工大学（以下、農工大）とともに解析しトラクタ共振ジャンプ現象の実機検証を行った。（2024 年度）
- 2) 低速域におけるトラクタの片前輪脱輪時の挙動について、静的な釣り合いモデル式を立案した。このモデル式より得られた横転発生条件から実現場で起こりうる事故シナリオを検討した。さらに、脱輪時の挙動に基づいた脱輪検知による横転事故防止システムを試作した。（2024～2025 年度）
- 3) 1) 及び 2) で得られた知見を踏まえて、バウンシングと脱輪転倒を対象に、これらの危険性を伝えるための実機動画及び農工大より提供のあったシミュレーション動画を活用した安全啓発ウェブコンテンツを作成し、ウェブサイトで公開した。（2024～2025 年度）
- 4) 農業者向け教育の現場に容易に持込・設置可能な体感型のドライビングシミュレータ（以下、DS）を活用した安全教育手法の開発について、農工大より作成ノウハウの提供を受けて DS を試作した。（2025 年度）

3. 結果の概要

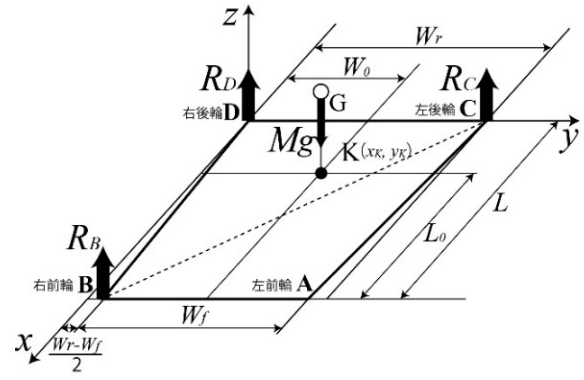
- 1) モーションキャプチャシステムを用いた実機実験では、車輪が路面からの離脱と再衝突を繰り返しており、共振ジャンプの存在を変位データからも実証できた（図 1）。農工大が開発した既往のシミュレーション結果でも共振ジャンプが発生しており、本実験条件においてトラクタ共振ジャンプ現象に関するシミュレーションの妥当性が確認できた。
- 2) 片前輪が脱輪したトラクタにおいて、右前輪 B と左後輪 C の接地点を結んだ直線 BC より重心が内側にある場合、すぐに横転せず残り 3 輪でバランスを取ったまま走行を続けるが、重心が直線 BC の外側にある場合は脱輪後すぐに横転する（図 2）。このことから、ある作業機を装着した状態では横転しなかった作業経路でも、軽い作業機へ付け替えた場合等では横転が発生し得ることが明らかになった（図 3）。このことを踏まえて、片側前輪脱輪時のトラクタの前車軸の揺動を磁気近接センサで検知する脱輪検知システムを考案して有効性を確認した（図 4）。
- 3) 安全啓発ウェブコンテンツでは、2024 年度に 4 本、2025 年度に 2 本の動画コンテンツを公開した。動画コンテンツは指導担当者がウェブサイト「農作業安全情報センター」からダウンロードし、そのまま利用できるように構成した（図 5）。
- 4) 通常時には問題なく曲がれる道路において、共振ジャンプの発生により操舵が効かず、曲がり切れなくなるといったシナリオについて、CarSim（Mechanical Simulation 社）上で DS を試作した（図 6）。

以上、現場での事故抑止に向けた安全啓発に有用な知見を抽出し、実機データにより実証したシミュレーションや理論を用いて、農業者に実感を持って伝えることが可能な安全啓発コンテンツを開発した。



— 前車軸中心変位 — 重心変位 — 後車軸中心変位

図1 トラクタ共振ジャンプ現象における各部の上下方向変位の推移



静的な力と力のモーメントの釣り合いモデル式

$$R_B + R_C + R_D - Mg = 0$$

$$L R_B - (L - L_0) Mg = 0$$

$$\left(\frac{W_r - W_f}{2}\right) R_B + W_r R_C - W_0 Mg = 0$$

図2 トラクタの左前輪脱輪時のモデル式

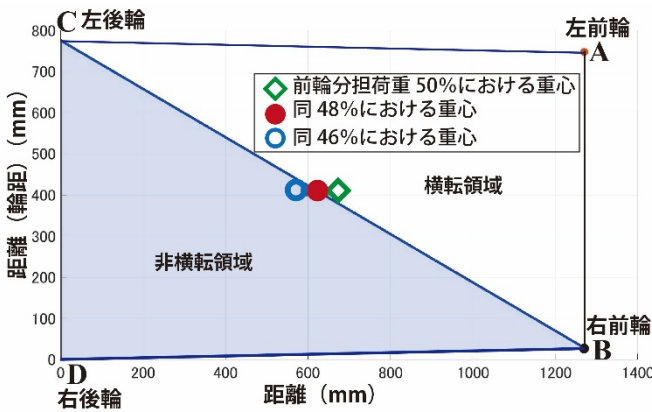


図3 上面から見たトラクタの重心位置と横転発生条件の関係図

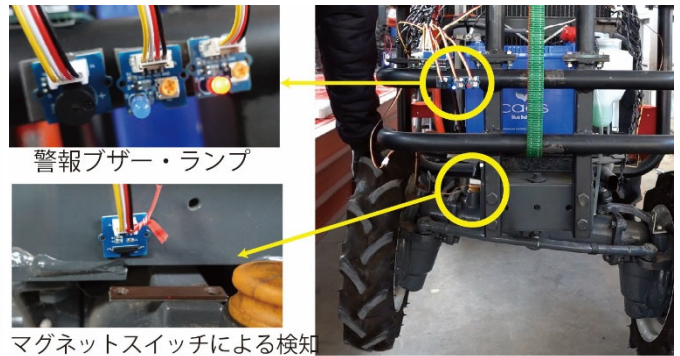


図4 脱輪検知による横転事故防止システム



図5 安全啓発ウェブコンテンツ上の動画の一例



図6 ドライビングシミュレータ画面

4. 成果の活用面と留意点

シミュレーションモデルを活用した動画コンテンツを順次ウェブサイト「農作業安全情報センター」で公開する。農業食料工学会 (2026.9) で報告予定。DSはカーブを曲がり切れなくなるというシナリオについて体験者が実際に体感できる内容を試作することができたが、機体外装や安全フレーム等の外観及び地面等との接触判定にも対応したアプリケーションを活用することによって、さらに臨場感のあるDSを作成できる可能性がある。

5. 残された問題とその対応

体感型のDSの安全啓発における有効性の検証については、今後対応する予定。

課題分類：11（9）

課題 ID：20903-2-02

研究課題：スマート農業技術（アシストスーツ）の国際標準化

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・協調安全システムグループ

協力分担：なし

予算区分：理事裁量

研究期間：完 2025 年度（令和 7 年度）

1. 目的

スマート農業技術活用促進法が定めるスマート農業技術の一つであるアシストスーツの普及促進において、公的研究所である農機研は、生産者からは農作業に適合する製品の選択に関する情報を、製造者からは農作業用アシストスーツのより効果的な設計・評価手法の提案を、業界団体からは国際標準化への参画をそれぞれ要望されている。

これらの要望に対して、農機研は、アシストスーツの製品分類、農業ユースケース及び危険事象を明らかにするとともに、評価手法および指標、V&V 設計手法を開発し、ISO 13482（サービスロボット安全）の改訂において、業界と連携して我が国の規格と合わせてその一部を ISO に提案してきた。本課題では、ISO 13482 等でアシストスーツに係る国際標準化を推進する。

2. 方法

- 1) 現在、DIS (Draft International Standard) である ISO 13482 の FDIS (Final Draft International Standard) のため、日本ロボット工業会や製造者などと連携して、TC 299 (ロボティクス) /WG 2 (安全) の国際会合に参画した。また、TC 159 (人間工学) においてアシストスーツを専門に扱う WG が設立され、提案された ISO/AWI 25563 (装着型身体補助装置の統合方法) に関する国際会合に参画した。(2025 年度)
- 2) ISO 13482 の改訂後、これに規定された安全要件の試験方法を定めた TR 23482 の改訂が予想される。TR 23482 への開発した評価手法の提案に向けた検討を行った。(2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) 図 1 に研究概要と国際標準化の進捗状況を示す。ユースケース・評価指標調査の成果を活用して、JIS B 8446-2 等の国内規格と合わせて第 5 箇条、Annex F.3、Annex G を提案している。ロンドン会合 (2025. 4/16-18) では、欧州機械指令との整合性確保の観点から、国内規格の前提であった低出力タイプの用語及び関連する参考上限値の削除が審議された。第 5 箇条への低出力タイプの明記を主張したが合意には至らず、最終的には高出力タイプの用語も削除し、アシストトルクの適切な水準は製造者がリスクアセスメントで検証する方針で妥結した。その後 Annex の審議を経て、7/24 に FDIS に到達した。ヒューストン会合 (11/10-13) では、ISO 13482 の試験方法等を掲載した TR 23482 の改訂に着手する見通しとなった。FDIS に対する欧州機械指令との整合は 2026 年 2 月頃までに完了し、その後投票を行う予定となった。IS 発行は 2026 年夏頃に見込まれる。また、TC 159 (人間工学) で提案された ISO/AWI 25563 は全てのアシストスーツを対象とする規格であったため、その適用範囲について整理した製品分類法を提案した。
- 2) 農機研の開発した評価手法の根幹であるアシスト力計測は動トルクの計測方法であり、JIS B8456-1 (腰補助用装着型身体アシストロボットの安全及び性能要求事項) に規定される最大アシストトルク (静トルク) の計測方法を発展させたものである。このことから、本計測方法の TR 23482-1 への適用の提案に向けて、JIS の静トルク試験方法の流れを踏襲しつつ、アシストスーツの可動範囲を評価する試験方法として再編集を行った (図 2)。今後、JIS の静トルク試験方法と併せて、動トルク計測手法の TR 23482-1 への提案を進める予定である。




以上、業界団体等と連携して ISO 13482 等でアシストスーツに係る国際標準化を推進した。

ユースケース・評価指標調査

- 世界中のアシストスーツ製品を分類
 - 動力の有無及び構造の硬軟から分類
 - 作用関節、補助部位、作業目的を整理
- 世界中の評価手法・指標を分類
 - 生体力学的評価(運動学や動力学等)
 - 生理学的評価(筋電図や心拍数等)
 - 心理学的評価(主観評価等)
- 新たなアシストスーツ評価指標の開発
 - 人間工学の文献から身長、体重、性別、年齢に応じた腰椎損傷リスクが生じる持ち上げ重量算出

完了

アシストスーツの農業で代表的なユースケース例

物体の持ち上げと運搬	姿勢維持(中腰)	姿勢維持(腕上げ)
		
コンテナや出荷箱等の運搬 軽トラ等への積み込み	畝や地面へ定植・収穫等	果実の摘果や間引き

農業作業で想定される危険な状態や事象の詳細(転倒)

農業分野では、傾斜地や凹凸のある足場の悪い地面での作業が多く、天候によっては地面が濡れて滑りやすい。さらに、畝や畔、側溝といった障害物が多く、それら乗り越える場合もあるため転倒が発生しやすい状態となっている。

標準化 R7年度実施

国内規格と合わせて成果の一部をISO13482に提案中

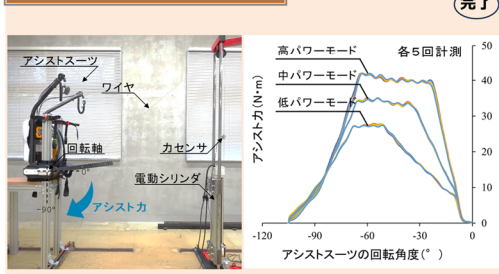
- ・ 第5箇条
- ウェアラブルロボットの安全要求事項
- ・ Annex F.3
- 製品例と機能的タスク
- ・ Annex G
- 持ち上げ限界重量値の参考指針

現在、FDIS段階

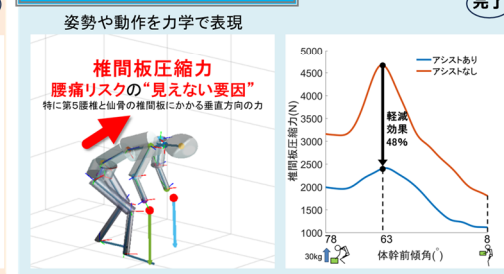
農機研で開発したアシストスーツの評価手法

アシストカ計測 (リアル空間) × 生体力学モデル (サイバー空間) = 軽減効果の見える化!

アシストカ計測



生体力学モデル



標準化 R8年度予定

アシストカ計測法をアシストスーツの可動範囲の安全試験として再編集

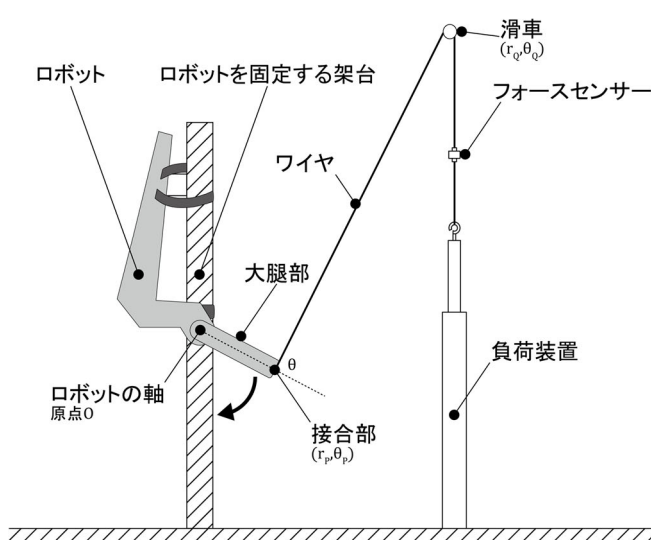
JISの計測法と共にTR 23482-1へ提案

V&V設計・評価の根拠とする

R8年度から

民間企業等の依頼を受けてクラスターや共同研究にてアシストスーツのV&V設計・評価を行う

図1 アシストスーツの研究概要と国際標準化の進捗状況



可動域を超えるアシストに関する試験案(摘要)

【原則】アシストトルクがユーザーの可動域内に収まっていることを確認するため、アシストトルクの最大角度範囲を検証する

【装置】ロボットの固定、フォースセンサー、負荷装置、滑車から構成

【手順】(静トルクの試験方法に新たに追加)

- 製造者が設計した出力開始角度より手前を初期位置
- ロボットが出力可能な状態で負荷を一定方向に稼働
- カセンサーで初期位置から停止するまで計測
- これを3回行い、最大角度範囲を評価値とする
- アシストトルクは以下の式より計算する

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{r_q \cos(\theta_p - \theta_q) - r_p}{\sqrt{r_p^2 + r_q^2 - 2r_p r_q \cos(\theta_p - \theta_q)}} \right)$$

$$\tau = r_p \times N \times \sin \theta$$

【注記】

回転角度は内蔵または外部に装着されたセンサーによって計測できるほか、次の式を用いることでも求められる

$$\theta_p = -\cos^{-1} \left(\frac{r_p^2 + r_q^2 - (r_q - r_p + s)^2}{2r_p r_q} \right) + \theta_q$$

図2 アシストスーツの可動範囲の安全試験案

4. 成果の活用面と留意点

改訂 ISO 13482 は 2026 年発行予定。プレスリリース 1 件、英語論文 1 報投稿予定。民間企業等のアシストスーツの設計・評価に活用できる。

5. 残された問題とその対応

ISO/FDIS 13482 への対応及び具体的な評価手法については TR 23482 改訂議論に参画する必要がある。

課題分類：11（9）

課題 I D：20903-2-06

研究課題：遠隔監視型ロボット農機の安全機能評価試験方法に関する研究

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・協調安全システムグループ、安全検査部

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤、理事裁量、受託（農水省連携「ロボット技術安全性確保策検討事業」）

研究期間：完 2023～2025 年度（令和 5～7 年度）

1. 目的

遠隔監視型ロボット農機が具備すべき安全機能の要件を明らかにするとともに、評価試験方法案を整理及び提示する。

2. 方法

- 1) 国内外の他分野（自動車、鉄道、船舶、ドローン、建設機械、小型配送ロボ等）における安全規格、ガイドライン等の具体的な安全要件や検証方法について調査した。（2023～2025 年度）
- 2) 農林水産省のロボット技術安全性確保策検討事業（以下、ロボ安全事業）において、コンソーシアム参画メーカーが現地実証試験で共通して実施する必要がある安全性に関する検証方法を作成した。（2023 年度）
- 3) ロボ安全事業のコンソーシアム参画メーカー 3 社及び F-REI 事業でそれぞれ実施された、遠隔監視型ロボット農機の現地実証試験に参加し、それらの結果に基づいて安全機能の要件を抽出した。（2023～2025 年度）
- 4) (一社)日本自動車研究所の特異環境試験場にて、環境条件（逆光・降雨・霧）が RGB 単眼カメラを用いた遠隔監視モニターの視認性に与える影響を調査する試験を実施した。（2024 年度）
- 5) 監視者 1 名が複数のロボット農機を遠隔監視しながら運用する作業体系について、リスクアセスメント（運用シナリオの作成、ハザード抽出、リスク低減手段の整理）を実施した。さらに、リスク低減のための必要な安全機能に対する評価試験方法案を整理し、提示した。（2024～2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) 他分野では、共通してリスクアセスメントの実施が求められていた。また、個別のロボットに対しては衝突回避機能や複数台監視時の個体識別機能などの安全機能の要件や具体的な検証方法が定められていた。これらの一部はロボット農機にも適用可能であった（表 1）。
- 2) ロボ安全事業にて作成された農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドラインに基づき、必要な安全機能・装備・機能確認項目の具体的な検証方法を定めた「ロボット農機のリスクを低減するための保護方策の検証方法」を作成した。更にロボ安全事業のコンソーシアム参画メーカーに対して実演・共有を図った。
- 3) 現地実証試験の結果、人による常時遠隔監視時のロボット周囲の安全性確保方策やロボット農機側の安全機能のロバスト性の向上が必要であることが確認された。具体的には、自動運転開始時やほ場間移動時における遠隔監視装置の視認性や安全確認方法、無線通信による映像データや操作信号等の通信途絶や遅延等への対策、安全センサの対環境性能の向上等が挙げられた（図 1）。
- 4) 逆光や霧条件下では特にモニターの視認性が低下し、監視が困難になる場合が確認されたことから、これらの条件下でのトラクタ周囲の安全確認には、各環境条件に影響を受けにくいとされる安全センサの併用等の対策が必要であることが確認された（図 2）。
- 5) 運用シナリオとして複数台のロボット農機の同一／別ほ場内やほ場間移動での稼働を想定したところ、ハザードとしてロボット農機と人、ロボット農機と自動車、ロボット農機同士の接触が抽出された。また、リスク低減のための安全機能として、安全センサや状態表示灯、相互通信機能等が挙げられた（表 2）。更にそれらの安全機能をロボット農機側と遠隔監視システム側に整理し、1) 3) 4) の調査・現地実証試験結果を踏まえ、試験実施方法と基準から構成される評価試験方法案を作成した（表 3）。

以上、遠隔監視型ロボット農機が具備すべき安全機能の要件を明らかにするとともに、評価試験方法案を作成した。

表1 他産業における安全規格、ガイドライン等の調査結果(抜粋)

No.	分野	タイトル	No.	分野	タイトル
1	自動車	自動運転車の安全技術ガイドライン (国交省)	6	建設機械	自動施工における安全ルールVer.1.0 (国交省)
2		限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン (国交省)	7		ISO 17757: Earth-moving machinery and mining
3		ISO 22737, ISO 7856 : Intelligent transport systems	8	小型配送ロボ	遠隔操作型小型車の安全基準 (一) ロボットデリバリー協会)
4		Commission Implementing Regulation (EU) 2022/1426 (2022) (European Union)	9		遠隔操作型小型車の安全基準 (一) ロボットデリバリー協会)
5		ISO 3691-4: Industrial trucks	10	土工機械	JISA8408:2023 土工機械—遠隔操縦の安全要求事項—



図1 現地実証試験(左:トラクター、右:コンバイン)

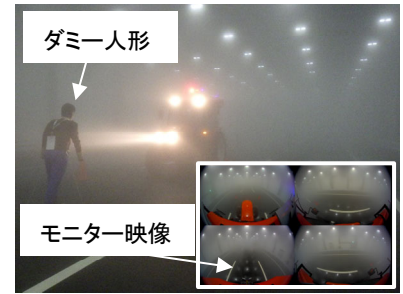


図2 霧条件試験

表2 複数台運用シナリオにおけるハザードとリスク低減手段(抜粋)

運用シナリオ	抽出したハザード	リスク低減手段
ロボ農機A、B (別ほ場内)	複数のロボ農機映像を切り替えて監視中に、対象ロボ農機を間違えて認識。人の発見が遅れ接触。	・安全センサによる自動停止機能 ・映像上に認識すべきロボ情報の表示
ロボ農機A、B (同一ほ場内)	補助作業者がロボ農機Aの異常停止対応後のほ場退出時に自動作業中のロボ農機Bと接触。	・同一ほ場内のロボ農機停止時の、全てのロボ農機の停止 ・死角のないロボパスト性の高い安全センサ
ロボ農機A (ほ場内) ロボ農機B (ほ場間移動)	ロボ農機A停止時、現場対応のためロボ農機Bを急停止した際の後続の自動車との接触。	・第三者への状態表示灯 ・農道での停止区域設定
ロボ農機A、B (ほ場間移動)	ほ場間移動時の接近により互いの安全センサが作動し複数台の機体が停止。自動車と接触。	・相互通信による互いの位置把握と優先順位の設定 ・ルート設定時にルートが同一とならないよう制御

表3 安全機能の評価試験方法案(抜粋)

安全機能	試験実施方法	基準
(ロボ農機側) 人・障害物検出機能	ロボ農機の進行方向(前進・後進・旋回・発進時)に検出体を設置した時の警告・危険領域での挙動確認	警告発生、検出体との接触がないこと
(ロボ農機側) 状態表示機能(視覚、聴覚)	自動運転状態(準備、発進、走行、停止等)における状態表示の確認	適切に状態表示がなされ第三者や補助作業者が容易に状況を認識できること
(ロボ農機側) 通信障害時安全機能	遠隔監視装置との通信障害(信号・映像の遅延、遮断等)時の挙動確認	安全に停止すること
(遠隔監視システム側) ロボ農機状態情報機能	ロボ農機の状態情報確認	監視対象ロボ農機の状態が把握できること
(遠隔監視システム側) ロボ農機周辺情報機能	ロボ農機周辺の映像の確認 センサによるロボ農機周辺の検知情報の確認	必要な範囲の映像が鮮明で死角がないこと センサ検出状態が把握できること
(遠隔監視システム側) 発進時安全機能	発進時の操作方法の確認 自動停止後の発進時の操作方法の確認	誤操作防止機能を有すること 自動停止前後の録画再生機能を有すること

4. 成果の活用と留意点

- 1) ロボ安全事業コンソーシアムでのロボット農機安全性ガイドライン改正案作成に活用。
- 2) 今後、策定・運用開始予定のロボット農機検査(遠隔監視型ロボット農機)の主要な実施方法及び基準の資とする。

5. 残された問題とその対応

ほ場間移動に関しては、道路運送車両法における特定自動運行に求められる安全要件との調整を検討する必要がある。

課題分類：11 (9)

課題 ID：20903-2-07

研究課題：農業機械作業時における危険状態に応じた協調安全技術の開発
ーコンバインへ接近する作業者の状態に応じた協調安全技術

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・協調安全システムグループ

協力分担：なし

予算区分：理事裁量

研究期間：完 2023～2025 年度 (令和 5～7 年度)

1. 目的

視認性が低いコンバインを対象に、農作業中にリアルタイムで運転者への危険通知または自動回避の技術的方策を行う協調安全システムを開発する。

2. 方法

- 1) 周囲の視認性に関する課題を抽出するため、農業者 263 人に対し、コンバインの視認性が低い位置の記述、視認性が低いと感じた状況及びヒヤリハットの記述、視認性の改善に必要と感じる装置の選択等のアンケート調査を行った。(2023 年度)
- 2) 農作業環境下での高精度な人検出を実現するため、物体検出 AI モデルの教師あり学習に用いる農作業用学習データセットを構築した。(2023～2025 年度)
- 3) 農作業用学習データセットを用いて物体検出 AI モデルに転移学習を実施した。その後、実際の収穫現場において開発対象とする RGB カメラ (画角 180° で画像に歪みあり) で取得した人・環境画像を用い、姿勢・条件別に分類した計 3,724 枚の検証データセットに対して、人の検出精度を評価した。(2024～2025 年度)
- 4) コンバイン後部に設置したカメラにより、機体後方に接近する人を物体検出 AI モデルで検出するシステムを試作し、試作システムの認識率及び認識時間をバックカメラと目視に対して比較した。試験は農機研附属農場での麦・水稻収穫時に実施し、(1) 機体後退中に後方に人がいる場合 (運転者が共同作業を認識している)、(2) 機体前進中に後方から人が接近する場合 (運転者が共同作業を認識していない) の 2 条件とした。いずれの条件もほ場四隅に人 (被験者) をそれぞれ配置し、ランダムに出現させた。なお、認識率は運転者が人と正しく認識できた回数、認識時間は人の出現から運転者が人と認識するまでに要した時間と定義し、4 名の被験者データから平均値および標準偏差を求めた。(2024～2025 年度)

3. 結果の概要

- 1) アンケート調査では、コンバインの視認性が低いと回答した農業者の 40%以上が、該当部位として機体後部にあたる図 1 の⑧、⑨、⑩の位置を挙げた。視認性が低いと感じた状況やヒヤリハット事例としては、機械周囲の人や物の視認困難や、接触しそうになった等の意見が多く挙げられた。視認性改善に必要と感じる装置は表 1 のとおりであり、単なる視認性の改善に加え、人を自動検出して通知する技術が求められていることが確認された。
- 2) 多様な農作業環境下に対応するため、表 2 の各種農業機械作業時に取得した環境・人画像に基づいた学習データセット (4,282 枚、図 2) を構築した。また、農作業特有の姿勢に対応するため、図 3 の方法で取得した立位・中腰・しゃがみ姿勢の画像に基づく学習データセット (5,328 枚) を構築した。
- 3) 全ての条件で再現率は開発 AI モデルが対照 AI モデルを上回り、農作業用学習データセットによる学習は有用であった (表 3)。一方で、未検出が全体の 7.6%で発生し、特に農作業現場において発生頻度が高いと考えられる作物又は機械によって身体の一部が遮へいされた場合には精度が低下した。
- 4) 試作システムは機体後方を画角 180° で広範囲に撮影するカメラ部、撮影された画像に基づき物体検出 AI モデルにて予測された人の領域及び画角に基づき距離推定を行う演算部、運転者にリアルタイムで人の予測状況を表示し推定された距離に基づいた通知を行う通知部で構成される (図 4)。認識率は上記(1)の条件では試作システムとバックカメラが、(2)の条件では試作システムがそれぞれ有意に高い結果となり、認識時間は(1)(2)いずれの条件においても試作システムが有意に短かった (表 4)。そのため、本試験条件では、本試作システムが目視やバックカメラと比較して、運転者がコンバインの後方にいる人をより早く、高精度に認識可能であることが示された。

以上、農作業中の機体後方の人を AI により検出し、運転者への危険通知を行うシステムを開発した。

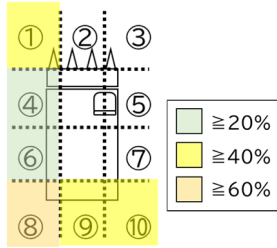


図1 見えにくいと感じる位置 (コンバイン)

表1 視認性改善に必要と感じる装置 (複数回答あり)

装置	回答人数
カメラモニタ	116
安全センサ	100
警報装置	66
ミラー	48
AIカメラ	29
自動運転	21



図2 学習データセットの例 (機構 Y-21)

表2 学習データセットの内訳 (機構 Y-21)

農業機械	作業機	環境	画像枚数
汎用コンバイン	-	大豆収穫	595
自脱コンバイン	-	水稻収穫	1158
自脱コンバイン	-	小麦収穫	244
自脱コンバイン	-	夜間	63
自脱コンバイン	-	作物遮へい	397
ポテトハーベスタ	-	パレイショ収穫	326
乗用トラクタ	ロータリ	耕うん	478
乗用トラクタ	施肥機	基肥施肥	62
乗用トラクタ	フレールモア	除草	339
乗用トラクタ	ロータリ	代かき	336
乗用トラクタ	ロータリ	雨天時	284

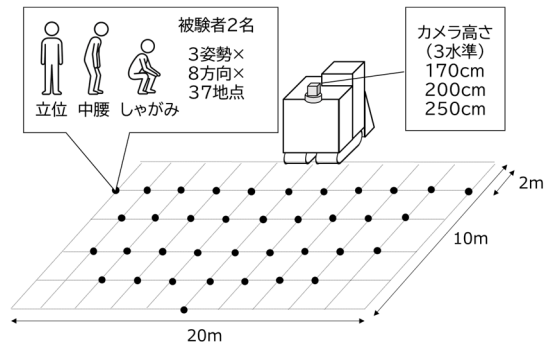


図3 学習データセット取得方法 (機構 Y-17)

表3 検出精度結果 (IoU¹⁾ =0.6の結果)

物体検出 AI モデル	開発 AI モデル(農研機構 AI)					対照 AI モデル(YOLOv8)				
	農作業用学習データセット					MS COCO 2017				
学習データセット										
検証画像分類	全体	立位	中腰	しゃがみ	遮へい	全体	立位	中腰	しゃがみ	遮へい
適合率 ²⁾	0.961	0.974	0.973	0.965	0.856	0.962	0.962	0.924	1.000	0.948
再現率 ³⁾	0.924	0.979	0.942	0.909	0.674	0.284	0.357	0.106	0.404	0.251

- 1) 人を検出したと判定する閾値。検出した領域と正解領域の重なり率が60%以上の設定であることを表す。
- 2) モデルが予測した人のうち、実際に人であった割合。人の誤検出の少なさを表す。
- 3) 実際に存在する人(正解データ)のうち、AI が正しく検出できた割合。人の未検出の少なさを表す。

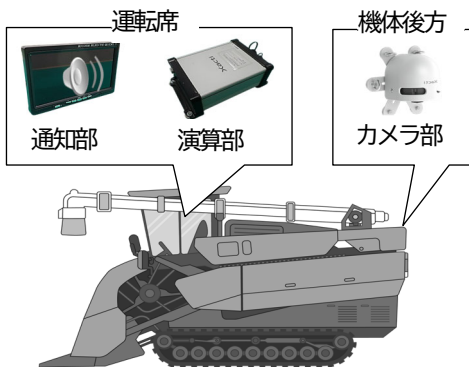


図4 試作システムの構成

表4 認識率および認識時間比較結果

試験条件	評価項目	試作システム	バックカメラ	目視
機械後退中に後方に人がいる場合(運転者が共同作業を認識している)	認識率(%)	100 a	91.7±4.8 a	41.7±8.5 b
	認識時間(s)	2.7±1.1 a	6.9±1.5 b	5.5±2.3 b
機械前進中に後方から人が接近する場合(運転者が共同作業を認識していない)	認識率(%)	100 a	30.0±20.3 b	23.3±6.0 b
	認識時間(s)	2.9±1.6 a	13.7±5.2 b	10.4±4.5 b

※評価項目毎に異記号間は p<0.05 で有意差あり(Steel-Dwass 検定)

4. 成果の活用と留意点

収穫機械によるひかれ事故防止に向けた安全性向上に資する。論文1 報投稿、職務作成プログラム3 件登録。

5. 残された問題とその対応

作物や機械による遮へいが発生した場合、再現率が低下する。環境や作業条件に応じた追加の学習データセットを構築し、人の検出率(適合率、再現率)の向上に向けて継続的に取り組む必要がある。

課題分類：11（9）

課題 ID：20903-2-08

研究課題：農業機械作業時における危険状態に応じた協調安全技術の開発
ーポテトハーベスタでの巻き込まれ事故に対応した協調安全技術

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・協調安全システムグループ

協力分担：なし

予算区分：理事裁量、受託（科研費）

研究期間：完 2023～2025 年度（令和 5～7 年度）

1. 目的

搬送部を伴う収穫機械では、可動部近くで選別を行う必要があり、その構造上、作業者が危険エリアへ手を入れる可能性がある。特に、ポテトハーベスタでは、選別作業中に挟まれや巻き込まれ事故が多発している。そこで、作業者による危険エリアへの手の進入を検出し、警報を発することで、機体制御の判断に利用できる協調安全技術を開発する。

2. 方法

- 1) AI を用いた画像処理により危険エリアへの手の進入を検出するシステムを試作した。進入を検出する危険エリアは、ポテトハーベスタの事故事例および現地調査を基に、選別者と近接しており、さらに土砂や茎葉が詰まった際の除去作業が行われることの多い横送りコンベアとした。検出精度は、観察者の目視を真値として、本システムでの進入検出結果と比較して評価した。（2023～2024 年度）
- 2) 処理時間の短縮及び警告灯との連携を実現するため、演算部を GPU による高速推論が可能な Jetson Orin NX とするなどの改良を行い、検出精度と処理速度を評価した（表 2）。（2024～2025 年度）
- 3) 2) と同時に試作システムによる効果を評価した（表 2）。評価指標は、運転者が選別者の危険エリアへの手の進入に気づいた割合（認識率）とした。比較条件は、①試作システム（モニタおよび警告灯の点灯およびブザーの鳴動で危険エリアへの手の進入を判断）、②モニタのみ（映像のみで判断）、③目視（ミラーや後方確認で判断）の 3 条件とした。試験は、平均 7 秒のランダムな間隔で生成した音声を再生することで選別者に手の進入を指示することで実施した。（2025 年度）

3. 結果の概要

- 1) 試作システムは、カメラ（Xacti CX-WE100）で取得した動画を入力として、AI により選別者の関節座標を推定し、矩形で定義した危険エリアへの手首の進入を検出する。この方式は、人全体を直接検出する手法と比較して、手首の位置をより高精度に推定できる。骨格推定モデルは、より高精度なトップダウン手法（最初に人物全体の領域を検出し、その中で関節や骨格を推定する方法）を選定した。危険エリアへの手の進入検出精度は、再現率 88%（ $n=113$ ）、F 値 93%であった。ただし、本システムの目的である作業中の危険状態の運転者への即時通知のためには、処理速度の向上及び警報装置との連携の必要性が認められた。
 - 2) 改良したシステム（表 1）の処理能力は約 17fps、手の進入検出精度は再現率 91%、F 値 87%であった（表 3）。処理遅れについては、上肢の最大接近速度 2000mm/s（ISO 13855:2024）を用いると、1 フレームの手の最大移動距離は約 120mm であり、作業位置中心と危険エリアは 120mm 以上離れている場合は、進入検出精度を考慮しても、実用上一定の有効性を有すると考えられた。トラクタ運転者への通知は、3 か所までの危険エリアへの手の進入に連動した 3 色の異なる警告灯の点灯及びブザーの鳴動により行った（図 1）。骨格推定モデルは処理時間が短く、画像中の人数増加に伴う処理時間の増加が少ない Single-Stage 手法（人物検出と骨格推定を同時に行う方法）を採用した（表 1）。
 - 3) 運転者による選別者の危険エリアへの手の進入の認識率は、平均で「試作システム」が 92%、「モニタのみ」が 73%、「目視」が 53%となり、試作システムの使用により、運転者が作業者の危険エリアへの手の進入を認識できる割合を向上できることが確認された（図 2）。
- 以上、手の危険エリア進入検出システムを開発し、その性能を明らかにした。

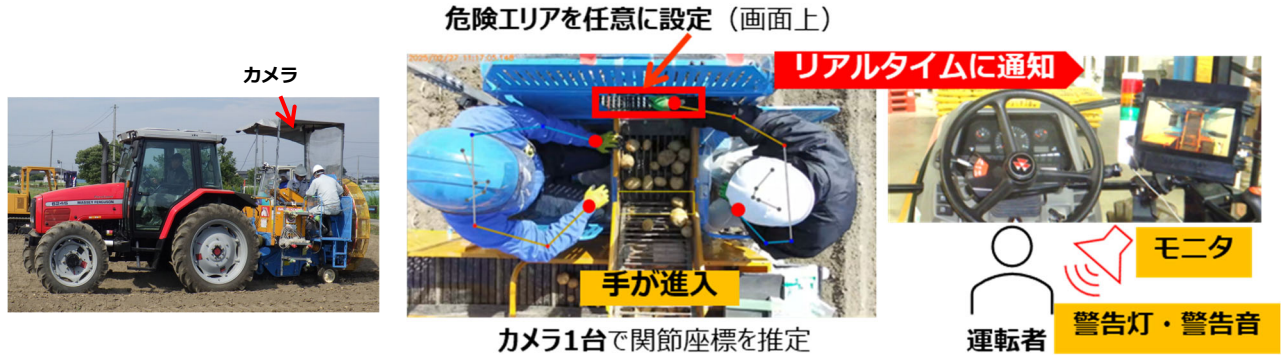


図1 危険エリアへの手の進入検出システムの構成

表1 システムの諸元

入力	USB カメラ (Xacti CX-WE100, 30fps)
演算部	NVIDIA JETSON Orin NX モジュール
GPU	使用
骨格推定	複数人同時 Single-Stage 手法 ※1 全身 17 点 ※2 学習データ: COCO ※3
最大処理速度 (実測)	約 17fps
危険エリアへの 手の進入検出	正面アングル: 可 上面アングル: 可

※1 人物の検出と、人物の関節位置の推定を同時に行う手法で画像中の人数が増えても計算負荷が比較的安定している。
 ※2 鼻、目×2、耳×2、肩×2、肘×2、手首×2、腰×2、膝×2、足首×2
 ※3 Common Objects in Context。15 万人のラベル付けされた 170 万キーポイントを含む。

表3 危険エリアへの手の進入検出精度

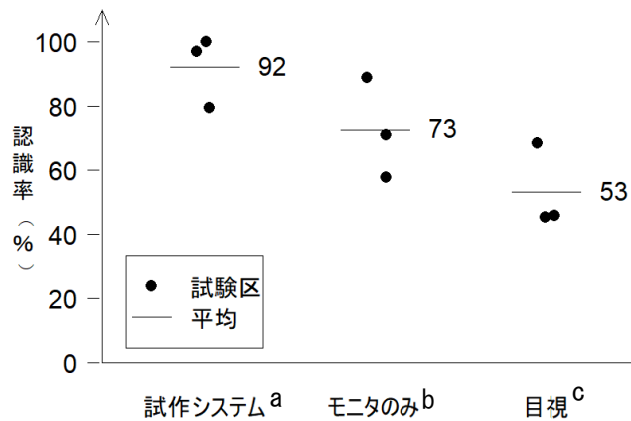
		AI 認識結果(回)		
		進入	進入せず	合計
期待値 (回)	進入	97	10	107
	進入せず	19	-	19
	合計	116	10	126

再現率※1: 91%、適合率※2: 84%、F 値※3: 87%

※1 実際の手の進入のうち、AI が正しく判定できた割合。未検出の少なさを表す。
 ※2 AI が手の進入だと判定した結果のうち、実際に手が進入していた割合。誤検出の少なさを表す。
 ※3 再現率と適合率の調和平均、両方を考慮した精度。

表2 試験の作物条件・ほ場条件・作業条件

試験実施時期	2025/06
バレイショ品種	男爵
試験地	附属農場 東IV区
試験区長さ	30m
掘取速度	0.06m/s (0.2km/h)
供試トラクタ	62.5kW(85PS)
供試ポテトハーベスタ	トラクタ直装型 インライン1畦掘 選別者2名(着座)
屋根の有無	あり(後付け)
設定危険エリア	①: サイドコンベア ②: 選別コンベア終端
選別者	2名ペア×2パターン
反復回数	4(被験者(運転者)1名)



※ 異記号の群間には有意水準 $p < 0.01$ (Tukey の補正後) で有意差あり (ロジスティック回帰分析に基づくペアワイズ比較) 被験者: 3名

図2 試作システムの有無による認識率の比較 (試行回数: 試験区あたり 33~42 回)

4. 成果の活用面と留意点

収穫機械の選別作業者の安全性向上に資する。論文1件掲載、職務作成プログラム2件登録。特許1件出願予定。

5. 残された問題とその対応

各種収穫機械の選別作業者への適用に関しては、現地作業条件下での最適化と検証が必要である。

課題分類：11（9）

課題 I D：20903-2-10

研究課題：農業運搬ロボットの協調安全システムに関する基盤的研究

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・協調安全システムグループ

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2025 年度（令和 7 年度）

1. 目的

農業運搬ロボットについて、作業者の重大事故リスクの低減を目的とし、他産業での小型ロボット安全規格の適用可能性、並びに特有の評価試験方法及び安全システム開発研究の要否を明らかにする。

2. 方法

- 1) 市販の農業運搬ロボット（以下、農業ロボ）及び代替対象と考えられる歩行型農用運搬車の仕様や安全装置などを調査した。さらに、人追従型農業ロボに必要な安全対策を明らかにするため、これらを用いた収穫及び運搬の模擬作業を行って解析し、重大事故のシナリオを策定した。
- 2) 農業ロボに必要とされる評価試験方法及び安全システムを明らかにするため、他産業のロボットの安全規格を調査し、適用可能性と新たに開発すべき項目を検討した（表）。
- 3) 特に高い事故リスクが想定されるロボットと障害物との間で人の挟まれが生じた際のリスク評価のため、ISO/TR23482-1（サービスロボット安全試験方法）に準じた再現実験を行った。さらに、その結果を基に、自動車分野で安全検証に用いられる人体有限要素モデル THUMS を利用して構造解析ソフト LS-DYNA 上でシミュレーションを行い、作業者の傷害状況を推定した。
- 4) 上記の結果を整理し、農業ロボに特有な評価試験方法、安全システム開発研究の要否を検討した。

3. 結果の概要

- 1) 農業ロボでは非常停止ボタン、駐車ブレーキ、挟圧防止装置がないものが存在するほか、使用上の情報である警告表示装置が型式毎に異なっていた。模擬作業時に、人追従型農業ロボでは、人・障害物センサの誤検出、想定外の経路走行、支柱への衝突及び走行部に足が踏まれた等の重大事故につながる危険場面が生じ、これらに至る経緯がシナリオとして抽出された。
 - 2) 一例として、JISB8446-1（移動作業型サービスロボ安全）及び ISO/TS15066（協働ロボ安全標準仕様書）の適用検討結果を示す。前者では衝突への本質安全対策として、運動エネルギー 93J 以下（AIS1（簡易式外傷指数における軽症レベル）の発生確率 75%以下）とすることが推奨されていた。市販の農業ロボは積載無ではこれを下回ったが、満載状態では超えていた（図 1）。また、歩行型農用運搬車では 472J（AIS2（中等症レベル）の発生確率 75%以下）を超えることがあり、農業ロボによるリスク低減効果の定量化が期待できた反面、年間 10 件以上の死亡事故が発生している農用運搬車のリスクを必ずしも適切に反映できていないと考えられた。後者では部位ごとに生体力学制限（AIS1 未満の最大許容値）が提案されていたが（図 2）、AIS2 以上の指標は未記載であり、農業ロボにおいて求められる重大事故抑制効果の評価手法としては必ずしも十分とは言えなかった。
 - 3) 供試ロボットの衝突再現試験の結果、走行速度 1.1m/s、機体質量（積載無）194kg では過渡的狀態：1306N、準静的状態：968N と、ISO/TS15066 での AIS1 未満となる許容値を大きく上回っていた（図 3）。THUMS のシミュレーションでは、若干のモデル修正により円滑に実行できた。その結果、衝突による骨盤骨折リスクの存在が示された。一方、今回のシミュレーションでは、自動車用の想定をそのまま用いたため、挟まれ時でのハンドルによる応力の集中や体を挟るといった人と農業ロボの相対移動、窒息等は反映し切れておらず、さらに改良が必要であった（図 4）。
 - 4) これらの結果から、農業ロボの安全システムの開発及び評価については、重大事故の発生リスクを考慮する必要がある、他産業の規格等の既往の手法を直ちに適応することは困難であること、農業機械の挟まれによる力学的挙動をさらに分析する必要があることが明らかになった。
- 以上、農業ロボについて、他産業でのロボット安全規格の適用性や評価試験方法、安全システム開発研究の要否を整理し、農業機械の挟まれによる力学的挙動をさらに分析する必要がある。

表 他産業のロボット安全規格等の調査結果(抜粋)

No.	分野	タイトル	No.	分野	タイトル
1	サービ スロボ	JISB8445 (ISO 13482) :2016 サービスロボット安全	4	サービ スロボ	ISO/TS15066:2016 ロボット安全標準仕様書
2	サービ スロボ	JISB8446-1:2016 移動作業型ロボット安全	5	無人搬 送車	ISO3691-4:2023 産業用トラックの 安全要求事項と検証方法
3	サービ スロボ	ISO/TR23482-1:2020 サービスロボット安全性試験方法	6	小型配 送ロボ	遠隔操作型小型車の安全基準、 運行ガイドライン

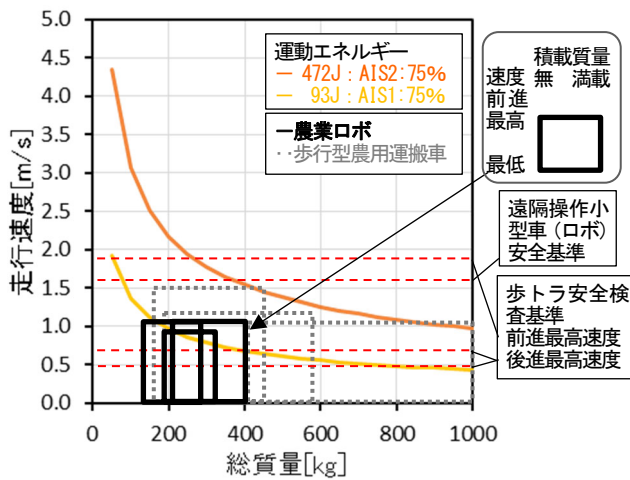


図1 運動エネルギーと傷害リスク

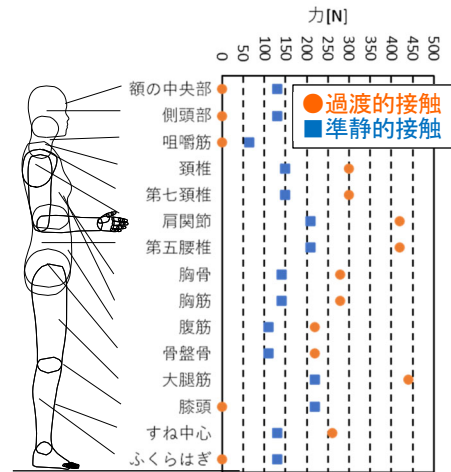


図2 生体力学制限(ISO/TS 15066)

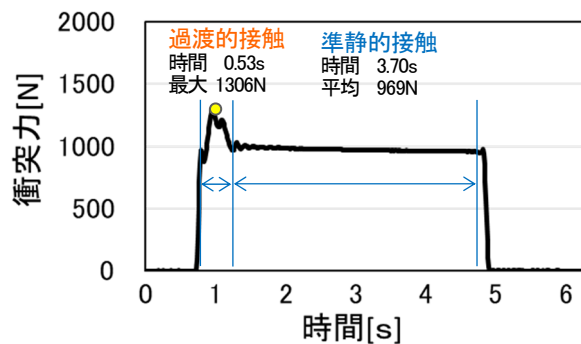
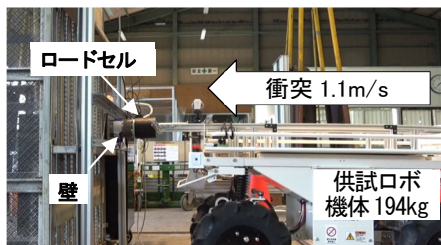


図3 農業ロボの衝突再現実験例

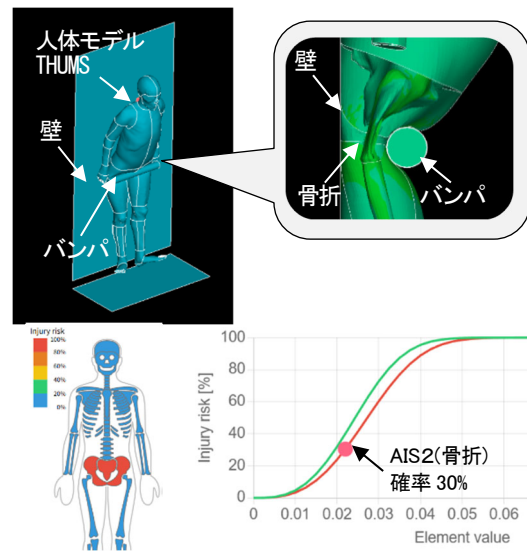


図4 農業ロボによる挟まれ事故のシミュレーション例

4. 成果の活用面と留意点

小型の農業ロボットや歩行型農業機械の安全性評価方法の参考資料となる。農業食料工学会で報告予定。ロボットメーカー等へ情報提供する。

5. 残された問題とその対応

今後、シミュレーションを活用した人と機械間の力学的挙動の解析について、農業用運搬ロボットに限定しないモデルの改良とデータの蓄積を図り、有効な安全対策及び評価手法の検証基盤を構築する。

課題分類：11（9）

課題 ID：20903-2-11

研究課題：農作業現場における身体障害を評価するための人体デジタルツインの開発

担当部署：農機研・システム安全工学研究領域・協調安全システムグループ

協力分担：なし

予算区分：農研機構創造プログラム（NIP）

研究期間：完 2025 年度（令和 7 年度）

1. 目的

農作業における安全性評価のうち、腰痛リスクなどの作業者の身体動作の取得を要するものについては、従来モーションキャプチャによる動作解析が利用されてきた。しかし、個人差の影響が避けられず、多様な農作業動作に対応することが困難である。この課題を最小のコストで解決するため、新たなアプローチの開発を行う。

2. 方法

- 1) 農作業者の安全性評価に用いるため、多様な農作業動作及び体格に対応可能な人体デジタルツインを開発した。本研究の人体デジタルツインとは、農作業現場における人の動きをデジタル空間上で再現するモデルである。開発したデジタルツインにおいて、入力を手動作の開始・中央・終了位置とし、拘束条件を膝関節の角度とした。逆運動学により全身関節の軌跡の座標を算出する手法を開発した。
- 2) 開発した人体デジタルツイン及び算出手法を用い、身長 170 cm・体重 65 kg の男性による農作業の代表的な持ち上げ作業を対象とし、異なる作業条件における安全性評価を実施した。その際、MATLAB 上で作業条件のパラメータ（両手軌跡中央位置、持ち上げ時間及び膝関節角度）を生成し、これらを満たす持ち上げ動作を同定した。さらに、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番号：機構 Y16）を用いて最大椎間板圧縮力を推定した。この推定結果から、椎間板圧縮力が最小となる動作を求め、得られた最適動作の特徴（膝関節角度、持ち上げ姿勢、持ち上げ時間）を、既往研究で報告されている安全な持ち上げ動作の特徴と比較することで、本手法の妥当性を検討した。

3. 結果の概要

- 1) 開発した人体デジタルツインでは、日本人の体格推定式（瀬尾、1999）で身長から人体セグメント（頭部、上腕、前腕、大腿、下腿、上身、下身等）の大きさを決定した（図 1）。次に、手動作の開始・中央・終了位置を指定し、人体デジタルツインにより 2 次ベジェ曲線で手の軌跡を自動的に生成した。ベジェ曲線の自動調整には三次エルミート法を用いた。さらに、得られた手の軌跡を 0.01 秒間隔で点群に離散化し、各点を目標位置とした。最後に、Aristidou ら（2011）に基づく FABRIK 逆運動学（Forward And Backward Reaching Inverse Kinematics）アルゴリズムと補間法により全身関節の軌跡の座標を算出した。この手法は被験者の動作の個体差に依存せず、拘束条件のみから逆運動学的に動作を生成できる普遍的な手法であった。
- 2) 既往研究では 100 組以上のテストが推奨されていることから、110 組のパラメータの組み合わせを一定の範囲（図 2）でランダムに生成した。さらに、人体デジタルツインにより上記の組み合わせに対応した持ち上げ動作（採集コンテナ 10 kg を軽トラ荷台高 65 cm へ挙上する動作）を生成した。それぞれの持ち上げ動作に対して推定された最大椎間板圧縮力の重回帰分析を行ったところ、持ち上げ作業において、最大椎間板圧縮力が最小となる動作は、持ち上げ時間が最大で、両手の軌跡における中央位置の y 座標が最小（手を体に近づけて持ち上げる方法）で、かつ膝関節角度制限が最小となる場合に生じることが明らかになった（図 2）。このことは厚生労働省の「職場における腰痛予防対策指針」と整合しており開発した手法は妥当なものと判断できた。

以上、本研究は逆運動学によるシミュレーションを通じて農作業動作を生成できる人体デジタルツインを開発し、さらにこれを利用した持ち上げ作業における最適な動作の同定が可能であることを明らかにした。さらに、これによりモーションキャプチャを用いず腰痛リスクを評価可能であることを示した。

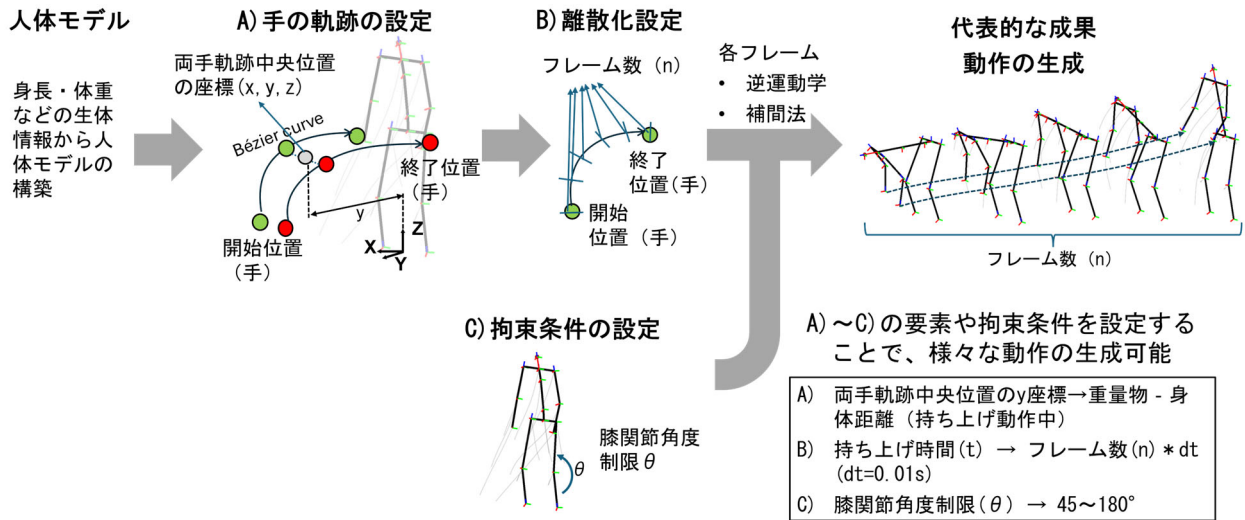


図1 人体デジタルツインの構築

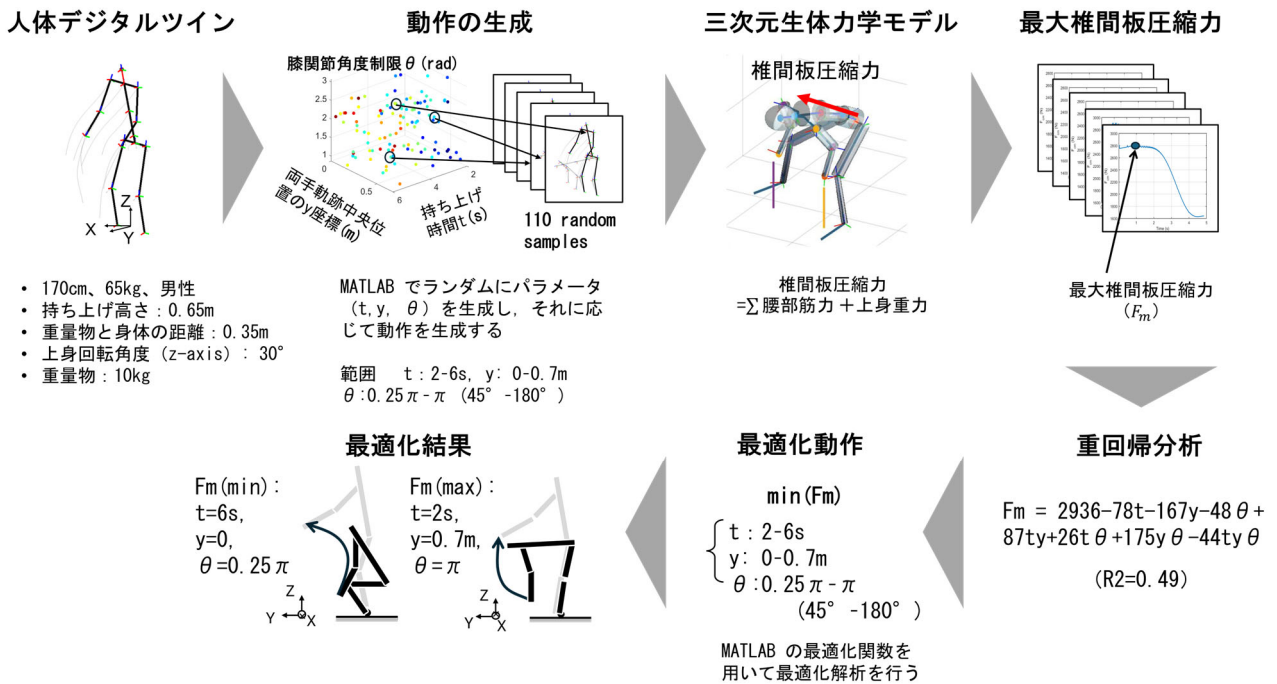


図2 生成した動作により身体負担軽減効果評価※

※重回帰分析 $p < 0.05$

4. 成果の活用面と留意点

安全な農作業動作を明らかにするための手法に資する。農業食料工学会誌上に英語論文1報を掲載。職務作成プログラム1件の登録と特許1件の出願を準備中。

5. 残された問題とその対応

農作業動作における腰部以外の身体部位の負担について、最適な作業動作を探る必要がある。

Ⅱ 安全性検査等業務

1. 安全性検査

1) 農業機械安全性検査実施規程に基づく令和7年度（令和7年4月～令和8年2月分暫定値）の安全性検査実施状況は表1-1-1のとおり申込数5機種64型式、合格数5機種57型式であった。

また、同年度の安全性検査申込受付期日、検査期間、検査場所、成績通知期日、依頼者数及び型式数は表1-1-2のとおりであり、安全性検査合格機の型式名、依頼者名、合格番号は、表1-1-3のとおりであった。

表1-1-1 安全性検査実施一覧（令和7年度暫定）

機種名	申込型式	合格型式
農用トラクター（乗用型）	43	43
農用トラクター（歩行型）	3	3
田植機	0	0
コンバイン（自脱型）	11	4
乾燥機（穀物用循環型）	7	7
合 計	64	57

（令和7年4月～令和8年2月申込分）

表1-1-2 申込受付期間等の一覧（令和7年度暫定）

申込受付期日	検査期間	検査場所	成績通知期日	依頼者数 型式数
7.4.11 7.5.9 7.5.14	7.4.2～7.6.25 7.5.23～7.6.25 7.5.27～7.6.25	農業機械研究部門 ヤンマーアグリ株式会社 岡山工場	7.7.29	3社 39型式
7.5.1	7.5.19～7.8.6	三菱マヒンドラ農機株式会社 技術センター	7.9.16	1社 8型式
7.8.5	7.8.21～7.11.4	大島農機株式会社	7.12.2	1社 7型式
7.10.16	7.10.17～7.12.15	農業機械研究部門	8.1.21	1社 3型式

（令和7年4月～令和8年2月申込分）

表1-1-3 合格機一覧（令和7年度暫定）

型式名	依頼者の名称	合格番号
クボタ MR1050HGS	株式会社クボタ	NARO 25/001
クボタ MR1050HGS-PC	〃	NARO 25/002
クボタ MR1000HGS	〃	NARO 25/003
クボタ MR1000HGS-PC	〃	NARO 25/004
クボタ MR900HGS	〃	NARO 25/005
クボタ MR900HGS-PC	〃	NARO 25/006
クボタ MR800HGS	〃	NARO 25/007
クボタ MR800HGS-PC	〃	NARO 25/008
キセキ T2074	井関農機株式会社	NARO 25/009
キセキ T2074Z	〃	NARO 25/010
キセキ T2084	〃	NARO 25/011
キセキ T2084Z	〃	NARO 25/012

キセキ T2094	〃	NARO 25/013
キセキ T2094Z	〃	NARO 25/014
キセキ T2104	〃	NARO 25/015
キセキ T2104Z	〃	NARO 25/016
キセキ T2074C	〃	NARO 25/017
キセキ T2074CZ	〃	NARO 25/018
キセキ T2084C	〃	NARO 25/019
キセキ T2084CZ	〃	NARO 25/020
キセキ T2094C	〃	NARO 25/021
キセキ T2094CZ	〃	NARO 25/022
キセキ T2104C	〃	NARO 25/023
キセキ T2104CZ	〃	NARO 25/024
キセキ T2114	〃	NARO 25/025
キセキ T2114Z	〃	NARO 25/026
キセキ T2114C	〃	NARO 25/027
キセキ T2114CZ	〃	NARO 25/028
キセキ T2124	〃	NARO 25/029
キセキ T2124Z	〃	NARO 25/030
キセキ T2134	〃	NARO 25/031
キセキ T2134Z	〃	NARO 25/032
キセキ T2134C	〃	NARO 25/033
キセキ T2134CZ	〃	NARO 25/034
キセキ T2144	〃	NARO 25/035
ヤンマー C0028	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 25/036
ヤンマー C0026	〃	NARO 25/037
ヤンマー C0025	〃	NARO 25/038
ヤンマー C0024	〃	NARO 25/039
三菱 T2310	三菱マヒンドラ農機株式会社	NARO 25/040
三菱 T2308	〃	NARO 25/041
三菱 T2306	〃	NARO 25/042
三菱 T2305	〃	NARO 25/043
三菱 T2304	〃	NARO 25/044
三菱 T2303	〃	NARO 25/045
三菱 T2302	〃	NARO 25/046
三菱 T2301	〃	NARO 25/047
大島RC25	大島農機株式会社	NARO 25/048
大島RC30	〃	NARO 25/049
大島RC35	〃	NARO 25/050
大島RC40	〃	NARO 25/051
大島RC45	〃	NARO 25/052
大島RC50	〃	NARO 25/053
大島RC55	〃	NARO 25/054
クボタ TS752NW	オカネツ工業株式会社	NARO 25/055
クボタ PC752N	〃	NARO 25/056
クボタ TS552NW	〃	NARO 25/057

(令和7年4月～令和8年2月申込分)

2) 農業機械安全性検査実施規程に基づく令和6年度(令和6年4月～令和7年3月分確定値)の安全性検査実施結果は表1-2-1のとおり申込数8機種109型式、合格数8機種103型式であった。

また、同年度の安全性検査申込受付期日、検査期間、検査場所、成績通知期日、依頼者数及び型式数は表1-2-2のとおりであり、安全性検査合格機の型式名、依頼者名、合格番号は、表1-2-3のとおりであった。

表1-2-1 安全性検査実施一覧（令和6年度確定）

機種名	申込型式	合格型式
農用トラクター（乗用型）	44	38
農用トラクター（歩行型）	3	3
田植機	15	15
野菜移植機	1	1
コンバイン（自脱型）	12	12
コンバイン（普通型）	5	5
ケーンハーベスター	1	1
乾燥機（穀物用循環型）	28	28
合 計	109	103

（令和6年4月～令和7年3月申込分）

表1-2-2 申込受付期間等の一覧（令和6年度確定）

申込受付 期 日	検査期間	検査場所	成績通知 期 日	依頼者数 型式数
6. 5. 15	6. 5. 30～6. 7. 17	株式会社クボタ グローバル技術研究所 農業機械研究部門 井関農機株式会社 砥部事業所内 株式会社山本製作所	6. 8. 21	4社 32型式
6. 5. 15	6. 6. 4～6. 7. 17			
6. 5. 17	6. 6. 4～6. 7. 17			
6. 5. 21	6. 6. 10～6. 7. 17			
6. 5. 27	6. 6. 3～6. 7. 17			
6. 5. 28	6. 6. 11～6. 7. 17			
6. 5. 29	6. 6. 18～6. 7. 17			
6. 6. 5	6. 6. 17～6. 7. 17			
6. 5. 9	6. 5. 27～6. 8. 23	農業機械研究部門 株式会社サタケ 株式会社クボタ グローバル技術研究所	6. 9. 18	4社 20型式
6. 5. 7	6. 6. 24～6. 8. 23			
6. 5. 31	6. 6. 27～6. 8. 23			
6. 7. 1	6. 7. 11～6. 8. 23			
6. 8. 1	6. 8. 9～6. 10. 7	農業機械研究部門	6. 10. 30	2社 9型式
6. 8. 21	6. 8. 30～6. 10. 7			
6. 9. 18	6. 9. 30～6. 11. 20	農業機械研究部門	6. 12. 18	4社 17型式
6. 9. 20	6. 10. 7～6. 11. 20			
6. 9. 24	6. 10. 15～6. 11. 20			
6. 10. 11	6. 10. 21～6. 11. 20			
6. 10. 16	6. 10. 30～7. 1. 22	農業機械研究部門 株式会社井関新潟製造所 オカネツ工業株式会社	7. 2. 18	3社 4型式
6. 10. 22	6. 11. 19～7. 1. 22			
6. 11. 8	6. 11. 25～7. 1. 22			
6. 12. 12	7. 1. 16～7. 3. 28	J A うつのみや 上三川カントリーエレベーター	7. 5. 7	1社 5型式
7. 2. 5	7. 2. 25～7. 5. 12	農業機械研究部門 株式会社クボタ グローバル技術研究所 井関農機株式会社 砥部事業所	7. 6. 11	4社 15型式
7. 2. 5	7. 3. 3～7. 5. 12			
7. 3. 10	7. 3. 24～7. 5. 12			
7. 3. 17	7. 3. 28～7. 5. 12			
7. 3. 17	7. 4. 3～7. 5. 12			
7. 1. 28	7. 2. 13～7. 6. 25	株式会社くみき	7. 7. 29	1社 1型式

（令和6年4月～令和7年3月申込分）

表1-2-3 合格機一覧（令和6年度確定）

型式名	依頼者の名称	合格番号
キセキ T2074	井関農機株式会社	NARO 24/001
キセキ T2074Z	〃	NARO 24/002
キセキ T2084	〃	NARO 24/003
キセキ T2084Z	〃	NARO 24/004
キセキ T2094	〃	NARO 24/005
キセキ T2094Z	〃	NARO 24/006
キセキ T2104	〃	NARO 24/007
キセキ T2104Z	〃	NARO 24/008
キセキ T2074C	〃	NARO 24/009
キセキ T2074CZ	〃	NARO 24/010
キセキ T2084C	〃	NARO 24/011
キセキ T2084CZ	〃	NARO 24/012
キセキ T2094C	〃	NARO 24/013
キセキ T2094CZ	〃	NARO 24/014
キセキ T2104C	〃	NARO 24/015
キセキ T2104CZ	〃	NARO 24/016
クボタ TME200	株式会社クボタ	NARO 24/017
クボタ TME150	〃	NARO 24/018
キセキ H115G	井関農機株式会社	NARO 24/019
キセキ H116G	〃	NARO 24/020
キセキ H117G	〃	NARO 24/021
ヤンマー C0023	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 24/022
ヤンマー C0022	〃	NARO 24/023
クボタ R2202GS	株式会社クボタ	NARO 24/024
クボタ R2305	〃	NARO 24/025
クボタ DRH1200A-OP	〃	NARO 24/026
クボタ DRH1200	〃	NARO 24/027
ヤンマー C0020	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 24/028
ヤンマー C0019	〃	NARO 24/029
山本 HD-80VDR	株式会社山本製作所	NARO 24/030
山本 HD-70VDR	〃	NARO 24/031
山本 HD-60VDR	〃	NARO 24/032
MF8S 265EP	エム・エス・ケー農業機械株式会社	NARO 24/033
MF8S 245EP	〃	NARO 24/034
VALTRA N135D	中西商事株式会社	NARO 24/035
クボタ V2312	株式会社クボタ	NARO 24/036
SDR3000XX	株式会社サタケ	NARO 24/037
SDR3500XX	〃	NARO 24/038
SDR4000XX	〃	NARO 24/039
SDR4500XX	〃	NARO 24/040
SDR5000XX	〃	NARO 24/041
SDR5500XX	〃	NARO 24/042
SDR6000XX	〃	NARO 24/043
SDR6500XX	〃	NARO 24/044
SDR3000XD	〃	NARO 24/045
SDR3500XD	〃	NARO 24/046
SDR4000XD	〃	NARO 24/047
SDR4500XD	〃	NARO 24/048
SDR5000XD	〃	NARO 24/049
SDR5500XD	〃	NARO 24/050
SDR6000XD	〃	NARO 24/051
SDR6500XD	〃	NARO 24/052
クボタ NW80SA-A	株式会社クボタ	NARO 24/053
クボタ NW80SA-OP	〃	NARO 24/054
クボタ NW80S-GS	〃	NARO 24/055
クボタ NW60S-GS	〃	NARO 24/056
クボタ NW60S	〃	NARO 24/057

三菱 P2401	三菱マヒンドラ農機株式会社 //	NARO 24/058
三菱 P2402	//	NARO 24/059
三菱 P2403	//	NARO 24/060
三菱 P2404	//	NARO 24/061
MF6S 145V	AGCO S. A.	NARO 24/062
キセキ T2114	井関農機株式会社	NARO 24/063
キセキ T2114Z	//	NARO 24/064
キセキ T2114C	//	NARO 24/065
キセキ T2114CZ	//	NARO 24/066
キセキ T2124	//	NARO 24/067
キセキ T2124Z	//	NARO 24/068
キセキ T2134	//	NARO 24/069
キセキ T2134Z	//	NARO 24/070
キセキ T2134C	//	NARO 24/071
キセキ T2134CZ	//	NARO 24/072
キセキ T2144	//	NARO 24/073
クボタ DRH1200A-A	株式会社クボタ	NARO 24/074
ODR25G	株式会社サタケ	NARO 24/075
ODR45G	//	NARO 24/076
ODR60G	//	NARO 24/077
ODR45GS	//	NARO 24/078
クボタ M125GE-AT	株式会社クボタ	NARO 24/079
クボタ TMS400	//	NARO 24/080
キセキ P0885A	井関農機株式会社	NARO 24/081
キセキ P0894A	//	NARO 24/082
NDR45F	株式会社サタケ	NARO 24/083
NDR60F	//	NARO 24/084
NDR75F	//	NARO 24/085
NDR90F	//	NARO 24/086
NDR105F	//	NARO 24/087
F211VARI0 G3	エム・エス・ケー農業機械株式会社 //	NARO 24/088
ヤンマー T0311	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 24/089
ヤンマー T0313	//	NARO 24/090
ヤンマー T0310	//	NARO 24/091
ヤンマー T0312	//	NARO 24/092
ヤンマー T0309	//	NARO 24/093
クボタ NW80N	株式会社クボタ	NARO 24/094
クボタ NW50S-GS	//	NARO 24/095
クボタ NW60N	//	NARO 24/096
クボタ NW50N	//	NARO 24/097
キセキ H115GZ	//	NARO 24/098
キセキ H116GZ	//	NARO 24/099
キセキ H117GZ	株式会社サタケ	NARO 24/100
クボタ R1801GS	//	NARO 24/101
クボタ R1803GS	//	NARO 24/102
YT6500	株式会社 くみき	NARO 24/103

(令和6年4月～令和7年3月申込分)

3) 概評

令和7年度（令和7年4月～令和8年2月分暫定値）の合格機は、合計6社57型式であった。その内訳は、安全装備検査が6社57型式、安全キャブ・フレーム検査が2社4型式、ロボット・自動化農機検査が1社8型式であった。

令和6年度（令和6年4月～令和7年3月分確定値）の合格機は、合計11社103型式であった。その内訳は、安全装備検査が11社103型式、安全キャブ・フレーム検査が5社11型式、ロボット・自動化農機検査が5社47型式であった。

2. 一般性能試験

農業機械一般性能試験実施規程に基づく令和7年度（令和7年4月～令和8年2月分暫定値）の一般性能試験実施状況は、表2-1のとおり合計10型式であった。

また、令和6年度（令和6年4月～令和7年3月分確定値）の一般性能試験実施状況は、表2-2のとおり合計6型式であった。

表2-1 一般性能試験実施一覧（令和7年度暫定）

機 種	型式数
乗用フロントモア用ROPS	1
芝刈機用ROPS	1
農耕作業用自動車等の排出ガス発散防止装置	1
農用トラクター用シート	1
農用トラクター（歩行型）車軸耕うんロータリ	1
コンバイン（普通型）	1
芝刈機	1
ケーンハーベスター	2
飼料用さとうきび収穫機	1
合 計	10

（令和7年4月～令和8年2月申込分）

表2-2 一般性能試験実施一覧（令和6年度確定）

機 種	型式数
農用トラクター（乗用型）用安全フレーム	4
刈払機刈刃	1
乗用フロントモア用ROPS	1
合 計	6

（令和6年4月～令和7年3月申込分）

3. OECDテスト

OECDテスト実施規程に基づく令和7年度OECDテストは、表3のとおり合計1型式であった。

表3 OECDテスト実施一覧

機 種	型式数
農用トラクター（乗用型）用安全キャブ	1
合 計	1

4. 農耕作業用自動車等機能確認

農耕車等機能確認実施規程に基づく令和7年度（令和7年4月～令和8年2月分暫定値）の機能確認実施状況は、表4-1のとおり農耕トラクタ2社2型式（3類別）であり、合計2社2型式（3類別）であった。

また、令和6年度（令和6年4月～令和7年3月分確定値）の機能確認実施状況は、表4-2のとおり農耕トラクタ1社2型式（4類別）、刈取脱穀作業車2社3型式（6類別）であり、合計3社5型式（10類別）であった。

表4-1 機能確認実施一覧（令和7年度暫定）

機 種	依頼者名	報告年月日	型式数
農耕トラクタ	三菱マヒンドラ農機株式会社	7. 8. 29	1(1)
	エム・エス・ケー農業機械株式会社	8. 1. 8	1(2)
合 計			2(3)

(令和7年4月～令和8年2月申込分)

表4-2 機能確認実施一覧（令和6年度確定）

機 種	依頼者名	報告年月日	型式数
農耕トラクタ	エム・エス・ケー農業機械株式会社	6. 9. 5	2(4)
刈取脱穀作業車	井関農機株式会社	6. 7. 26	2(5)
	株式会社クボタ	6. 7. 29	1(1)
合 計			5(10)

(令和6年4月～令和7年3月申込分)

Ⅲ 試作工場、附属農場の運営

1. 試作工場

[1] 月別作業件数

過去7年間の年度毎の月別作業件数を表1に示した。

表1 月別作業件数（件）

年度 月	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
4	12	10	13	12	15	13	13
5	20	10	7	28	30	23	17
6	21	22	19	13	15	14	34
7	14	25	8	5	11	10	12
8	19	9	14	12	6	12	14
9	19	15	8	18	9	16	38
10	17	20	12	16	22	35	28
11	15	11	10	8	10	15	16
12	11	7	10	12	6	3	10
1	6	11	16	9	3	4	2
2	14	17	8	14	25	14	
3	19	21	9	8	10	(10)	
計	187	178	134	155	152	169	184

[2] 資材使用量

令和7年度に使用した資材の使用量を図1に示した。

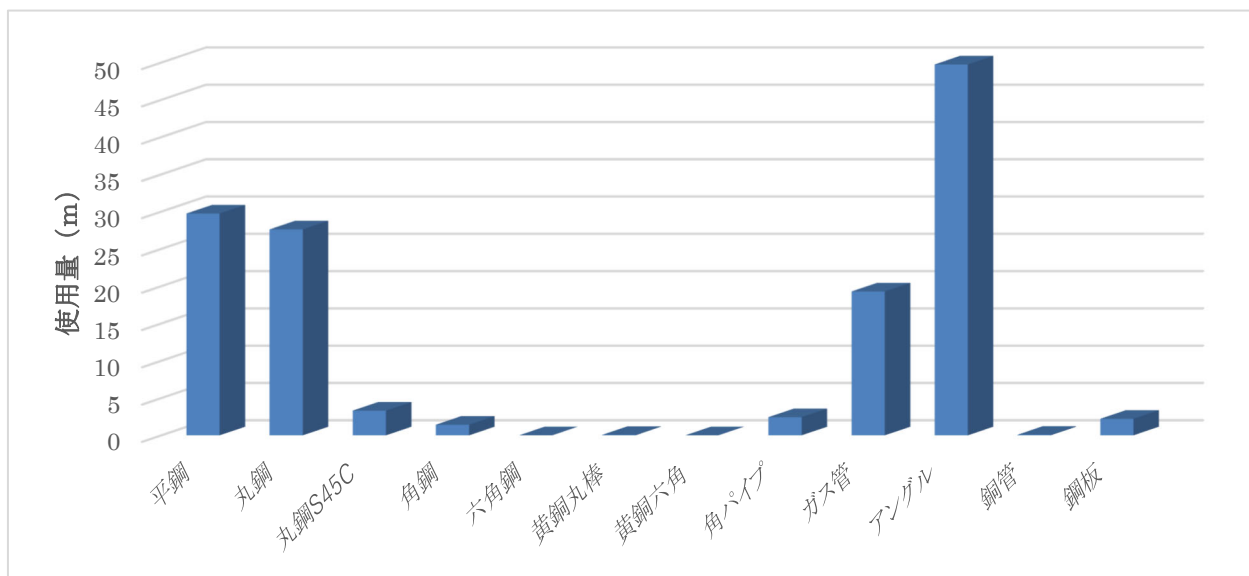


図1 資材使用量(m) * 銅板は枚

[3] 主な試作品

令和7年度の主な試作品。

図2：SS 遠隔操作システム。アルミ材。ワイヤー放電加工機使用。

図3：白菜頭部結束紐繰り出し装置。3Dプリンター使用。

図4：小型電動ロボット耕耘アタッチメント（ソイラー）。フライス盤使用。

図5：小型電動ロボット耕耘アタッチメント（ロータリー）。

図6：風洞試験装置（ハニカム整流板）。3Dプリンター使用。

図7：木製 SIP 治具。マシニングセンタ使用。

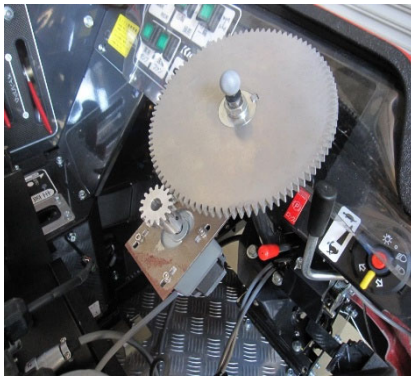


図 2: SS 遠隔操作システム

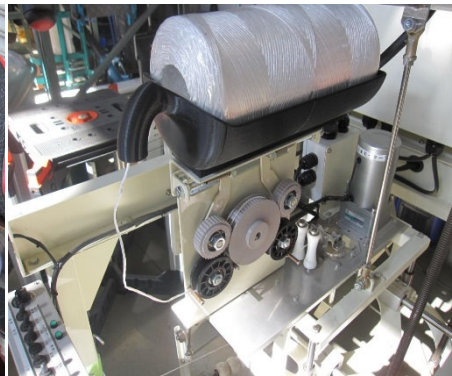


図 3: 紐繰り出し装置

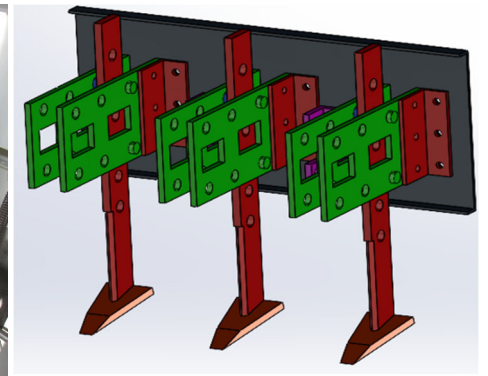


図 4: 耕耘アタッチメント
(ソイラー)



図 5: 耕耘アタッチメント
(ロータリー)



図 6: 風洞試験装置



図 7: 木製 SIP 治具

[4] その他

*さいたま市社会体験学習事業（未来くるワーク）対応（大宮西中9月2日）。

*技能検定受験〈3級普通旋盤加工〉2名合格（8月13日）。

*技術支援祭発表（1月21日）。

*技術支援系採用職員研修 埼玉工作機械教育 12名（1月16日、22日）

2. 附属農場

[1] 土地利用

水田	1,281a
畑	88a
宅地・道水路敷・その他	226a

[2] 作物別の作付面積・収穫面積

土地区分	作物・品種		作付面積 (a)	収穫面積 (a)	備考
水田	水稲	彩のかがやき	655	655	
		コシヒカリ	278	278	
		大地の風	253	253	
	麦類	小麦	108	108	
畑	豆類	大豆	59	59	
		穀物	飼料用トウモロコシ	30	30
	葉菜類	キャベツ	0.5	0.5	
		ブロッコリー	0.5	0.5	
		ハクサイ	3.75	3.75	
		こまつな	3	3	
		ほうれんそう	3.5	3.5	
	いも類 その他	ジャガイモ	17	17	
		ダイコン	0.25	0.25	
		にんじん	0.25	0.25	
		ナス	0.25	0.25	

[3] 気象概況

令和7年度の夏作期間（5月～10月）の気温は、昨年同様、平年に比べ高温で、特に7月～8月は日最高気温35℃以上の猛暑日となった日が多かった。月間日照時間は6月～9月で平年より多かったが、特に6月下旬、7月上旬・下旬、8月下旬の日照は多かった。降水量は、5月上旬・下旬、7月上旬、9月上旬に平年を大きく上回ったが、総量としては平年を下回る月が多かった。7月下旬から9月下旬は高気圧に覆われて晴れた日が多くなったが、前線や湿った空気、台風の影響で曇りや雨となった日もあった。梅雨入り・梅雨明けは平年よりも早く、それぞれ5月22日、6月28日頃とみられている。

[4] 作物の生育概況

1) 水稲

前年度に続き令和7年度も水稲作は、直播と移植の両方を行った。直播は4月24日から25日、田植え作業は5月16日から6月19日まで行った。6月上旬から9月下旬にかけて特に高温・高日照で、出穂時の高温障害等の影響とみられる心白粒が彩のかがやき（3等）、コシヒカリ（2等）で確認された。一方、大地の風は1等であった。収反収は平均535kg/10aで、平年収量比94%程度であった。今年も複数の台風が日本に上陸したが、当场では大きな被害には至らなかった。両正条田

植機及び除草機試験、高湿材適応コンバイン試験、障害物センサ環境対応試験、人・機械協調安全確認試験、ロボトラ播種試験、穀物高速乾燥試験等に供した。

2) 畑作物

麦類は、小麦を水田に播種した。豆類、野菜類では、こまつな、ニンジンの播種、ジャガイモの定植を3月に、飼料用トウモロコシの播種、ナスの定植を5月に、大豆播種を6月に、ハクサイ・キャベツ・ブロッコリー・ジャガイモの定植ならびにダイコン、ほうれんそうの播種を9月に行った。キャベツ、ハクサイ、ブロッコリーを籾殻燃焼灰の施用効果確認試験に、ハクサイをハクサイ頭部結束機試験に、ジャガイモ、麦、大豆を人・機械協調安全試験に、ナス、ニンジン、ダイコン、ハクサイを作業姿勢調査に、こまつな、ほうれんそうを着脱式バッテリーを利用したほうれんそう収穫機の試験にそれぞれ供した。

[5] その他

- ・12月4日に附属農場を会場として埼玉県農業機械実演展示会が開催された。
- ・10月22日に農林水産省農産局技術普及課生産資材対策室長等による高湿材適応コンバインの視察があった。
- ・第一種衛生管理者試験を1名受験して合格したほか、粉じん作業特別教育、有機溶剤業務従事者特別教育、酸素欠乏・硫化水素危険作業特別教育を受ける等、業務に必要な資格の取得に努めた。
- ・4月に職員1名が「安全・効率的なフレコン吊り作業補助具の考案」により、科学技術分野の文部科学大臣表彰創意工夫功労者賞を受賞した。

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
合わせください。

問い合わせ先：

農機研 研究推進部 研究推進室 広報チーム

TEL: 048-654-7030

または

iam-koho@ml.affrc.go.jp

令和7年度 事業報告

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
Tel. 048-654-7000 (代)

発行 令和8年4月