

令和2年度
事業報告

令和3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
農業技術革新工学研究センター

目 次

I 研究業務

2020 年度（令和 2 年度）実施課題一覧	3
------------------------	---

(以下、原則として 2020 年度で完了する課題のみ記載)

1. 研究推進部

戦略－1 戦略推進室

戦略－1－1 マシンビジョンを活用した自動運転スピードスプレーヤの開発	10
戦略－1－2 果樹栽培における自動化技術導入に関する調査研究	12

2. 安全検査部

検査－1 ロボット安全評価ユニット

検査－21－1 農業用ドローンの防除性能評価の標準化に関する研究	16
検査－21－2 ロボット農機検査基準の高度化及び適応拡大に関する研究	18

検査－2 作業機安全評価ユニット

検査－22－1 安全キャブ・フレームの新たな試験手法の標準化に向けた基盤的研究	20
検査－22－2 安全性検査における ISO/IEC17025 取得及び維持に関する研究	22

検査－3 性能評価ユニット

検査－23－1 安全性の高い刈払機の普及拡大のための評価基準に関する研究	24
検査－23－2 高所作業用機械・用具に係る転倒・転落事故軽減に向けた評価法の開発	26
検査－23－3 乗用型トラクタの乗降時の安全性に関する研究	28

3. 安全工学研究領域

安全－1 安全技術ユニット

安全-31-1	詳細調査・分析を通じた農作業事故の未然防止行動の抽出試行	32
安全-31-2	農作業事故防止に向けた危険体験型安全教育手法の可能性に関する基礎調査	34

安全-2 安全システムユニット

安全-32-1	農用トラクター用ドライブデータレコーダーの開発	36
安全-32-2	農用車両の危険挙動再現のための実験用プラットフォーム及び挙動計測システムの開発	38
安全-32-3	農用トラクターの異常機体挙動検知装置の開発	40
安全-32-4	侵入者等リスクに対する農作業区域監視システムの開発に向けた調査研究	42

安全-3 労働衛生ユニット

安全-33-1	歩行用トラクタによる挟まれ事故防止技術の開発	44
安全-33-2	中腰姿勢補助器具の開発	46
安全-33-3	農作業用アシスト装置開発のための設計条件の検討	48

4. 高度作業支援システム研究領域

高度-1 高度土地利用型作業ユニット

高度-41-1	大区画ほ場における凹凸計測および均平作業の自動化技術の開発	52
高度-41-2	無人農用車両の作業機着脱の自動化技術の研究	54
高度-41-3	畑野菜の高精度除草技術の開発	56
高度-41-4	マッピング技術に基づく栽培情報の評価・適用技術の開発	58
高度-41-5	ロボットコンバインによる無人収穫システムの開発	60

高度-2 高度施設型作業ユニット

高度-42-1	ロボットを利用した施設園芸ハンドリング・管理作業省力化技術の開発	62
高度-42-2	時系列画像や別視点の画像を利用し隠れて見えない対象を検出する画像モニタリング手法	64
高度-42-3	新規作物導入を伴う通い農業支援・営農促進モデルの提示	66

高度－3 高度情報化システムユニット

高度－43－1	多圃場営農管理情報プラットフォームの実証と機能向上	68
高度－43－2	移動性害虫の侵入警戒・モニタリング技術の開発	70
高度－43－3	リスクマネジメントシステムの開発実証	72
高度－43－4	携帯型 GPS データ利用による有用生産工程システムの開発	74
高度－43－5	農業用語標準化に向けた概念体系の構築	76
高度－43－6	農作業基本オントロジーを活用した音声認識機能を用いた 作業記録作成システムの開発	78
高度－43－7	フィールドセンシング時系列データを主体とした農業ビッグ データの構築と新知見の発見	80
高度－43－8	フィールドセンシング時系列データを主体とした農業ビッグ データの構築と新知見の発見	82
高度－43－9	スマート予測技術（昆虫世代予測システム）の社会実装加速	84

5. 次世代コア技術研究領域

次世代－1 自律移動体ユニット

次世代－51－1	AI を利用した農用ロボット制御技術の開発	88
次世代－51－2	自動運転田植機のフォローアップ	90
次世代－51－3	水田作向け播種機のスマート化技術の開発	92

次世代－2 生産システムユニット

次世代－52－1	ドローンを利用した栽培管理技術に関する基礎研究	94
次世代－52－2	東北日本海側 1 年 1 作地帯の大規模水稻・大豆輪作集落営農型 法人におけるスマート農業による生産性向上の実証	96
次世代－52－3	トマト用接ぎ木装置の開発－実用化研究	98

次世代－3 ポストハーベストユニット

次世代－53－1	ニンニク調製装置の現地導入適応技術の開発	100
次世代－53－2	植物体へのダイレクトプリント技術の適用条件の解明	102

次世代－4 基礎技術ユニット

次世代－54－1	管理作業用自律走行プラットフォームの開発	104
次世代－54－2	モジュール型電動農業機械の充電システムに関する研究	106

次世代-54-3	小型 AI ロボット群の移動プラットフォームのための評価手法 およびエネルギー供給・利用技術の開発	108
次世代-54-4	ブロッコリー収穫に関する調査研究	110

II 安全性検査等業務

1.	安全性検査	114
2.	一般性能試験	116
3.	OECDテスト	117
4.	農耕作業用自動車等機能確認	117
5.	特定原動機検査	118
6.	特定特殊自動車検査	118

III 試作工場、附属農場の運営

1.	試作工場	120
2.	附属農場	122

I 研究業務

令和2年度実施課題一覧

2020年度（令和2年度）実施課題一覧

担当研究 領域等	研究ユニット 等	研究課題名	予算区分	研究期間
研究推進 部	戦略推進室	二毛作体系に適した水稲乾田直播技術の開発	クラスタ	2018～20
		高速高精度汎用播種機を用いた乾田直播水稲一子実用トウモロコシサイズの高収栽培技術の開発	先端プロ	2018～20
		復旧水田における先端技術導入による水田営農の高度安定化に向けた実証研究	先端プロ	2018～20
		りんご黒星病発生低減のための落葉収集機の開発	クラスタ	2018～21
		手持ち式花蕾採取機の現地実証と適応性拡大に関する研究	基礎・基盤 イノベ事業	2019～21
		マシンビジョンを活用した自動運転スピードスプレーヤの開発	SIP2	2019～20
		セル成型苗を利用したハウレンソウ栽培移植技術の開発	クラスタ	2018～20
		越冬ハクサイ頭部結束機の開発	クラスタ	2019～21
		落花生用自走式拾い上げ収穫機の開発	クラスタ	2019～21
		カウシグナルのスコア化・判定システムの開発	クラスタ	2019～21
		豚舎洗浄ロボットの実用化研究	クラスタ	2019～21
		大豆用高速畝立て播種機の普及に向けた実証研究	理事裁量経費 資金提供型共同 研究	2020～21
		果樹栽培における自動化技術導入に関する調査研究	基礎・基盤	2020
		茶園用除草機の開発	クラスタ	2020～22
イアコーン収穫スナッパヘッドの現地適応化	クラスタ	2020～22		
安全検査 部	ロボット安全 評価ユニット	農業用ドローンの防除性能評価の標準化に関する研究	基礎・基盤	2018～20

担当研究領域等	研究ユニット等	研究課題名	予算区分	研究期間
		ロボット農機検査基準の高度化及び適応拡大に関する研究	理事裁量経費	2020～22
	作業機安全評価ユニット	安全キャブ・フレームの新たな試験手法の標準化に向けた基盤的研究	理事裁量経費	2018～20
		安全性検査における ISO/IEC17025 取得及び維持に関する研究	基礎・基盤	2019～20
	性能評価ユニット	安全性の高い刈払機の普及拡大のための評価基準に関する研究	基礎・基盤	2018～20
		高所作業用機械・用具に係る転倒・転落事故軽減に向けた評価法の開発	基礎・基盤	2019～20
		乗用型トラクタの乗降時の安全性に関する研究	基礎・基盤	2020
安全工学研究領域	安全技術ユニット	詳細調査・分析を通じた農作業事故の未然防止行動の抽出試行	基礎・基盤	2020
		農作業事故防止に向けた危険体験型安全教育手法の可能性に関する基礎調査	基礎・基盤	2020
	安全システムユニット	農用トラクター用ドライブデータレコーダーの開発	クラスタ	2018～20
		農用車両の危険挙動再現のための実験用プラットフォーム及び挙動計測システムの開発	基礎・基盤	2018～20
		農用トラクターの異常機体挙動検知装置の開発	基礎・基盤	2018～20
		侵入者等リスクに対する農作業区域監視システムの開発に向けた調査研究	基礎・基盤	2020
	労働衛生ユニット	歩行用トラクタにおける挟まれ事故防止技術の開発	基礎・基盤	2018～20
		地理空間情報に基づく知能化作業システムの設計支援ツールの開発	SIP2	2018～22
		中腰姿勢補助器具の開発	基礎・基盤	2018～20
		農作業用アシスト装置開発のための設計条件の検討	基礎・基盤	2020
高度作業支援システム研究領域	高度土地利用型作業ユニット	大区画圃場における凹凸計測および均平作業の自動化	先端プロ	2018～20
		センシング技術の融合による圃場間移動技術の開発	SIP2	2018～22

担当研究 領域等	研究ユニット 等	研究課題名	予算区分	研究期間
		ロボットコンバインによる無人収穫システムの開発	交付金、理事裁量経費、資金提供型共同研究	2017～20
		畑野菜の高精度除草技術の開発	交付金	2018～20
		マッピング技術に基づく栽培情報の評価・適用技術の開発	交付金、資金提供型共同研究	2018～19
		無人農用車両遠隔運用システムの研究	交付金	2019～21
		遠隔操作式高能率法面草刈機の開発	クラスタ	2019～21
		無人農用車両の作業機着脱の自動化技術の研究	交付金 (NIP)	2020
	高度施設型作業ユニット	作業データ入力デバイスの開発	技会委託 AI プロ	2017～21
		ロボットを利用した施設園芸ハンドリング・管理作業省力化技術の開発	交付金	2018～20
		時系列画像や別視点の画像を利用し隠れて見えない対象を検出する画像モニタリング手法	科研費	2017～20
		大規模生産法人における各種作業、生育、環境、エネルギーデータ等の効率的収集手法の確立、情報管理及びオープンプラットフォームデータベースの構築	技会委託 AI プロ	2017～21
		着果・着花状況モニタリングシステムの開発	技会委託 AI プロ	2017～21
		新規作物導入を伴う通い農業支援・営農促進モデルの提示	先端プロ	2018～20
		小型ドローンの気流を利用したイチゴ新葉の省力計測手法の開発	交付金	2019～21
	高度情報化システムユニット	多圃場営農管理情報プラットフォームの実証と機能向上	交付金	2016～20
		移動性害虫の侵入警戒・モニタリング技術の開発	交付金	2016～20
リスクマネジメントシステムの開発実証		交付金	2016～20	
携帯型 GPS データ利用による有用生産工程管理システムの開発		交付金	2016～20	
農業用語標準化に向けた概念体系の構築		交付金	2016～20	

担当研究領域等	研究ユニット等	研究課題名	予算区分	研究期間
		農作業基本オントロジーを活用した音声認識機能を用いた作業記録作成システムの開発	交付金	2019～20
		牛の飼養衛生オントロジーの語彙の収集、設計事業	JRA 畜産振興事業	2019～21
		フィールドセンシング時系列データを主体とした農業ビッグデータの構築と新発見の発見	交付金 CREST	2016～20
		スマート予測技術（昆虫世代予測システム）の社会実装加速	理事裁量経費 (理事長査定枠)	2020
		キャベツ・レタスの精密生育情報を活用した精密出荷予測システムの開発	SIP2	2018～22
次世代コア技術研究領域	自律移動体ユニット	AI を利用した農用ロボット制御技術の開発	基礎・基盤	2018～20
		中山間地域のほ場群エリア内作業に適合した農業ロボット車両の開発	SIP2	2018～22
		ISOBUS に対応した作業機 ECU の開発	クラスタ	2019～21
		畦畔向け草刈ロボットの開発に関する研究	基礎・基盤	2019～22
		自動運転田植機のフォローアップ	理事裁量経費	2020
		水田作向け播種機のスマート化技術の開発	理事裁量経費 (理事長査定枠)	2020
	生産システムユニット	ドローンを利用した栽培管理技術に関する基礎研究	基礎・基盤	2017～20
		栽培管理用 AI ロボットの研究開発	クラスタ	2018～22
		東北日本海側 1 年 1 作地帯の大規模水稲・大豆輪作集落営農型法人におけるスマート農業による生産性向上の実証	スマ農実証（たねっこ）	2019～20
		高精度散布制御技術の開発	理事裁量経費	2019～21
		キャベツの精密管理技術の開発	理事裁量経費	2019～21
		トマト用接ぎ木装置の開発－実用化研究	基礎・基盤	2018～20
	ポストハーベストユニット	植物体へのダイレクトプリント技術の開発	科研費	2018～20

担当研究 領域等	研究ユニット 等	研究課題名	予算区分	研究期間
		ニンニク調製装置の現地導入適応技術の開発	基礎・基盤	2020
		ライスセンターのスマート化システムの開発	クラスタ	2020～22
		穀物の高速乾燥に関する基礎的研究	理事裁量経費	2020～22
		完全無人穀物乾燥調製施設の概念実証	理事裁量経費	2020
		蒸気を利用した種子消毒装置の市販化に向けた大型装置開発と現地実証	資金提供型共同研究	2020～21
	基礎技術ユニット	管理作業用自律走行プラットフォームの開発	基礎・基盤	2018～20
	基礎技術ユニット	モジュール型電動農業機械の充電システムに関する研究	基礎・基盤	2018～20
	基礎技術ユニット	小型 AI ロボット群の移動プラットフォームのための評価手法及びエネルギー供給・利用技術の開発	理事裁量経費 (理事長査定枠)	2020
	基礎技術ユニット	小型 AI ロボット群のための Li-ion バッテリの検討	理事裁量経費	2020
	基礎技術ユニット	ブロッコリー収穫に関する調査研究	基礎・基盤	2020

1. 研究推進部

課題分類：4（6）

課題 I D：1060301-02-01*20

研究課題：マシンビジョンを活用した自動運転スピードスプレーヤの開発

担当部署：革新工学センター・研究推進部・戦略推進室

協力分担：筑波大学、三菱マヒンドラ農機(株)、(株)丸山製作所

予算区分：基礎・基盤、SIP2

研究期間：完 2019～2020 年度（令和元～2 年度）

1. 目的

りんご園等の果樹園地内における防除作業の自動化のために、自動運転スピードスプレーヤ（以下、自動運転 SS）を開発する。

2. 方法

- 1) りんご栽培園内での GNSS 受信機の受信状態を確認するため、青森県内の普通樹りんご栽培園の樹冠下に RTK-GNSS 受信機（u-blox 社製 C94-M8P）を地上 1m の高さで約 2 時間静置し、位置情報を測定した。また、普通樹りんご栽培園およびわい化樹りんご栽培園のスピードスプレーヤ走行経路上を上記の RTK-GNSS 受信機を地上約 1m の高さに保って 6 樹列分を 2 反復ずつ歩行した状態の位置情報を測定した。（2019 年度）
- 2) 主な導入対象である青森県のりんご生産関係者と意見交換を行うとともに、りんご栽培ほ場の現地調査を行った。（2020 年度）
- 3) 市販のスピードスプレーヤ（薬液タンク容量 1000L、キャビン付き）を、外部からの制御信号により走行制御ができる様に改造するとともに、自動運転のための走行制御システムを構築した。また、自動運転 SS の試作機を供試して、模擬樹列間を自動走行させ、スタート位置の違い、および、直進走行時の走行速度の違いによる走行精度への影響を調査した（図 2）。旋回時の走行速度は、直進走行時の走行速度の違いによらずいずれも 2km/h とした。（2019～2020 年度）

3. 結果の概要

- 1) 静置状態での位置情報測定においては、上空が枝葉で遮られている普通樹りんご栽培園でも、上空が開けているわい化樹りんご栽培園でも、GNSS 受信機の測位が安定しない状態が確認され（表 1）、GNSS 受信機のみで高精度な自己位置同定を継続的に行うことは困難であると考えられた。
- 2) 自動運転 SS は非常に要望されており、いきなり完全無人でなくても段階的に技術を導入できないか、という意見があった。現地調査において、普通樹栽培園では樹列端で切り返しが必要なことも確認され、樹列間の走行経路が直進のみでなかったことから、自動運転 SS は比較的走行経路が単純な、わい化栽培園への適用をまず検討すべきと考えられた。
- 3) スピードスプレーヤの走行用主変速レバー、ブレーキをアクチュエータによる電氣的制御が可能となるように改造するとともに、自動操舵装置を組み込んだ。また、外部からの制御信号により各アクチュエータと送風機、噴霧バルブを操作するためのソフトウェアを開発した。さらに、車両外部から緊急停止ができる様に車両本体の前後左右 6 箇所に非常停止ボタンを取り付けた（図 1）。スピードスプレーヤの走行制御は、前方カメラで直進目標マーカを認識して樹列間を直進し、マーカが認識できない場合は方位センサで補間し、側方カメラで旋回位置マーカを認識して旋回する方式とした（図 1）。模擬樹列間での走行試験では、直進時の走行速度が一般的な散布作業速度である 2km/h よりも速い 3km/h、4km/h においても、2km/h と同程度の走行精度を有していることを確認した（表 2）。また、スタート位置の違いによらず、目標走行軌跡に対して一定の方向にずれていたことから、カメラ取付け向きの調整等の改善が必要であると考えられた（図 3）。旋回位置マーカによって樹列端を認識する制御については、太陽の向きによってマーカが認識できない事例も確認されたが、概ね問題なく旋回して、走行速度によらず 0.2～0.3m の精度で目的の樹列間に入ることが確認できた（表 2）。方位センサのみの走行区間では、時間毎に向きが徐々に変化したことから、直進目標マーカの有効性を確認した。

以上、自動運転 SS を試作し、走行精度を確認した。

表1 りんご栽培園内のGNSS受信状態例

試験方法	栽培様式	反復	測定時間	fix状態※	float状態※
静置	普通樹	—	120分	43%	57%
経路上を歩行	普通樹	1反復目	7分48秒	42%	58%
		2反復目	7分45秒	100%	0%
	わい化樹	1反復目	6分23秒	100%	0%
		2反復目	6分24秒	3%	97%

※ GNSSの受信状況が各状態だった時間割合
fixが高精度で測位可能、floatが精度が低下している状態を示す

前方カメラ：CMOS、720P、30fps、8mm レンズ
側方カメラ：CMOS、1080P、30fps、2.8mm レンズ

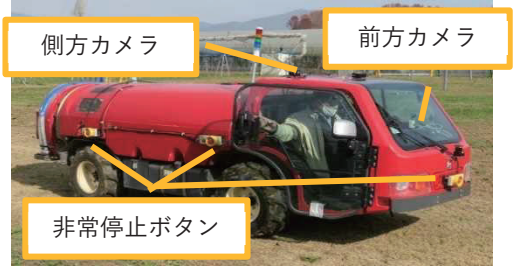


表2 走行速度およびスタート位置による走行精度への影響

スタート位置※1	設定走行速度 (km/h)	目標走行経路からの			旋回後行程スタート位置での目標軌跡からの平均偏差
		平均偏差※2 (m)	最大偏差※2 (m)	最小偏差※2 (m)	
左	2	0.42	0.69	0.16	0.29
	3	0.45	0.63	0.19	0.22
	4	0.51	0.82	0.01	0.16
中央	2	0.17	0.32	0.03	0.22
	3	0.22	0.47	0.02	0.24
	4	0.22	0.43	0.02	0.19
右	2	0.27	0.85	0.00	0.22
	3	0.29	0.76	0.00	0.22
	4	0.30	0.81	0.01	0.03

※1 目標走行軌跡上とその左右約0.75mからスタート
※2 各試験条件における直進目標マーカーによる走行区間各3反復の平均



図1 試作した自動運転SSとマーカーの設置例

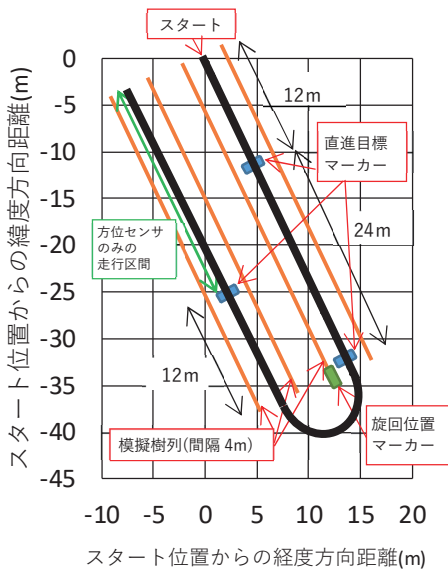


図2 模擬樹列間の目標走行経路

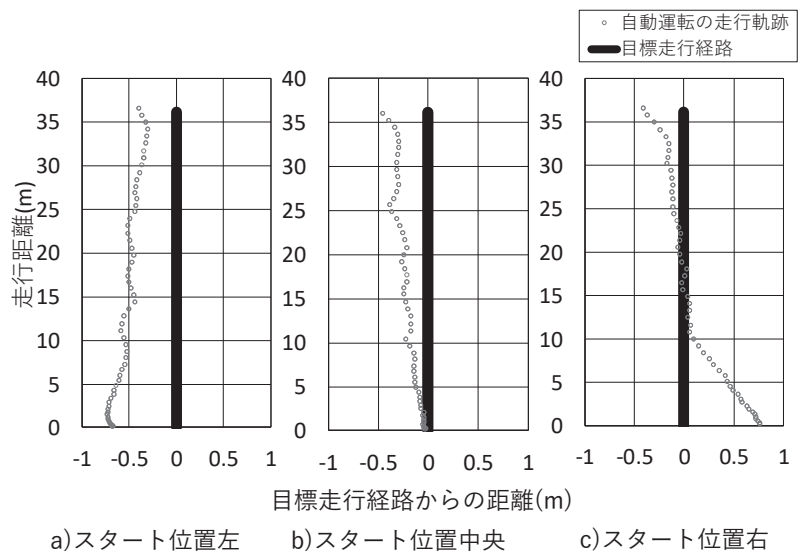


図3 スタート位置毎の1行程目の走行軌跡例 (走行速度 3km/h)

4. 成果の活用面と留意点

実用的な自動運転SSの開発に資する。

5. 残された問題とその対応

環境変化に対するロバスト性の向上、障害物検出機能の追加、マーカーの最適な設置方法の解明等の課題を解決する必要がある、新規課題化を検討する。

課題分類： 4 (6)

課題 I D：1060301-01-05*20

研究課題：果樹栽培における自動化技術導入に関する調査研究

担当部署：革新工学センター・研究推進部・戦略推進室

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2020 年度 (令和 2 年度)

1. 目的

果樹栽培における自動化の技術構築に必要な技術調査を行い、樹体、花等の認識、熟練技術の学習、自動判別等に必要な技術開発要素と、それらの自動化技術が適用できる作業内容を明らかにする。

2. 方法

- 1) 公益財団法人中央果実協会「平成 30 年度 果樹農業における労働力に関する調査報告書」における作業別労働時間および雇用労働時間から、作業別の雇用比率を算出し、作業毎に求められる自動化技術を類型化した。(2020 年度)
- 2) りんごの整枝せん定作業と収穫作業を対象として、作業全体を部分作業、動作に分解するとともに、各動作を自動化するのに必要な技術開発要素を検討した。また、各技術開発要素に対して、他分野で開発が進められているデバイス類の適用可能性を検討した。(2020 年度)

3. 結果の概要

- 1) りんごの着果管理・収穫、温州みかんの収穫作業等は、面積当たりの労働時間が長く、雇用比率も高いことから、比較的単純な作業を自動化する技術が求められると考えられた。一方、各樹種のせん定、ブドウ、日本なしの収穫作業等は、面積当たりの労働時間が長いにもかかわらず、雇用比率が低いことから、熟練者の高度な判断が必要な作業であると考えられ、センシング・判断技術をあわせた自動化技術や、熟練者が行っている判断を非熟練者でも容易にできるようにするアシスト技術が求められると考えられた。また、各樹種の防除作業は面積当たりの労働時間が短いものの、適期での作業が必須であることから、作業の省力化を図る自動化技術が求められると考えられた(図 1)。
- 2) りんごの整枝せん定作業は、樹列間移動、樹形・枝認識、枝切除等の動作が必要であり、自動化するには、樹形認識、枝位置認識、枝切除の判断、マニピュレータ等の技術開発が必要であると考えられた。りんごの収穫作業は、樹列間移動、果実認識、採果収容、選別等の動作が必要であり、自動化するためには、果実位置認識、収穫適否判定、マニピュレータ、ソフトハンドリング等の技術開発が必要であると考えられた(図 2)。また、りんご整枝せん定作業の枝切除動作における枝切除の判断には、AI による物体認識の適用が有効であると考えられたが、現状では対象の枝の情報だけでは切除の判断ができないといった課題があるため、樹全体の樹形を把握し、他の枝との位置関係やそれまでの生長履歴等から切除することが望ましい枝を判別できる技術等の研究開発が必要であると考えられた。りんご収穫作業の樹列間移動動作における園内自動走行は、研究開発が進められている測距センサ LiDAR やカメラを用いた自動走行車両の技術を適用することが考えられたが、収穫作業車両と運搬車両、もしくは、収穫作業者と運搬車両の協調作業が必要となることから、協調安全技術と、全体作業の最適化を図る行動計画策定技術等の研究開発が必要であると考えられた(表)。

以上、果樹栽培の作業を求められる自動化レベル別に類型化するとともに、比較的単純作業の自動化が求められるりんごの収穫作業、および、高度な判断が求められるせん定作業を例に自動化技術構築に必要な技術開発要素の検討を行い、既往技術の適用性と課題を把握した。

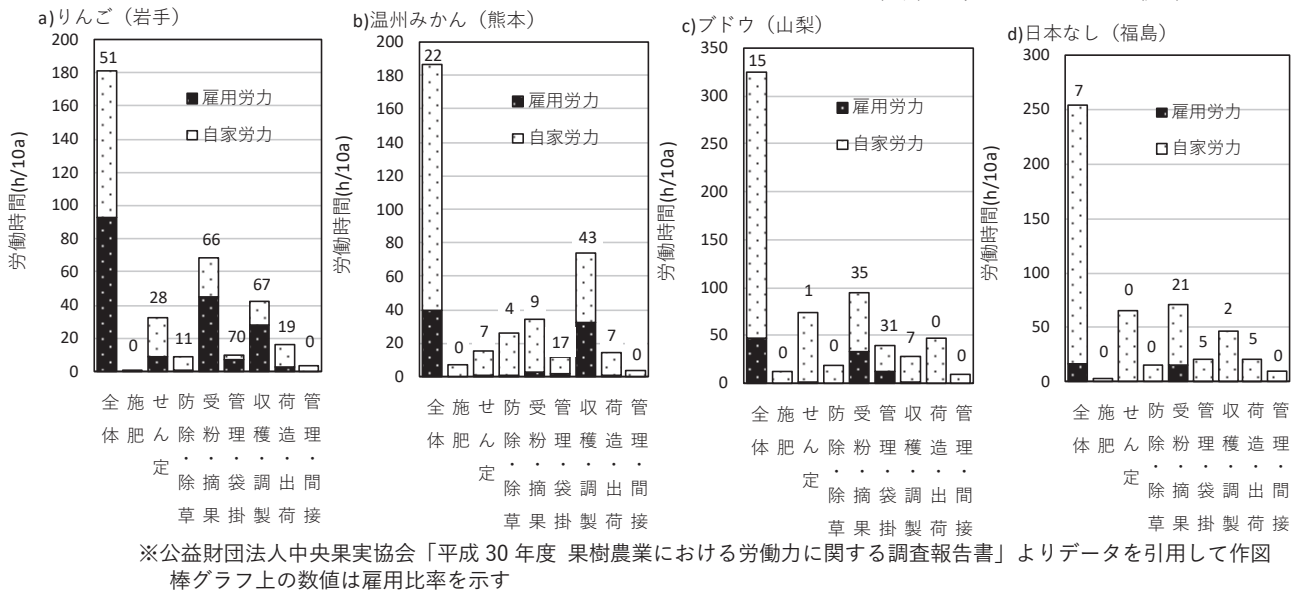


図1 作業別の面積当たり労働時間と雇用比率

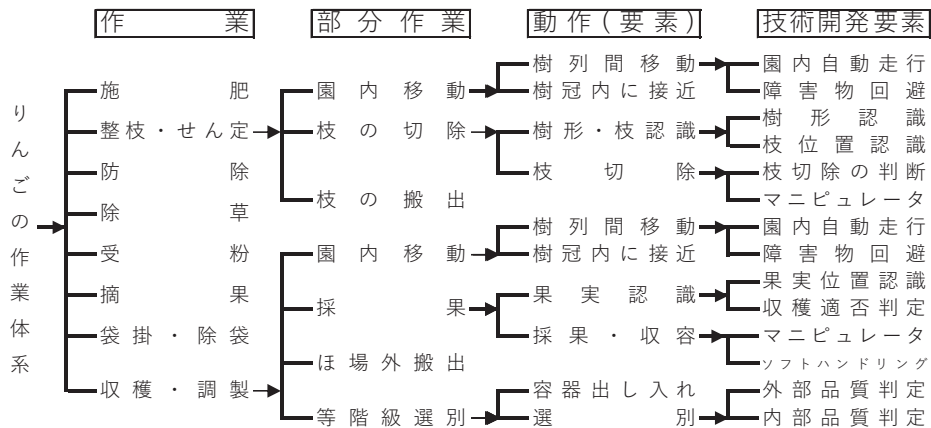


図2 りんごの整枝・せん定および収穫作業の技術開発要素（一部抜粋）

表 各技術開発要素におけるデバイス類の適用可能性

	技術開発要素										
	園内自動走行	障害物回避	樹形認識	枝位置認識	枝切除の判断	マニピュレータ	果実位置認識	収穫適否判定	ソフトハンドリング	外部品質判定	内部品質判定
要素技術・センサ			△	△	△		○	△		△	
スマートグラス			△	△	△		◎	○		○	○
AIによる物体認識		△	△	○	△					○	○
GNSS	△		◎	◎							
カメラ	◎	△	◎	◎	△		◎	◎		○	△
ステレオカメラ	△	△	△	△	△		◎				
LiDAR	◎	◎	△	△	△		◎				
力覚センサ						○			○		△
ドローン			◎	◎				○			

注) ◎：研究開発事例有、○：適用の可能性有、△：課題はあるが適用の可能性有、空欄は該当無し

4. 成果の活用面と留意点

果樹栽培の自動化技術開発に資する。

5. 残された問題とその対応

自動化技術の研究開発が必要であり、次年度以降の新規課題化を検討する。

2. 安全検査部

課題分類：4（9）

課題ID：1060402-01-04*20

研究課題：農業用ドローンの防除性能評価の標準化に関する研究

担当部署：革新工学センター・安全検査部・ロボット安全評価ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

農業用ドローン（以下、ドローン）による防除作業において、防除効果に影響を及ぼす要因を明らかにし、性能評価方法の開発を行う。

2. 方法

- 1) メーカー及びユーザーを対象にドローンの利用実態調査を行った。また、（一社）農水協が定めた「産業用マルチローター及び散布装置性能確認基準」、無人航空機の散布システムに係る ISO 規格等の性能試験方法について調査した。（2018～2020 年度）
- 2) 革新工学センター附属農場の平坦な畑地において、図 1 に示す防除期の水稲を模した塩化ビニル樹脂製の擬似植物（以下、模擬稲；高さ 73 cm）を条間 30cm、株間 20cm の間隔で設置した。概要を図 2 の(a)に示す。表 1 のドローン A を供試し、風速が異なる条件で条方向に飛行させ水を散布した。感水紙（76mm×52mm、Syngenta 社製）は地表から 80 cm の高さで、散布性能評価のために模擬稲の株間中心に 7ヶ所（ドローンの飛行経路から 15、45、75、105、135、165、195 cm離れた位置）、ドリフト評価のために模擬稲の左端（以下、模擬稲境界）から 7ヶ所（2、4、6、8、10、15、20m）設置した。感水紙は複合機（KONICA MINOLTA bizhub C658）を用いて 600dpi の解像度、jpg 形式で画像を取得し、感水紙被覆面積率測定ソフトウェア（農研機構 職務発明プログラム 機構-S08）を用いて被覆面積率を計測した。また、気象測定装置を用いて、飛行直前の地上 1.5m の風速、風向、温湿度および大気圧を計測した。（2019 年度）
- 3) 革新工学センターテストコースにおいて、図 2 の(b)のように、2) で試作した模擬稲の設置面積を 3.9m×5.8m に拡大し、感水紙の設置位置を左右の模擬稲境界から 3ヶ所ずつ（0、2、4m）、飛行方向に向かって 3列設置するよう変更して、ドリフト評価試験を実施した。試験は表 1 のドローン B、C を供試し、温湿度の変化する 7月から 11 月にかけて、風速が小さい日を選択し実施した。結果の分析には 3列の平均値で左右を比較し、値が大きい方を採用した。（2020 年度）

3. 結果の概要

- 1) 各種調査の結果、散布性能試験については具体的な方法が定められており、今回の試験設計に活用した。しかし、ドリフト評価試験については、防除用ドローンを対象とした方法が存在しなかった。
- 2) 図 3 左図に、風速区分（①0～1.5m/s、②1.5～3m/s、③3～5m/s）による模擬稲中感水紙の被覆面積率の変化を示す。①の区分においては、被覆面積率が高い感水紙の位置は、供試機回転翼の直下である 15 及び 45cm の位置であるのに対して、②、③と風速が大きくなるに従い、よりドローンから離れた位置に遷移した。上記の結果は、風向の方角に水滴が流されたことに起因すると考えられ、散布性能に対する風の影響が確認された。風速区分によるドリフトへの影響について図 3 右図に示す。風速が①の区分においては、模擬稲境界から 4m 以上離れると、ほとんど感水紙への付着が確認できなかったのに対して、②、③の区分ではより多くのドリフト発生が確認された。つまり、日常的に発生する風速区分②程度の風においてもドリフトに留意した散布が必要であること、また各製造者が自社製品のドリフト評価結果に基づいた適切な散布方法をユーザーに提供する必要があることが示唆された。
- 3) 図 4 に模擬稲境界から各距離における感水紙の被覆面積率と気温の関係を示す。供試機により相関に差はあるものの、双方の機体において気温の上昇に伴う被覆面積率の低下が確認された。これは気温の影響を受け、水滴の粒径が縮小したためだと推察された。水滴の粒径縮小は、被覆面積率が低下するだけでなく、水滴の飛散特性にも影響を及ぼしていると考えられ、定量的なドリフトの把握には、風だけでなく気温にも配慮する必要があると判断された。

以上、模擬稲を用いた性能評価方法を作成し、試験実施時に留意すべき気象条件を明らかにした。



図1 模擬稲

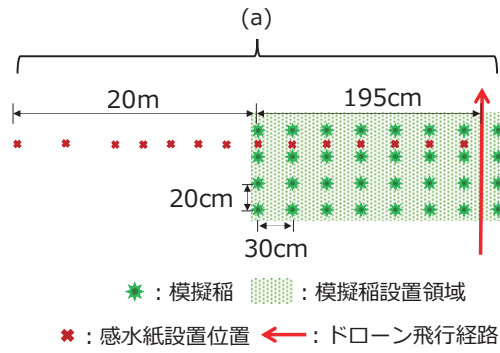


図2 試験方法概要

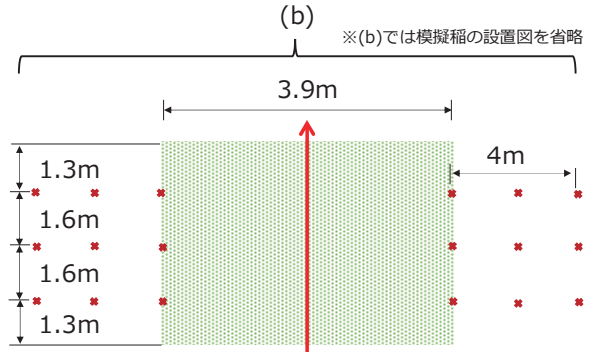


表1 供試ドローンの諸元と飛行条件

散布方式	噴霧方式	回転翼	ノズル個数	最大離陸質量	飛行速度	飛行高度	散布幅	散布量	飛行方法
A	ローター	4枚			15 km/h	模擬稲上			手動
B	直下方式	ノズル式	8枚	4個	24.9 kg	2m	4m	0.8L/10a	自動
C			4枚						

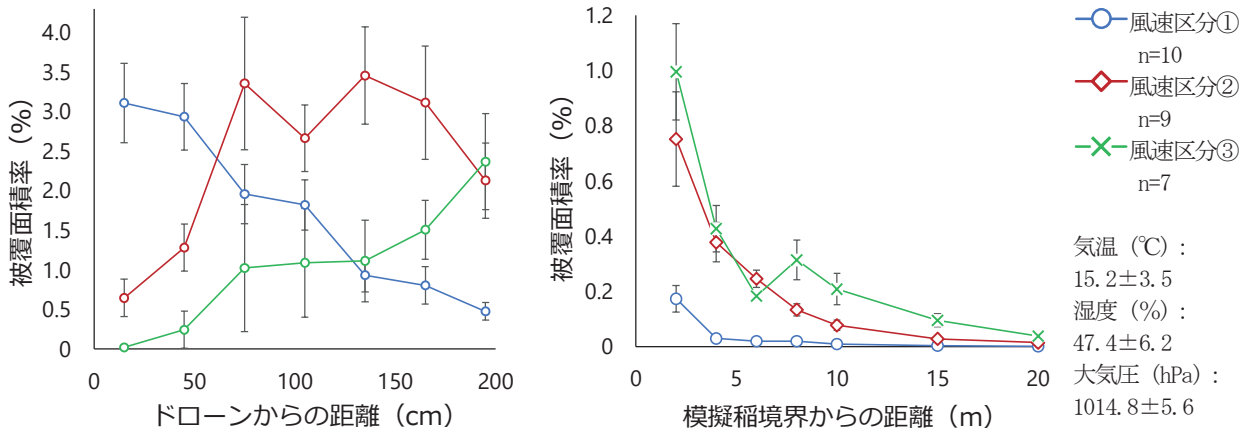


図3 散布試験における風の影響 (左: 散布性能評価試験, 右: ドリフト評価試験)

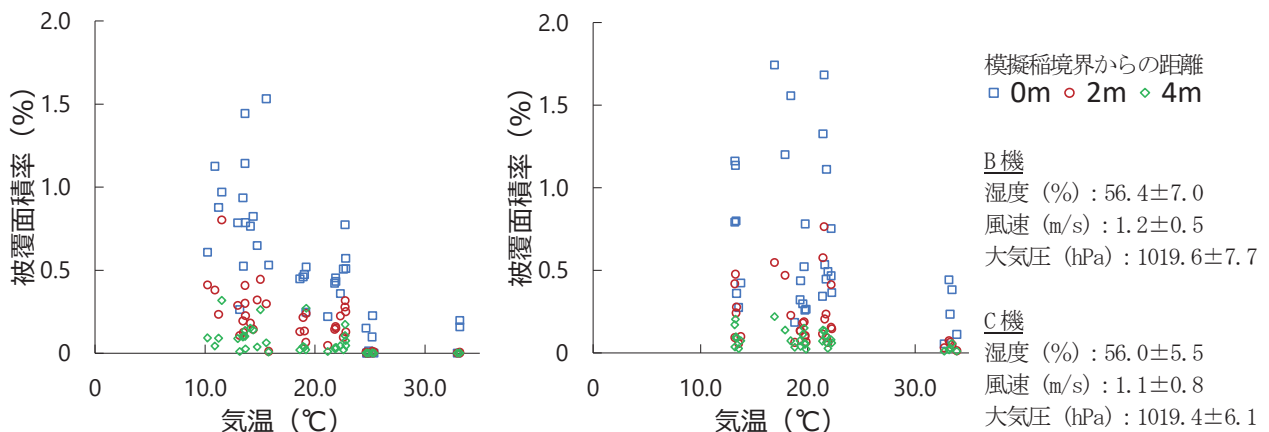


図4 ドリフト評価における気温と感水紙被覆面積率の関係 (左: B機, 右: C機)

4. 成果の活用面と留意点

気象条件に留意した性能評価試験方法をドローン製造者が利用することで、製品開発における性能評価の一助となるが、気象条件が異なる結果の比較には利用できない。論文投稿を予定。

5. 残された問題と今後の対応

風の影響がない室内で試験を実施し、環境制御が可能な室内評価試験方法を検討する。

課題分類：1 2 (1) (2) (3) (5)

課題ID：1060402-01-10*20

研究課題：ロボット農機検査基準の高度化及び適応拡大に関する研究

担当部署：革新工学センター・安全検査部・ロボット安全評価ユニット、研究推進部

協力分担：機械化協会、日農工、農機メーカー

予算区分：理事裁量経費、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 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

ロボット農機の開発・普及を一層促進するため、スマート農業加速化実証プロジェクトの成果も踏まえつつ、現行のロボット農機検査の試験内容の拡充や対象機種拡大を図る。

2. 方法

- 1) ロボット農機検査基準の適応性拡大を図るため、ロボット田植機に必要な安全要件及び試験方法等について検討した。
- 2) 秋田及び茨城のスマート農業実証コンソーシアムを視察し、実際に使用されているロボットトラクター等のロボット農機に関して安全性の視点から聞き取り調査を実施した。
- 3) 人・障害物検出機能確認試験の高度化のため、環境要因（逆光、降雨）を再現するための試験について検討した。逆光条件に関しては、具体的な試験方法案を作成し、試験装置の仕様をとりまとめた。降雨条件に関しては、高精度評価試験棟に設置された人工降雨装置にて各種センサを供試した基礎試験を実施した。
- 4) GNSSアンテナ、遠隔操作装置等の通信機器に対して任意に通信障害を発生させる試験装置の部材の選定のための基礎試験を実施後、試験装置を試作し、機能の確認試験を実施した。

3. 結果の概要

- 1) ロボット農機検査の対象機種として田植機を追加し、主要な実施方法及び基準を作成した。検査項目としては、新たに模擬畦畔を用いたほ場外への暴走を防止する機能を確認する「ほ場外逸脱防止機能確認試験」を追加した。模擬畦畔に関しては、再現性のある舗装路面上での確認試験であることから可搬型の構造物とし、標準的な畦畔寸法の基準値を適用した。検査項目を表1に、ほ場外逸脱防止機能確認試験の概要を図1に示す。
- 2) 調査の結果、使用者による人・障害物検出センサ機能の無効化や、携帯すべき遠隔操作装置のロボットトラクター内への放置といった誤使用が認められ、今後の改善と対策が必要であると考えられた。
- 3) 逆光条件の試験方法は、人・障害物検出機能確認試験において、ロボット農機に搭載されるセンサに対して光を一定時間照射することとし、試験装置については、キセノンランプを利用し、逆光となる条件（照射角度：0～30°、照度：20000～35000lx、色温度：2200～6000K）を任意に再現できる仕様とした。降雨条件に関する基礎試験の結果、一般的に各センサが持つ降雨に対するセンサ特性と概ね一致したことから、本試験装置にて降雨を再現した試験を実施することができる見通しを得た（表2、図2）。
- 4) 基礎試験結果（表3）から、通信障害を発生させる試験装置の部材として適当な電波減衰性能を有するシールド材（表3のB：富山電気ビルディング：イキソルラボ生地）を選定した。GNSSアンテナについては、遠隔操作でシールド材をGNSSアンテナに被せる機構の信号遮蔽装置を試作し、遠隔操作装置等については、通信障害時の表示状態を確認できるよう同シールド材で構成されたテントを利用し、自動運転田植機（革新工学センター開発）を供試し機能確認を実施したところ、通信障害を発生させることが確認できた（図3）。

以上、新たに田植機用のロボット農機検査基準を策定し、安全要件の抽出のための現地調査、環境要因を再現した人・障害物検出機能確認試験、通信障害試験の試験方法作成や試験装置製作を実施し、ロボット農機検査基準の高度化及び適応拡大を行った。

表1 ロボット農機検査（田植機）の検査項目

検査項目
①構造調査 自動モード・手動モード切替装置／運転状態を表す表示器／自動運転に必要なシステム／作業領域逸脱防止機能
②手動モード機能確認試験
③運転状態表示機能確認試験
④ほ場外逸脱防止機能確認試験
⑤その他必要な安全機能確認試験 遠隔操作装置には開始操作時の誤操作防止機能を装備／遠隔操作装置により停止操作が可能／ 通信障害時に自動停止／発進時、自動運転に必要なシステムに障害が発生している場合は自動運転不可状態になる
⑥取扱試験
⑦人・障害物検出機能確認試験（選択試験）

自動運転中に、模擬畦畔を乗り越えさせる（前後進）

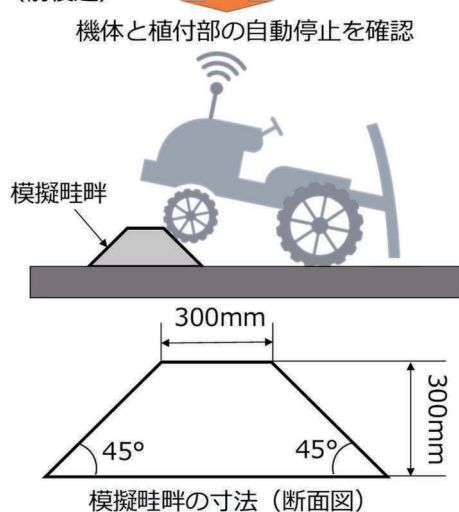


図1 ほ場外逸脱防止機能確認試験の概要

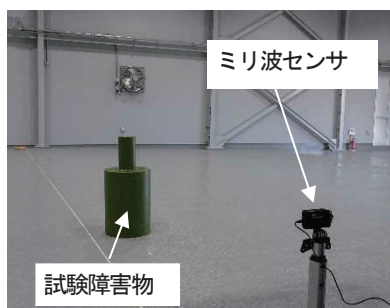


図2 環境要因（降雨条件）基礎試験の様子

表2 環境要因（降雨条件）基礎試験結果

試験区	設定降水量(mm)	試験障害物検出の有無			
		ミリ波	超音波	2DLiDAR	ステレオカメラ
1	30	○	○	○	△
2	50	○	○	○	×
3	80	○	○	△	×

・ミリ波センサ：PTM BGT24・超音波センサ：東京デバイゼス IWS520
・2DLiDAR センサ：SICK TiM3xx・ステレオカメラセンサ：ZMP RoboVision2・試験障害物：ISO 18497:2018 準拠

表3 通信障害用シールド材選定試験結果

信号	シールド無	シールド材		
		A	B	C
Wi-Fi 2.4GHz	-41	-83	○	-66
Wi-Fi 5GHz	-55	-68	-86	-67
3G・4G(LTE)	×	○	○	×

Wi-Fi 信号：各シールド材で wifi 端末を包み、受信装置にて wifi 信号強度を測定
表中の値は、信号強度 RSSI (dBm) を示す。値が小さい程、信号強度が弱い（遮蔽できている）、○：遮蔽可
3G・4G (LTE) 信号：各シールド材でスマートフォンを包み、着信の可否を確認
(○：遮蔽可、×：遮蔽不可)



図3 通信障害の機能確認試験

4. 成果の活用面と留意点

- 1) 2020年11月よりロボット・自動化農機検査に田植機を追加し、運用を開始した。
- 2) GNSSにより自動運転するロボット農機に対して、屋内における人工降雨装置を用いた人・障害物検出機能確認試験を実施する際は、停止中のロボット農機（自動モード）に試験障害物を接近させる方法とする。

5. 残された問題とその対応

人・障害物検出機能確認試験において、霧や埃といった環境要因を再現することができる試験装置について検討する必要がある。

課題分類：11（9）

課題ID：1060402-01-05*20

研究課題：安全キャブ・フレームの新たな試験手法の標準化に向けた基盤的研究

担当部署：革新工学センター・安全検査部・作業機安全評価ユニット

協力分担：OECD トラクターテストコード事務局、農林水産研究情報総合センター

予算区分：理事裁量経費、基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

OECD においては、農用トラクタ用安全キャブ・フレーム（以下、ROPS）試験コードへのコンピュータシミュレーション（以下、CS）の導入に関して議論が進められており、CS との比較のため、多国間比較試験（ラウンドロビンテスト。以下、RRT）が行われている。そこで、RRT に参加し、国際的な標準化に貢献する。また、将来的な国内検査への CS 導入可能性検討のため、関連知見の蓄積と要件整理を行う。

2. 方法

- 1) 現状の CS の妥当性、適用範囲の把握のため、各業界の CS 関連文献や規格を調査した。（2018 年度）
- 2) 基礎的な CS 手法の検討のため、ガス管 25A で製作した模擬安全フレーム（以下、模擬フレーム、寸法：W760×H734mm）の強度試験（側部負荷）の CS をソフトウェア Ansys Mechanical（以下、AM）で作成し、変形量 200mm を与えた際の荷重と吸収エネルギーを実機試験と比較した。CS の材料特性には AM デフォルト値と引張試験で得たデータの 2 種類を用いてそれぞれ CS を実施した。（2018～19 年度）
- 3) RRT について、供試 ROPS の寸法データ測定と強度試験を実施した。（2019～20 年度）
- 4) CS との比較への利用を想定し、国産小型トラクタ（22kW）用 2 柱式安全フレーム（以下、小型フレーム）1 型式について、合計 3 回の実機試験の反復により結果の分布範囲を把握した。（2019～20 年度）
- 5) 農林水産研究情報総合センターの研究支援サービスや外部依頼により、AM 上で動作する小型フレームの強度試験の CS（以下、RICS）を試作し、実機試験 1 回分との比較を実施した。（2018～20 年度）
- 6) RICS の材料特性に引張試験データ（主要部材のみ）を反映させて、実機試験の結果と比較した。また、より詳細な要件検討のための改良を加えた CS の試作（以下、R2CS。表 2）を行った。（2020 年度）
- 7) 現時点で考えられる将来的な安全性検査等への CS 導入の要件案と課題を整理した。（2020 年度）

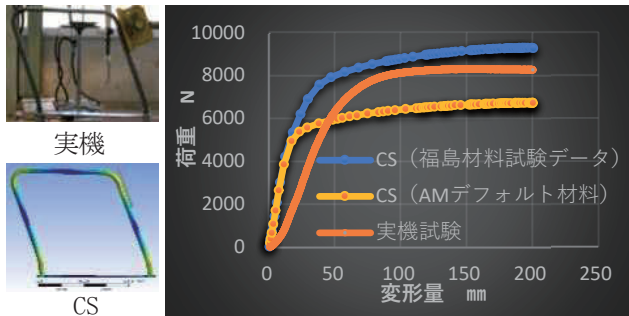
3. 結果の概要

- 1) トラックとバスのキャブ強度に関する認証において、CS での試験実施が可能な国際規格（UN/ECE R29、UN/ECE R66）が存在し、CS には一定の妥当性があると考えられた。農業・建設機械では認証への CS 導入はないものの、ROPS の強度試験に関する研究事例が複数存在した。農用トラクタに関する文献例と内容は表 1 のとおりで、CS と実機試験の結果比較では変形量、荷重の誤差は 25%程度以内であった。
 - 2) 引張試験データによる CS がより実機に近く（最大荷重で約 12%CS が大きい）なり、材料データの必要性が示唆された。ただし、荷重-変形量曲線の乖離も見られ、精度向上が必要と考えられた（図 1）。
 - 3) 各結果を事務局に報告した。また、他国未実施の各部変形量測定データ（3D 座標）を情報提供した。
 - 4) 1 回の実機試験と過去検査データとの比較では、後部負荷で変形量 2.9%、負荷力 0.8%、側部負荷でいずれも 1%の差であった。残り 1 回は年度内に実施予定である。
 - 5) 変形形状の比較では定性的に近い傾向が観察された（図 2 左）。荷重と変位の差異は、後部負荷では CS が最大変形で 17%小さく、荷重は 8%大きく、側部負荷では CS が最大変形量が 13%大きく、荷重は 1%小さかった（図 3）。側部変形量の差は、右側後部防振ゴム付近の過剰な変形が原因と考えられた（図 2 右）。なお、この CS 結果はデフォルト材料特性による値であり、参考程度として考える必要がある。
 - 6) 材料データを反映した RICS は計算の収束に問題が発生し修正中、R2CS は年度内に納品予定である。いずれも年度内に実機試験との結果比較を実施し、重要項目を CS 導入の要件案に反映予定である。
 - 7) CS 導入においては ROPS 一部部材の構造変更時の実機試験の省略での利用が想定される。実機試験省略のためには CS の妥当性の確認が必要であり、そのための要件案と導入上の課題をまとめた（表 3）。
- 以上、RRT の試験実施と結果報告を行った。また、小型フレームの強度試験について、反復試験から結果の分布範囲を得るとともに CS と実機試験の結果比較を実施し、CS 導入の要件案と課題をまとめた。

表1 農用トラクタ用ROPS強度試験のCSに関する文献例とその内容

番号	文献名	ROPS種類	解析ソフト	モデル化の概要	実機試験との比較
1	Development of a Model for the Simulation of ROPS Tests on Agricultural Tractors Cabin: Numerical Models and Experimental Verification ※1	キャブ	MSC. Marc	[使用要素] シェル要素 (2次元要素、要素数79443) [防振ゴム] 1次元線形バネ、[溶接] 2次元線形要素&1次元線形要素 (ビーム) [材料特性] 引張試験データ (塑性域はシミュレーションで取得)	[後部負荷] 5.3% [後部圧壊] 6.2% [側部負荷] 23.4% [前部圧壊] 7.3% ※変位、荷重、大小の別は不明
2	Virtual ROPS and FOPS Testing on Agricultural Tractors According to OECD Standard Code4 and 10 ※2	キャブ	LS-DYNA ※陽解法	[使用要素] シェル要素 (平均メッシュサイズ10mm、要素数80207) [防振ゴム] ビーム要素、[溶接] 節点間の剛体接続 [材料特性] 引張試験データ	[後部負荷] 最大変位: 約3%CS大※4 最大荷重: 約15%CS小 [側部負荷] 最大変位&荷重: 約5%CS小
3	CAE Prediction and Test Correlation for Tractor Roll-over Protective Structure (ROPS) ※3	2柱式フレーム	Abaqus ※静解析	[使用要素] シェル要素 (主部材)、ソリッド (ブラケット) [防振ゴム] なし、[溶接] 不明 [材料特性] 引張試験データ	[後部負荷] 最大荷重: 約15%CS小 [側部負荷] 最大荷重: ほぼ等しい ※CSは変位制御のため変位量は等しい

※1 S.Baragettiら(2015) ※2 D.Hailouaら(2016) ※3 P.Selvakumarら(2015) ※4 CS大=CSの方が大きい、CS小=CSの方が小さい



※フレーム材料の引張試験は福島県ハイテックプラザで実施
図1 模擬フレームのCSと実機試験の比較

表2 R1CSとR2CSの内容の比較

項目	R1CS	R2CS
	主要部	複数変更し、妥当性を確認
メッシュサイズ	4~8mm程度※1	引張試験データ
材料特性設定 (応力-ひずみカーブの近似)	引張試験データ (2直線近似) ※2	引張試験データ (多直線近似) ※2
防振	3方向	3方向+ねじりバネ
バネ要素モデル	変位制限設定あり	材料試験データ反映
ゴム ※3	バネ数 一律1000N/mm	(偏荷重等含む)
関連		材料試験データ反映
ソリッドモデル	-	材料試験データ反映
溶接	接触設定の「ボンド」	主要な部分にシェル要素
負荷位置	大まかな位置	実際の試験の接触位置
その他	安全域への侵入有無	部材の任意座標での変位
	判定可能、CS設定の作業手順書付属	取得可能、CS設定の作業手順書付属

※1 要素数82129 ※2 真応力-真ひずみ曲線
※3 マウント部中心軸上の上下2点間に設定

表3 CS導入における要件案の一部とCS導入上の課題

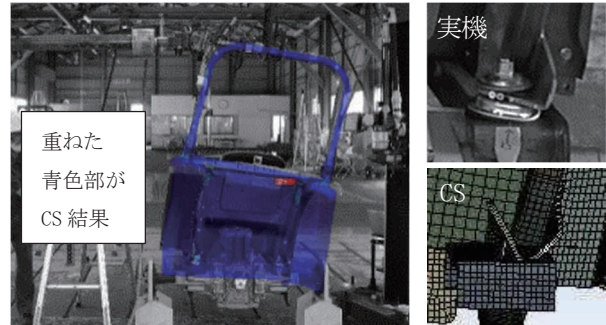
精度	メッシュサイズ	材料特性	防振ゴムのモデル化	負荷位置	部材の変形	CS導入における課題
<ul style="list-style-type: none"> 最大負荷、最大変位の实機との偏差が10~15%程度以下 負荷-変位曲線が実機結果と比べて乖離していない 	<ul style="list-style-type: none"> 5~15mm程度、妥当性を示す 要素形状は一定以上の品質 	<ul style="list-style-type: none"> 部材ごとの材料試験データ (またはミルシートデータ) を適切に使用している 近似モデルが適切 	<ul style="list-style-type: none"> バネ等での簡略化をしている場合、方法や剛性が妥当 ストロークエンドの設定が適切 	<ul style="list-style-type: none"> 負荷位置、変位取得位置、負荷荷重の取り方が適切 加圧板のモデル化がある (必要な場合) 	<ul style="list-style-type: none"> 特徴的な変形が再現できている 主要部材の部位ごとの変位量の实機との偏差が十分に小さい 	<ul style="list-style-type: none"> CAEソフトウェアごとの特徴の把握 詳細な材料データの提出の可否 CS手法の提示の可否 実機試験結果のバラツキ範囲の把握 シミュレーションについての責任の所在の明確化

4. 成果の活用面と留意点

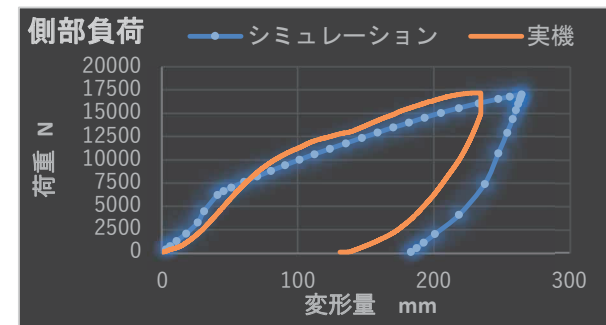
将来的に、OECDテストや検査等におけるROPS構造変更時の試験省略の可否判断にCSが利用される場合の要件案として活用できる。ただし、メーカーやCSの専門家等の意見も反映する必要がある。

5. 残された問題とその対応

他のROPSの強度試験についてもCS事例を蓄積し、CSの妥当性要件を詳細に検討する必要がある。



※強度試験では同一の供試体に対し、後部、側部、上部 (圧壊)、前部に負荷を順番に与える (上部以外は水平負荷)
図2 小型フレームの実機とCSの側部負荷時の比較 (左)、形状差が大きい部位 (右)



※CSはデフォルト材料特性 (降伏点250Mpa、接線係数1450Mpa)
CSの負荷位置は実機と異なる (約200mm下方)。変位取得位置は実機と同等。
図3 R1CSと実機試験の負荷-変位曲線の比較 (側部負荷試験) ※吸収エネルギーは同等

課題分類：11（9）

課題ID：1060402-01-07*20

研究課題：安全性検査における ISO/IEC 17025 取得及び維持に関する研究

担当部署：革新工学センター・安全検査部・作業機安全評価ユニット、ロボット安全評価ユニット、性能評価ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2019～2020 年度（平成 31～令和 2 年度）

1. 目的

客観的かつ国際標準化された方法により、農研機構革新工学センター（以下、革新研）の試験実施能力を明らかにするため、安全性検査を構成する各種試験について、ISO/IEC 17025：2017（以下、規格）の認定取得に必要な品質マネジメントシステムの構築、関連技術の開発及び試験環境の整備を行うとともに、認定維持に向けた課題の抽出を行う。

2. 方法

- 1) 安全性検査のうち安全キャブ・フレーム検査（以下、ROPS試験）に対する規格の要求事項を明らかにし、これに従って品質管理マニュアル（以下、マニュアル）及び手順書の作成を行った。また、規格が要求する力量（試験実施前に試験要員が有すべき能力）、試験方法及び技能（適切な試験結果を得る能力）の妥当性の定量的評価方法を開発した。ROPS試験における測定不確かさの構成要素を検討し、不確かさの試算を行った。認定機関による審査を受験し（2019年11月及び2020年3月）、指摘された妥当性及び不確かさデータの不備等を補完した。（2019～2020年度）
- 2) ROPS試験の規格認定の維持を持続可能なエフォートとコストで行うための測定及び内部校正方法の体系として、外部校正によって既知の不確かさを有するロードセル（以下、基準ロードセル）と、不確かさが未知なロードセル（以下、点検ロードセル）を用いて、開発した圧縮・引張両用固定装置で負荷を与え、不確かさを抽出する方法を開発した。（2019～2020年度）
- 3) 認定維持上の課題であるROPS試験結果の妥当性を対象とした外部比較による検証について、平鋼と丸鋼等の簡易な試験体（表1、図3）を用いた試験方法により検証を行った。試験体を定盤へ固定し、設定した変位に達するまで荷重をかけ、得られた変位・荷重における革新研と（一社）施工技術総合研究所（施工総研）の測定データについて、参照値を2機関の全体平均としてZスコアで比較・分析した。（2020年度）
- 4) ROPS試験以外への規格適合可能性を明らかにするために、時間について、ストップウォッチを用いた試験を試行した。また、その他の安全装備検査における測定機器及び測定項目について検討を行い、実際の安全性検査で測定する際の課題を抽出した。（2020年度）

3. 結果の概要

- 1) 作成したマニュアル（図1）によって試験機関としての力量、試験方法、試験結果等について、テストコード、手順書及びデータを根拠に適合性を示した。さらに、規格が要求するPDCAサイクルの構築のため、レビュー及び内部監査等の組織、方法及び記録等を整備し、認定を取得した（2020年7月）。
- 2) 圧縮・引張両用固定装置を図2に示す。この校正方法により不確かさを抽出したロードセル（50kN）の標準不確かさは±46N程度であり、この不確かさがROPS試験の変形量の評価に影響がないことを確認した。
- 3) 一般的にZスコアは分析結果が2未満の場合、機関間の試験結果に差がないと判断されることから、外部比較による検証は妥当性を担保する結果であることが示された（表2）。
- 4) ストップウォッチによる時間測定での標準不確かさは±0.02sであった（表3）。しかし、実際の安全性検査では、力量評価及び妥当性確認の不確かさを算出する際、測定要員が十分確保できない場合には、速度を測定する機器の不確かさ等を考慮する必要性が認められた。また、他の安全装備検査における物理量の力量評価・妥当性確認方法について整理した結果、速度・距離・寸法に関しては評価及び確認が可能であると判断されたが、温度・音・力に関してはより検討が必要であった（表4）。

以上、認定取得に必要な品質管理の構築、関連技術の開発及び試験環境の整備を行い、ROPS試験の認定を取得するとともに、他の試験認定に向けた課題の抽出に取り組んだ。

6.2.2 (中略) ラボラト
リ活動の結果に影響を
与える各職務に関する
力量要求事項を文書化
しなければならない

試験方法	試験方法概要の内容を理解していること
力量	別に定める力量を有していること
教育訓練	安全キャブ・フレーム試験に関する教育訓練を受けていること



校正済みのゲージの定点を測定し、校正値との差から力量を評価 (3次元測定装置)

規格の要求事項

図1 作成した品質管理マニュアルの記載事項の例

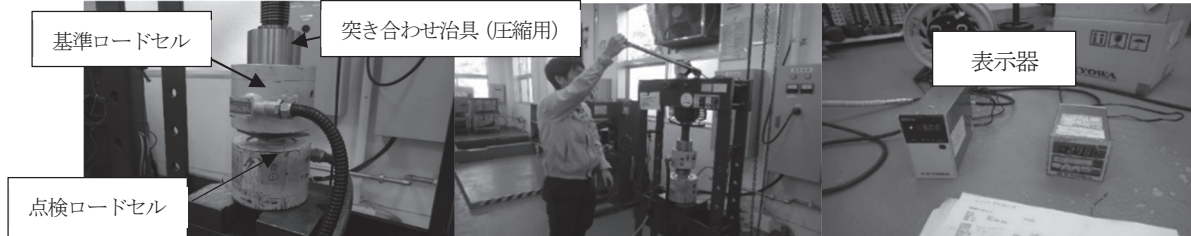


図2 開発した圧縮・引張両用固定装置

表1 外部比較試験装置諸元

主な仕様		外部機関		革新研	
水平シリンダ (油圧式)	最大荷重	1000kN	200kN		
	ストローク	600mm	800mm		
	ロードセル	100kN	100kN		
試験速度		0.14mm/s	2mm/s		
試験体	丸鋼	φ45×300mm			
	平鋼	32×200×1000mm			

表2 外部比較試験分析結果

荷重 (kN)		Z-スコア			
変位 (mm)	外部機関	革新研	全体標準偏差	外部機関	革新研
45	18.4	18.7	0.41	1.36	1.47
85	19.4	19.8	0.29	0.43	1.30
125	21.0	20.8	0.54	0.05	0.14
165	21.1	21.8	0.3	1.36	1.06

注) Z-スコア = $|x_{lab} - x_0| / \sigma$
 x_{lab} : 各機関平均値 x_0 : 全体平均 σ : 全体標準偏差

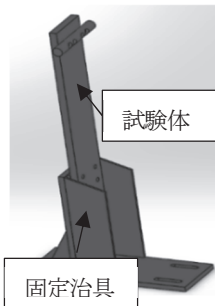


表3 時間の力量評価 (試行)

	A	B	C	D	全体
10回平均 (s)	0.98	0.97	0.95	0.99	0.97
標準偏差 (s)	0.04	0.09	0.05	0.09	0.07
標準不確かさ (s)	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02

注) 被験者4名で実施
ストップウォッチで
1s測定を10回実施。

図3 試験体概要

表4 認定拡大に向けた安全装備検査の測定項目と物理量の検討

測定項目	対象物理量	測定機器	力量評価	妥当性確認	必要事項
速度	長さ 時間	巻き尺 光電センサ ストップウォッチ	①規定の時間についてストップウォッチで繰り返し測定	不確かさ付校正したデータレコーダーを用いて光電センサからの入力電圧を記録し力量評価記録と比較	<ul style="list-style-type: none"> 対象物理量測定の不確かさ推定 測定機器の不確かさ付校正 測定結果の妥当性確保 測定者力量評価 測定方法の明確化 (温度・力)
			②速度が一定である物体を規定距離移動させ、ストップウォッチで繰り返し測定→繰り返し及び測定者間ばらつき推定		
高温部	温度	非接触式放射温度計	今後検討	今後検討	
騒音	音	騒音計	今後検討	今後検討	
距離	長さ	巻き尺 コンベックス	10メートルを繰り返し測定→繰り返し及び測定者間ばらつき推定	力量評価の測定結果を三次元測定装置の測定値の距離へ換算し、三次元測定装置の測定値との誤差を比較	
寸法	長さ	巻き尺 鋼尺 コンベックス			
スイッチ・レバー操作力	力 (圧力)	プッシュプルゲージ	供試機レバーを用いて、要員間のばらつきを評価	今後検討	

4. 成果の活用と留意点

ROPS 検査に適用する。不確かさの抽出及び各種評価方法は暫定的であり、認定の維持に向けて定期的に改善していく必要がある。

5. 残された問題とその対応

認定の拡大に向けて、安全装備検査における各種測定方法の明確化が必要なものが認められたため、順次測定方法について検討を行い、測定方法を定める。

課題分類：11（9）

課題 I D：1060401-02-05*20

研究課題：安全性の高い刈払機の普及拡大のための評価基準に関する研究

担当部署：革新工学センター・安全検査部・性能評価ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

より安全と考えられるブレーキ付き刈払機の普及拡大のため、平成 30 年度から開始した安全装備検査の基準を強化・拡充する中で、安全装置（刈刃の停止装置）に係る試験方法・基準を策定・導入する。実用化されている緊急停止機構等の安全技術について、キックバック発生装置等を製作し安全性に関する定量的データの収集を行う。また、安全性評価試験方法や基準を策定する。

2. 方法

- 1) 市販されているブレーキ付き刈払機の刈刃ブレーキ作動条件を調査後、実際に購入し（表 2）、ブレーキ性能を評価するために必要な測定項目や測定器等の選定を行った。（2018 年度）
- 2) 3 種類のブレーキ作動条件でブレーキ性能を確認できる装置を製作した。（2018～2020 年度）
- 3) スロットルレバー解放やキックバック等のイベントが発生してから刈刃が完全に停止するまでの刈刃回転速度の変化や刈刃停止所要時間等の把握を行った。（2018～2020 年度）
- 4) 安全性評価試験方法や基準について検討を行った。（2020 年度）

3. 結果の概要

- 1) ブレーキ作動条件は「スロットルレバー解放時」「転倒時等衝撃感知時」「キックバック発生感知時」の 3 種類であった（表 2）。衝撃発生あるいはスロットルレバー解放タイミングの検知、刈刃停止所要時間やキックバック時の刈刃回転速度低下度合の把握には表 1 の測定器を選定した。
 - 2) 試験装置は刈刃の前後左右方向の傾きを簡便に水平調整・固定できる構造の架台を基本とし、衝撃発生時にブレーキが作動するものについては、刈刃近傍の主かん把持部を鉛直方向に回転できる構造とした。キックバック発生時にブレーキが作動するものについては、刈刃への負荷を回転型及び直動型の 2 方式で与える装置の製作を行った。回転型では刈刃への負荷の増減は PET あるいはアクリル製プレート（以下、プレート。厚さ 8mm）への切込深さをリニアガイドで調節することにより行った（接触直前速度 1.0m/s 程度：回転用の電動シリンダで速度調整）。エンジン式刈払機の排ガス処理は、排気管の延長により対応した（図 1、図 2 上）。直動型ではキックバックを作業方向に発生させるため、刈刃に右方向からプレートを電動スライダによって設定深さまで押し当てる方式とした（図 2）（接触直前速度 0.8m/s 程度：使用した電動スライダの最高速度）。
 - 3) 表 2 に刈刃停止所要時間等の測定結果を示す。スロットルレバー解放あるいは衝撃発生時にブレーキが作動するものでは 4 秒程度以下のものが 4 型式あった。回転型及び直動型の発生装置に E 社製刈払機を供試した結果、切込深さを設定可能範囲で最も深くした場合に刈刃が停止し、停止時間は各々 1.0 ± 0.0 秒、 1.3 ± 0.7 秒であった。同様に A 社製刈払機を供試した結果、回転型では接触直前速度を 1.0m/s から 1.7m/s 程度まで速めることで、ストッパ（緩衝材）接触時の衝撃による刈刃停止が確認できた。一方、直動型ではキックバック発生直後に架台がストッパに接触する構成としたが、ストッパに強く衝突するほどのキックバックは発生せず刈刃停止には至らなかった。
 - 4) 上記 3) の結果のとおり、刈刃を有する機械全般に対して安全装備検査 2019 年基準で要求している 5 秒以下で停止したものが 4 型式、それよりも短時間で停止した 3 秒以下のものがそのうち 2 型式あることを把握できた。これらのことから開発した試験装置が刈払機ブレーキの性能試験方法として利用可能であり、安全装備検査の段階評価等に適用できる刈払機のブレーキ性能評価試験方法策定の目途を得た。また今後より厳しい評価基準値を定めるための知見が得られた。
- 以上、ブレーキ付き刈払機の性能を評価可能な試験装置を整備し、評価試験が実施可能であることを確認した。また市販機の性能把握を行い、評価試験方法や基準策定の目途を得た。

表 1 測定項目と選定した測定器の一覧

把握したい項目	測定項目と使用した測定器
	A: 刈刃回転速度
・刈刃停止所要時間	① オプトファイバセンサ(FS-540)
・キックバック発生時の回転低下の程度	② ファイバセンサアンプ(FG-1300) ③ 回転計(TM-3100) ④ テータロガー(8808) ※B,Cにも使用
	B: 主かん回動軸回転速度(+回転半径)
・キックバック発生時の刃先部回動速度	⑤ ロータリエンコーダ(E6C3-CWZ3EH) ⑥ FVコンバータ(FV-801)
・スロットレバー等の解放タイミング	C: 主かんやレバー等の加速度変化
・衝撃発生タイミング	⑦ 3軸加速度ピックアップ(NP-2506) ⑧ チャージアンプ(CH-1200A)

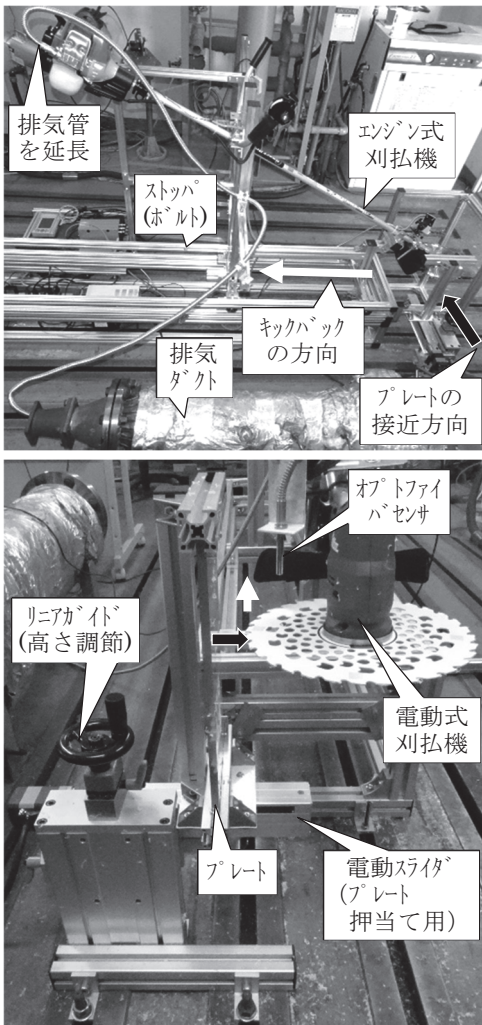


図 2 キックバック発生装置（直動型）

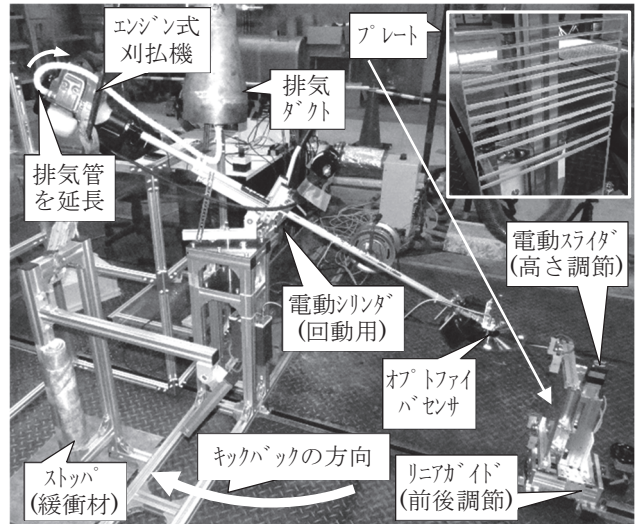


図 1 キックバック発生装置（回動型）

表 2 ブレーキ作動条件および刈刃停止所要時間測定結果

メーカー	機関	ブレーキ作動条件	刈刃回転速度(rpm)	刈刃停止所要時間(s)	キックバック発生装置
A社	電動モータ(50V)		6081 ± 20 ^{*3}	5.2 ± 0.2 ^{*3}	-
B社	エンジン(2サイクル)		7148 ± 213 ^{*3}	13.0 ± 1.5 ^{*3}	-
	電動モータ(36V)	スロットルレバー解放時	6530 ± 82 ^{*4}	6.5 ± 0.2 ^{*4}	-
C社	電動モータ(36V)		5446 ± 36 ^{*3}	5.2 ± 0.2 ^{*3}	-
D社	電動モータ(36V)		4792 ± 72 ^{*3}	4.4 ± 0.3 ^{*3}	-
G社	電動モータ(36V)		5759 ± 17 ^{*4}	2.6 ± 0.1 ^{*4}	-
E社	電動モータ(18V)		5808 ± 11 ^{*3}	2.6 ± 0.2 ^{*3}	-
		キックバック発生時 ^{*1}	5813 ± 51 ^{*4}	1.0 ± 0.0 ^{*4}	回動型
			5777 ± 63 ^{*5}	1.3 ± 0.7 ^{*5}	直動型
A社	エンジン(2サイクル)	衝撃発生時 ^{*2}	8150 ± 65 ^{*5}	3.5 ± 0.1 ^{*5}	回動型
			8061 ± 159 ^{*4}	停止に至らず	直動型
		衝撃発生時 ^{*2}	8093 ± 118 ^{*3}	3.8 ± 0.3 ^{*3}	-
F社	エンジン(4サイクル)	なし(対照機)	7038 ± 160 ^{*3}	25.9 ± 1.9 ^{*3*6}	-

*1 E社は刈刃回転速度急低下、A社はキックバック時に発生した衝撃によって刈刃停止 *2 衝撃センサのあるエンジン部を一定高さから台上に落として実施 *3 n=20 *4 n=5 *5 n=8 *6 スロットルレバーの解放によりクラッチが切れて惰性回転となった時点から刈刃が停止するまでの時間

4. 成果の活用面と留意点

- 1) 安全装備検査2018年基準段階評価、同2019年基準や一般性能試験における性能確認に活用する。
- 2) 型式によっては、キックバック発生装置（直動型）で試験を実施できない場合がある。

5. 残された問題とその対応

- 1) 一部型式に対応するため、キックバック発生装置（直動型）の試験条件の見直しを行う。
- 2) 適用範囲（動力源、装着方式、刈刃形状）、試験条件、測定項目、調査項目等を整理する。

課題分類：11（9）

課題ID：1060402-01-08*20

研究課題：高所作業用機械・用具に係る転倒・転落事故軽減に向けた評価法の開発

担当部署：革新工学センター・安全検査部・性能評価ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2019～2020 年度（2019～2021 年度）（令和元～2 年度（令和元～3 年度））

1. 目的

農作業中の脚立事故低減に資するため、脚立の使用実態に関する基礎的データを収集し、評価試験方法・基準を開発する。

2. 方法

- 1) 脚立の使用方法の実態を把握するため、果樹園における脚立作業の観察・撮影を行い、事故情報等に基づき事前抽出した13項目の誤使用について有無を調べた。調査対象は青森県、長野県のリンゴ園、静岡県のみかん園、奈良県のカキ園で脚立作業を行う計22名とした。（2019年度）
- 2) 脚立の脚が1箇所以上浮き上がる現象（以下、ぐらつき）に対する安定性評価試験装置を試作し、三脚脚立3型式（表2）を供試して安定性評価試験を行った（図1）。（2019～2020年度）
- 3) 安定性に関する基準策定のため、1)の観察結果に基づき、ぐらつきが発生しやすいと考えられる動作を抽出・モデル化し、その際に作業者が脚立に及ぼす力を測定した。具体的には、脚立の天板上で枝を掴みながら側方へ身を乗り出す動作（以下、リーチ動作）を抽出し、これを立位から片手で模擬枝（手すり）を掴み、もう一方の手を10秒間伸ばす動作としてモデル化した（図2）。被験者の安全確保のため、床面に設置したフォースプレート上で測定を実施した。被験者は5名（男性、年齢 29.2 ± 1.6 歳、身長 172.2 ± 8.0 cm、体重 60.6 ± 10.8 kg）とした。（2020年度）
- 4) 型式Cを供試し、2)で開発した試験装置を用いて、後支柱と水平面のなす角度（以下、後支柱角度）及び作業位置が安定性に及ぼす影響を検討した。後支柱角度については 63° 、 70° 、 76° の3条件で、後支柱の伸縮により全条件で天板を水平にして安定性を測定した。作業位置については負荷位置を図1の天板右端、左端の2条件として安定性を測定した。（2020年度）
- 5) 脚立作業中に脚立の脚が広がる現象を防止する方法を検討した。（2020年度）

3. 結果の概要

- 1) 全調査対象者のうち各誤使用を行った作業者の割合（主要な項目のみ抜粋）を表1に示す。開き止めの緩み、天板またぎ、天板乗りについては、半数以上の作業者による誤使用が確認された。開き止めの緩みと開き止めの不使用のいずれかを行った作業者の割合は82%であった。
 - 2) 負荷の位置は1)の結果を踏まえ、誤使用も考慮に入れた中で最も不安定と考えられる天板の遠位の外縁とした。各供試脚立においてぐらつきが発生したときの水平荷重 F_x 、鉛直荷重 F_z を図3に示す。3型式とも線形回帰における決定係数は0.9以上であり F_x と F_z は線形近似可能と考えられた。作業者が誤って図1に示す天板右端に立った場合、作業者が脚立に及ぼす F_x 、 F_z が図3に示す各近似直線の左上の領域内にあると、固い床面上であってもぐらつきが発生するリスクがあると考えられた。また、近似直線の傾きを用いて安定性の比較が可能と考えられた。
 - 3) 各被験者のリーチ動作における F_x の最大値とそのときの F_z を図3に示す。被験者の測定結果の分布から、例えば天板上でのリーチ動作（誤使用考慮）を想定して安定性の基準を考える場合には、「天板端（作業対象側）に荷重 $F_x=190$ N、 $F_z=400$ Nを与えても作業対象側の接地部が浮き上がらないこと」等が適当と考えられた。
 - 4) 異なる後支柱角度の条件で試験を実施した結果、後支柱角度が垂直に近いほど安定性は小さくなった（図4）。また異なる負荷位置で試験を実施した結果、 F_z が同じ条件で比較すると、重錘を左端に設置した場合の安定性は右端に設置した場合の1/3程度となった（図5）。
 - 5) 三脚脚立の開き角度の調節が容易な開き止め装置を考案した（図6）。
- 以上、脚立の安定性評価試験装置、方法及び基準案の開発を行い、三脚脚立の開き止め装置を考案した。後支柱角度、作業位置が安定性に及ぼす影響を検討した。

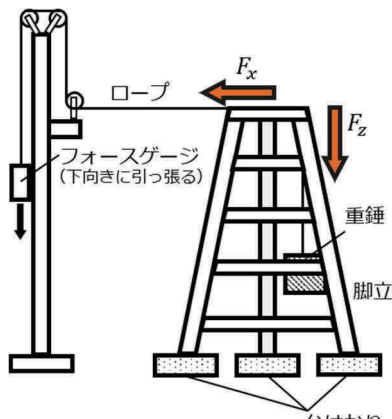
表1 調査の対象とした誤使用、及び全調査対象者のうち各誤使用を行った作業者の割合（主要な項目のみ抜粋）

誤使用の項目名	誤使用の内容	誤使用を行った作業者の割合 (%)
開き止めの緩み	開き止めのチェーン又はロープが緩んだ状態で脚立に乗る	68
天板またぎ	脚立の天板をまたいで立つ	59
天板乗り	脚立の天板の上に立つ	55
開き止めの不使用	開き止めのチェーン又はロープを掛けずに脚立に乗る	14

※使用脚立は三脚脚立が73%、四脚脚立が27%

表2 供試した三脚脚立3型式の諸元

型式	段数	全高 (m)	全幅 (m)	奥行 (m)	天板幅 (m)	質量 (kg)
型式 A	7	2.1	1.2	1.7	0.3	9.0
型式 B	7	2.0	0.9	1.3	0.4	6.5
型式 C	5	1.5	1.0	1.1	0.3	4.5



注) 負荷点を天板の遠位の外縁とした例 (誤使用考慮)

図1 安定性評価試験方法

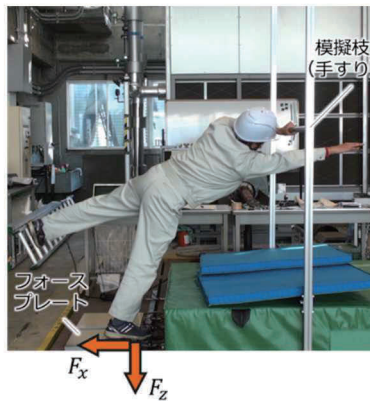


図2 リーチ動作試験

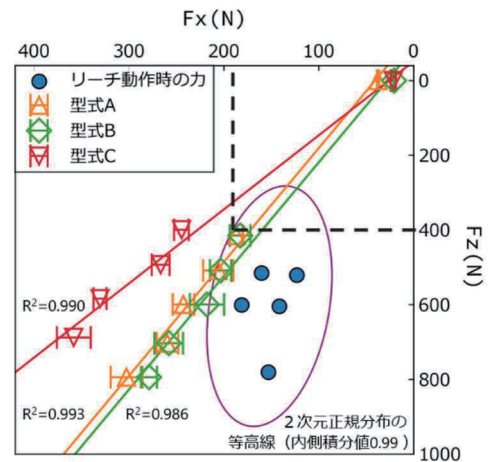


図3 脚立の安定性試験結果及び各被験者のFxの最大値とそのときのFz

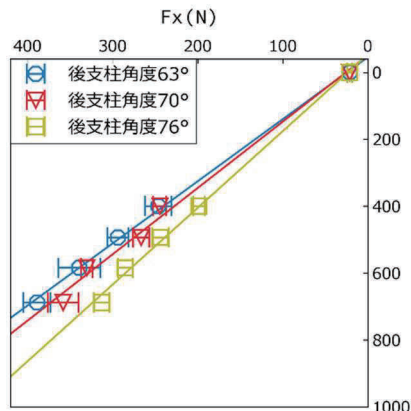


図4 後支柱角度による安定性の違い (型式C)

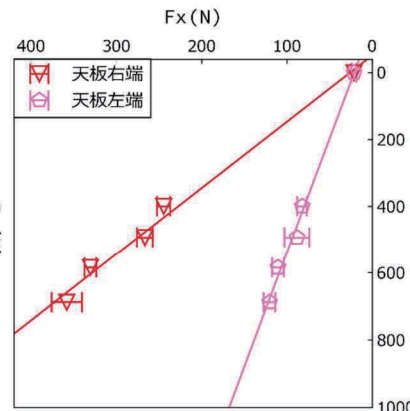


図5 作業者位置による安定性の違い (型式C)

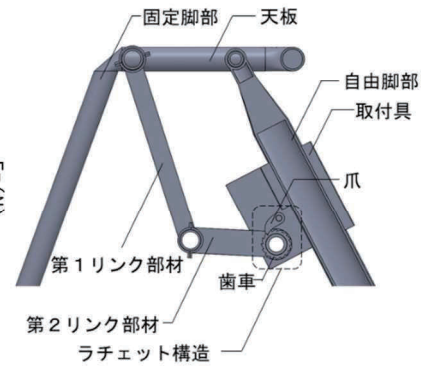


図6 考案した三脚脚立の開き止め装置

4. 成果の活用面と留意点

- 1) 関東農業食料工学会 WEB 特別大会 (2020.9) で一部発表。特許出願1件。
- 2) 開発した試験方法で測定される安定性は設置面が平坦で硬いことを前提としたものである。

5. 残された問題と対応

基準案の妥当性を確認するためには、より多くの被験者、使用環境、脚立の種類を対象にデータを取得する必要がある。

課題分類：11（9）

課題 I D：1060402-01-11*20

研究課題：乗用型トラクタの乗降時の安全性に関する研究

担当部署：革新工学センター・安全検査部・性能評価ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

乗降に係る安全性が高い機械の普及を促進し、もって機械の乗降時の事故の減少を目指すため、乗用型トラクタ（以下、トラクタ）に主眼を置き、安全装備要件を検討し、安全装備検査基準（案）を策定する。

2. 方法

- 1) 市販のトラクタ 24 型式（国産車及び輸入車、機関出力 11.5～124kW、車輪式・半装軌式・装軌式）について、ステップ及び手掛かり（手掛かりとしての使用が想定されるものも含む）の三次元的な配置を把握するため、下げ振り及び鋼尺、又はレーザー距離計（三次元座標取得機能付き）を用いて、図 1 に例示するような各装備の特徴を示す点の三次元座標を求めるための計測を行った。
- 2) トラクタ、土工機械、機械類全般、トラック、はしご・脚立、建築物に関する ISO（JIS）及び各国規格、規則等 16 件を調査し、ステップや手掛かりに関連する項目の要件や基準値を比較した。
- 3) ステップの昇降を開始する立ち位置で手掛かりを握る場面について、日本人成人男女の身体寸法データベース（『日本人の人体寸法データブック 2004-2006』（一社）人間生活工学研究センター。以下、DB）等を用いて、身体寸法及び肩・肘の参考可動域を考慮し、最下段のステップ及びフットプレート開口部の位置に対して左右の手掛かりの配置が許容される範囲を求めた。

3. 結果の概要

- 1) 最下段ステップ高さは、すべての型式で ISO 26322-1:2008 及び安全装備検査基準の基準値である 550mm 未満であった。手掛かり下端の高さは、同 ISO 基準値の 1500mm を超えるものが、25.7～53.0kW の出力帯を中心に見られた（図 2）。ステップ、手掛かりとも、最小出力の型式がその他と比較して低い位置にあることを除き、出力やフットプレート高さとの相関は見られなかった。最下段ステップ外側の辺の midpoint と車体左側前方の手掛かり下端が近い型式（下端の最外側で車体前後方向の水平距離約 10mm、左右方向では約 40mm）では、手掛かりは乗車開始時にほぼ目の前となる位置にあり、近すぎて使いにくいことが認められた。
- 2) 土工機械、農業機械、機械類全般に係る各 ISO（JIS）では、基準値が一部を除いてそれぞれ異なっており、機種による相違も認められなかった（表）。トラック等の商用車に適用される米国の規則は、調査した ISO とは数値が異なっており、また握り方の定義や腕力の限度の規定を有する特徴があった。いずれの規格等も、手掛かり、ステップそれぞれについての寸法基準値はあるが、高さ以外に相互の位置関係を数値で示すものではなく、新たに基準値を作成する必要が認められた。
- 3) 2) で挙げた規格等は、欧米又は全世界において男女の別なく労働年齢層の身体寸法を参照したものが多く、欧米人と比較してもともと日本人が小柄であることに加え、高齢者が多く就農し、また女性の参画を推進する日本の農業の現状には必ずしも適応しないと考えられた（例；JIS A 8302 で参照する小柄運転員の身長 1525mm（靴の高さ分を除く）に対して、DB において最も小柄な集団である 70 歳代女性の身長の 5 パーセンタイル値 1394.0mm）。このため、DB より 70 歳代女性の 5 パーセンタイル値と、最も大柄な集団である 30 歳代男性の 95 パーセンタイル値を用い、それぞれ小柄グループ・大柄グループとして、直立状態で手で握った棒の軸が位置しうる範囲を求めた（図 3）。以上、トラクタの手掛かりとステップの位置関係について、安全上の観点で使いにくいと評価できるトラクタが存在することを把握するとともに、身体寸法及び関節可動域に基づいた許容範囲を求めた。

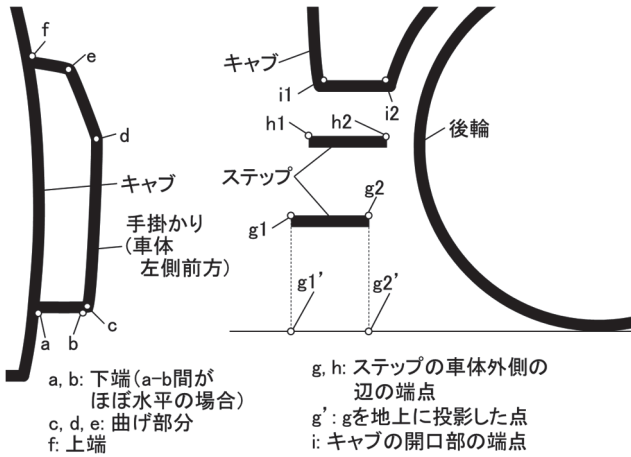


図1 三次元座標を求めた特徴を示す点の例 (左:正面図 右:側面図)

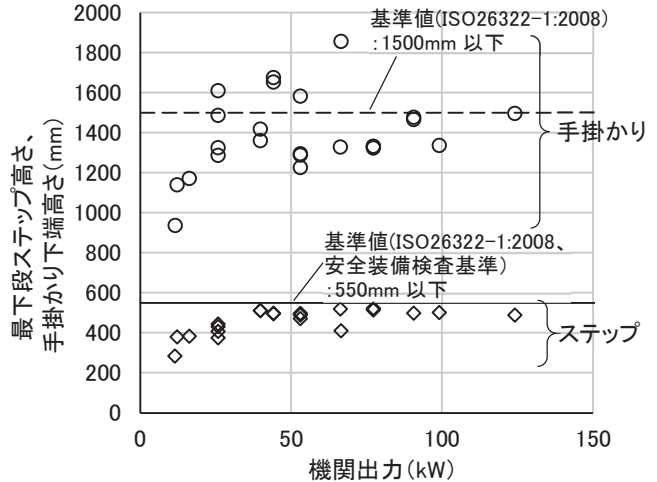


図2 測定結果 (抜粋)

表 調査した規格等とその内容 (ステップ及び手掛かりの高さに関するものの一部)

	ISO 26322-1: 2008 農林業用トラクター安全性-標準トラクタ	JIS A 8302:2017 (ISO 2867:2011) 土工機械-運転員及び整備員の乗降用・移動用設備	JIS B 9713-3:2004 (ISO 14122-3:2001) 機械類の安全性-機械類への常設接近手段-第3部:階段, 段ばしごと及び防護さく	Code of Federal Regulations Title49, Part399, Subpart L 商用車のステップ, 握り, 及びデッキの要件
最下段ステップ等の地上高さ	550mm 以下	最大 600mm 目標 400mm	-	609mm 以下
ステップ等の間隔	300mm 以下	最大 250mm 目標 180mm	250mm 以下	-
手掛かり下端の地上高さ	1500mm 以下	最大 1700mm 目標 900mm	-	車両に出入りする人が届く範囲に配置
ステップ等からの手掛かりの高さ	850mm~1100mmの間 (最上段から)	最小 850mm 最大 1400mm 目標 900mm	900~1000mm (段鼻から)	-

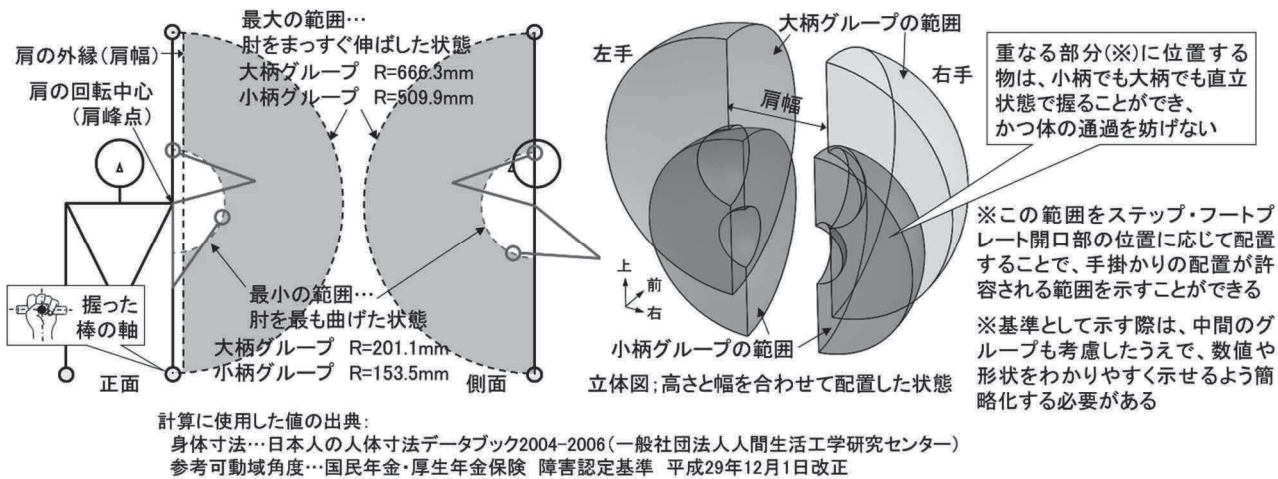


図3 手で握った棒の軸が位置しうる範囲の概略

4. 成果の活用面と留意点

手掛かり位置の許容範囲の安全装備検査基準案への反映を図る。許容範囲を超えた場合は装備として使用不可能であることを示すことに注意が必要である。

5. 残された問題と対応

より効果の高い基準値及び装備とするためには、年齢・体格が異なる被験者の協力のもと、乗降装備の様々な配置状態での一連の乗・降車動作について、身体各部の挙動を分析した結果を加味した範囲を求める必要がある。さらなる事故低減のためには、他機種への展開を図る必要がある。

3. 安全工学研究領域

課題分類：11（9）

課題ID：1060401-01-03*20

研究課題：詳細調査・分析を通じた農作業事故の未然防止行動の抽出試行

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・安全技術ユニット

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、群馬県、埼玉県、千葉県、神奈川県、新潟県、長野県、岐阜県、滋賀県、鳥取県、広島県、福岡県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、栃木県農業機械士会、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、全国農業改良普及支援協会

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

レジリエンスエンジニアリングの観点から提唱されている Safety-II（平時にどのような活動が安全を確保しているかを把握し、正常な進行を保証すること）の考え方を踏まえ、農作業事故の詳細調査・分析により事故要因の傾向を継続的に把握するとともに、過去の事故調査も含めて、被害低減や未然防止に寄与したと考えられる生産者の行動事例の抽出を試行し、これらが現場での改善活動の促進につながる可能性を検討する。

2. 方法

- 1) 農業機械による事故を中心に、調査協力先で詳細調査を実施し、協力先から提供された事故報告のうち 34 事例、協力先との連携等による現地調査 19 事例について、個別に事故要因の詳細分析を行った。
- 2) レジリエンスエンジニアリング及び Safety-II に関する他産業の動向等について情報収集を行った。
- 3) 調査協力先と連携して実施した、負傷事故を中心とする現地詳細調査について、事故の被害低減や未然防止につながる行動等（以下、未然防止行動）の抽出及び分析を試行した。また、対話型農作業安全研修（以下、対話型研修）で聞かれた生産者の取組事例についてもあわせて検討を行った。
- 4) 各調査・分析結果を踏まえ、将来的な改善活動促進・支援への活用の可能性を検討した。

3. 結果の概要

- 1) 分析の結果、各事例で、人的要因の他、機械・施設、環境、作業・管理の各面でも要因が確認でき、本質的・工学的安全対策を中心とした現場での具体的改善の必要性が示された。また実際に、事故発生を受けて、使用者側で機械に対する本質的・工学的安全対策が取られた事例も確認された（図 1）。
- 2) レジリエンスを発揮するために必要とされる潜在的能力（レジリエンスポテンシャル）は「対処」「監視」「学習」「予見」に分類され（表 1）、これらに基づく組織の機能モデルも提案されていたものの、少人数経営が多い農業では、組織モデルの検討までは必ずしも必要とされないと推察された。一方、例えば鉄道分野では同ポテンシャルとの体系づけに先立ち、まずは Safety-II の概念をヒントに、安全な列車運行に繋がる「心得」（ルールや工夫・コツ等）の理解を深める取組を行った結果、社員の前向きな姿勢が得られた事例もあり、農業でも同様に、未然防止行動例の収集と周知が、現場での前向きな取組に寄与できると考えられた。
- 3) 実用化した「農作業事故事例検索システム」における直近 100 事故事例の調査時に、事故内容とは別に確認された生産者の未然防止行動を抽出した結果、48 事故事例で 41 項目の行動（重複を除く）が確認された。これを 2) の潜在的能力で分類した結果、「学習」「予見」への該当が多く（表 1）、過去の経験や情報から事前に対処する傾向があったことから、事故防止策の現場への発信の有用性が示された。また、事故要因別に分類した結果、機械・施設及び環境面に該当するものは 10 項目あり（表 2 上段、図 2）、事故発生後にとられた再発防止策を同様に分類した結果（17 項目、表 2 中段）から見ても、未然防止行動の抽出が、本質的・工学的な事故防止策の更なる蓄積につながる事が確認された。なお、未然防止行動が確認できた事故事例の多くが、調査時に意識的に「以前から心掛けていた行動」等も聞き取るようにした 2018 年度以降に集中しており、事例蓄積には調査票の項目追加等が必要と判断された。対話型研修 15 事例では、51 項目（うち機械・施設及び環境面に該当するものは 9 項目）と、事例数に比して多くの該当項目が確認できた（表 2 下段）。
- 4) 事故低減に向けて優先的に講じるべきとされる本質的・工学的対策が十分行われていない農業分野においては、従来の再発防止事例に、前向きに取り組みやすい未然防止行動事例を加えることで、本質的・工学的対策の促進に活用し得ることや、収集源として、対話型研修の活用も有用であることが見出された。

以上、Safety-II の観点に基づく農作業事故の未然防止行動の抽出の有効性を確認した。

【事故概要】

農用細断機にエダマメの茎葉が詰まったので、エンジンをかけたまま排出口から手を入れて巻き込まれ(指切断)

再発防止策:

- ・詰まりにくい大型機に更新(本質的対策)
- ・排出口のガードを自前で延長⇒物理的に指が回転部に届かないようにした(工学的対策)



図1 事故発生後に使用者側で機械に対する本質的・工学的安全対策が取られた事例

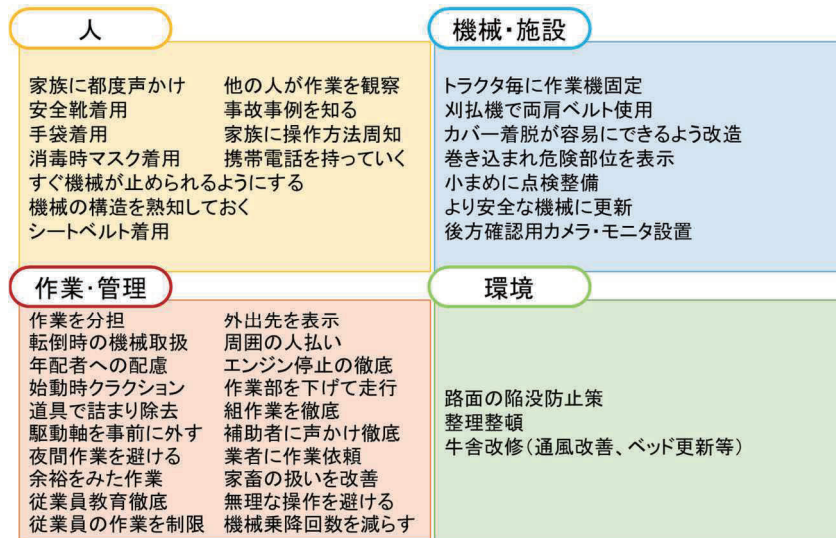
表1 レジリエンスポテンシャルと分類例

レジリエンスポテンシャル	対処	監視	学習	予見
概要	変化に対して何をすべきか知っている	進行に対して何を見るべきか知っている	起きていることや経験から教訓を学べる	この先に起き得る事態について予見できる
本研究での分類試行例※	危険時に無理な操作を避ける、転倒時の機械取扱	補助者に声かけ、カメラ・モニタ設置、等	作業を分担、事故事例を知る、等	家族に操作方法周知、安全靴着用、等
農作業事故事例検索システム No.92~191 該当項目数※	2	5	13	21

※本文3. 3)を参照

表2 事故要因別の事故防止策項目数

抽出元データ	事例数	内容	該当項目数(重複を除く)			
			人	機械・施設	環境	作業・管理
農作業事故事例検索システム No.92~191	100	未然防止策	11	7	3	20
		再発防止策	21	13	4	34
対話型農作業安全研修	15	未然防止策	15	4	5	27



※「農作業事故事例検索システム」の直近100事故事例(No.92~191)から抽出試行(「人」「作業・管理」と「機械・施設」「環境」の両方に関連する項目については、機械・施設や環境自体に具体的な変化が生じ得るものは後者に分類した)

図2 農作業事故現地調査時に収集された未然防止行動の項目例

4. 成果の活用面と留意点

本質的・工学的対策を含む様々な事故未然防止策について効果的に現場に提供できるツールの開発に活用する。農作業事故事例検索システム内の事故事例で確認されたものについては、先行して同システムの個別報告内に記載する形で公開しているが、各事例と直接関連のない防止策も含まれることに留意する必要がある。事故調査分析結果については、協力道県・機関及び国への情報提供を随時行っている。農食工学会等で報告予定。

5. 残された問題とその対応

既存のコンテンツである農作業事故事例検索システム及び改善事例検索との分担または統合等を検討し、より現場で活用しやすい情報発信手段につなげる必要がある。まずは本研究で確認された事例について、当センターによる指導層及び生産者等への研修内容に反映し、現場での具体的改善活動の普及を促す予定である。

課題分類：11（9）

課題ID：1060401-01-04*20

研究課題：農作業事故防止に向けた危険体感型安全教育手法の可能性に関する基礎調査

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・安全技術ユニット

協力分担：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、全国共済農業協同組合連合会、全国農業改良普及支援協会、日本農業機械化協会

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完2020年度（令和2年度）

1. 目的

これまでの農作業事故の詳細調査・分析研究で得られた調査・分析結果を踏まえつつ、他産業における危険体感型安全教育手法の調査及び試行を行い、農作業安全への活用に向けた有用性や課題を明らかにする。

2. 方法

- 1) 林業及び農業において先行して活用されている様々なVR方式・映像の危険体感型安全教育資材を供試し、革新研職員を対象に、試行・アンケートによる基礎調査を行った。資材AはVRゴーグルとコントローラ、B～DはVRゴーグルのみによる方式で、資材A、BはCG映像、資材C、Dは実写映像とした（表1、図1）。アンケートには、供試資材に関する項目（所要時間の適否、理解促進効果、利点・要改善点、等）、VRを活用した安全教育の可能性に関する項目を設定した他、資材Dでは農作業安全への活用に関する意見・要望等の項目も加え、選択回答及び自由記載にて調査した。
- 2) 1)の資材A、Bを活用した安全研修（栃木県林業振興協会、専任講師による研修、受講者12名）、展示会や研修等併催の資材D活用現場の現地調査を行い、受講者の反応や運営面の課題等を調査した。
- 3) 1)、2)の調査結果や他産業での危険体感型安全教育手法の技術動向を踏まえて、農業者教育での具体的な利用場面等について検討した。

3. 結果の概要

- 1) いずれの資材も理解促進効果は高かったが、同一事例のAとBではAの方が高く、動作を伴い、没入感が高まることで理解が進んだと考えられた。Dの効果も高く、被験者からも「シナリオが丁寧で、動作を伴わなくても引き込まれた」との感想があり、シナリオ作成の重要性を把握した（表2）。また、ほぼ半数が映像手法のみでは体感や理解度は変わらず、シナリオに応じた選択が重要と回答した。VRを活用した安全教育の可能性については、「VR主体の安全教育が可能」、「未経験者に有用」（危険を知る）、「経験者に有用」（経験と比較する）のいずれも高かったことから、利用場面の広がりを含む期待の高さが示された（図2）。農作業安全啓発への活用に関する設問では、危険体感に限らず、安全で適切な方法、緊急時の対処方法、行動も選択できる構成への要望が高かった。特に、安全で適切な方法への要望は、他の資材の体感後の要改善点でも機械使用経験の有無を問わず挙げられ、危険を体感した後のフォローの重要性が確認された。また、気軽に見られる汎用機器（スマートフォン等）と高度な没入感を得られる専用機器への意見が分かれ、研修対象やシナリオ、研修形態等のそれぞれに適した方式や機器の選定が重要な検討項目であると判断された（図3）。
 - 2) 資材A、Bによる安全研修は通常、座学、危険体感、グループ討議の構成で行われている。調査日は感染症対策のためにグループ討議は割愛されたが、危険体感後、受講者が自発的に自らの体験談や安全対策等を共有しており、危険体感のみでも安全意識の醸成には一定の効果が見られた。受講者からは「実際の再現が難しい危険場面を体感して学べるので良い」「特に、危険を知らない（若い・新規参入）者が体感し、危険を知った上で作業に臨むと良い」等の意見があった。研修では、専任講師が資材の設置、取扱いも担当しており、指導者の関連技術習得も不可欠と判断された。一方で資材Dは、装着すれば容易に視聴できる利点を活かした研修マニュアルを準備するなど、現場運営の負担を軽減することで受講場面が広がっている状況であった。
 - 3) 農作業安全教育における危険体感型教育資材の活用に向け、資材の特徴と主な方式を整理し、作成手法、管理運営、コンテンツ作成の観点から、利点や課題を整理した（図4）。その結果、教育に取り入れる危険体感事例に応じた方式の選定やシナリオ作成に加え、現場での活用場面を想定した資材選定や、長期的な運用に向けた管理運営体制の検討も踏まえて、開発を進めることが必要と考えられた。
- 以上、危険体感型安全教育手法の動向、基礎調査により農作業安全教育における有用性や課題を明らかにした。

表1 基礎調査に供試した危険体感型教育資材及び被験者数

供試資材	A	B	C	D
VR方式	VRゴーグル+コントローラ	VRゴーグル(3dof)	VRゴーグル(3dof)	VRゴーグル(3dof)
映像	CG	CG	実写	実写
対象業種	林業	林業	林業	農作業
コンテンツ数	8事例	3事例	1事例	5機種
コンテンツ概要	・伐木作業で発生の多い、伐木のずれ、作業者への倒木、チェーンソーのキックバック等 ・Bは、Aの事例と同等のもの。		他人が伐倒した木の激突事例を、受講者用・指導者用として、編集	乗用トラクタ(転倒) 耕うん機(後進作業) コンバイン(巻き込まれ) SS(挟まれ) 刈払機(刃の接触)
被験者数[人]	20		21	25

※資材A.Bの試行は同時に行った。
※被験者のうち、18名は4資材に共通である。

表2 危険体感型資材による理解促進効果 [人]

供試資材	A	B	C	D
教科書や動画以上に理解が進んだ	20	15	14	20
教科書や動画と同等の理解だった	0	5	7	3
その他	0	0	0	2
計	20	20	21	25



図1 被験者の危険体感の様子 (左: 資材A, 右: 資材D)

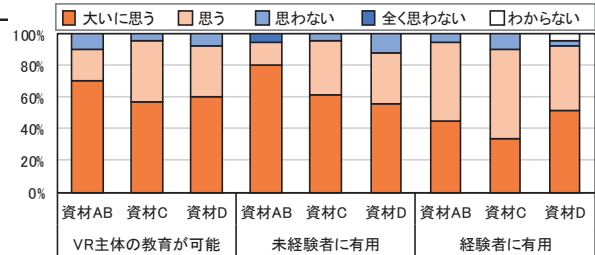


図2 VRを活用した安全教育への意識調査結果 (資材A・B、資材C、資材Dの各試行後に調査)

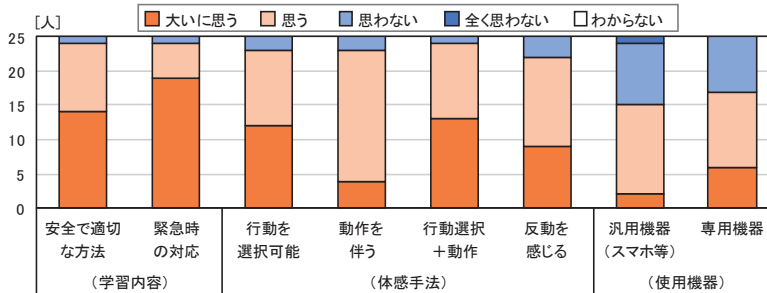


図3 危険体感型資材の農作業安全への活用に関する意識調査結果 (資材D 試行後のみ調査)

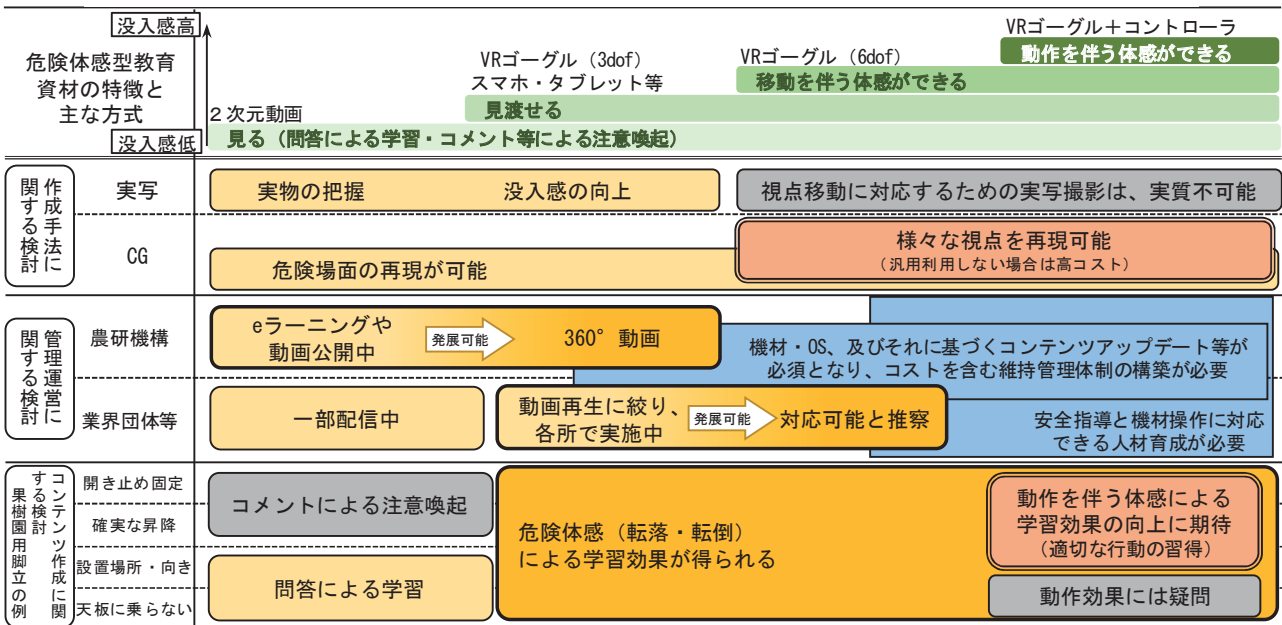


図4 農作業安全教育への活用に向けた利点・課題の整理

4. 成果の活用面と留意点

危険体感型農作業安全教育資材の開発に向けた資料としてとりまとめ、公表する。なお、本調査結果は各材そのものの評価を目的としたものではないことに留意する必要がある。農食工学会等で報告予定。

5. 残された問題とその対応

実際の教育資材の開発にあたっては、対象シナリオに応じた開発環境の整備が不可欠である。また、実用化に向けた管理運営体制等について、業界団体等と議論を進める必要がある。

課題分類：11（9）

課題ID：1060401-03-06*20

研究課題：農用トラクター用ドライブデータレコーダーの開発

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・安全システムユニット、研究推進部・戦略推進室

協力分担：なし

予算区分：クラスタ

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

農業機械作業に係る死亡事故の2割以上を占める農用トラクターの転落・転倒事故は、そのほとんどが単独作業中に発生しているため、原因や経緯の解明が難しいことが多い。そこで、本課題では、事故や傷害発生の原因や経緯を詳細に把握し、事故防止技術の開発、基盤構造の改善、安全教育等への活用につながる情報を取得するため、事故発生前後の機体の挙動や運転操作に関するデータを記録する農用トラクター用ドライブデータレコーダー（以下「DDR」）を開発する。

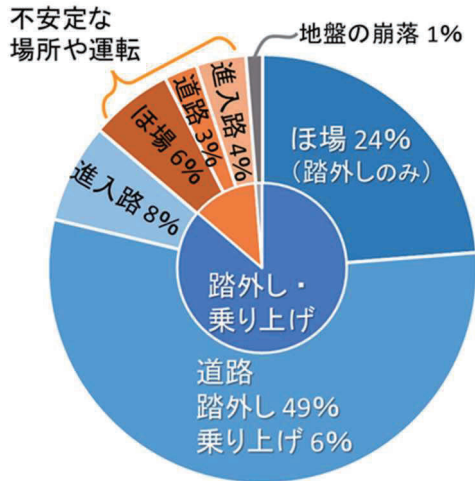
2. 方法

- 1) 開発前段の構想として速度等の機体挙動、運転操作情報等 DDR に記録するべきと考えられた計測項目の選定、開発要件の整理等を行った。また、機体前方等の画像情報の有効性を調査した（2018 年度）。
- 2) 開発の効率化を図るため、対策できれば転落等の事故数の低減への効果が大きい危険な現象に限定して対応することとし、公開されている事故事例から「農機具による事故等に関する情報提供の要請について（19 生産第 5368 号農水省生産局長通知）に基づく農林水産省に提供された事故情報」を選定し、事故事例毎に発生場所や運転状況を整理した上で絞り込みを行った。絞り込んだ現象に至る過程をシナリオ設定し、そのシナリオを把握する専用の計測装置を試作した（2019～2020 年度）。
- 3) 絞り込んだ現象「路上からの逸脱」の有無を記録データから判断できることを実証するため、逸脱の再現と意図的な経路変更を伴う走行試験を行った。試験は、附属農場に幅員 4.5m（供試トラクターの後輪下外側 1.67m、作業機外側 2.68m）の農道を設定し、意図的な経路変更を行う条件として左折、障害物 3 種（軽トラ、バイク、人）の迂回、対照として直進を設けて行った。運転者（6 名）は、アクセル全開操作（ 20.6 ± 0.3 km/h）で条件設定地点まで 30m 以上手前の試験区間に進入した後、各自の判断で状況に応じて走行し、その時のデータを取得した。また、長期連用試験として定常の農作業に供し、記録データについて検討を行い、記録項目やその内容等を定めた（2020 年度）。

3. 結果の概要

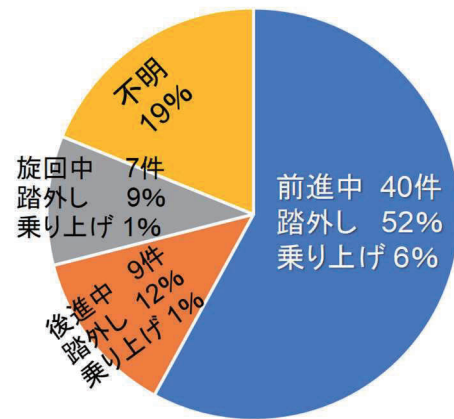
- 1) 計測項目は、画像や位置情報を含め、機体の挙動情報や運転操作情報を多数選定した。画像情報の調査では、運転操作状況や走行状況が把握でき、解析等に対する有効性が確認された。
- 2) 事故情報を整理した結果、危険な現象として安全な経路からの逸脱が発生し、その結果が踏外し等に繋がった事例が多く（図 1）、これを運転状況別にみると 6 割程度は前進中に発生したと推定された（図 2）。この結果等から DDR によって「路上を前進中、路肩等に接近しているが、危険を避ける操作をしないまま逸脱に至る状況」を把握することとした。試作機は、主ブレーキ等の操作、舵角等の状態、3 軸加速度等の挙動に加え、機体前後の動画像、位置を計測項目として実機に搭載した（図 3）。
- 3) 道路上からの逸脱を再現した結果、逸脱の把握に対し、画像や高精度の位置情報の有効性は高いが、単独では意図した経路変更との違いを判断することが難しい場合もあると考えられた。走行試験（図 4）の結果、経路変更前には減速に関する操作が記録され、画像等と組み合わせることで解析することにより、道路上からの逸脱の把握は可能と判断された（図 5）。長期連用試験においても右左折やほ場への進入等の経路変更時には、同様の操作が確認された（図 6）。これらのデータを検討した結果、今回危険な現象としてシナリオ設定した「前進中の道路上からの逸脱」については、収集周期 10Hz 程度、計測精度は出力値の変化が明確であれば把握可能と判断された。

以上、事故発生前後の機体の挙動や運転操作に関するデータを記録する DDR を試作し、想定したシナリオにおいて路上からの転落等につながる逸脱の有無に関連する情報を記録できることを確認した。



19 生産第 5368 号農水省生産局長通知に基づく農業機械事故情報の農用トラクター転落・転倒事故 80 件の集計

図1 転落や転倒に繋がった危険な現象



情報源、集計数は図1に同じ

図2 踏外し、乗り上げ時の推定運転状況



図3 試作機の構成と搭載トラクター



図4 走行試験風景(軽トラック迂回)

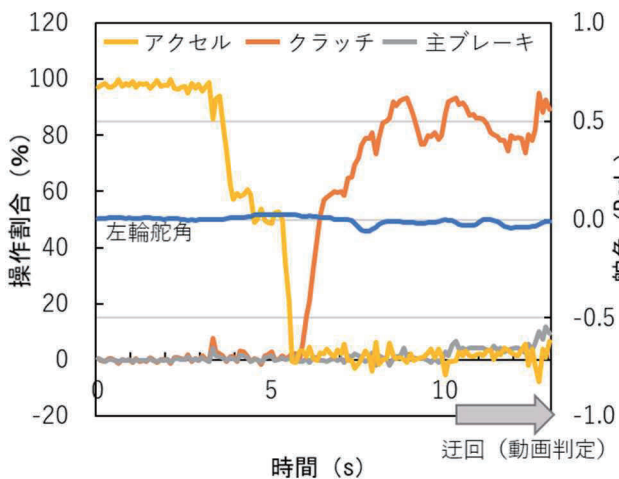


図5 走行試験結果の一例(軽トラック迂回)

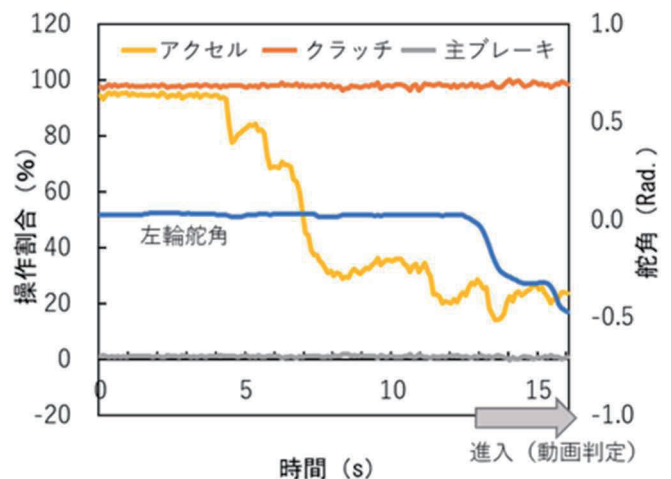


図6 長期連用試験結果の一例(ほ場進入)

4. 成果の活用面と留意点

- 1) 道路上からの転落事故等の発生原因や経緯等を把握する技術の開発に資する。
- 2) 実用化への展開には、車載の制御システムの活用等コスト削減についても検討する必要がある。

5. 残された問題とその対応

後進時等シナリオ設定しなかった他の運転状況についても有効性を検討する必要がある。

課題分類：11（9）

課題 I D：1060401-03-07*20

研究課題：農用車両の危険挙動再現のための実験用プラットフォーム及び挙動計測システムの開発

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・安全システムユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度（2018～2021 年度）（平成 30～令和 2 年度（平成 30～令和 3 年度））

1. 目的

本課題では、農用トラクタにおける転倒・転落事故、ニアミス現象の再現及び事故防止技術の検証等を安全かつ効率的に実施するため、危険挙動再現のための実験用プラットフォーム（PF）及び挙動計測システムを開発する。

2. 方法

- 1) 危険挙動再現時の機体全体や機体各部位の挙動、転倒位置等の詳細を精密に把握できる計測システムを検討するため、モーションキャプチャカメラを用いて精度検証を行った。（2018 年度）
- 2) 静的転倒角度測定装置及びモーションキャプチャカメラ等で構成される挙動計測システムを用いた実験用トラクタの静的転倒実験を行い、各部位の挙動計測を試行した。（2019 年度）
- 3) H 鋼、樹脂パレット等を用いて複数の事故現象の再現が可能な実験用 PF を試作した。再現する事故現象は①傾斜走行時に山側の障害物に乗り上げて横転倒、②経路から外れて片輪を脱輪して横転倒、の 2 現象とした。また、実験時の安全性確保の観点から、機関出力 7.7kW の実験用トラクタの改造を行った。試作した PF において転倒試験を行い、危険挙動の再現性、試験の安全性、1 回の転倒試験当たりに必要な時間を検討した。（2019～2020 年度）
- 4) 試作した実験用 PF において、モーションキャプチャカメラの設置位置及び転倒防止ネットの設置方法を検討し、挙動計測システムの計測精度の検証を行った。また、脱輪挙動時の実験用トラクタの重心位置のロール角度及びロール角速度を挙動計測システムで計測し、一般的な挙動計測で用いられている慣性計測装置（IMU）で得られた値との比較を行った。（2019～2020 年度）

3. 結果の概要

- 1) 精度検証の結果、モーションキャプチャシステム標準のキャリブレーション方法では計測精度がばらつくことが判明した。そこで、反射マーカ間の距離が校正されており真値とみなせるキャリブレーション用治具を用いて、「反射マーカ 2 点間相対距離の平均誤差の絶対値±標準偏差の 3.29 倍」を基準として計測精度を確認するプロトコルを考案した（図 1）。
- 2) 一次転倒及び二次転倒は、重心位置がそれぞれの転倒の軸の鉛直上を越えた位置付近で発生したことが示された。これにより、実験用トラクタの転倒時の挙動計測において、各種構造寸法及び四輪の分担荷重から算出された重心位置を用いた挙動解析の有用性が示唆された（図 2）。
- 3) 図 3 に実験用 PF 及び挙動計測システムの全体図を、表に概要を示す。走行路部分には進行方向と平行に樹脂パレットで段差を作り、左右車輪を段差の上下に乗せて走行することで傾斜地走行を再現した。また、山側の段上を走行して片輪を脱輪することによる横転倒を再現した。試験条件について、傾斜走行時転倒試験では傾斜角度 2 段階及び障害物高さ 3 段階に、脱輪転倒試験では段差高さ 2 段階に設定できる。トラクタの走行条件は走行速度 0.3～1.6km/h、作業機有無の設定が可能である。実験用トラクタにはクラッチの断続及びステアリング操作の無線操縦装置、防護装置、緊急停止ボタンの安全装置を設置した。試験の結果、実験用トラクタ及び PF 共に破損なく繰り返し試験が可能であった（図 4）。また、転倒試験 1 回当たりにかかる時間は平均 9 分 25 秒であった。
- 4) 本挙動計測システムにより、機体上の測定点を精度±2mm 以下で計測可能であった。図 4 にモーションキャプチャシステムで得られたトラクタ重心位置のロール角速度と IMU で得られた同計測値を比較した結果を示す。トラクタが転倒に至り、転倒防止ネットに接触するまでのロール角度とロール角速度について、挙動計測システムと IMU の値で大きな差はなく、同程度の精度で計測出来ることが示された。以上、危険挙動再現のための実験用 PF 及び挙動計測システムの開発に向け、機関出力 7.7kW の実験用トラクタに対応した PF 及び挙動計測システムを試作し、実試験・計測に供し得ることを確認した。

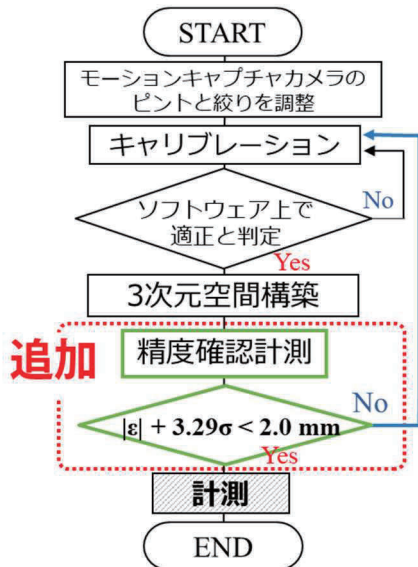


図1 計測精度判定のためのプロトコル

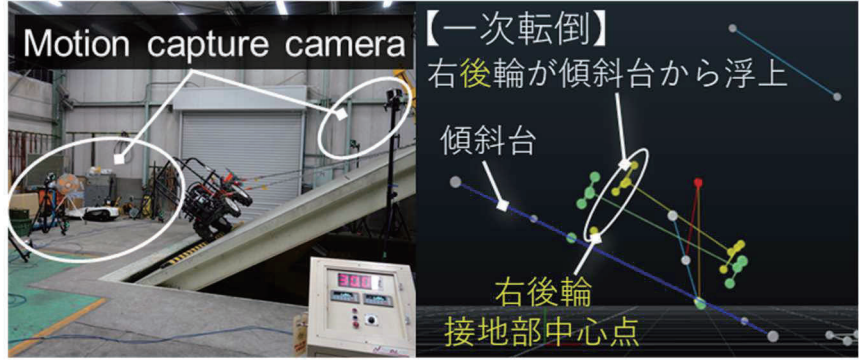


図2 静的転倒における各部位の挙動

表 実験用プラットフォームの概要

走行路の設定項目		
再現可能な危険挙動	傾斜走行時横転 脱輪による横転	
全長 (m)	10	
傾斜角度 (度)	12.24	
障害物高さ (mm)	50, 75, 100	
脱輪時の段差高さ (mm)	150, 300	
トラクタの設定項目		
走行速度 (km/h)	0.3 ~ 1.6	
作業機	有、無	
挙動計測システム		
計測範囲 (m)	5.5	
計測精度 (mm)	山側カメラのみ	0.78
	谷側カメラのみ	1.98
	両側カメラ	0.68

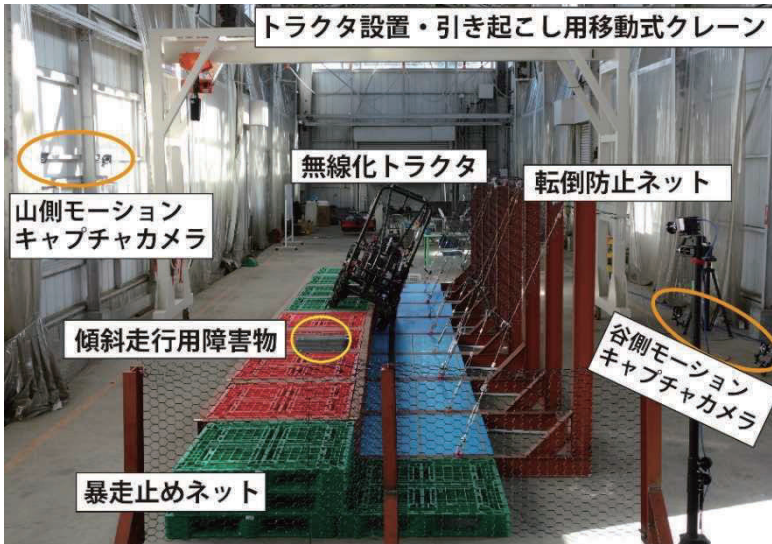


図3 試作した実験用プラットフォーム及び挙動計測システム

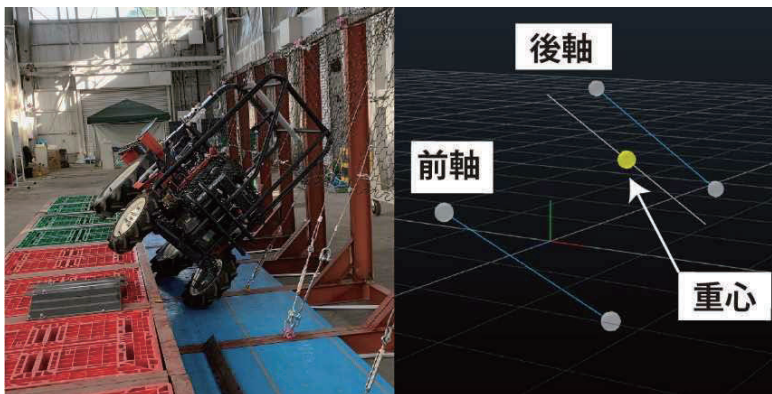


図4 実際の脱輪試験と挙動計測システム上のトラクタ

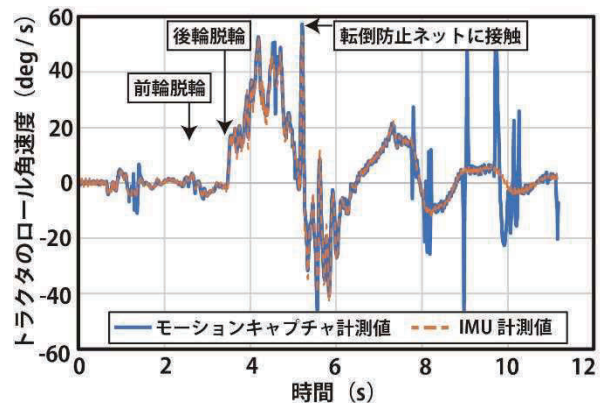


図5 脱輪時のトラクタ重心位置のロール角速度

4. 成果の活用面と留意点

これまで行われてきたトラクタの車両運動モデルやシミュレーションの妥当性の検証や高度化に活用する。また、現場環境の安全設計及び事故防止安全装置の開発に資する。農業食料工学会で発表予定。

5. 残された問題とその対応

より多くの試験条件を再現するため、走行路設定条件及びトラクタ走行条件の拡大を図る必要がある。

課題分類：11（9）

課題 I D：1060401-03-08*20

研究課題：農用トラクターの異常機体挙動検知装置の開発

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・安全システムユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

農用トラクター（乗用型）（以下「農用トラクター」）のほ場への出入りや傾斜地作業、農道走行時において、運転者が意図した運転操作とは無関係な機体挙動を検知し、転倒・転落につながるおそれがある場合に警告を報知する装置を開発する。

2. 方法

- 1) 異常機体挙動検知装置（以下「装置」）の計測項目を選定するため、転倒につながる機体挙動を表す変数及び算出式を検討した。計測項目を走行速度、操舵角、姿勢角、角速度及び加速度とし、慣性計測装置（以下「IMU」）やポテンショメータ等を農用トラクター（機関出力 22kW）へ搭載した。さらに、所内テストコースを走行し、機体挙動の検出状態を確認した。（2018 年度）
- 2) 2018 年度の計測結果に基づいて課題を抽出して、対象とする機体挙動を絞り込み、当該挙動を検知するための計測項目の選定を行った。（2019 年度）
- 3) 直進時及び旋回時に発生する異常なスリップを検知するアルゴリズムを考案した。その際に必要となった推定ヨー角速度は旋回半径と操舵角の関係式及び走行中の車体速度から求めることとした。上記関係式及び走行中の車体速度を推定するための各車輪周速度の適切な組み合わせを得るため、所内テストコースにて走行実験を実施した。（2019～2020 年度）
- 4) 関連規格及び文献を調査して装置が異常を検知した際の報知方法を定めた。（2020 年度）
- 5) 2)～4)の結果に基づき、各車輪周速度を計測する光電式回転検出器、操舵角を計測するポテンショメータ、車体重心周りのヨー角速度を計測する IMU、アルゴリズムを搭載したマイコン、警告音を出力するアンプ並びにスピーカ及び動作確認用の液晶ディスプレイから構成される、直進時及び旋回時に異常なスリップを検知する装置を試作した。（2020 年度）

3. 結果の概要

- 1) 走行実験の結果、傾斜面での走行や障害物への乗り上げ等による機体挙動の変化を時系列データとして計測可能であることを確認した。
- 2) 走行する地形や障害物によって発生した機体挙動の変化を捉えても、回避操作により事故を未然に防止するには検知のタイミングが遅いという課題があった。そこで、事故の未然防止の可能性を高めるため、大きな機体挙動の前触れとして発生する車輪のスリップに着目し、装置の計測項目として各車輪の周速度、機体ヨー角速度及び操舵角を選定した。車輪周速度は各車輪近傍へ取り付けられた光電式回転検出器から取得可能であることを確認した。
- 3) 考案したアルゴリズム（図 1）は、操舵角から直進と旋回とを判別してそれぞれ条件を満たしたときに異常なスリップが発生したと判断し、警報を発する。実験結果から旋回中の操舵角と旋回半径から関係式を求めた。スリップの検知に用いる走行中の車体速度としては後輪周速度の平均値が適切であった。推定したヨー角速度の誤差は旋回半径 2m で-10%であったものの、旋回半径 3m 以上では±5% 以内であった（表）。
- 4) 関連規格及び文献を参考に、装置の報知方法を周波数 440Hz、ON/OFF 周期 0.1 秒の警報音とした。この警告音は、エンジン最大回転速度の環境でも容易に聞き取ることが可能であった。
- 5) 試作した装置（図 2）は考案したアルゴリズムに基づき、運転操作から推定されるヨー角速度と IMU による実際のヨー角速度の差が一定以上になると警報を発することを確認した。

以上、農用トラクターの異常機体挙動検知装置の試作機を開発し、機能を確認して課題を取りまとめた。

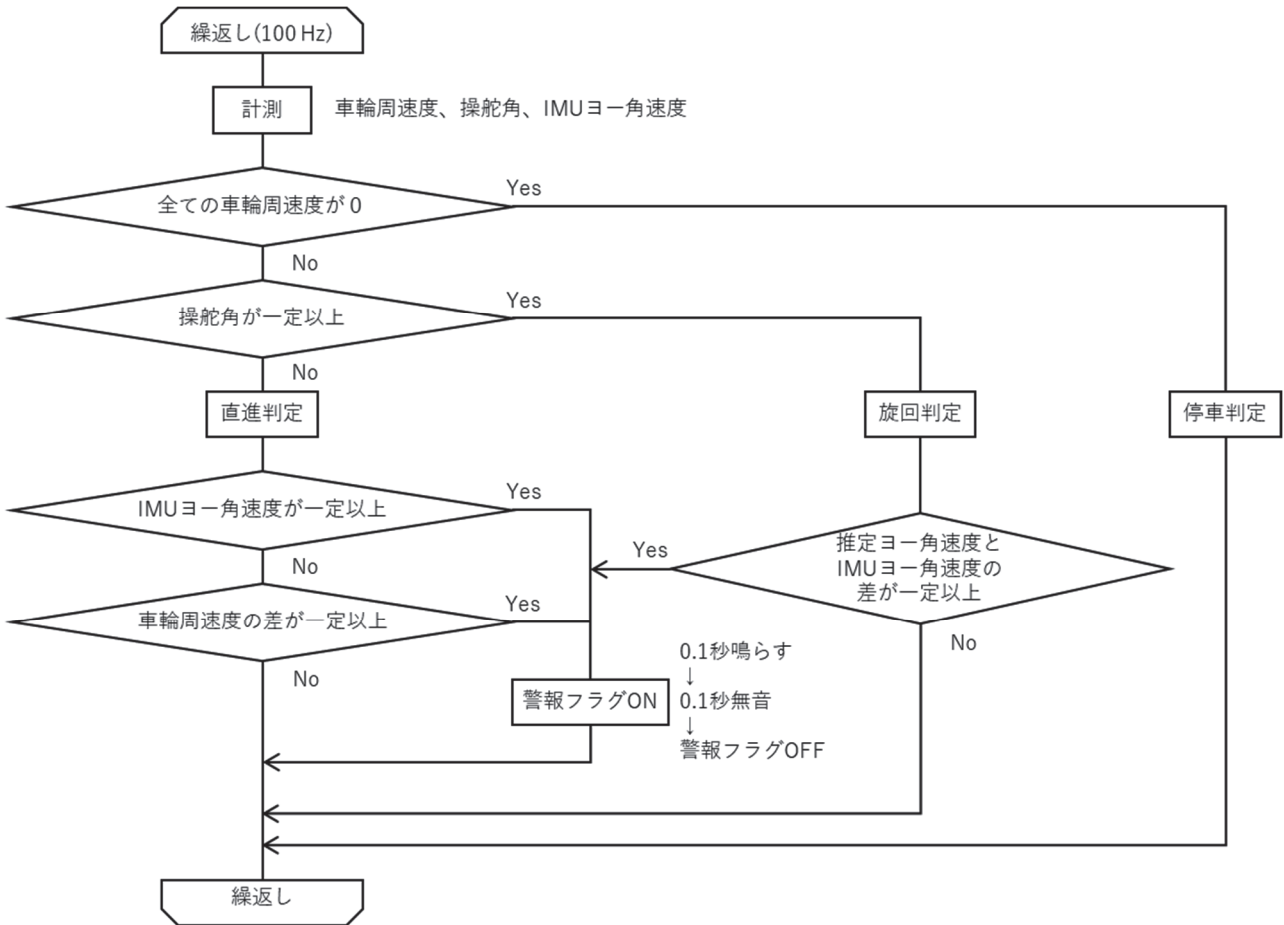


図1 スリップ検知アルゴリズムの概要

表 ヨー角速度推定結果

	旋回半径 (m)				
	23	5	4	3	2
理論ヨー角速度 ¹⁾ (° /s)	1.3	5.8	7.3	9.7	14.6
推定ヨー角速度 ²⁾ (° /s)	1.2	6.0	7.4	10.0	13.1
相対誤差 (%)	-2.3	3.6	2.1	2.4	-10.0

1) 走行速度 (試験条件) ÷ 旋回半径 (試験条件) × 180 × π
 2) 後輪周速度平均 ÷ 操舵角^{-1.126} × 2184.4 × 180 × π (走行実験より)

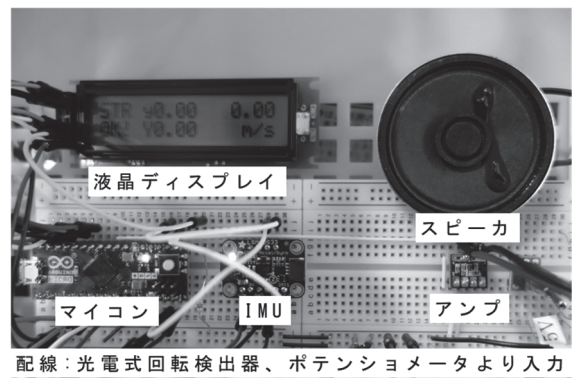


図2 試作機の概要

4. 成果の活用面と留意点

農業機械事故未然防止技術の開発に資する。農食工学会 (2021.9) で発表予定。

5. 残された問題とその対応

実作業に供試するためには車輪回転検出手段を車軸等に内蔵する等防泥性を確保する必要がある。また、片ブレーキや前輪増速といった農用トラクター特有の機能への対応及びセンサー故障等が原因の失報に対応する必要がある。

課題分類：11（9）

課題 I D：1060401-03-09*20

研究課題：侵入者等リスクに対する農作業区域監視システムの開発に向けた調査研究

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・安全システムユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

本課題では、複数の学習済みモデルを用いて農機や人の検出を行い、その物体検出性能及び適応性について調査し、課題の抽出を行う。また、農作業区域監視に特化した物体検出技術の開発に向けて学習用データセットの作成プロトコルの検討を行い、農作業区域監視システム（以下、監視システム）の開発に向けて課題を整理する。

2. 方法

- 1) システムの構成を USB カメラ（水平視野角 120 度、撮影サイズ 200 万画素）、スカイポール（高さ 11.3 m）、記録用ノート PC として監視システムの試作を行った。また、物体検出手法の選定を行った。
- 2) 農作業区域監視に特化した学習用データセット作成プロトコルの検討を行った。
- 3) 試作した監視システムを用いて、カメラ画角内の最もカメラ近傍の地点を基準点とした 100m×100m の区画内を移動する農用トラクター（機関出力 44.1kW）（以下、トラクター）及び人の検出をそれぞれ行い、その物体検出性能を評価した。性能評価は、基準点からの水平距離①70m 未満、②70m 以上 90m 未満、③90m 以上 110m 未満の 3 段階の距離を対象に行った。トラクターを対象とした試験では、ウェブ上から独自に収集した画像（200 枚）を学習させたモデル（Model-W）と上記プロトコルによって取得した画像（550 枚）を学習させたモデル（Model-E_T）を作成し、比較を行った。また、人を対象とした試験では、Microsoft 社が提供する COCO dataset を学習させたモデル（Model-COCO）と上記プロトコルによって取得した画像（401 枚）を学習させたモデル（Model-E_P）を作成し、比較した。
- 4) 附属農場において、農作業現場における監視システムの適応性の確認を行った。
- 5) 監視システムへのリスク評価機能の付与に向けて、物体間距離算出技術の利用について検討した。

3. 結果の概要

- 1) 試作した監視システム（図 1）は屋外において簡易に設置でき、高所から俯瞰した画像の撮影が可能であった。また、物体検出手法には YOLO v3 を採用し、深層学習用ライブラリ Keras により実装した。
- 2) 対象となる区画において、人もしくは農機を予め指定した経路上を往復させ、往路の画像データを学習させ、復路の画像データを用いて評価を行うプロトコル案を作成した（図 2）。
- 3) 表に、性能評価試験の結果を示す。Model-W は①において Precision（適合率）が高く誤認識が少ないものの、Recall（再現率）は低く見逃しが多く発生した。また、②・③と遠方の対象物は全く検出できない結果となった。これに対し、Model-E_T は 110m 先の対象物でも全て検出可能であった。Model-COCO はトラクターを人と誤認識する（図 3）など、①の距離でも F 値（Precision と Recall の調和平均）は 30% 程度であった。これに対し Model-E_P は、③での Recall がやや低いものの、総じて 65% 以上を示した。これらの結果より、監視システムに特化した学習用データセットを作成する必要性が示された。また、PTZ（パン・チルト・ズーム）機能を有しないカメラを使用した監視システムにおいて、人を対象とした場合、十分な精度で物体検出できるカメラ近傍から対象物までの水平距離は約 100m であった。さらに、同条件下で 2 台のカメラ監視による物体検出の適応範囲は概ね 1ha 程度であることが示唆された。
- 4) 附属農場での監視システムの適応性確認において、適用範囲の拡大が可能な PTZ 機能の有用性を確認した。また、天候・太陽位置による画像への影響（図 4）等、解決すべき課題を抽出した。
- 5) リスク評価機能については、物体間距離算出技術により、PTZ 機能を有しないカメラ映像における農機と人との距離に応じたリスク評価が可能であったため、機能の付与の可能性が示された（図 5）。以上、農作業区域監視システムの開発に向けて、物体検出性能及び適応性について調査し、課題を抽出した。また、リスク評価機能についても計画を前倒しして検討を行った。

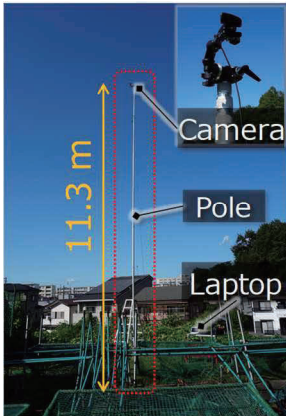


図1 試作機の写真

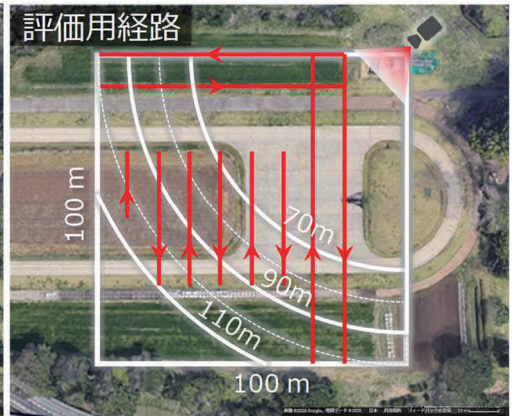
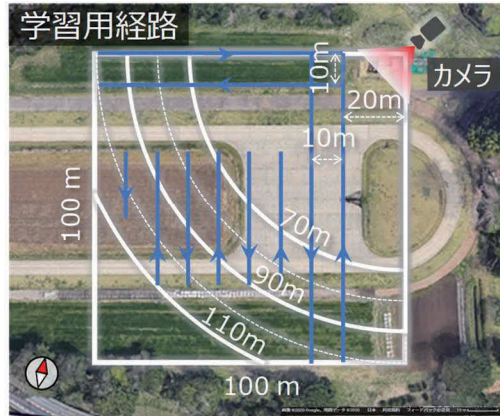


図2 学習用データセット作成と性能評価試験のためのトラクターと人の移動経路

表 性能評価試験の結果

		対象物(トラクター)までの水平距離		
		① < 70m	② 70 - 90 m	③ 90 - 110 m
Model-W (data from websites)	Precision	96.8%	0.0%	0.0%
	Recall	11.5%	0.0%	0.0%
	F-measure	20.5%	0.0%	0.0%
Model-E _T (experimental data)	Precision	100%	100%	100%
	Recall	100%	100%	100%
	F-measure	100%	100%	100%

※1 IoU=0.3で解析 ※2 解析した画像数 ①n=261, ②n=176, ③n=113

		対象物(人)までの水平距離		
		① < 70m	② 70 - 90 m	③ 90 - 110 m
Model-COCO (MS COCO dataset)	Precision	30.8%	11.2%	4.2%
	Recall	29.9%	10.4%	4.0%
	F-measure	30.3%	10.8%	4.1%
Model-E _p (experimental data)	Precision	96.5%	83.9%	84.5%
	Recall	96.0%	83.2%	65.3%
	F-measure	96.3%	83.5%	73.7%

※1 IoU=0.3で解析 ※2 解析した画像数 ①n=174, ②n=125, ③n=75

※Precision: 適合率, Recall: 再現率, F-measure: PrecisionとRecallの調和平均
IoU: 正解ボックスと予測ボックスの重複率

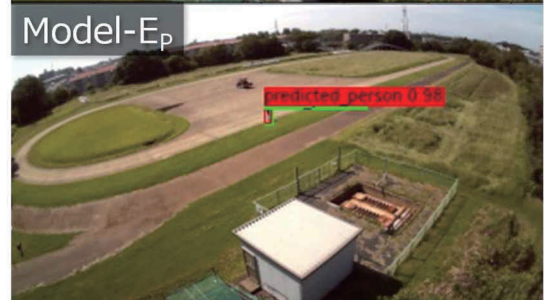


図3 物体検出結果の事例

(緑枠: 正解ボックス, 赤枠: 予測ボックス)



図4 天候・太陽位置による色彩への影響
(左写真を撮影した翌日同時間帯に右写真を撮影)

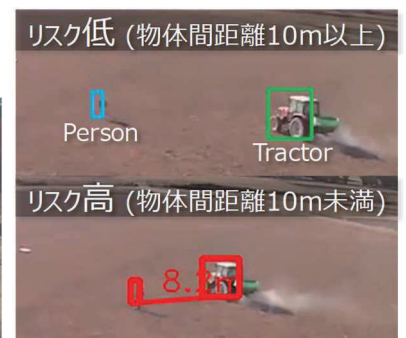


図5 物体間距離算出技術を利用したリスク評価

4. 成果の活用面と留意点

農作業区域監視システムの開発に活用する。農食工学会等で発表予定。

5. 残された問題とその対応

PTZカメラを用いた場合の物体検出性能を評価し、システムの適用範囲拡大を図る。また、抽出された課題に基づいて、各条件における物体検出性能への影響を評価し、システムの汎用性向上を図る。さらに、リスク評価機能についてはPTZカメラへの適用性を確認し、機能付与に向けた課題を抽出する。

課題分類：1 (9)、11 (9)

課題ID：1060401-02-04*20

研究課題：歩行用トラクタによる挟まれ事故防止技術の開発

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・労働衛生ユニット、安全検査部・作業機安全評価ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完2018～2020年度（平成30～令和2年度）

1. 目的

歩行用トラクタによる主要な死亡事故要因は挟まれであり、年間十数件発生している。その中には、デッドマン式クラッチや緊急停止装置等の安全装置が装備されていた事例も報告されており、安全性能の向上が急務である。そこで、ループハンドル式歩行用トラクタにおける通常作業時及び後退時挟まれ（以下、挟まれ時）でのハンドルに加わる力（以下、ハンドル負荷）に基づいて挟まれ事故防止技術の要件を明らかにし、その要件に沿った挟まれ事故防止技術の開発を行う。

2. 方法

- 1) 機関出力1.5～3.7kW{2～5PS}級のループハンドル式歩行用トラクタにおける3軸方向のハンドル負荷を計測する装置（以下、ハンドル負荷測定装置）を試作した。（2018～2019年度）
- 2) 通常作業時及び挟まれ時のハンドル負荷を把握するため、ループハンドル式歩行用トラクタ3型式（機体A：機関出力3.0kW{4.1PS}、機体B：機関出力3.2kW{4.4PS}、機体C：機関出力1.5kW{2.1PS}）を供試し、通常作業試験（以下、試験a）、挟まれ模擬試験（以下、試験b）を行った（図1）。全ての試験区において上記1)の装置によりハンドル負荷を測定した。試験aでは、耕うん作業、軽トラへの積み込み作業、軽トラからの荷下ろし作業、後退作業をそれぞれ3行程ずつ被験者7名（男性、年齢：29～52歳、身長：165～185cm、体重：55～85kg）で行った。試験bでは、後退時に機体と壁面との間に挟まれることを想定し、実験室内の垂直な鉄製壁面にて供試機によりダミー人形（身長：167cm、体重：66kg）の腹部付近（床面から約104cm）を計3回ずつ挟ませた。運転条件として速度段は前進（作業）及び後進、エンジン回転はフルスロットルとした。（2019～2020年度）
- 3) 2)のハンドル負荷測定結果に基づき、挟まれ事故防止技術の要件を検討した。（2020年度）
- 4) 挟まれ事故防止技術を考案し、試作した。さらに、試作した装置を装備した歩行用トラクタ（機体A）を用いて試験bを行い、挟まれ時の挙動を確認した。（2018～2020年度）

3. 結果の概要

- 1) ハンドル負荷測定装置の概略及び負荷の相対座標系を図2に示す。ハンドル負荷測定装置は、左右にそれぞれ取り付けられた三分力計により、把持部に加わる力が測定可能である。また、取付部、把持部の寸法を変更することで、ループハンドルの形状が異なる場合でも装着することが可能である。
- 2) ハンドル負荷測定結果を図3に、試験bの時系列データ結果の一例を図4に示す。ハンドル負荷 $|F|$ の最大値は通常作業時では305N以下であった一方、挟まれ時では662～1287Nであった。また、 x' 軸の正方向の力 $(+F_{x'})$ の最大値は通常作業時では289N以下、挟まれ時では658～1282Nであった。挟まれ時のハンドル負荷 F と x' 軸の正方向とのなす角 $(\theta_F$ 、機体右側面から見て反時計回りに正)は $-4.7\sim 6.9^\circ$ であり、挟まれではハンドル負荷 F がおおむね車輪接地位置へ向いていた。挟まれが開始されてからハンドル負荷が最大に達するまでの時間 Δt は $0.7\sim 1.1$ 秒であった。
- 3) ハンドル負荷はおおむね車輪接地方向に通常作業時300N未満、挟まれ時600N以上発生していることから、供試機での挟まれ事故防止技術の要件は、車輪接地方向のハンドル負荷が300N未満の場合作動せず、かつ300Nを超え次第即座に作動すること、作動後は作業者が自力で脱出可能であることと考えられた。
- 4) 試作した装置は把持部に車輪接地方向の所定以上の負荷が発生すると、ダンパの収縮により負荷を低減しながら回動する構造となっている（図5）。試験bの結果、車輪接地方向のハンドル負荷が300Nを超えた直後に低減されたため、挟まれ事故防止技術の要件を満たしていると考えられた（図6）。以上、通常作業時と挟まれ時のハンドル負荷を測定し、挟まれ事故防止技術の要件を明らかにした。また、挟まれ事故防止技術を考案及び試作し、動作を確認した。

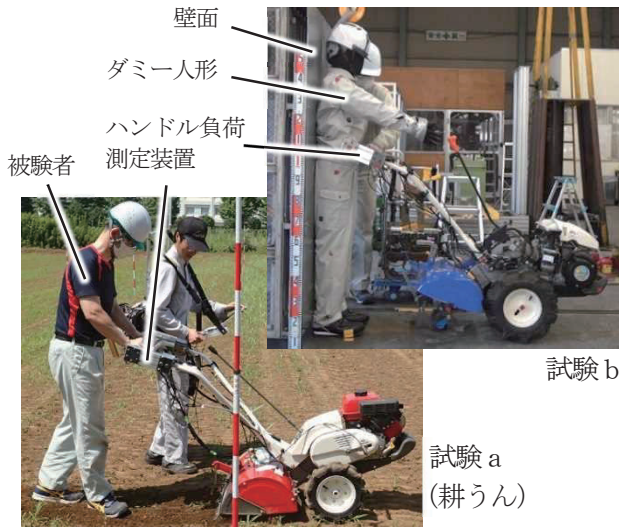


図1 試験 a、bの様子

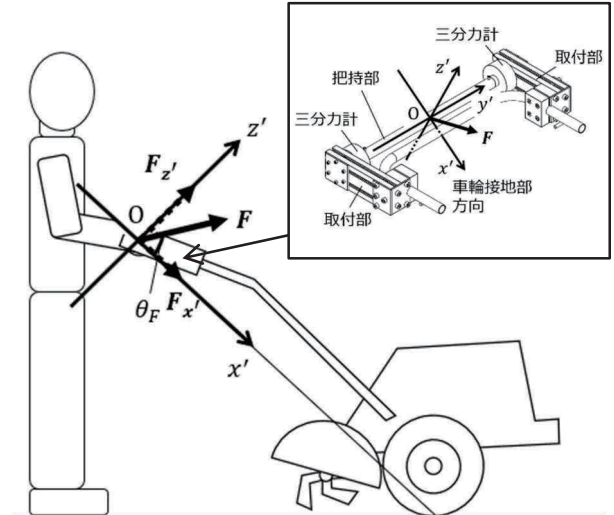


図2 ハンドル負荷測定装置概略及び相対座標系

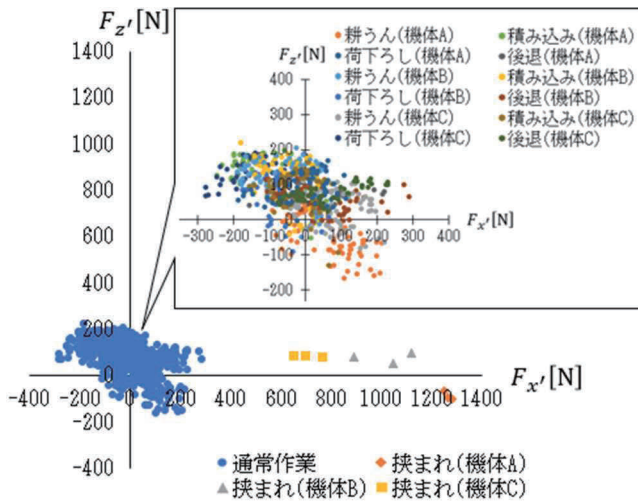


図3 ハンドル負荷測定結果

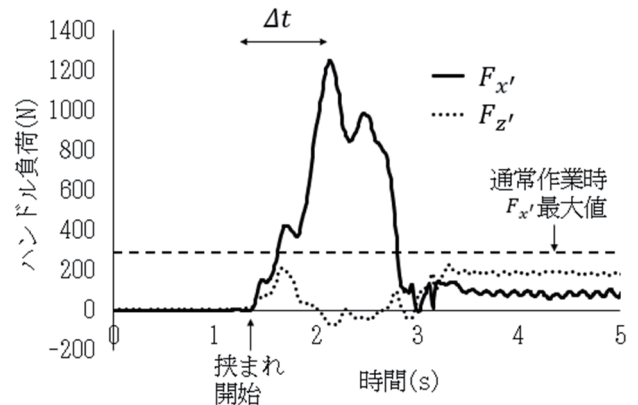


図4 ハンドル負荷時系列データ一例 (試験 b、機体 A)

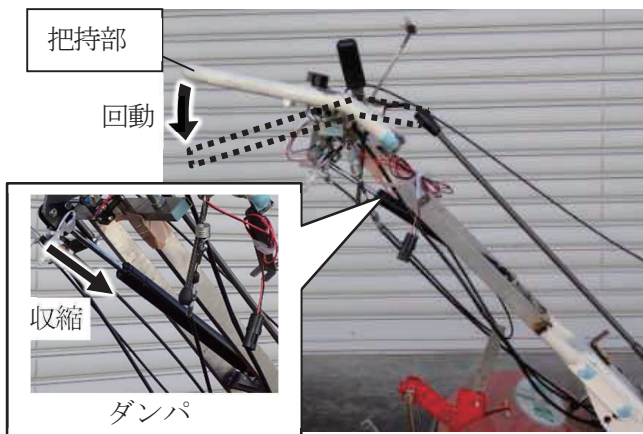


図5 試作した装置

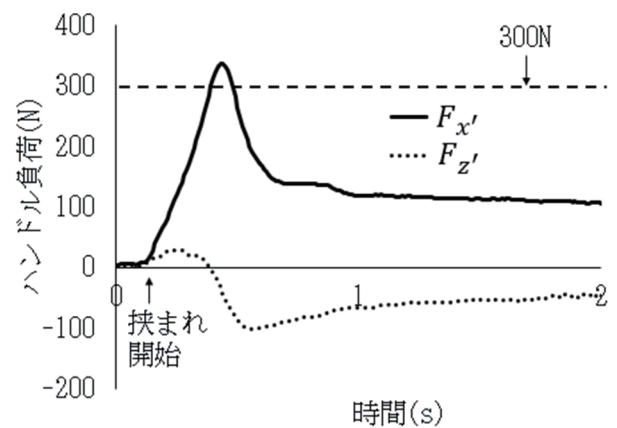


図6 試作した装置を装着した時のハンドル負荷時系列データ一例

4. 成果の活用面と留意点

挟まれ事故防止技術の開発・普及促進に資する。本要件を参考に挟まれ事故防止技術を開発する場合、装置の閾値は対象機の諸元値や車輪とハンドルの位置関係等を考慮し設定する必要がある。特許出願8件。論文投稿中。研究成果情報、研究報告会で報告予定。

5. 残された問題とその対応

異なるタイプの歩行用トラクタや他に想定される場面での検討が必要である。

課題分類：3 (3)、5 (3)、11 (3)

課題ID：1060402-02-05*20

研究課題：中腰姿勢補助器具の開発

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・労働衛生ユニット

協力分担：鳥取県、群馬県

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度 (平成 30～令和 2 年度)

1. 目的

農業就業者の高齢化や農業の担い手不足が深刻な問題となっており、農作業に不慣れな者にも身体負担が少なく、安全で簡単に作業できる作業体系の構築が必要である。野菜苗補植、管理、収穫作業などでは、重量物を保持しないものの、長時間体幹を前屈させたり、中腰やしゃがみ姿勢を保持することが多く、農家や普及センターから問題点の改善要望が出されている。そこで、本課題では、前屈み、中腰姿勢等による作業者の肉体的負担を軽減するために、腰、膝の姿勢保持を補助する器具を開発する。

2. 方法

- 1) 苗移植、軽量野菜収穫の作業姿勢や負担部位と市販の補助器具を調査した。(2018年度)
- 2) 調査結果から補助器具の要件案を検討し、腰、膝の補助器具モデルを試作した。(2019-2020年度)
- 3) ホウレンソウの収穫作業等を想定し、高さ20cm上に10cm間隔に配置したヒモ (PP製、φ5mm、長さ30cm、20本) を解いて、結ぶ模擬作業 (10～15分程度) を試作モデルを供試して行った。被験者は男女11名 (年齢43±13歳、身長167±8cm、体重59±13kg)、模擬作業の前後に各部負担感を5段階のスコア〔[感じない] 1-2-3-4-5 [非常にきつい〕〕で主観評価した。ほ場でホウレンソウ収穫作業を行い、模擬作業と同様に評価した。(2020年度)

3. 結果の概要

- 1) 花苗移植ではしゃがみと移動を繰り返す場合と膝を軽く曲げて前屈みで作業しながら移動する場合があります、負担部位はそれぞれ膝・大腿、腰であった (図1)。ホウレンソウ、小松菜収穫では、跪きやしゃがみと移動を繰り返しており、負担部位は腰、膝であった (図2)。市販の腰補助器具は、腹部に幅広ベルトを巻き付けて腹圧上昇、腰椎を固定したり、股関節側方にバネ、背中にゴムバンドを配置して背筋を補助するものでは、歩行動作が規制されることがあった。膝補助器具は、大腿後側にクッションを固定するものでは、ズレたり、高さ調節がないなど不十分であった。
 - 2) 腰補助器具の要件として、前屈保持や横曲げ動作時の補助が必要と考え、試作モデルは長円形のバネ (ばね鋼線材φ2、縦50×横15cm、補助トルク約9Nm) と肩・腰・脚ベルトからなり、使用者背部に固定したバネが動作と同じ方向へ曲がり、その復元力で体幹の保持力を補助する方式とした (表、図3)。横曲げ、ひねり動作時にも補助可能である。膝補助器具の要件として、しゃがみ姿勢保持とそのまま移動したり、立って歩行することがあり、膝関節角度を緩和する機能が必要と考え、試作モデルは板状のスポンジ (1×17×17cm) を重ねたクッションを大腿の後側へ固定する方式とした (表、図4)。これにより、膝を深く曲げた時にクッションで圧力分散、関節角度緩和が期待できると考えられた。移動時のズレを低減するためにクッションの凹み、二重ベルトなどの対策をした。
 - 3) 模擬作業時における主観評価について、腰用試作モデルを使用した方が総合評価及び、腰、尻、左腿後で負担感が少なく、負担軽減の可能性が認められた (図5)。膝用試作モデルでは明確な差は認められなかった。ほ場作業では腰用試作モデルを使用した方が概ね負担感が少なかった。
- 以上、腰、膝の補助器具が具備すべき要件を検討し、モデルを試作し腰補助効果の可能性が認められた。



図1 カスミソウ管理



図2 ホウレンソウ収穫

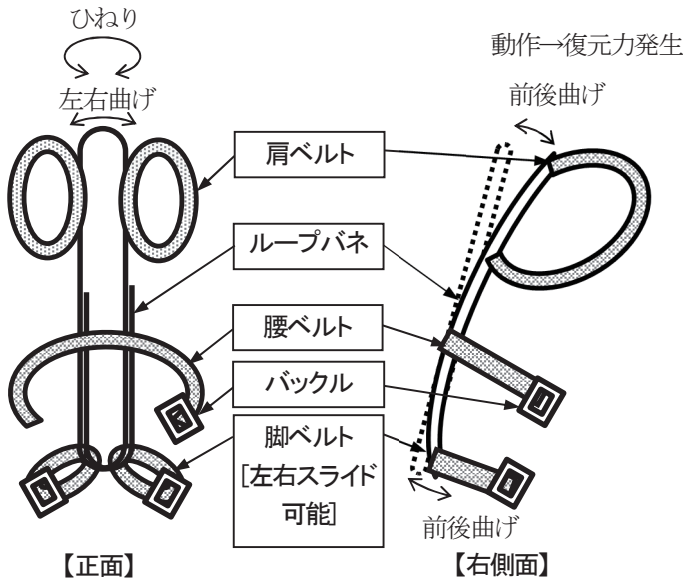


図3 試作モデルの概要 (腰補助器具)

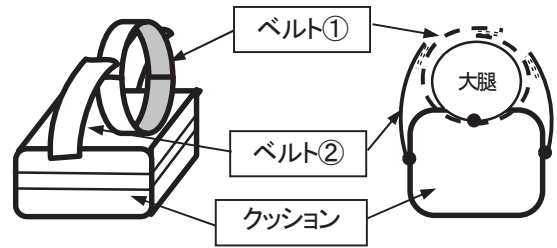
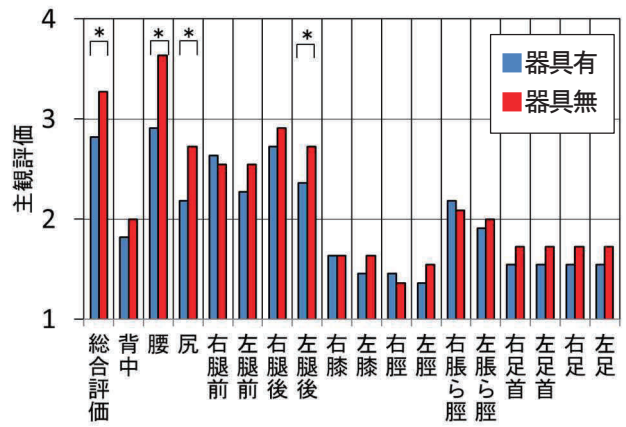


図4 試作モデルの概要 (膝補助器具)

表 補助器具の要件案

	前提条件	要件
共通	<ul style="list-style-type: none"> 取扱物軽量 足場狭い 地面凹凸 	<ul style="list-style-type: none"> 体格調節可能 着脱が容易 体に食い込まない
腰	<ul style="list-style-type: none"> 体幹前屈 体幹側曲げ・ひねり 脚しやがみ、歩行動作 	<ul style="list-style-type: none"> 姿勢保持補助 (前後、左右) 補助力調節 しやがみ、歩行動作時補助
膝	<ul style="list-style-type: none"> 膝深く屈曲 作業・移動 低い所に作物等 	<ul style="list-style-type: none"> 姿勢保持補助 膝関節角度緩和 ズれない 高さ調節可能 作物等に干渉しない



* :5%の有意差有 [t検定]
図5 模擬作業での主観評価結果 (腰補助器具)

4. 成果の活用面と留意点

重量物を取り扱わないで前屈み姿勢を保持して行う作業時に、腰への負担軽減に活用する。使用者の体格等への調節法など検討する必要がある。学会にて発表予定。特許出願済。成果情報を報告予定。

5. 残された問題とその対応

膝の負担軽減手法について継続して検討する。

課題分類：11（9）

課題ID：1060402-02-06*20

研究課題：農作業用アシスト装置開発のための設計条件の検討

担当部署：革新工学センター・安全工学研究領域・労働衛生ユニット

協力分担：奈良農セ

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

農業就業者が減少の一途をたどる我が国の農業生産力を強化するには、高齢農業者の労働生産性の向上や生産活動の継続を支援する取り組みが急務となる。こうした問題の解決策の一つとして、体に装着することで作業を軽労化するアシストスーツが着目されてきたが、未だ農業現場には定着していない。

そこで、本課題では、農作業に適したアシスト装置の開発を目指し、作業者の性別や体格、農業現場のレイアウトなどにより変化する身体負担を生体力学モデルによって定量化し、農作業で必要とされるアシスト機能の設計条件を検討する。

2. 方法

- 1) 代表的な農作業である苗の定植作業における環境レイアウトを把握するため、中腰姿勢やしゃがみ姿勢が頻発する花卉栽培を対象とし、条数、畝幅、通路幅、畝高、条間、ベッド幅、植え付け位置（ベッド端から）などの調査を行った。（委託研究）
- 2) 作業者の体格によって変化する身体の各関節トルク（Nm）を定量化するため、逆運動学による生体力学モデルを設計した。モデルには、性別ごとの身体各セグメントの身長比及び体重比（瀬尾，1999年）、日本人の関節可動域および最大発揮力（NITE，2001～2002年）、椎間板圧縮力の推定式（Chaffin，1991年）、合成重心位置の算出、取扱物の質量設定などを組み込んだ。
- 3) 1) の環境レイアウトと 2) の生体力学モデルを座標平面上に配置し、性別や身長、体重によって変化する身体各関節トルクや椎間板圧縮力を作業姿勢ごとに定量化した。現場での自然な中腰姿勢やしゃがみ姿勢を再現するため、全身の関節トルクの和が最小となる最適関節角を最小二乗法によって求めた。なお、制約条件として、身体各関節の可動域制限、合成重心位置の範囲固定、指先と植え付け位置の座標の一致、足先と畝際の座標の一致、視線と植え付け位置の座標との直交などを設定した。

3. 結果の概要

- 1) 調査結果を表に示す。調査地の栽培方法はいずれも露地栽培であり、農家の作業姿勢は中腰姿勢としゃがみ姿勢が多かった（図1）。特に女性の場合、中腰姿勢では定植の際に手が届きにくいため、ほとんどの人がしゃがみ姿勢をとった。全体として膝痛の有訴者が多かった。
- 2) 開発した生体力学モデルを図2および図3の左に示す。モデルは10のセグメントと9つの関節から成り、身長（m）と体重（kg）を入力することにより任意の体格を構築することができる。また、20-80歳代の日本人男女約1000人の関節可動域から求めた平均値、正規分布に基づく上/下側5%値、四分位数を設定可能である。さらに、各関節の最大発揮力（Nm）も同様に設定可能であり、各関節の許容限界を設けている（頸と頭は除く）。なお、身体各セグメントの重心位置から算出した合成重心の座標により、物理的に取り得る姿勢が判定している。
- 3) 定量化した結果を図2、図3の中、右に示す。中腰姿勢では、股関節の屈曲トルクが体格による変化が大きく、身長が高いほど股関節がより屈曲するため腰の負担が増大する。腰の伸展を補助するアシスト方式の場合、完全な補助を行うには150 cm 50kg では約100Nm、180 cm 80kg では約190Nmのアシスト力が必要となる。一方しゃがみ姿勢では、体格による関節角度の変化は小さいが、セグメント長の増大による膝屈曲トルクの変化が顕著であった。膝裏やふくらはぎに弾性材を設けるアシスト方式の場合、150 cm 50kg では約60Nm、180 cm 80kg では約120Nmの反発力が必要となる。

以上、農作業で必要とされるアシスト機能の設計条件について、性別や体格に応じて変化する中腰やしゃがみ姿勢を補助するために必要なアシスト力を定量化した。

表 環境レイアウト

	平均	標準偏差
条数	2	-
畝幅 (cm)	116.5	5.1
通路幅 (cm)	34.0	5.4
畝高 (cm)	26.7	3.7
株間 (cm)	14.9	3.1
条間 (cm)	28.3	4.4
ベッド幅 (cm)	67.0	7.4
植え付け位置 (cm)	20.1	5.6



図1 作業風景

※奈良県生駒郡平群町内の生産現場 24 カ所

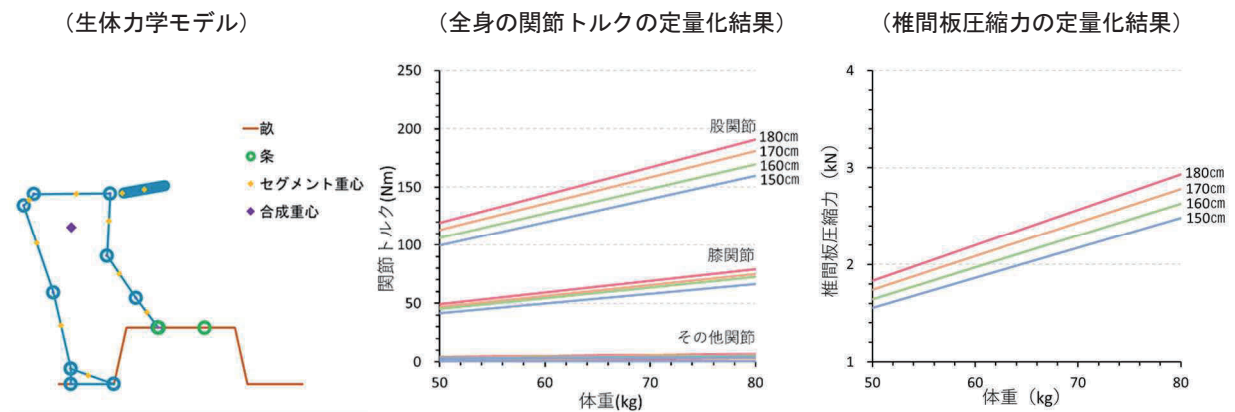


図2 中腰姿勢の生体力学モデルと各関節トルクおよび椎間板圧縮力（男性）

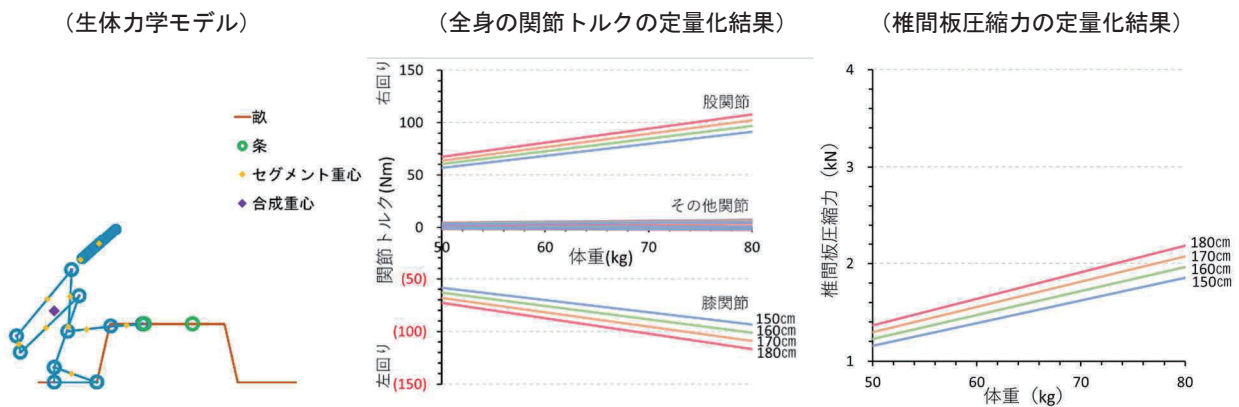


図3 しゃがみ姿勢の生体力学モデルと各関節トルクおよび椎間板圧縮力（男性）

4. 成果の活用面と留意点

農作業用アシスト装置の開発に活用可能。生体力学モデルは職務作成プログラムとして公表予定。その他の農作業を対象とする場合、環境レイアウトや制約条件を変更する必要がある。

5. 残された問題とその対応

他の農作業における理想的な作業姿勢や環境レイアウトの数理最適化には、引き続き検討が必要。

4. 高度作業支援システム研究領域

課題分類：12(1)

課題ID：1060101-01-05*20

研究課題：大区画ほ場における凹凸計測および均平作業の自動化技術の開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度土地利用型作業ユニット

協力分担：東北研

予算区分：先端プロ、交付金

研究期間：完2018～2020年度（平成30～令和2年度）

1. 目的

東日本大震災から約10年が経過し被災地域では徐々に復興・再生が行われている。被災地域では、営農再開が困難となっている被災農家の水田を担い手に集積するとともに、大区画ほ場整備が進められており、大区画化に対応した省力化技術の確立が喫緊の課題となっている。

そこで本課題では、大区画水田を利用した輪作体系において他作業より時間を要する復田時の均平作業に注目し、均平作業に活用できる凹凸計測技術および自動化技術を開発することで、均平作業におけるオペレータ作業時間の半減を目指す。

2. 方法

- 1) 対象ほ場の地表面形状を高精度に計測可能な写真測量技術を利用してほ場高さマップを生成し、その精度を確認した。(2018～2020年)
- 2) 水田内で設定経路に従って走行可能な無人トラクタと、ほ場端に設置したレーザー発光器を高さ基準にして、指示した高さに排土板位置を調整可能な均平機を開発した。(2019～2020年)
- 3) 開発した無人トラクタと均平機による均平作業時の作業高さ精度を確認した。(2020年)
- 4) 自動均平作業によるオペレータ作業時間の削減効果を確認した。(2020年)

3. 結果の概要

- 1) DJI社の測量用ドローンPhantom4RTKを用いて水田を自動飛行により写真撮影し、その画像をPix4D社の写真測量解析ソフトPix4Dmapperを用いて解析することで、ほ場高さマップを取得した。トータルステーションにより対象水田内の基準点を計測しマップと比較した結果、天候等の撮影環境が好条件の場合はほ場内の相対高さが標準偏差 $\sigma=5\text{mm}$ の精度で計測できることがわかった。
- 2) 車両ECUなどを改造することで外部からの動作指示命令の受信や車両情報の送信を可能にしたトラクタに、制御PC、GNSS/INS（航法装置）、無線機器、カメラ等を搭載した無人トラクタを開発した（図1）。また、市販のレーザー受光器を装着可能な直装式作業幅4mの均平機に、電動昇降ポールと直動式ポテンショメータを装着した。さらに、これらやレーザー受光器と接続し昇降ポールの高さを誤差1mm未満で位置決め可能なECUを開発することで、無人トラクタと連携して作業時でも任意のタイミングで外部指示により作業高さを変更可能にした（図1、2）。
- 3) 革新工学センター附属農場にて、開発した無人トラクタと均平機を用いて自動均平作業を実施した（図3）。対象ほ場は前作業として耕うん砕土鎮圧を行った水田で、ほ場内に $200\times 50\text{m}$ の区画を設定しその範囲内を作業対象とした。走行経路は設定区画の長辺方向に往復しながら区画全体を塗り潰すように設定し、車速は 1m/s とした。作業高さは事前に取得した高さマップを参照し、区画内の最大高さより5mm低く設定した。以上の条件で作業し、レーザー受光器が取得した高さ偏差と、トータルステーションによる作業機高さを計測した。その結果、前者は $\sigma=6\text{mm}$ 、後者は $\sigma=7\text{mm}$ であり、十分な高さ精度で作業できることを確認した（図4）。また、同様の自動作業を繰り返すことでほ場の均平性が向上することを確認した。
- 4) 福島県相馬郡新地町の生産者ほ場（大豆作後、砕土鎮圧済、約 $200\times 50\text{m}\times 2$ 筆）にて、慣行の乗車均平作業と無人自動+乗車仕上げ均平作業を実施し、ほ場内作業時間を比較した。その結果、前者が4.48h、後者が4.65+1.9hとなりオペレータ作業時間を半減できる可能性を見出した。（図5、6）

以上、均平作業のための凹凸計測技術および自動化技術を開発し、十分な高さ精度で作業可能なことを確認するとともに、オペレータ作業時間を半減できる可能性を見出した。

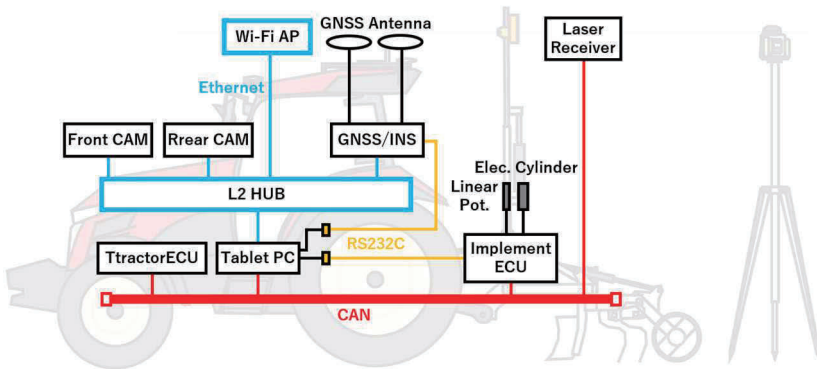


図1 無人トラクタと均平機の構成

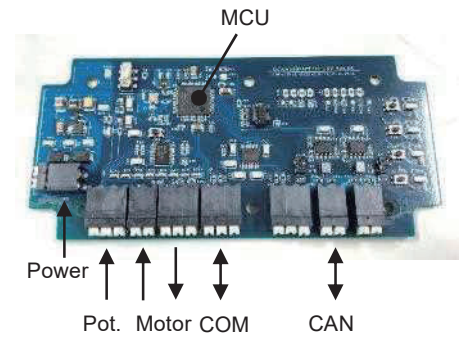


図2 均平機用作業機 ECU



図3 無人トラクタによる自動均平作業

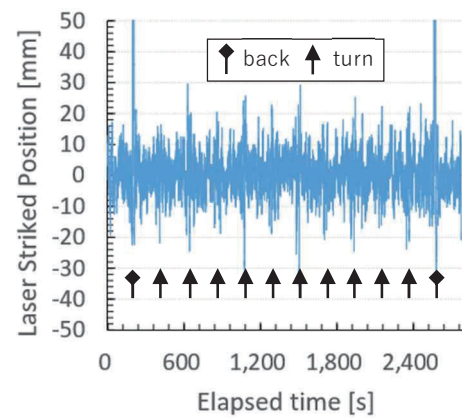
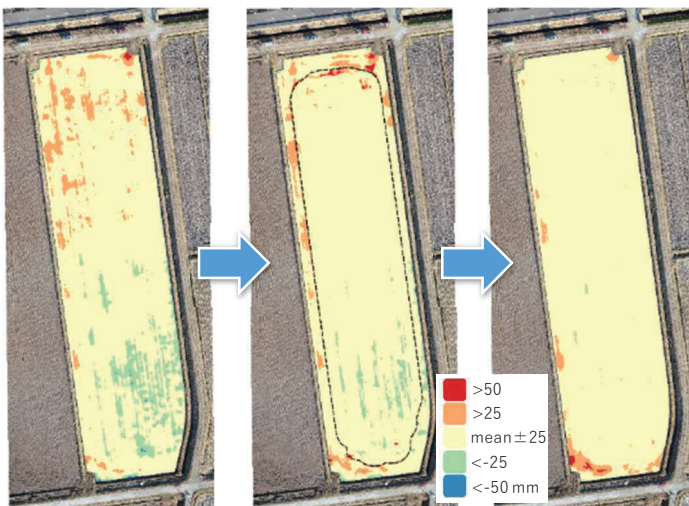


図4 自動均平作業時の高さ偏差



(a)均平作業前 (b)無人自動後 (c)乗車仕上げ後

図5 作業によるの高さの変化 (b)の点線内が自動作業範囲

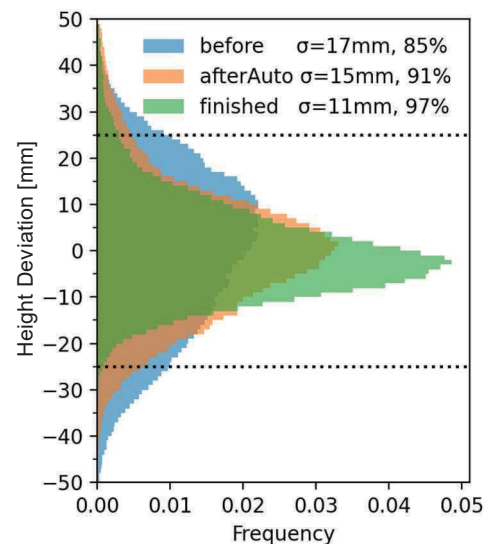


図6 作業による高さ分布の変化

4. 成果の活用面と留意点

凹凸計測技術については、作業前の高さ分布の把握など慣行作業においても活用できる。

5. 残された問題とその対応

凹凸計測においてより安定して高精度に計測するためには、計測条件や解析手法についてさらなる知見が必要である。均平作業の全体作業時間の短縮には、より高度な自動化技術が必要である。

課題分類：12（9）

課題 I D：1060101-01-12*20

研究課題：無人農用車両の作業機着脱の自動化技術の研究

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度土地利用型作業ユニット

協力分担：なし

予算区分：交付金（NIP）

研究期間：完2020年度（令和2年度）

1. 目的

担い手経営への農地の集積とほ場の大区画化により作業効率を向上させるとともに、労働力を増加させることなく規模拡大に対応するためには、ロボット技術を中心とした新たなスマート営農体系を構築する必要がある。現在進められている研究開発の主対象は、ロボット農機によるほ場内作業やほ場間移動関連の自動化技術のほか、重量物の収集や運搬を目的とした車両の位置計測技術などであるが、上記作業の体系化を図るには、資材の補給手段の構築や作業機の自動着脱などの技術開発が不可欠である。そこで、本研究では、ロボット農機を中心としたスマート営農体系構築の一環として、ロボットトラクタにおける作業機着脱を自動化するための技術を開発する。

2. 方法

- 1) ロボットトラクタによる作業機着脱の自動化に必要な要素技術を検討し、自動化に適したヒッチフレームの構造を検討し、設計・試作を行った。
- 2) 試作ヒッチフレームを供試し、舗装平坦地において手動運転のトラクタによる耕うんロータリの着脱試験、作業機を駆動制御する油圧・電源・信号回路の動作確認を行うとともに、試作ヒッチフレームを装着した状態で耕うん作業を行い、ヒッチフレームの強度等を確認した。
- 3) 試作ヒッチフレームと日農工標準オートヒッチを供試し、トラクタの有人運転による耕うんロータリの装着・取り外しの所要時間等を比較し、有人用途への適用可能性を確認した。

3. 結果の概要

- 1) ロボットトラクタによる作業機着脱の自動化の実現には、自動化に適したヒッチフレームの形状や構造を検討するとともに、対象作業機の位置や姿勢を認識し、トラクタを接近させる制御技術を開発する必要がある（図1）。本年度は、主に自動化に適したヒッチフレームの形状や構造の検討を行い、主にトラクタ側フレームと作業機側フレームから構成され、トラクタ側フレームと作業側フレームの嵌合と同時に油圧回路、電源回路、信号回路がそれぞれカップリングされ、次いで電動シリンダによりPTOのカップリングとトラクタ側フレームと作業側フレームのロックが行われる構造の試作ヒッチフレームを製作した（図2、表）。
- 2) ロータリ着脱試験（図3）では、作業機側フレームに対してトラクタ側フレームの設置位置に誤差が生じた場合でも、誤差が左右方向で145mm、ロール方向で9°、ヨー方向で7°、ピッチ方向で2°以下であれば作業機の装着と取外しが可能であった。ピッチ方向の誤差については、油圧で長さ調整可能な油圧トップリンクを利用し、トラクタ側フレームの傾きを変更することにより10°までで着脱が可能だった。また、作業機の装着や取外しと同時に油圧、電源、信号回路のカプラのカップリング、デカップリングが可能で、カップリング状態において各回路に接続した油圧シリンダ、電動シリンダ、作業機操作用端末が正常に動作することを確認した。試作ヒッチフレームに耕うんロータリを装着し約47分間の耕うん作業を実施した結果、フレームのガタつきやPTO駆動軸の振動は認められなかった。また、ヒッチフレームの各構造部材の変形や破損も認められなかったことから、試作ヒッチフレームが一定の強度を有することが分かった。
- 3) 試作ヒッチフレームを装着した耕うんロータリの着脱時間は、日農工標準オートヒッチを装着した場合に対して、装着時に14%、取外し時に37%短縮された。トラクタから下車することなくロックを含む着脱を行えることから、有人用途への適用も可能と考えられた。

以上、自動着脱に適したヒッチフレームを設計製作して、作業機の自動装着・取外しが可能であることを確認した。

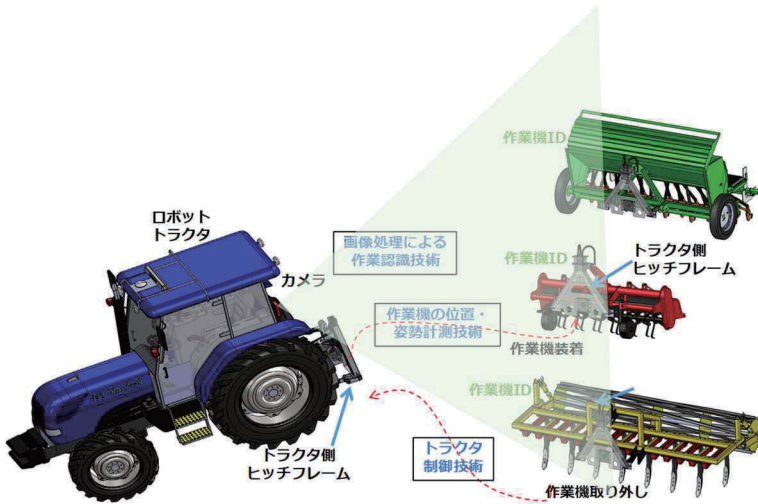


図1 作業機着脱の自動化の構想図



図3 作業機の着脱試験の様子

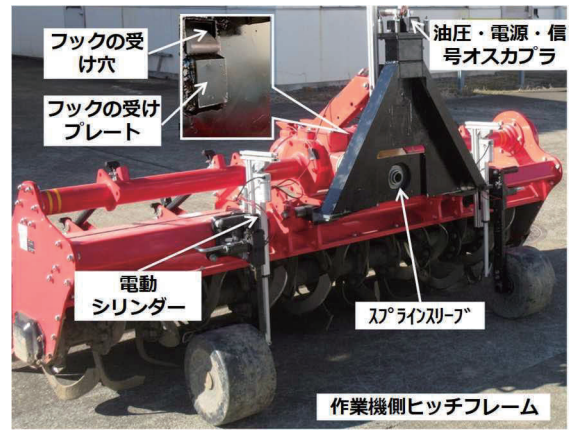
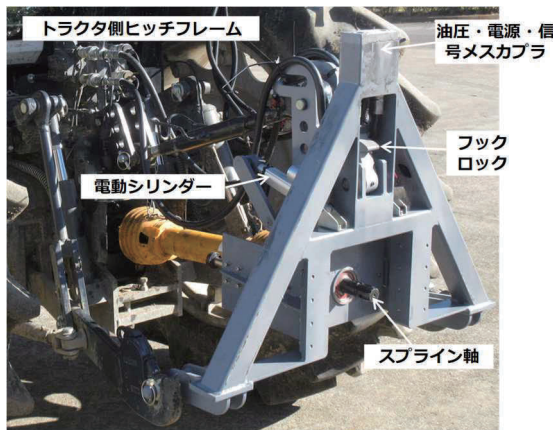


図2 試作した開発機の概要

表 自動着脱用ヒッチフレームの主な仕様

項目	トラクタ側フレーム	作業機側フレーム
外形寸法 W×H×D(mm)	955×741×400	866×823×261
質量 (kg)	70	54
適用3点ヒッチ機構のサイズ	カテゴリ I・II 兼用	ローワーヒッチ幅 764mm トップヒッチ長さ可変
PTO	オス、電動式 (スプライン軸)	メス(スプラインスリーブ) 作業機 PIC と連結)
電源回路カプラ (最大許容電流)	ソケット×4極 (70A および 25A)	プラグ×4極 (70A および 25A)
信号回路カプラ	ソケット×5極	プラグ×5極
油圧カプラ	メス 3/8 インチ×2 系統	オス 3/8 インチ×2 系統
フレームロック方式	電動式フックロック	受け穴とプレート

4. 成果の活用面と留意点

農業食料工学会 (2021. 9) で発表予定。作業機着脱の自動化技術の開発に資する。

5. 残された問題とその対応

各農作業とトラクタ航法精度への適応性の確認などが必要である。

課題分類：3 (3)

課題ID：1060101-04-09*20

研究課題：畑野菜の高精度除草技術の開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度土地利用型作業ユニット

協力分担：

予算区分：交付金

研究期間：完 2018～2020 年度 (平成 30～令和 2 年度)

1. 目的

畑野菜作の主要な作物であるキャベツを対象に、作物と雑草の識別に AI を利用した画像認識手法を用いることにより、通常の機械除草では取りこぼしの多い株間、株元の雑草を従来に比べ精度良く自動的に除去するための要素技術を開発する。

2. 方法

- 1) 深層学習を用いた画像認識による作物検出技術を開発するため、市販の運搬台車にカメラ (SONY 製、FDR-X3000) を設置し、対象作物 (キャベツ) の近傍を撮影、画像データを収集した。また、収集した画像データから作物画像と画像中の作物位置情報とで構成されるデータセットを作成し、物体検出アルゴリズム (Single Shot MultiBox Detector (SSD)) を用いて事前に撮影した動画中の作物検出を行った。(2018年度)。
- 2) キャベツ画像データの収集、データセットの作成を進めるとともに、物体検出アルゴリズム (YOLOv3) を用いて事前に撮影した動画中の作物検出を行った。また、雑草除去機構について検討を行うとともに、それを搭載して動作確認するための運搬車の改造を行った。(2019年度)。
- 3) これまでに収集したキャベツの画像データを利用して作物株の中心位置を認識する技術の開発を進めるとともに、認識結果に基づき、作物を避けながら雑草の除去を行う機械式の雑草除去機構を製作した。また、所内のキャベツほ場 (品種：おきな、畝幅：60cm、畝高さ：約13cm、株間：40cm) において、雑草除去機構の動作確認を実施した (2020年度)。

3. 結果の概要

- 1) 撮影した動画から静止画像を切り出し、その中から選抜した画像について、画像内の作物位置情報のラベル付けを行い、学習用のデータセット (約 3,000 セット) を作成した。学習は既存の学習済みモデルを転移学習する方法で行った。作物上方から撮影した画像のデータセットを用いてキャベツ株を学習させた結果を用いてキャベツを撮影した動画中の作物検出 (図 2) を行ったところ、キャベツ以外のものを誤ってキャベツと認識してしまう場合もあったが、約 20fps の処理速度でキャベツを漏れなく検出でき、作物検出の一手法として利用できる可能性があることが明らかとなった。
- 2) これまでに収集した画像データを用いてデータセット (3,000 セット) を作成し、物体検出アルゴリズム YOLOv3 の学習済みモデルの転移学習により、作物及び作物中心を検出するモデルを作成した (表、図 1)。10,000 回の学習を実行し、作物中心の検出精度は平均適合率 99% で、作物及び作物中心の検出精度は mAP 98% という結果であった (図 2)。また、雑草除去機構については、市販のタイン式除草ユニットを利用して株間に能動的に作用させる構造とし、市販の電動運搬車 (Makita 製、CU180DZ) に搭載して動作確認を行えるようにするための試作やキャベツの栽培様式に適用するための改造を行った。
- 3) 雑草除去機構は、作物認識用のカメラ、ノート PC、タイン式の除草ユニット、除草機駆動用の電動シリンダ、モバイルバッテリー等から成り、市販の電動運搬車に搭載して動作確認を行うことができる。開発した機構は、主にカメラ、ノート PC で構成される作物認識部とその結果に応じて除草ユニットを動作させる動作部で構成される。カメラ画像からノート PC の物体検出アルゴリズムが作物の中心位置を認識するとリレーを介してシリンダが動作して除草ユニットが作物を避けるように左右に開く構造とした。開発した機構を所内キャベツほ場で試験した結果、カメラからの認識結果に応じて雑草除去機構が動作することを確認した (図 4)。

以上、カメラ画像による作物認識結果に応じて、株間の雑草を除去する機構を開発し、ほ場においてその動作を確認した。

表 開発環境

OS	Windows10 Home 64bit
CPU	Intel (R) Core(TM) i7-7700HQ 2.8Ghz
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1070
メモリ	32GB
ライブラリ等	CUDA, cuDNN, OpenCV等
フレームワーク	Darknet(Visual Studio 2015)
物体検出アルゴリズム	YOLOv3



図1 作物及び作物中心の検出 (例)

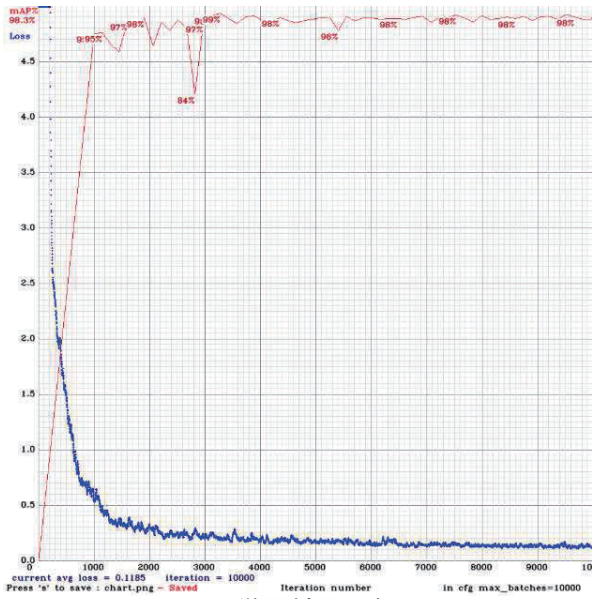


図2 学習結果 (例)

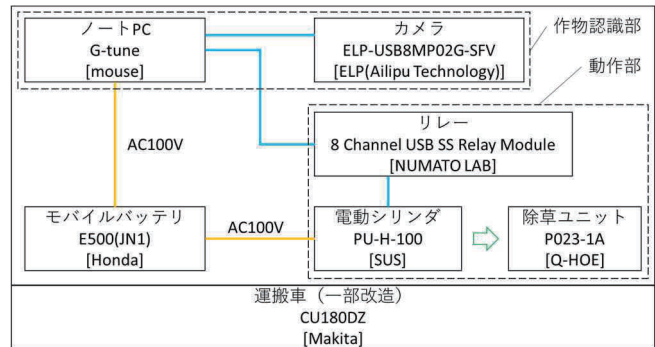


図3 雑草除去機構の装置構成

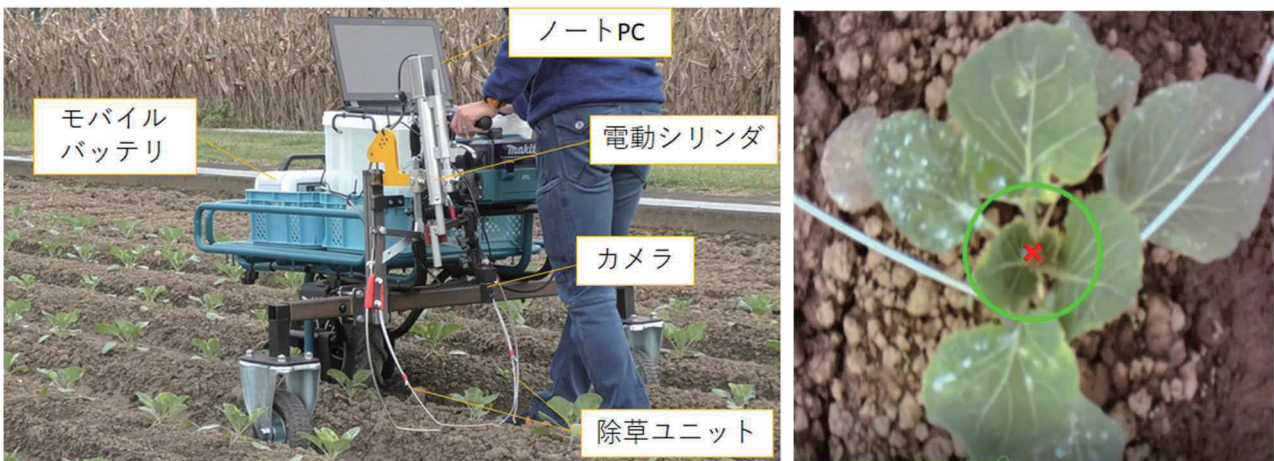


図4 雑草除去機構 (左) と作物中心の認識結果 (例) (右)

4. 成果の活用面と留意点

今後の研究において、得られた知見を活用する予定。

5. 残された問題とその対応

使用環境に応じてデータ収集を行い、学習モデルの最適化を図る必要がある。

課題分類：7（1）

課題ID：1060101-04-10*20

研究課題：マッピング技術に基づく栽培情報の評価・適用技術の開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度土地利用型作業ユニット

協力分担：ヤンマーアグリ(株)

予算区分：交付金、資金提供型共同研究

研究期間：完2018～2019～2020年度（平成30～令和1～2年度）

1. 目的

収量コンバインを中心とした収穫情報のマッピング技術を開発し、収量マップ等に基づく可変施肥を行って水田輪作体系乾田直播栽培の収量性向上とコスト低減を実証した。本研究課題では、国内の水稲栽培の主流である移植体系を対象として、収量マップやNDVIマップ等の情報に基づく可変施肥を実現し、栽培情報を評価するために必要な技術開発を行う。

2. 方法

- 1) 田植機の側条施肥部でマップベースの可変施肥を行うための可変施肥プログラムを試作した。
- 2) 新潟、福島、北海道、鹿児島の水稲移植体系の試験地において、前年の収量マップあるいはNDVIマップに基づく田植え同時可変施肥作業を行い、施肥量精度等を確認した。また、生育(NDVI)および収量データを取得し、可変施肥の効果等を確認した。(2018～2020年度)
- 3) コンバインのキャビン上部にレーザ距離センサを搭載し、収穫作業中の稲までの距離を計測することで倒伏程度の推定が可能か検証した。また、ドローン画像による写真測量による倒伏程度の推定の可能性を併せて検証した。(2019～2020年度)

3. 結果の概要

- 1) 試作した可変施肥プログラム(図1)は、ISOBUSで定義される可変作業用のマップ形式の1つであるグリッド形式の施肥マップに対応し、田植機の速度と肥料の落下時間等を考慮して施肥マップを先読みして施肥量を算出する機能を備える。田植機車両とはCAN通信により車速情報や緯度経度情報を受信し、算出した施肥量指示値を送信する。側条施肥田植機に試作可変施肥プログラムを導入して各実証試験地における可変施肥作業を実施し、正常に機能することを確認した。
- 2) 現地試験では、前年にドローンによるリモセンで取得したNDVIマップあるいは収量コンバインで取得した収量マップに基づき、各マップのNDVIや収量の低い部分を増肥し、高い部分を減肥する基本方針により施肥マップを作成した。作成した施肥マップを用いて試作可変施肥プログラムを接続した田植機で移植同時可変施肥作業を行い、施肥マップに従った施肥量変更が正確に行えることを確認した(図2、3)。生育期間中のドローンリモセンによるNDVI計測や、収穫時の収量調査や倒伏程度調査を実施し可変施肥の効果を検証したところ、生育期間中のNDVIのバラツキについては可変施肥により改善する傾向が確認され、NDVIマップに基づく可変施肥の改善傾向が高かった(図4)。収量については、全試験区においては増収する地域がある一方で、甚だしい倒伏等により全試験区で減収する地域がある結果となり、一貫した傾向は得られなかった。
- 3) レーザ距離センサのスキャンデータから稲のある部分を抽出した高さには、稈長(地際から穂首までの長さ)と立毛角から算出した稲の高さとの相関が認められ、レーザ距離センサにより倒伏程度の把握が可能と考えられた(図5、6)。計測値はコンバインのこぎ深さ制御値から推定した草丈情報と比較することにより倒伏程度マップを作製することができた(図7)。ドローン画像による写真測量は、風で稲が揺れている場合に精度が低下する懸念があるものの、十分に風速の低い条件では、レーザ距離センサと同様の結果を得ることができた。

以上、水稲移植体系において収量マップやNDVIマップ等の情報に基づく可変施肥を実施し、評価する技術を開発するとともに、現地試験により可変施肥導入の効果を確認した。

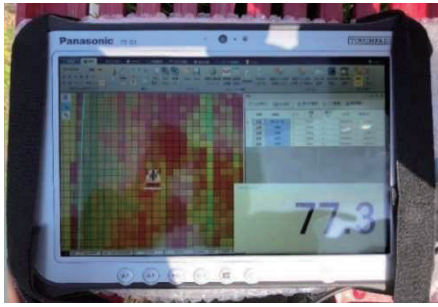


図1 試作可変施肥プログラム



図2 可変施肥作業

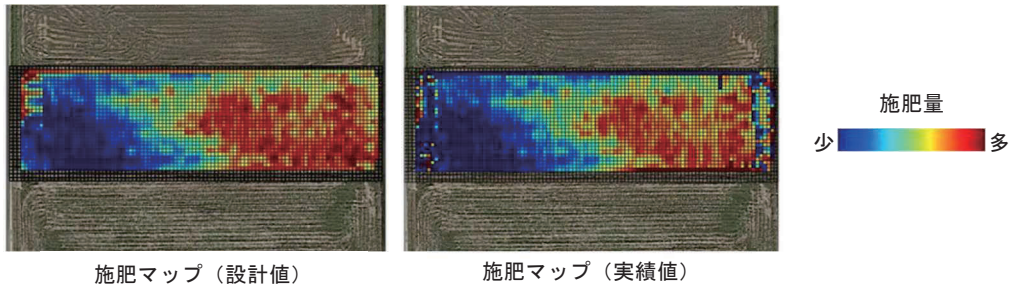


図3 試作可変施肥プログラムによる施肥の結果

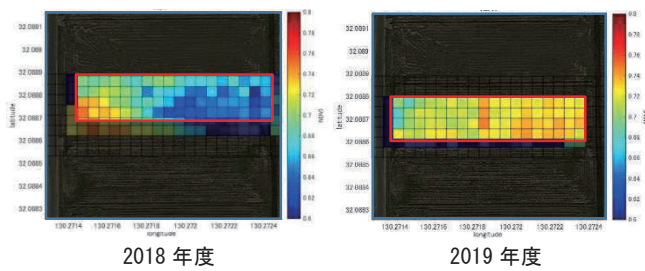


図4 可変施肥圃場における幼穂形成期のNDVIの変化の例



図5 レーザ距離センサを搭載したコンバインによる収穫作業

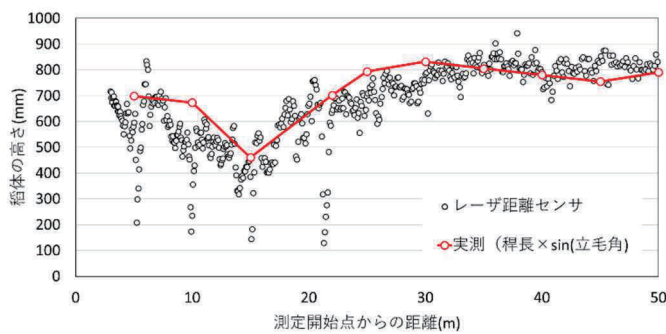


図6 稲の高さの計測結果

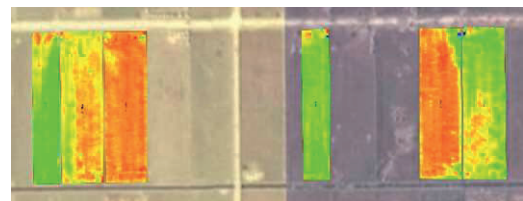


図7 倒伏程度マップの例

4. 成果の活用面と留意点

本研究課題の推進と併せて実施した収量マップ生成に関する技術移転により、ヤンマーアグリ(株)のコンバインの新機種に対応した収量マップ生成サービスが開始された。可変施肥関連特許1件出願(予定)。

5. 残された問題とその対応

本研究課題の実施範囲において、マッピング技術(可変施肥)が収量等に与える影響には解明できていない部分が残った。施肥量だけではなく気象等の要因を考慮した検討が必要と考えられる。

課題分類：12 (1)

課題ID：1060101-04-08*20

研究課題：ロボットコンバインによる無人収穫システムの開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度土地利用型作業ユニット

協力分担：井関農機(株)

予算区分：交付金、理事裁量経費、資金提供型共同研究

研究期間：完2017～2020年度（平成29年～令和2年度）

1. 目的

超省力・高生産なスマート農業の実現にむけ、ITやロボット技術等の革新的技術の導入による高速かつ高精度な無人収穫作業を実現するロボットコンバインシステムを開発する。

2. 方法

- 1) ロボットコンバインによる自動収穫に必要な要素技術の検討を行い、市販の自脱型コンバインをベースとするロボットコンバインを試作した(図1)(2019年度)。
- 2) 自動収穫に必要な経路計画、直進走行制御、旋回走行制御および刈取部高さ制御を行う統合収穫システムを開発、改良した(図2)(2019～2020年度)。
- 3) 乾田および湿田で試作ロボットコンバインと統合収穫システムを用いた稲の無人収穫実験を行い、性能を確認した(2020年度)。

3. 結果の概要

- 1) 試作したロボットコンバインは、市販の6条自脱型コンバイン(井関農機HJ6123)をベースとした。GNSSコンパスを搭載して車両の位置及び方位情報を取得するとともに、CAN BUSを介して自動収穫のために必要な情報(速度、操舵角、刈取部高さ)を取得し、10Hzの間隔で車両の制御を行う。また、ほ場の土壌条件の変化に依らず安定した走行と旋回を実現することを目的に、左右クローラの回転比が数値制御可能な駆動部を新たに試作、搭載した。
- 2) 統合収穫システムは、Microsoft Windowsの.NET Framework上で動作するプログラムで、CAN BUSを介して20Hzの通信周期で車両およびセンシングデバイスとデータの送受信を行う。PID制御をベースとした直進走行制御、旋回走行制御(α ターン、横刈ターン)、刈取部高さ制御、経路計画等のロボットコンバインによる自動収穫に必要な機能を有し、グレンタンクの穀物貯留量に応じた穀物排出のための移動と、作業への復帰のための走行も自動で行うことができる。統合収穫システムによる作業は、次の手順により実施される。① 事前に計測したほ場の境界点(4点)とコンバインの作業幅および作業オーバーラップ情報を用いてスパイラル型の目標経路を生成する。② 目標経路に基づいて収穫および直進走行制御を行う。③ 目標経路の終点に到達すると次の目標経路の始点と方向に基づく旋回走行制御を行う。④ グレンタンクの穀物貯留量が75%以上の場合、コンバインは穀物の排出のために事前設定した場所に後進移動し一時停止する。排出操作は作業者が手動で行い、排出完了後に作業再開を指示するとコンバインは次の目標経路の作業始点に復帰し収穫作業を再開する。⑤ 全ての目標経路の作業を終えるまで②～④を繰り返し実行する。
- 3) 革新研の附属農場において試験用に水管理を変更して調製した湿田(含水比：91.4%、面積：0.3ha)および乾田(含水比：47.1%、面積：1ha)条件のほ場にて自動収穫作業試験を実施し試作したロボットコンバインの性能を評価した。直進走行制御の精度(目標経路に対する偏差のRMSE)は、乾田で0.6～2.0m/s、湿田で0.6～1.2m/sの速度範囲で0.02～0.03mとなり、刈残しのない安定した作業が可能であった。また、数値制御可能な駆動部に対応し左右クローラを常に駆動する旋回走行制御を行うことにより、湿田条件においても円滑な旋回が可能であることを確認した(図3)。
以上、試作したロボットコンバインと統合収穫システムから無人収穫作業を実現し、ほ場の土壌条件(乾田、湿田)の違いによらず無人収穫が可能であることを確認した。

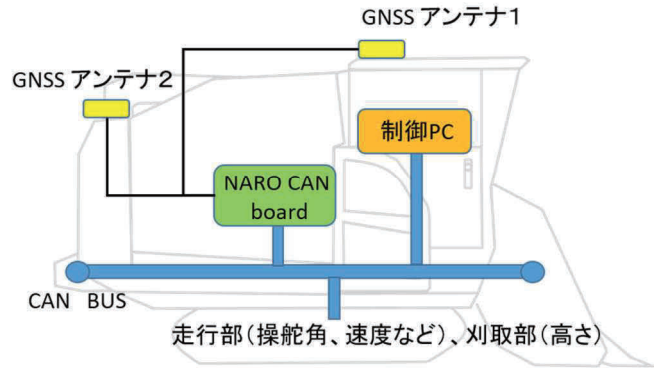


図1 ロボットコンバイン（左）およびハードウェア構成図（右）

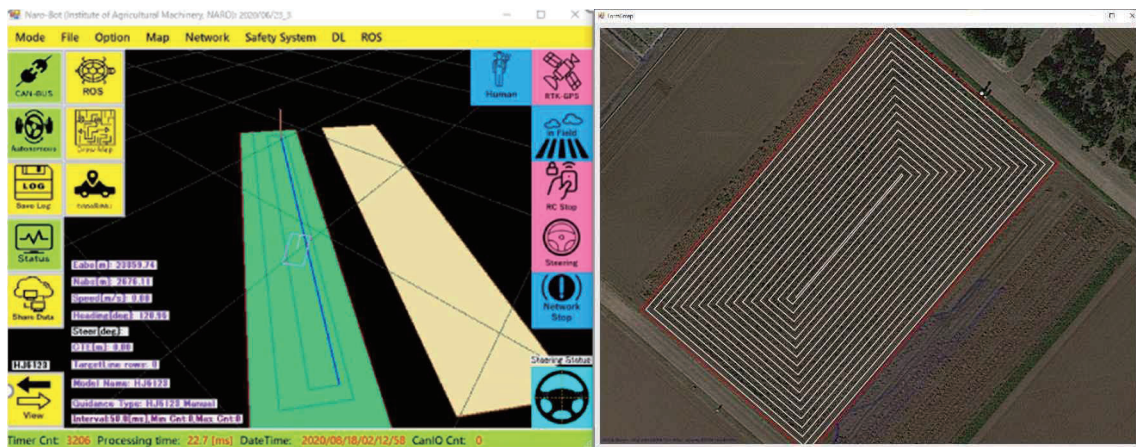


図2 統合収穫システムのGUI

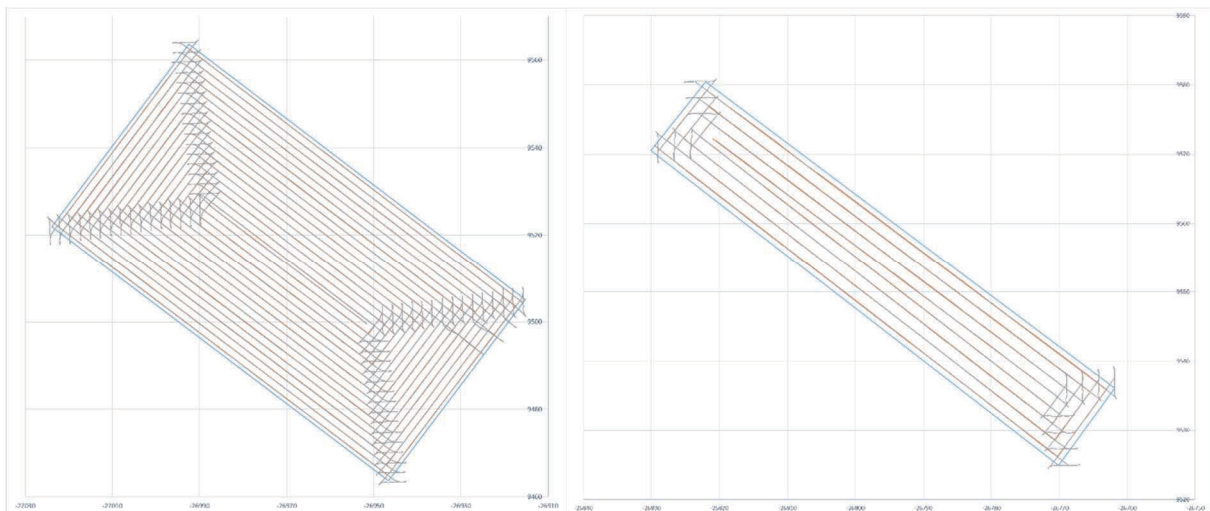


図3 自動収穫の実験結果（左：乾田、右：湿田）

4. 成果の活用面と留意点

ロボットコンバインの走行制御技術として活用が可能である。

5. 残された問題とその対応

現在のロボットコンバインには作物の倒伏を検知する機能がないため、倒伏に対応した作業速度や走行経路の選択ができない。倒伏の検出手段や倒伏に対応した作業方法の確立が必要である。

課題分類：6(4)

課題ID：1060102-01-04*20

研究課題：ロボットを利用した施設園芸ハンドリング・管理作業省力化技術の開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度施設型作業ユニット

協力分担：野菜花き研究部門

予算区分：交付金

研究期間：完 2018～2020 年度（平成30～令和2年度）

1. 目的

トマトなどの大規模施設園芸では、人件費が経費全体の3～5割と多く占めるため、人手作業の省力化が望まれている。そこで、本研究は人手と作業時間を要する選果作業の省力化を目指し、コンテナに積まれた収穫後のトマト果実を1個ずつ取り出し、選果機に供給するハンドリングロボット技術の開発を目的とした。

2. 方法

- 1) 密接状態で複数果実が入ったコンテナから1個ずつトマト果実を自動で取り出すためのハンドリングロボット基礎実験装置を試作した(図1)。主に、グローバルセンサ、ローカルセンサ、6自由度多関節ロボット、6指ハンドで構成される。グローバルセンサ、ローカルセンサともに色彩画像と距離画像を取得できる。ハンドのフィンガ部分は6指がそれぞれ板バネと圧縮バネで構成され、果実に損傷を与えない機構(損傷回避機構)を有する。フィンガ3指を一对として電動シリンダで対向してスライドさせ、把持する。
- 2) ハンドの性能を確認するため、グローバルセンサにより把持対象果実位置を検出し、自動でロボットに把持・取り出しをさせる把持試験を行い、損傷発生率と把持成功率を調べた。コンテナの中の果実を1段積みにした状態で実験を行った。
- 3) グローバルセンサによる精度不足を補完するため、ローカルセンサを用いた画像センシングプログラムを試作し、供試果実数を54個とし、コンテナ内で2段積みされた果実を対象として認識実験を行った。ロボットの制御には①個別トマトのラベリング、②果実直径(最大径)のセンシングを行う必要がある。このためのセンシング手法として、ハフ変換(図2)と分水嶺法(図3)の認識精度やロボットへの適応性を比較検討した。画像処理において1個の果実として認識可能であった果実数割合を認識率(%)とした。認識した画像のうち、実際の最大径に対して認識した直径の比(%)の平均を直径一致率とした。供試果実を最大径により3段階に分類し、実験結果を整理した。上段を取り除いて認識実験を行い、下段認識率、直径一致率を求めた。

3. 結果の概要

- 1) 実験の結果、48回の動作のうち、トマトを損傷させた回数は1回、トマトを把持することができなかった把持ミスの回数は7回となり、損傷率は2%、把持成功率は85%であった。把持成功率は向上させる必要があると考えられた。ハンドがセンシングによる誤差を吸収できない場合、損傷発生や把持ミスが生じたので、ローカルセンサによる検出が必要と考えられた。
- 2) ローカルセンサによる実験の結果、ハフ変換では果実径68～80mmで上段果実の認識率43%と低かったが、他の場合の認識率は87%以上であった(表)。認識率が低かった場合は、実験が自然光の条件下であり、明度の勾配が緩やかだったため、輪郭の検出ができなかったと考えられる。分水嶺法では、上段果実の認識率が23～62%と低かった。要因は、画像の二値化において、上段、下段の果実の輪郭が区別できなかったためであると考えられる。直径一致率はハフ変換の方が高い傾向があった。

以上、大規模施設園芸の選果における果実ハンドリング作業の省力化を目指し、ハンドリングロボットに必要な技術の基礎的開発を行った。



図1 ハンドリングロボット基礎実験装置

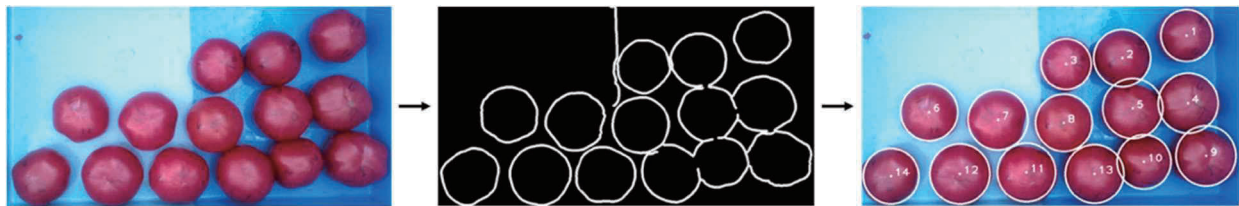


図2 ハーフ変換を用いたセンシング



図3 分水嶺法を用いたセンシング

表 センシング実験結果

	ハーフ変換			分水嶺法		
	～68	68～80	80～	～68	68～80	80～
供試果実径(mm)	～68	68～80	80～	～68	68～80	80～
上段認識率(%)	87	43	97	62	37	23
上段直径一致率(%)	89	92	89	56	63	74
下段認識率(%)	98	100	99	100	100	94
下段直径一致率(%)	93	93	91	94	95	94

4. 成果の活用面と留意点

農業食料工学会関東支部で発表。農業情報学会で発表予定。選果作業の省力化のための機器開発に寄与する。

5. 残された問題とその対応

さらに精度の高い情報を得るためのセンシング技術の検討や、高精度把持のためのハンド形状・構造、状況に応じた把持アルゴリズムを実装する必要がある。

課題分類：1 2 (4)

課題 I D：1060102-02-04*20

研究課題：時系列画像や別視点の画像を利用し隠れて見えない対象を検出する画像モニタリング手法

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度施設型作業ユニット

協力分担：なし

予算区分：科研費

研究期間：完 2017～2020 年度 (2017～2019 年度) (平成 29～令和 2 年度 (平成 29～令和元年度))

1. 目的

栽培労務管理の効率化に向けた農作業の自動化や作物生育情報の把握のための基本技術として、栽培作物の花や果実などを精度良く認識することが求められる。対象物の認識精度を高めるには、単体の撮影画像だけで解析処理をするのではなく、さまざまな視点から撮影された画像やこれまでの時間推移を記録した画像などを加味することが有用である。

そこで本研究では、特に施設園芸作物(イチゴ・トマト)を対象に、別視点の画像や時系列の画像を取得することで対象物が葉や茎などで隠れてしまう場合でも認識できるモニタリング手法を提案し、そのための移動計測システムの開発や長期作物計測システムの開発を行う。また、取得・蓄積した画像から関連する複数の画像を組み合わせ解析処理する手法についても検討する。

2. 方法

- 1) 農業センサネットワーク技術を活用し、栽培環境下で長期に安定して作物の時系列画像データを高精細に取得できる画像計測システムを開発する。
- 2) 様々な視点から画像を取得することで対象物の死角をなくす、移動計測システムを開発するとともに、これを無人・長期に運用するための管理システムを開発を行う。
- 3) 上記で取得される時系列画像や別視点の画像を利用した解析処理を行うにあたり、画像間の関連性を効率的に引き出せるメタデータを設計する。また、これを利用して目的の対象物を効果的に検出・推定する手法について検討する。

3. 結果の概要

- 1) 高精細な時系列画像データを安定して簡単に取得できるよう、デジタル1眼レフカメラを制御する専用回路を実装した画像計測システムを開発した(図1)。これにより、撮影間隔の制御やインターネットを経由した画像の取得、複数台での同期撮影などを実現した。またバッテリー駆動でも長期運用が行えるよう省エネ制御を実装し、従来の1/30の電力で駆動が可能となった。
- 2) 移動計測システムとして温湯管レール上を電動で移動できる台車を開発し、これを長期に安定して自動計測させるための充電ユニット、計測制御ユニット、遠隔管理ユニットなどの要素技術を開発した(図2)。またこれらを栽培ハウス内で動作させ、3か月以上無人で栽培作物の生育画像を取得できることを確認した。
- 3) 施設環境下で栽培される作物(トマト・イチゴ)の生育画像を蓄積し、同じ対象物(花・果実)が写り込んでいると推定される別の画像(同場所で別時刻の画像、同時刻の近隣の画像など)を検出できるメタデータを付与するプログラムを作成した。またこの情報を利用することで、単体画像では認識できなかった対象物(成長に伴い形態が変化するもの、障害物で見え隠れするもの)を検出・推定できることを確認した(図3)。

以上、施設園芸作物における花や果実などの対象物を検出するための画像計測手法について検討した。

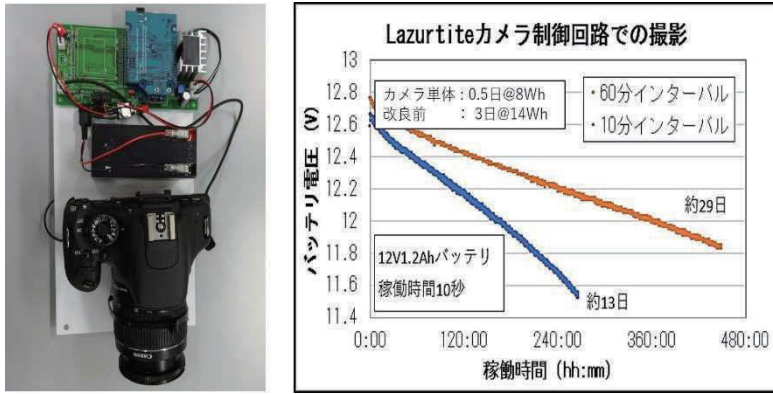


図1 開発した画像計測システム

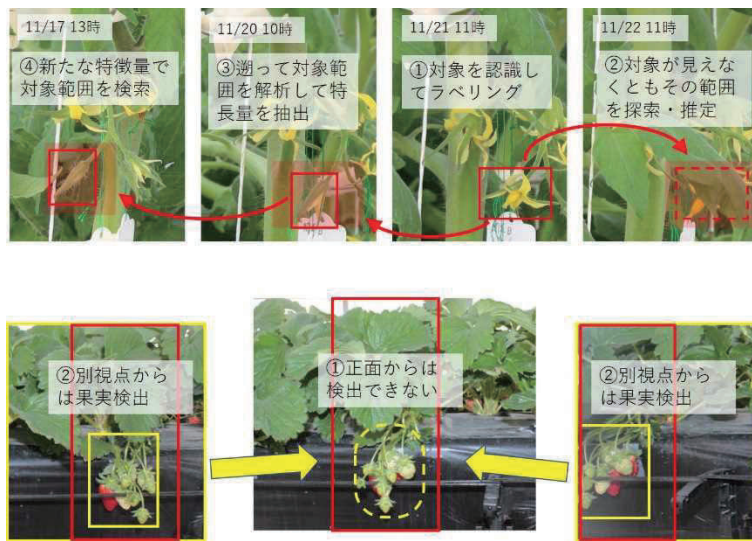


図3 時間軸・空間軸を関連させた対象の検出・推定

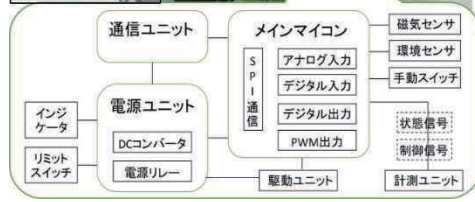
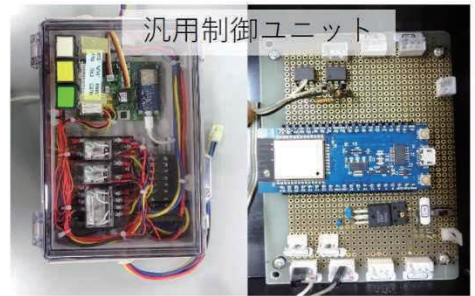
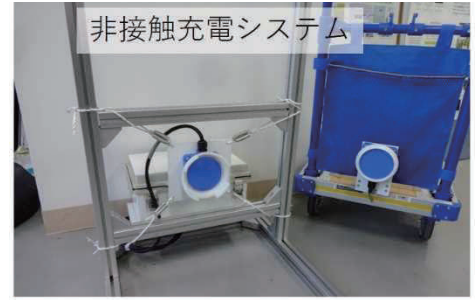


図2 開発した移動計測要素技術

4. 成果の活用面と留意点

本研究で開発された移動計測システムに伴う要素技術に関しては、データ駆動型施設・園芸生産システムや無人栽培管理システムなどを開発するうえでの基盤技術として活用が見込まれる。また本研究の成果については、2021年度の農業情報学会などで発表予定であり、あわせて論文を投稿する予定である。

5. 残された課題とその対応

開発した要素技術に関しては、普及に向けた改良や実証試験が必要となる。また移動計測システムに関する課題の一部は現在日本学術振興会・科研費に応募しており、そこで引き続き対応する予定である。

課題分類：12(4)

課題 I D：1060102-02-07*20

研究課題：新規作物導入を伴う通い農業支援・営農促進モデルの提示

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度施設型作業ユニット

協力分担：東北研、果茶研、宮城大、福島農総セ

予算区分：先端プロ

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

福島の震災被災後の営農再開地域では、農地集積による大規模水稻生産法人のほか風評被害の懸念の少ないハウス農家を中心に営農再開している。生産者の管理するハウスが複数箇所に分散する場合や、居住地より遠く離れた場所にあり「通い農業」を行っている場合は、各ハウスの状況を確認することは大変な作業となっている。ハウス遠隔監視システムは市販品があるものの、育苗期間など一年のうちの短期間で利用するには高価であるため、既存のハウスに一時的に使用でき、安価かつ簡易に自作できるシステムが求められる。そこで、多数生産され流通している Wi-Fi 機能付きマイコン、小型パソコン (Raspberry Pi)、格安 SIM を使用したモバイル Wi-Fi ルータを組み合わせ、ハウス温度等の遠隔監視を実現する「簡便・安価なハウス遠隔監視システム (通い農業支援システム)」を構築する。システムの作成方法は東北農研・営農再開グループがとりまとめ公開する。

革新工学センターでは東北農研と連携して通い農業支援システムを構築しつつ、新たに画像通知機能追加に取り組む。そして、画像通知機能を活用して、風評被害の懸念が少ない新規導入作物の候補である香酸柑橘を対象に、越冬時の画像遠隔監視技術を開発する。

2. 方法

- 1) カメラ付マイコンを活用した画像通知機能を構築し、通い農業支援システムに実装した。
- 2) 画像通知機能付き通い農業支援システムを福島県内実証農家に導入し、導入コストを試算した。
- 3) 農研機構果樹研究部門で実施した香酸柑橘越冬試験に画像通知機能付き通い農業支援システムを供試し、画像から低温障害の被害状況を評価するプログラムを開発した。

3. 結果の概要

- 1) 画像通知機能を追加した通い農業支援システムの概要を示す (図 1)。画像取得に、カメラ付きマイコン (M5Camera) を使用した。M5Camera のマイコン上で、定期的に写真を撮影し、WebAPI を介してオンラインストレージ (Google Drive) に画像をアップロードするプログラムを作成した。一時保存された画像は、RaspberryPi 上で定期実行される画像通知プログラムにより必要な分析を行い、メッセージアプリ (LINE) を通じて生産者へ通知される。
 - 2) 福島県内の越冬香酸柑橘、イチゴ育苗、タマネギ育苗を対象に、画像通知機能付き通い農業支援システムを導入した。生産者の香酸柑橘、タマネギは画像のみを、東北農研の香酸柑橘とイチゴについては画像と植被率を通知した (図 2)。約 2～4 か月間の試験期間中、供給電圧の低下したカメラや性能が劣るルータで画像の一部が正常に転送されない事例を除き、概ね画像通知は正常に稼働した。通い農業支援システムへの画像通知機能追加に必要な材料費を試算した (表)。
 - 3) 新規導入候補作物である香酸柑橘を対象に、低温障害の被害状況を評価する 2 つのプログラムを開発した。開発した植被率通知プログラムを用いて、ポッド柑橘樹体の落葉や新梢伸長の発生状況を評価した (図 3a)。また、葉色判定通知プログラムを用いて、インキュベーター内で低温遭遇後の葉の退色過程を評価した (図 3b)。
- 以上、通い農業支援システムに画像通知機能を追加し、画像による柑橘の低温障害自動評価技術を検討した。

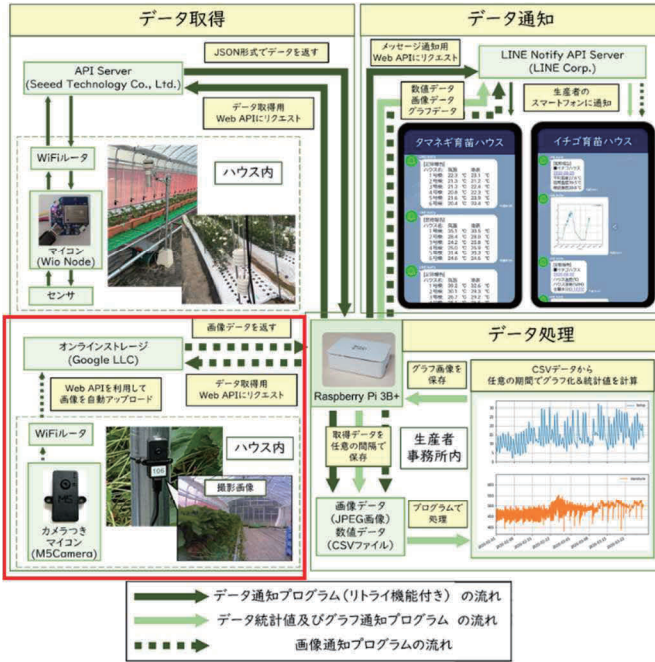


図1 通い農業支援システムの概要
(赤枠内及び緑色破線部が開発した画像通知機能)

表 通い農業支援システム（温度通知）に
画像通知機能を追加する際の材料費

	1棟	3棟
通い農業支援システム（温度通知）合計※1	¥18,910	¥26,430
マイコン（Wio Node）	1,300	3,600
防水温度センサ	1,000	3,000
電源用USBケーブル	110	330
USB延長ケーブル	500	1,500
100W電源延長コード他	5,000	15,000
USB ACアダプタ	1,000	3,000
モバイルWi-Fiルータ	5,000	
Raspberry Pi 3B+ ※2	5,000	
通い農業支援システム（画像通知追加）合計※3	¥3,600	¥10,800
マイコン付きカメラ※4	2,100	6,300
USB延長ケーブル	500	1,500
USB ACアダプタ	1,000	3,000

※1 別途、約1,000円/月の通信料金（3GB/月のプランを想定）がかかる。
 ※2 キーボードやマウス、ケース等、Raspberry Pi 周辺機器は含まない。
 ※3 Wifi ルータ、Raspberry Pi は温度通知システムとの併用を想定。
 ※4 ハウスにカメラ1台を設置する場合を想定。

4. 成果の活用面と留意点

- 1) 東北農研が作成した通い農業支援システムのマニュアル（PDF形式）は農研機構ウェブサイトから公開予定である。
- 2) 本システムは低コストでハウス遠隔監視を実現するものであるが、市販品のように長期間利用するには一定の知識・技術を必要とする。このため、10万円程度の市販品を購入する前に安価に試したい生産者や、育苗ハウスなど通年使用ではなく一時的に設置したい生産者、本システムを参考に自身でシステムを構築したい生産者の利用を主に想定している。
- 3) 利用者がRaspberry Piのプログラムを書き換えることで、他の画像分析にも利用可能である。

5. 残された問題とその対応

- 1) システムの普及拡大に向けて、GUIによる画像分析設定画面が必要である。
- 2) 生産者の画像分析ニーズ調査と、汎用性の高い画像分析プログラムの整備が必要である。



図2 画像通知機能付き通い農業支援システムの
福島県内設置状況

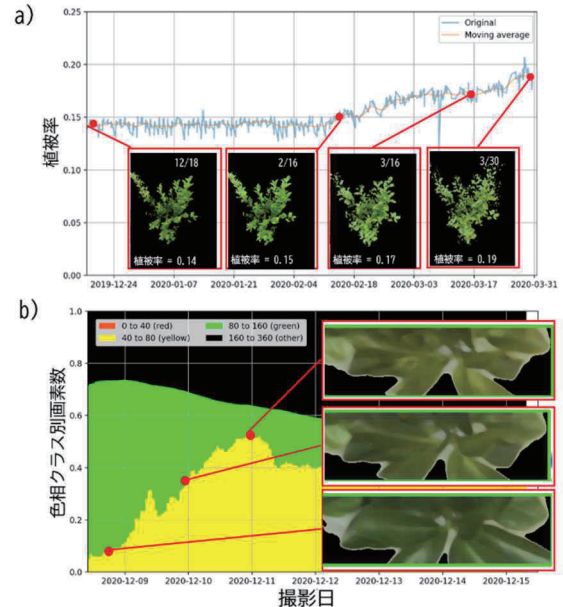


図3 香酸柑橘越冬性評価試験への活用例
(a: 同一株の植破率変化、b: 同一葉の葉色評価)

課題分類：7（9）

課題 I D：1060103-01-06*20

研究課題：多圃場営農管理情報プラットフォームの実証と機能向上

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：

予算区分：交付金

研究期間：完 2016～2020 年度（平成 28～令和 2 年度）

1. 目的

ICT 等を活用した農業生産技術の開発において、効率的な営農管理と作物収量向上を支援するため、気象データを利用する生育予測モデルや病虫害発生予察モデルが利用されている。これらのモデルは、気象データを取得し、有効積算気温等の条件を満たすまで繰り返し処理を行い、結果を出力するというような共通した流れで実行される。これらの共通したプログラムを農業モデル開発用フレームワーク（Java Agricultural Model Framework: JAMF）として開発する。そして、JAMF を利用して、昆虫世代予測システムの Web アプリケーションや、太陽熱土壌消毒のための積算地温達成度判断用スマホアプリを開発する。

2. 方法

- 1) 農業モデルに共通する気象データ取得、時系列データ処理機能を、農業モデル開発用フレームワーク JAMF として開発する。
- 2) 昆虫世代予測を行うモデルを、JAMF を利用して Web API を備えた Web アプリケーションとして実装する。また、農業環境技術研究所資料（桐谷）の種ごとに定められた発育零点と有効積算温度等のパラメータを収録することにより、多くの昆虫に対応できるようにする。
- 3) 太陽熱土壌消毒の達成度表示機能を、JAMF を利用してスマホアプリとして実装する。

3. 結果の概要

- 1) JAMF の気象データ取得機能は、アメダスとメッシュ農業気象データに対応させた。また、気象データや農業モデル実行結果の時系列データを格納し、様々な形式（CSV、XML、JSON、Excel ブック、グラフ画像等）で出力するための機能を実装した。また、JAMF を利用するためのドキュメントを作成した。
- 2) トビイロウンカの防除適期予測を行うための昆虫世代予測モデルを、JAMF を利用して実装した。他の昆虫で世代予測を行えるように、農業環境技術研究所資料（桐谷）の種ごとに定められたパラメータ（200 種、466 パラメータ）を収録し、Web API を備えた Web アプリケーション（図 1）として実装した（サーバの制限により機構内限定）。これを WAGRI API として公開するための準備を進めた。さらに、API を普及させるため、昆虫世代予測の機能の有用性を実感できる、外部でも実行可能なスマホアプリ（図 2）を開発した。
- 3) 太陽熱土壌消毒の達成度を計算するスマホアプリ「陽熱プラス」の Android 版（図 3 左）を、JAMF を利用して実装した。実測地温は T&D 社のデータロガーおんどとりで計測し、アップロード先のクラウドサービス Web Storage から、予測期間の地温はメッシュ農業気象データから気象データ予報値を取得し、あらかじめ定めた推定式で求めた。現地実証を行い、要望等に基づき機能を追加するとともに、iPhone 版（図 3 右）の開発を行った。

以上、農業モデルを Web アプリケーションやスマホアプリとして実装するためのフレームワーク JAMF を開発した。それを用いて、昆虫世代予測や太陽熱土壌消毒の社会実装を進めるための Web アプリケーションやスマホアプリを開発し、WAGRI API 化や現地実証試験を行った。



図1 昆虫世代予測システム Web アプリケーション



図2 昆虫世代予測アプリ Android版
メイン画面(左)とパラメータ設定画面(右)



図3 太陽熱土壌消毒達成度予測スマホアプリ「陽熱プラス」: Android版(左)とiPhone版(右)

4. 成果の活用面と留意点

- ・JAMFは、開発された農業モデルをWebアプリケーションやスマホアプリとして実装するための基盤技術である。
- ・JAMF: 農研機構研究報告(2019.4)、職務作成プログラム(2018.12)、研究成果情報(2020.3)
- ・昆虫世代: 九州病害虫研究会報(2019.11)、普及成果情報(2020.3)、農業食料工学会誌(2020.9)、職務作成プログラム(2020.10)
- ・太陽熱: 特許出願(2019.1)、職務作成プログラム(2019.3)、農業情報研究に投稿予定

5. 残された問題とその対応

昆虫世代予測WAGRI APIの公開と、その普及に向けた取り組みを行う。

課題分類：1 2 (2)

課題 I D：1060103-01-07*20

研究課題：移動性害虫の侵入警戒・モニタリング技術の開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：佐賀農試、佐賀大、九州研、秋田農試、青森防除所、河南省農科院、南京農大

予算区分：交付金

研究期間：完 2016 年度～2020 年度（平成 28～令和 2 年度）

1. 目的

ハスモンヨトウは移動分散性が高く広食性を示すが、西南暖地の夏に播種された大豆では、8 月中旬頃から 9 月にかけて幼虫が葉を食害する。しかしフェロモントラップの誘殺数ピークが被害より遅れて出現することがあり、また先行する誘殺数ピークを起点として有効積算温度から推定される 1 世代後の時期に虫が発生し被害が現れるとは限らない。そのため現場での防除のタイミングは、圃場での被害葉の初期発生を観察して決定されている。そこで本研究は、植物保護の現場に必要な農業情報のひとつとして害虫の分散侵入情報に注目し、サーチライトトラップなどを用いて虫の分散侵入実態を把握し、圃場でのダイズ被害との関係を明らかにすることで、新しい害虫被害の発生予察手法を開発することを目的とする。またヤガ類のアワヨトウは長距離移動性で発生源である中国から多量に飛来し、イネ科の作物である牧草、トウモロコシ、イネなどに被害を引き起こすことがある。飛来が予測できれば適期に防除が可能となり被害が軽減できる。そこで本種について飛来実態の解明を行う。

2. 方法

- 1) 佐賀市の夏季のダイズ産地で 2016 から 2018 年にサーチライトトラップ、フェロモントラップを用いてハスモンヨトウの分散モニタリングを行った。サーチライトトラップは 8 月から毎日 19 時から 24 時まで 1000W のランプを鉛直上方に点灯させ、誘殺した。また近傍のダイズ圃場で 8-10 月に毎週月、水、金曜日に 1000 株の全葉を見取り、孵化した 1 齢幼虫による被害葉数を調査し、モニタリング結果と比較した。
- 2) アワヨトウについて、2017 年 6-7 月の中国地方の多発生データ、および青森県、秋田県の糖蜜トラップによる 1990 年から 2017 年までの誘殺データを用いて誘殺日、トラップ地点を起点とした後退流跡線を計算し、飛来源を推定した。またトラップされたアワヨトウの翅や体の同位体を調べて、飛来実態を考察した。

3. 結果の概要

- 1) ダイズを対象としてサーチライトトラップ（図 1）を用いたハスモンヨトウのモニタリング手法を開発し、誘殺数のピークが 5.3 日だけ被害葉数のピークに先行して出現すること（図 2）、誘殺数の積算値と被害葉数の積算値が線形の関係があることを確認した（令和 2 年度研究成果情報）。また梅雨時期の強い雨の時でもサーチライトトラップを用いて主要な移動性害虫の飛来がモニタリングできることを確認した。
- 2) 昆虫レーダによるヤガ類の飛翔モニタリングを行った結果、ヤガ類は日没後飛び立ち、30 分程度の短い時間に 1000m 付近まで上昇し盛んに分散していることが分かった。
- 3) 2017 年の中国地方の事例では飛来源は中国地方東部が推定された（図 3、4）。北日本の事例解析では主要な飛来源と推定されてきた中国東部の他、中国東北部、西日本などが推定され、国内分散も示唆された。



図1 サーチライトトラップの外観

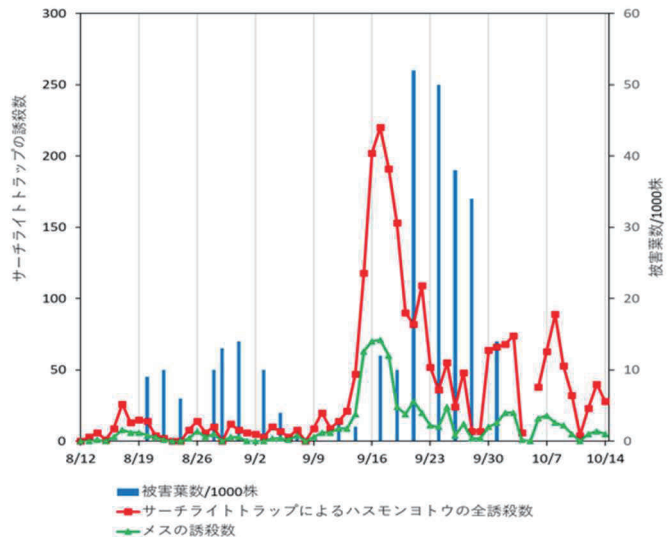


図2 サーチライトトラップ誘殺数とダイズ被害葉数

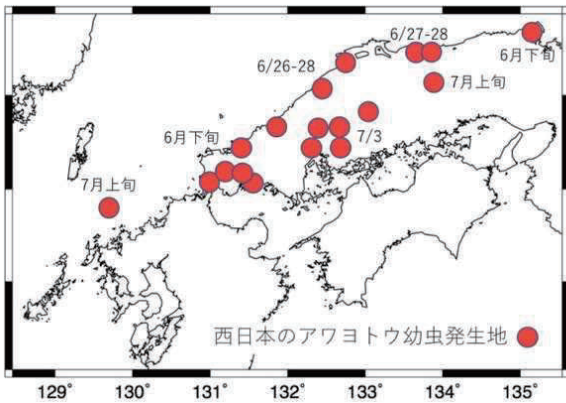


図3 2017年のアワヨトウの発生

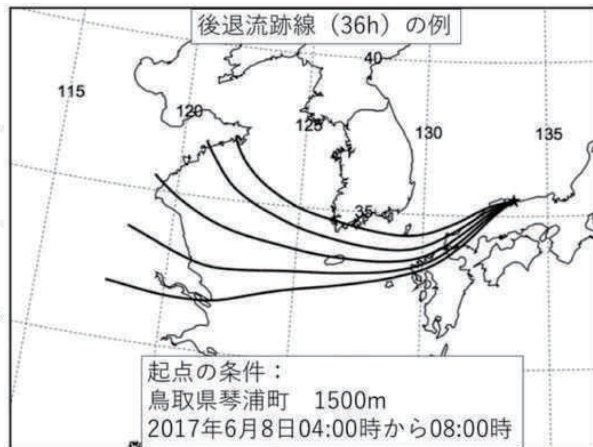


図4 中国東部からの飛来を示唆する流跡線解析結果

4. 成果の活用面と留意点

サーチライトトラップを用いたモニタリング手法は新しい予察手法の基礎的データを提供する。この研究は手法開発の初期の試験として1地点3年次の調査を行った結果である。そのため数十kmスケールの産地全体を効果的にモニタリングするための必要な調査地点数の解明、簡便なサンプル分別方法の開発など、今後社会実装に向けた課題を検討する必要がある。

昆虫レーダの知見はヤガ類の飛来予測手法の開発において飛翔モデリングに役立てられる。

『Insects』(2020.7), 『Journal of Applied Entomology』(2019.8), 『植物防疫』(2019.7), 『九州病害虫研究会報』(2019.11), 『Journal of Applied Entomology』(2018.12), 日本応用動物昆虫学会誌(2018.2), 『Pest Management Science』(2017.9)に掲載。

5. 残された課題とその対応

北日本で5-6月に発生するアワヨトウは海外飛来と国内分散の両方を視野に入れて今後越冬調査、同位体分析などを進めていく必要がある。これらは次期中長期計画の中で実施する。

課題分類：12(2)

課題ID：1060103-01-08*20

研究課題：リスクマネジメントシステムの開発実証

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：野花研、北農研、九農研、西農研、ビジョンテック、日立造船、アカデミックエクスプレス、イーサポートリンク、アグリコミュニケーションズ、熊本県、JA 鹿追町、JA とびあ浜松、JA 尾鈴、鈴生、ベジアーツ、住化ファーム茨城、ユニオンファーム、つくば良農、農業支援センター

予算区分：交付金、SIP

研究期間：完 2016 年度～2020 年度（平成 28～令和 2 年度）

1. 目的

農業現場では GAP（適正な農業の実践、農業生産工程管理）の普及が進められている。本研究では、経営的損失につながる様々な事故や違反の可能性を「リスク」と考え、農業現場における効果的なリスク低減のため、継続的な改善活動を支援するリスクアセスメントシステムを開発する。また、生産管理システムにリスクマネジメント手法や生育予測・診断技術を組み合わせた生産リスクマネジメントシステムを開発するとともに、農業現場での実用化に向けて実証試験を行う。

2. 方法

- 1) 農業現場におけるリスク低減のための改善活動を支援する「農業現場リスクアセスメントシステム」のツール集を開発し、それらを利用した改善活動実施マニュアルを整備する。また、府県の普及機関、GAP 認証取得支援団体や、農業生産法人等と協力して、本システムの実証試験、評価を行い、システムの利便性などを改良する。（2016～2018 年度）
- 2) 既往の生産計画・履歴管理システムに生育予測・診断技術を組み合わせることで、欠品等の契約不履行、不足分の市場調達、収穫ロス、販売機会ロスなどのリスクを低減する「生産リスクマネジメントシステム」を開発する。さらに、「農業データ連携基盤(WAGRI)」の活用によるデータ連携を前提に、露地野菜を対象としてシステムを改良するとともに、ICT 企業等と共同開発中の「キャベツ・レタス精密出荷予測システム」と機能連携させる。（2018～2020 年度）
- 3) 加工業務用キャベツ、レタスの契約取引を行っている生産者・出荷団体と中間流通業者を主な対象として、上記の精密出荷予測システムの現地実証試験を行う。（2020 年度）

3. 結果の概要

- 1) 「農業現場リスクアセスメントシステム」について、リスク評価表と改善策データベースの統合によるリスクアセスメントツール（図1）を中心としたツール集と、改善活動実施マニュアルを整備し、ツールを職務作成プログラム登録（機構 S-19）してシステムを公表した。また、GAP 認証取得支援を行っている NPO 法人農業支援センター（土浦市）や農業生産法人等と協力して、本システムの実証試験、評価を行い、システムの利便性などを改良した。
- 2) 露地野菜における生産リスクマネジメントシステムのロジックに相当する作付計画と出荷計画の自動作成方法を開発し（図1）、精密出荷予測システムの機能として一部取り入れた。これらのロジックについては、2020 年度中に特許出願する予定。また、主にキャベツを対象として、ドローン等による作付圃場画像からの投影葉面積データ取得を前提に、気象予報データ、生育シミュレーションモデルとの併用による生育予測方法を開発した（2020 年特許出願済み）。
- 3) キャベツ・レタス精密出荷予測システムの現地実証試験、評価を行った、生育モデルによる予測精度を確認するとともに、実用サービス化に向けてシステムの機能を改良、整備した。

課題分類：12(2)

課題ID：1060103-01-09*20

研究課題：携帯型GPSデータ利用による有用生産工程システムの開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：農業情報研究センター

予算区分：交付金

研究期間：完2016年度～2020年度(平成28～令和2年度)

1. 目的

近年、大規模経営体が地域の重要な担い手になっており、数100筆に及ぶほ場に対して適期に作業を行うとともに各圃場の作業時間や移動時間も含めた作業経過の記録・解析を行うことにより作業の最適化を図る必要がある。こうした多筆ほ場を効率的に管理するために、GIS互換のほ場地図を使用して農作業の視覚的な情報管理を実現するアプリケーションが普及の緒についている。そこで、複数台の農業機械を運用する大規模経営体を対象に、実作業者の負担にならない自動かつ正確な記録手法とそれに対応した解析手法の一環で、携帯型GPSのデータを利用してほ場ごとの作業開始時刻、終了時刻等の有用情報を自動で抽出する手法を開発する。

2. 方法

1) 携帯型GPSデータ利用による有用生産工程システムの開発

供試した「GPSロガー」は、USBコネクタからの電源入力に応じて自動的に位置情報の記録開始・終了を行い、汎用GPS受信機とmicroSDカード記録基板を組み合わせ、SMAコネクタを備えたGPSアンテナを接続できる。対象機械の稼働状況と連動した電源(トラクタのシガーソケット)の配線と受信状態が良好な位置にアンテナを設置することで、作業期間中のデータが自動的に記録される。地図上でのデータ表示には作業計画・管理支援システム(以下、「PMS」)を用い、上記GPSデータを利用してほ場ごとの作業開始時刻、および終了時刻を自動抽出するツールを開発した。

2) 航空写真からのほ場図自動変換

ほ場の航空写真(ドローン画像含む)と当該ポリゴン画像をもとに、深層学習を用いた画像変換モデルを構築した。1日の農作業に紐付けられたGPSデータ(以下、作業軌跡)から多点多角形の包絡線を計算し、ポリゴン化することで1日の作業ほ場画像を作成した。地図の自動生成に用いられるGAN(Generative Adversarial Nets: 敵対的生成ネットワーク)のうちpix2pixにより、GISソフト「ArcGIS」(ESRI社)を用いてGPSデータから対応するほ場の特定方法を検討した。

3. 結果の概要

1) 「PMS」が備える地図表示機能を介して、記録された作業軌跡の入力・表示・解析を行うとともにほ場の特定が可能となる。本ソフトの導入から運用までの手順(図1)において、特にほ場地図作成の段階で、入手した元データに応じて必要な前処理を行う必要がある。作業軌跡のXYグラフ表示と対応する速度グラフから、マウス等を利用した操作によりほ場の入退出の地点を特定し、開始・終了時刻として固有名称を付加した「イベント」として記録・呼び出しをすることにより、対象とする機械のほ場作業量やほ場間移動量が算出できる。

2) pix2pixを用いて、航空写真とポリゴンのペア画像から画像間の関係を学習し画像を生成する予測モデルと、生成された画像が偽画像かどうか判定する判定器を競わせあうことで、その関係を反映したペア画像の生成を試みた(図2)。すなわち条件ベクトルの代わりに条件画像を使用し、画像から画像への変換問題を扱った。しかしながら、作付けほ場を仕切る畦畔は抽出されるものの裸地ほ場における畦畔は識別困難であり、作付け前の明確なほ場画像作成に至らなかった。

以上、携帯型GPSのデータを利用してほ場ごとの作業開始・終了時刻等情報の自動抽出を試みたが、裸地ほ場の筆ポリゴン抽出は困難で、上記手法の前処理段階で農地区画情報の提供には至らなかった。

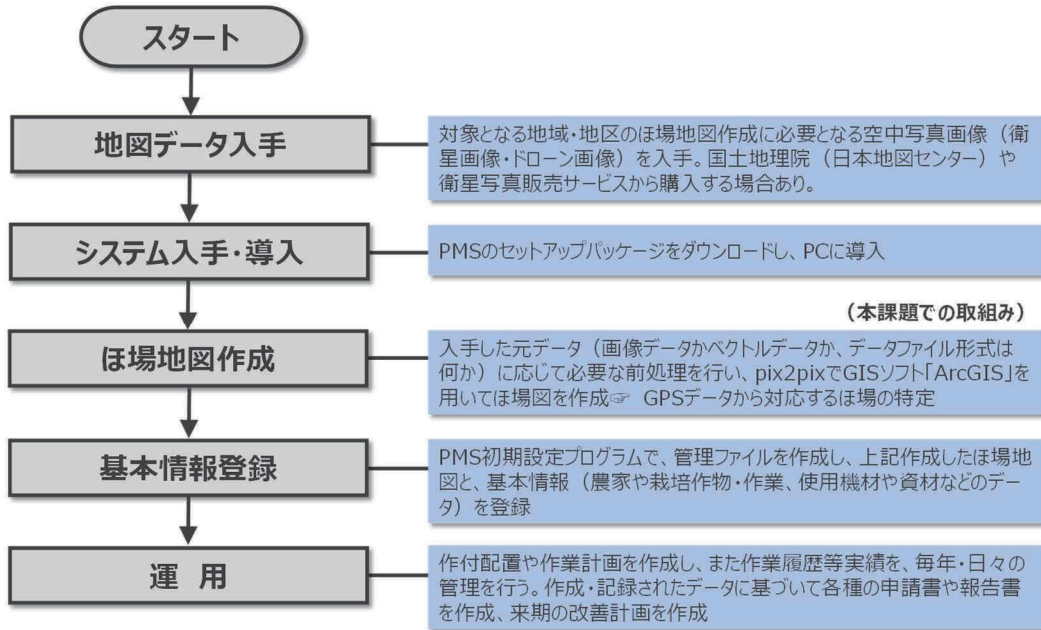


図1 作業計画・管理システム「PMS」の導入～運用までの手順イメージ



図2 pix2pix 適用結果

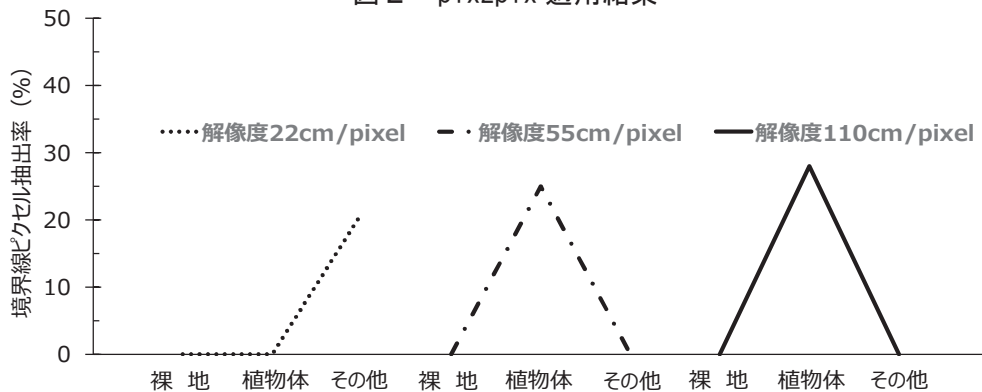


図3 解像度による境界線ピクセル抽出率の変化

4. 成果の活用と留意点

農地の区画情報（筆ポリゴン）の作成に当たって、衛星画像を使用する場合は解像度：50cm、測地系：世界測地系、座標系：平面直角座標系が望ましく、また利用においてはシェープファイルが扱える地理情報システム（GISソフト）と背景図を用意することが望ましい。

5. 残された課題とその対応

学習用データの数を増やしつつ、空中写真と供試画像の年代が合致した誤りの少ない学習データを用いることで分類精度の向上が見込まれる。また、全ての過程を深層学習で完結するのではなく、分類結果の不確実性を出力する等、目視による確認が必要な箇所を明確にする仕組みも重要である。

課題分類：14(9)

課題ID：1060103-02-10*20

研究課題：農業用語標準化に向けた概念体系の構築

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：国立情報学研究所、農林水産省、農情研

予算区分：交付金、SIP

研究期間：完 2016 年度～2020 年度（平成 28～令和 2 年度）

1. 目的

データを連携し活用するためには、お互いのシステムでデータの読み書きや交換ができることに加えて情報の基準となる共通語彙が必要となる。さらにコンピュータが適切にデータ処理するためにはデータの意味が明確でなければならない。そこで、データ連携の基準や、データの意味を考慮した解析に利用するため、用語の意味を定義する共通農業語彙（**Common Agriculture Vocabulary**、CAVOC）を構築公開する。また、CAVOCを用いたサービスを提供し、その利用場面を提案する。

2. 方法

内閣官房が優先的に標準化に取り組むべきと提言した農作業名、農作物名を対象とした。政府発行の統計文書、学術団体発行の用語集、営農管理システムに登録された生産者の利用語彙、国際的農業標準語彙である AGROVOC の語彙を調査するとともに、生産者、農業 IT システムのベンダー、行政機関、JA などの関連団体、研究者への聞き取り調査を行い、重要語の選定とその定義方針を決定した。また、ステークホルダーへの聞き取り調査の結果に基づき、CAVOC 構築後の検証、サービス開発を行った。

3. 結果の概要

- 1) 聞き取り調査の結果を踏まえ、CAVOC の構築、サービス開発を行った。CAVOC は、栽培履歴データに頻出する農作業名が対象の農作業基本オントロジー（**Agricultural Activity Ontology**、AAO）、農薬情報に頻出する農作物名が対象の農作物語彙体系（**Crop Vocabulary**、CVO）から成る。
- 2) AAO は農作業概念（用語）を属性とその属性値で定義したものである（図 1）。イネ・野菜・果樹などの主要作物で利用される農作業概念を 482 含み、概念ごとに別名、英名の情報を持つ。
- 3) CVO は、農薬適用基準や残留農薬基準が指定された食用農作物を対象とする語彙体系である。CVO に含まれる農作物の多くは、植物学的分類に基づいた名称であるが（図 1 “キュウリ（総称）”）、一部は部位などの属性で分類された集合名である（図 1 “キュウリ（葉）”）。CVO は、農薬基準にある 1,514 の農作物を含み、農作物ごとに別名、英名、学名の情報を持つ。
- 4) CAVOC は内閣官房が優先的使用を推奨した用語リスト（ガイドライン）などの政府発行語彙、国際的語彙（AGROVOC、NCBI Taxonomy）と連携しており、CAVOC を基準とした相互参照が可能である。
- 5) CAVOC は、公開サイトで閲覧できる（<http://cavoc.org/>）。機械可読で再利用可能な形式（csv、RDF 等）で提供するデータは、既存の農業 ICT システムへの導入が容易である。また、公開サイトからは、CAVOC の別名から農作物名を検索しガイドラインリストなどの標準語彙を返すサービス等を提供する。
- 6) 公開済みの CAVOC 基盤の語彙抽出・変換 API 等を活用して、農業経営統計調査の効率化システムを開発するため、農林水産省と技術連携を進めた。本 API は、労働時間算出時のデータクレンジングや集計項目への仕分けに CAVOC のデータを活用するものである（図 2）。
- 7) CVO は育種データの統合化のため、作物名の共通語彙として利用されている。

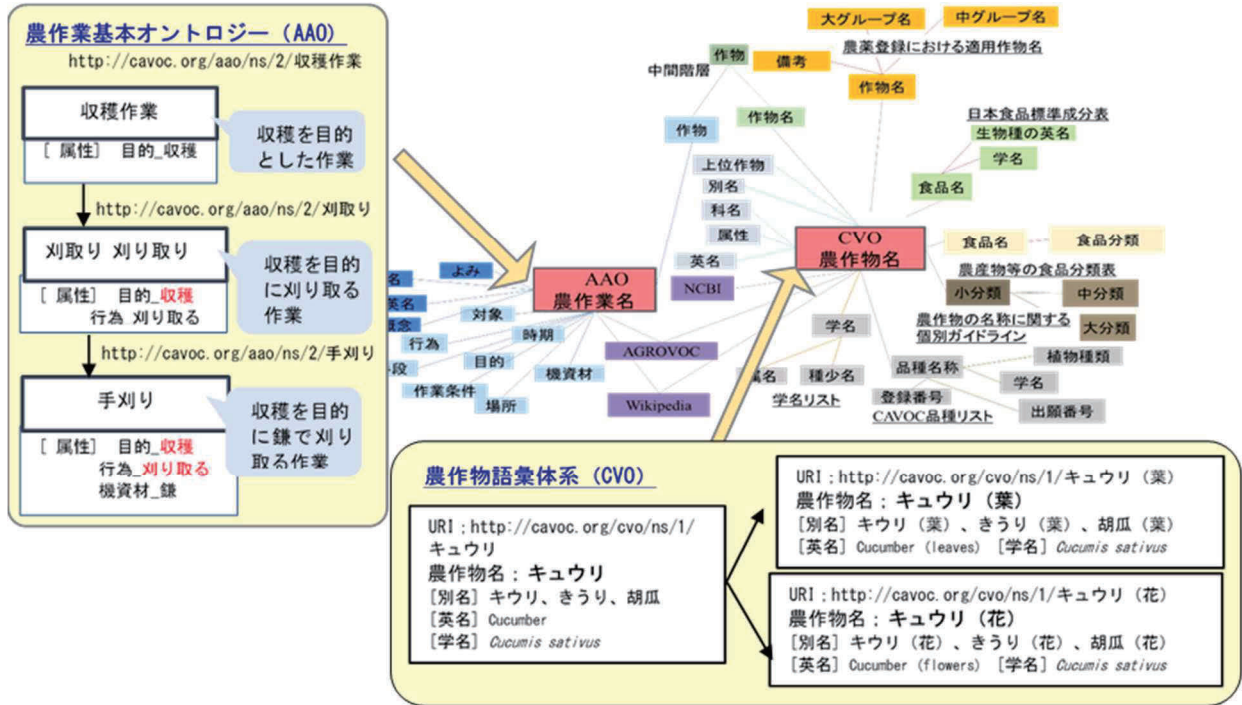
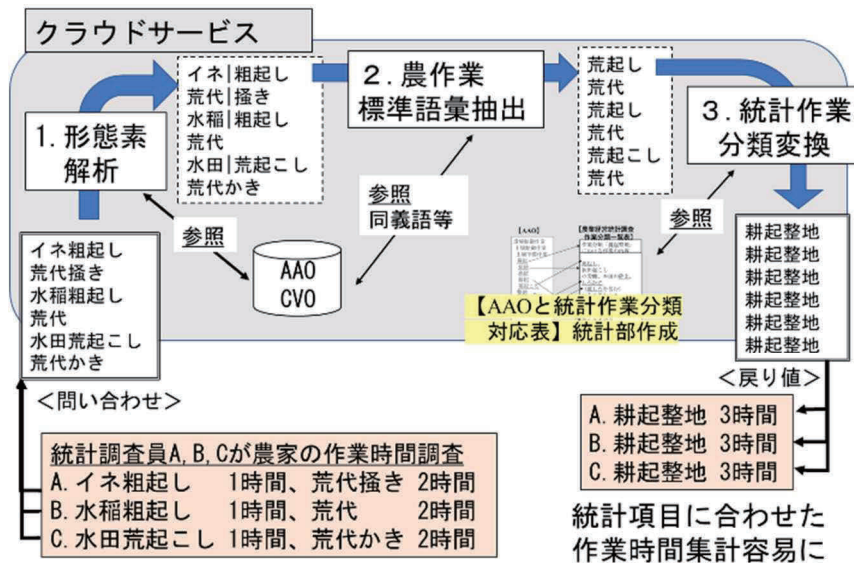


図1. 共通農業語彙（農作業基本オントロジー、農作物語彙体系）と連携する語彙



Excel マクロを用いて問い合わせると 1) 単語単位に切り出し（形態素解析）、
2) 農作業標準名の抽出、3) 統計作業分類に変換した値を返すサービス

図2 農作業基本オントロジーを利用した農業経営統計調査効率化ツールのイメージ

4. 成果の活用面と留意点

データの統合利用に資する、CAVOC を基盤とした語彙抽出・変換 API を、農業経営統計調査におけるデータ処理に活用し、その効率化を目指す。今年度に引き続き、次年度も農林水産省と連携して成果の社会実装化に努める。

5. 残された課題とその対応

共通農業語彙の安定運用のため、来年度、共通農業語彙を国立情報学研究所が管理するサーバーから農研機構サーバーに移行予定である。

課題分類：14 (9)

課題ID：1060103-02-11*20

研究課題：農作業基本オントロジーを活用した音声認識機能を用いた作業記録作成システムの開発

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：

予算区分：交付金

研究期間：完 2019～2020 年度（平成 31 年度～令和 2 年度）

1. 目的

近年、作業進捗管理や効率的な圃場管理のために、現場で忘れないうちに記録を作成することが重要となっており、現地で簡便に使用できる農作業記録ツールの開発が行われ、音声認識機能を用いたシステム開発の試みもなされている。しかし、音声認識機能を使用するには、話者にとって自然な発話を認識しなければならないため、同義語（例：「移植」と「田植え」）辞書を事前に用意する必要があった。

そこで、農作業基本オントロジーを中核とした同義語辞書作成ツールと同義語辞書を組み入れた音声認識機能を持つ作業記録作成ツールを開発する。

2. 方法

- 1) 音声認識機能を用いた農作業記録作成ツールのプロトタイプを開発する。本ツールは、研究のための作業時間の精密な記録の作成を依頼する際に使用するものとし、対象作業はトマトの施設栽培とする。
- 2) 試験運用を行って、意見聴取を行った者に本ツールを試験的に使用してもらい、意見聴取を行い、指摘を受けた点について改善する。
- 3) 農作業基本オントロジーが更新されるたびに本システムの語彙を更新する機能を開発する。具体的には、オントロジーサイトからデータをダウンロードし、語彙データを抽出し、音声認識サーバにデータをアップロードする。

3. 結果の概要

- 1) 「(作業場所を示す数字) 番で (時刻) から (作業) を開始」「(時刻) に終了」の発話を認識し、記録する Android 用音声認識記録作成ツールを開発した。開発環境には Cordova を使用し、音声認識サーバに NTT テクノクロス社の SpeechRec を使用した (図 1)。
- 2) 2020 年 9 月 30 日に岩手県農業研究センターの協力で試験運用を行い、同センターの研究職員から意見を聴取した。施設園芸等のように各作業が短時間で終わる細かい作業で使えると考えるが、農作業記録システムと連携でいるようにする必要があるとの指摘を受けた。また、使い勝手の面で指摘を受け、改訂した。さらに、作成した記録をパソコン上の Excel で扱えるようにする必要があるとの指摘を受けたので、これに対応するために、Android 端末からファイルを取り込み、CSV 形式で保存するツールを開発した (図 2、図 3)。
- 3) Python 3 で動作する、農作業基本オントロジーサイトのウェブページを解析して、全ての語彙データをダウンロードする機能を開発した。また、農作業基本オントロジーを元にしたタブ区切りファイルをアップロードする機能を持つ語彙更新アップローダを開発した。

以上、Android で動作する音声認識機能を用いた農作業記録作成ツールのプロトタイプを開発し、試験運用を行って意見聴取を行い、ツールの改善を行った。また、農作業基本オントロジーのデータをダウンロードし、農業用語語彙を音声認識サーバにアップロードするツールを開発した。

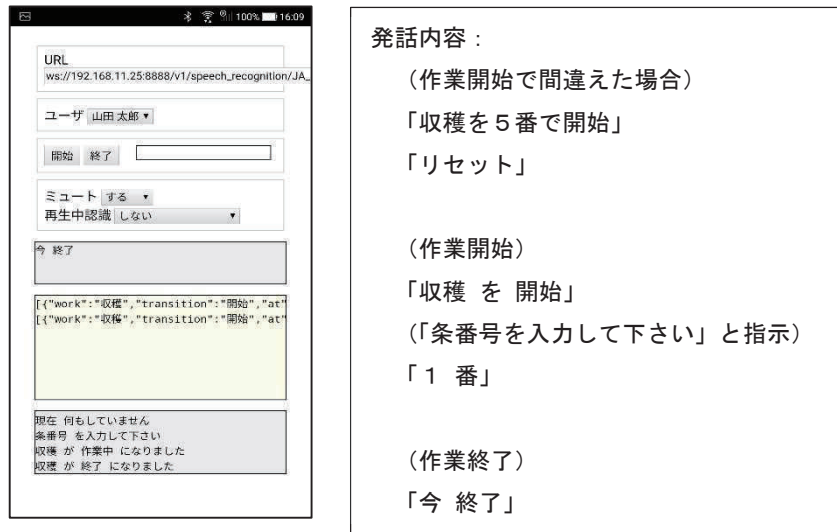


図1 発話内容例とツール実行例



図2 インポートツール

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	作業名	ユーザ	収穫開始 操作時刻	入力時刻	条番号	収穫終了 操作時刻	入力時刻	収穫リセット 操作時刻	入力時刻
2	収穫	山田 太郎	2020/12/7 12:12		5			2020/12/7 12:12	
3	収穫	山田 太郎	2020/12/7 12:12		1	2020/12/7 12:12	12:12:17		

注：「入力時刻」が無い場合は、「収穫開始 操作時刻」等の記録作成時刻を使用する

図3 インポートしたデータを Excel で表示した様子

4. 成果の活用と留意点

- ・ 農業情報学会 2020 年度年次大会で発表
- ・ 職務作成プログラム「音声認識機能を使用した農作業記録作成ツール」(仮)を提出予定。「農作業名・作物名抽出・正規化サービス」を登録。

5. 残された問題とその対応

本ツールの実用化には、現在広く使われている農作業記録システムとの連携と、実用化を担当する企業を見つける必要がある。今後のスマート農業の動向を注視しつつ、必要に応じて実施していきたい。

課題分類：12(2)

課題ID：1060103-02-01*20

研究課題：フィールドセンシング時系列データを主体とした農業ビッグデータの構築と新知見の発見

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：北農研、農環研、東北研、東京大、筑波大

予算区分：交付金、CREST

研究期間：完 2015～2020年度（平成27～令和2年度）

1. 目的

受託プロジェクトでは、取得した農業現場の環境情報や作物生育情報（農業ビッグデータ）を活用して栽培・育種研究における有用情報の抽出や科学的知見の発見を目指している。このプロジェクトをはじめ、次世代スマート農業においては深層学習を利用したシステムが重要な鍵であり、そのベースとなる農業ビッグデータをいかに構築するかが重要な課題である。

そこで本研究では、農業ビッグデータを簡便かつ実践的に構築するためのフィールドセンシング基盤技術として、収集のためのハードウェア開発・データ取得のための運用技術・蓄積したデータを利用するための管理支援技術について検討する。

2. 方法

- 1) センサネットワーク技術を活用し、環境情報（センサ）や作物生育情報（画像）を安価で簡便に取得して農業ビッグデータを構築できる計測システムの開発を行う。
- 2) 農業ビッグデータを構築するにあたり、膨大なデータを効率的に収集するうえでの課題の抽出や計測システムを運用するうえでの管理手法について検討する。
- 3) 蓄積された農業ビッグデータを効率的に利用するために必要な付与情報（メタデータ）に関する検討や、データの概要の視覚的に提示する支援ツールなどの開発を行う。

3. 結果の概要

- 1) 省電力で精細な作物生育情報を取得でき、かつ多地点で同期して画像収集可能な All-in-one カメラモジュールを開発した。また環境情報を安価に精度良く計測できる機器「オープン・フィールドサーバ」における製作方法などの各種情報を更新・Web上に公開した(図1)。
- 2) 膨大なデータをインターネット上に逐次上げるには電力・通信インフラに負担がかかるため、代表画像を縮小して定期的に送信し、後日全ての原本データを手動で回収する方式を提案した。また設置・運用の労力を軽減するため、簡易設置手法の提案や前述の省エネ方式を実現するプログラムを作成した。これを実験圃場にてテストし、3地点20台の計測ユニットで10TBオーダのデータを蓄積できることを確認した(図2)。
- 3) 収集データに求められるメタデータとして、機材基本情報・対象作物情報・周辺情報・一次解析情報などを提案した。また機材設置時に、一部のメタデータを画像で取り込む入力支援システムを開発した。またメタデータを利用して、蓄積されたデータの概要を簡単に把握できるアプリケーションを開発した。またこれらを活用し、蓄積された農業ビッグデータが解析されることで、光外乱に強い植被率の推定や雑種強勢の解明といった成果の創出に寄与した(図3)。

以上、農業ビッグデータを効率的に構築するためのフィールドセンシング基盤技術を開発した。

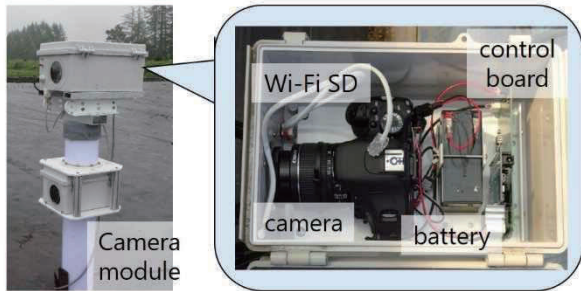


図1 農業ビッグデータ用計測システム

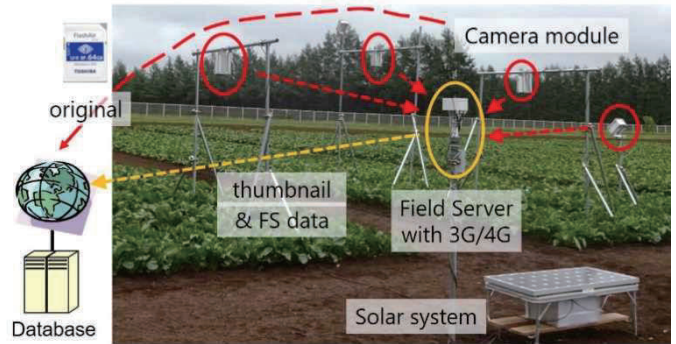
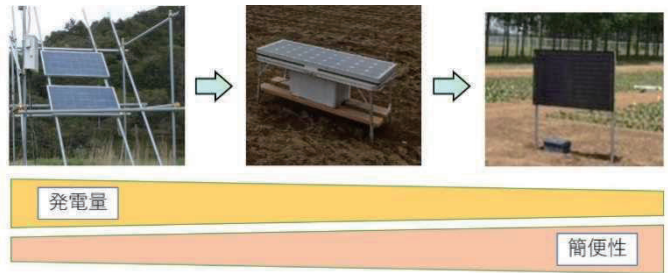


図2 データ収集のための管理・運用提案手法

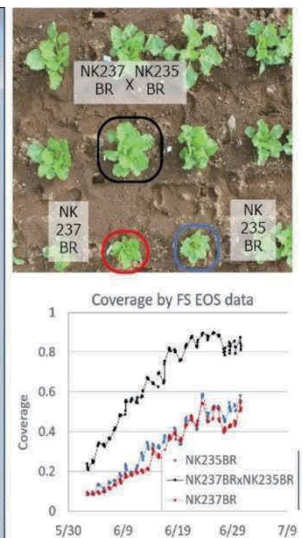
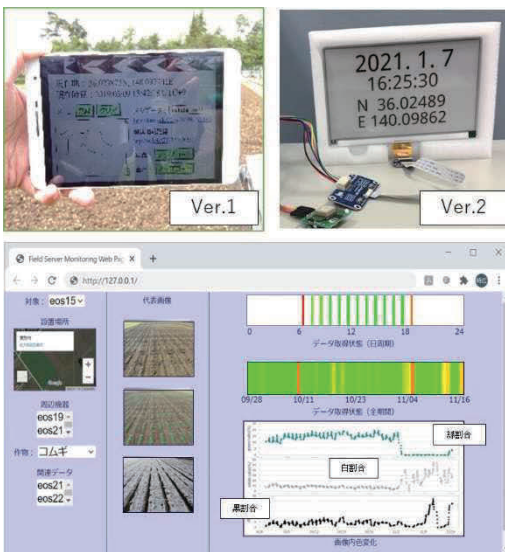


図3 提案したメタデータの利用システム(左)および蓄積した農業ビッグデータの活用事例(右)

4. 成果の活用面と留意点

本研究で開発された農業ビッグデータの構築手法は、深層学習を活用する次世代スマート農業を推進するうえでの基盤技術として活用が見込まれる。また本研究の成果については、2021年度の農業情報学会年次大会などで発表予定であり、あわせて論文を投稿する予定である。

5. 残された問題と対応

開発した要素技術に関しては、普及に向けた改良や実証試験などが必要となる。また膨大な農業ビッグデータを長期的に保存・公開を行える環境やシステム作りなども、検討が必要となる。

課題分類：7 (9)

課題 I D：1060103-02-01*20

研究課題：フィールドセンシング時系列データを主体とした農業ビッグデータの構築と新知見の発見

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：北農研、農環研、東北研、東京大、筑波大

予算区分：交付金、CREST

研究期間：完 2015～2020 年度 (平成 27～令和 2 年度)

1. 目的

作物は環境の影響を受けて成長しているため、栽培管理、品種改良等では成長量、土壌水分などのデータを長期連続的に収集し、複雑系現象として解析・評価・制御を行う必要がある。CREST の課題「フィールドセンシング時系列データを主体とした農業ビッグデータの構築と新知見の発見」では、これまでに蓄積してきたフィールド用センサネットワーク、ドローン等の技術を用いてデータを時系列的に収集し農業ビッグデータを自動構築するシステム及び最適栽培条件等新知見を探索するビッグデータ解析手法の開発を目的としている。研究期間の前半でデータを収集し、後半ではドローン画像データ、フィールドサーバデータ、北農研気象ステーションデータ、アメダス等オープンデータのデータ解析を行う。

この課題では、テンサイの葉の共生微生物相の微生物構成比の推移データと、外部要因としての気象データとテンサイの成長データを、個体数の変動を表現できる Lotka-Volterra 方程式で再現 (図 1、2) する。そして、テンサイの成長を最大化させる微生物構成比を得る。

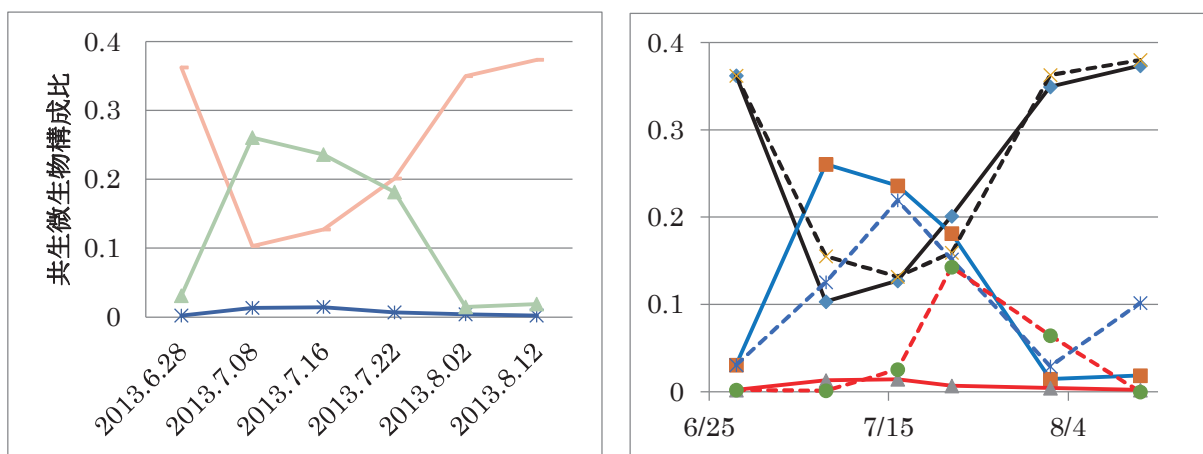
2. 方法

- 1) テンサイの葉の共生微生物相の微生物構成比の推移を予測する手法として、生物の捕食-被食関係による個体数の変動を表現する数理モデルである Lotka-Volterra 方程式を用いる。
- 2) 方程式の係数同定手法として、生物の進化の過程を最適解探索に適用した遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を利用する。
- 3) 遺伝的アルゴリズムには、局所最適解への収束を避けるための突然変異という仕組みがあるが、適用する問題によっては、初期段階で収束した局所最適解から抜け出せないことがある。進化を複数のグループ (島) で行わせることで、個体に多様性を持たせる手法を適用して、この問題に対応する。

3. 結果の概要

- 1) Lotka-Volterra 方程式は連立非線形常微分方程式で表されているため、数学用 Java ライブラリ Apache Commons Math を用いて実装した。
- 2) 遺伝的アルゴリズムを Java で実装するとともに、遺伝的アルゴリズム用 Java ライブラリである Jentics や Apache Commons Math も利用できるようにした。
- 3) 遺伝的アルゴリズムの進化を複数のグループ (島) で行わせることで、個体に多様性を持たせる島モデルの手法を実装した。

以上、テンサイの葉の共生微生物相の微生物構成比の推移を予測するための Lotka-Volterra 方程式の係数同定のために、遺伝的アルゴリズムを利用し、局所最適解への収束問題に対応するため、島モデルを実装した。



k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Alphaproteobacteria
 k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria
 k_Bacteria;p_Actinobacteria;c_Actinobacteria

図1 (左) 計測された共生微生物群のうち、以下の分類群の構成比
 (右) 構成比を Lotka Volterra 方程式でモデル化するため、方程式の係数を Excel のソルバーで決定したときの結果 (破線)

$$\frac{dx}{dt} = ax - bxy,$$

$$\frac{dy}{dt} = cxy - dy$$

生物の捕食-被食関係による個体数の変動を表現する数理モデル。
 2種類の個体 x, y のそれぞれの個体数増殖速度を二元連立非線形常微分方程式系で表現。
 これを、微生物構成比のモデル化に適用。

図2 Lotka Volterra 方程式

4. 成果の活用面と留意点

- 遺伝的アルゴリズムの局所最適解の収束問題への対応に資する。

5. 残された問題とその対応

遺伝的アルゴリズムの島モデルの利用法をドキュメントにまとめる。

テンサイの葉の共生微生物相の微生物構成比の推移データが、コストやデータ取得方法の問題により、遺伝的アルゴリズムの学習用データとして十分な量を得られなかったため、開発した学習手法の目的への適用が行えなかった。

課題分類：7（9）

課題 I D：1060103-01-16*20

研究課題：スマート予測技術（昆虫世代予測システム）の社会実装加速

担当部署：革新工学センター・高度作業支援システム研究領域・高度情報化システムユニット

協力分担：

予算区分：理事長査定枠

研究期間：完 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

昆虫の世代予測は図 1 の式のように、気温から発育零点を引いた有効温度を積算することで行なわれる。発育零点 T_0 や有効積算温度 K の値は、世代予測のパラメータ値として、昆虫の生育場所やステージ（卵、幼虫、成虫等）ごとに定められている。メッシュ農業気象データシステムから気温データ（日最高気温と日最低気温）を取得し、昆虫の世代や生育ステージを予測するシステムが Web API を持つ Web アプリケーションとして実装されている（2019 年度普及成果）。このシステムは Web API を持つ Web アプリケーションとして実装されており、WAGRI API として公開予定である。公開された API を普及させるためには、API を利用する農業情報提供システム等に組み込んで、ユーザーにサービスを提供する会社を見つける必要がある。そのためには、昆虫世代予測システムを利用した様々な実利用例を示してその有用性を示す必要がある。

2. 方法

- 1) 昨年度に昆虫世代予測システムを開発した時点では、農業環境技術研究所報告 21 からカメムシ目（43 種、101 パラメータ）とチョウ目（81 種、195 パラメータ）のパラメータを登録した。それ以外の目のパラメータを追加登録することで、対象とする昆虫種を増やす。
- 2) スマホアプリとすることにより、普及センターや農業試験場などが防除作業の時期決定、試験研究等に利用できるツールとする。

3. 結果の概要

- 1) 対象とする昆虫種のパラメータとして、ハチ目（76 種 170 パラメータ、図 2）を追加した。今年度中に、さらに追加する予定である。
- 2) Web アプリケーションとして実装されていた昆虫世代予測システムのプログラムを、職務作成プログラムとして登録したうえで、Android 版スマホアプリ（図 3）として実装した。スマホ版を開発するにあたり、登録されているパラメータだけでなく、ユーザーがパラメータを登録して、実行できる機能を追加した。Web アプリケーション版はサーバの制限により機構内でしか実行できず、実際に動作させてのプレゼンテーションを外部で行うことは難しかったが、スマホ版では可能になった。

以上、昆虫世代予測システムの WAGRI API で公開後の普及促進のため、API を利用して行える機能の実利用例を示すための Android 版アプリを開発した。また、対象とする昆虫種パラメータを追加した。

有効温度 T_e = 気温 T - 発育零点 T_0 (式1)

有効積算温度 K = Σ 有効温度 T_e (式2)

トビイロウンカのパラメータの例

卵 E $T_0 = 12.7$ $K = 109.4$	幼虫 L $T_0 = 11.5$ $K = 189.4$	産卵前期 P0 $T_0 = 11.7$ $K = 44.3$	次の世代
------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	------

K が設定値に達すると、次のステージ (卵→幼虫→成虫) へ移行し、一巡すると次世代へ移行する。
 T_0 や K のパラメータ値は昆虫やその生育場所によって定められている。

図1 昆虫の世代予測手法と、防除適期予測での利用法

種	地点	ステージ	Hymenop (ハチ目) 参考	出典
Agrothereutes minousubae (ミノウスバヒメバチ)		E: $T_0=3.4, K=27.0$ L: $T_0=6.8, K=122.0$ PP: $T_0=7.8, K=77.0$ P: $T_0=6.8, K=114.0$	Pyeria sinica	Shiotsu & Arakawa 1982
		E/A: $T_0=7.0, K=333.0$	Pyeria sinica	Shiotsu & Arakawa 1982
Allotropia sp. (ハラビロクロバチ科)		E/A: $T_0=7.9, K=594.5$	Pseudococcus cryptus(11.7; 338)	Arai pc
Anisopteromalus calandrae (ソウムシコガネコバチ)		♂E/A: $T_0=16.3, K=177.0$	Callosobruchus chinensis & Sitophilus zeamais	Utida & Nagasawa 1949
		♀E/A: $T_0=16.4, K=187.6$	Callosobruchus chinensis & Sitophilus zeamais	Utida & Nagasawa 1949
Apanteles chilonis (メイチュウサムライコバチ)	鹿児島北部	E/A: $T_0=9.6, K=312.2$	Chilo suppressalis	Kajita 1973
Apanteles flavipes (メイガサムライコバチ)	鹿児島南部	E/A: $T_0=10.9, K=285.6$	Chilo suppressalis	Kajita 1973
Aphelinus sp. (ツヤコバチ科)	京都	E/A: $T_0=10.7, K=171.0$	Aphis gossypii	Kiyosawa pc
Aphidius ervi ervi	Kanloop	E/A: $T_0=6.0, K=197.0$	Acyrtosiphon pisum	Campbell et al. 1974
	Vancouver	E/A: $T_0=4.2, K=230.0$	Acyrtosiphon pisum	Campbell et al. 1974

図2 追加した昆虫種パラメータ (ハチ目) の一部



左：設定画面 (スマホのGPS を利用し、現在地の緯度経度を設定可能)
中：ユーザー独自のパラメータ登録画面
右：結果画面

図3 スマホアプリ画面

4. 成果の活用面と留意点

昆虫世代予測を利用した防除適期予測技術に資する。

5. 残された問題とその対応

開発したスマホアプリを、昆虫世代予測 WAGRI API の利用例として示し、API の普及に努める。

5. 次世代コア技術研究領域

課題分類：12 (9)

課題ID：1060201-03-06*20

研究課題：AI を利用した農用ロボット制御技術の開発

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・自律移動体ユニット

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度 (平成 30～令和 2 年度)

1. 目的

農用ロボットを安全に運用するためには、経路上の障害物や、路面状況、他の車両の位置等、ロボットの周辺環境を認識する必要がある。本研究では、様々な分野へ応用が検討されている AI 技術を利用し、ロボット周辺環境認識技術の開発を行う。

2. 方法

1) AI を用いた物体検出

カメラ画像から物体を検出し、検出結果に基づいて車両の走行制御を行うことを目指し、機械学習と物体検出を行った。走行制御にはリアルタイム性の高い処理が必要であるため、処理速度が速い物体検出ライブラリを選定した。機械学習には、教師データとして画像とアノテーションファイル (対象の種別・座標) が必要であるが、これらを作成するアノテーション作業には人手と時間が必要となる。そこで、アノテーション作業の補助プログラムを作成し、教師データ作成に必要な労力の低減を図った。

2) 自律走行台車の作成

電動台車に画像処理・走行制御を行うマイコンボードとカメラを搭載して自律走行台車を作成した。走行台車の緊急停止等の遠隔操縦を行う手動操縦プログラム、カメラ画像から走行制御を行う自律走行プログラムを作成した。作成した自律走行台車と自律走行プログラムを用いて人を検出対象とした走行実験を行った。

3. 結果の概要

1) AI を用いた物体検出

物体検出ライブラリには YOLOv3 を選定した。アノテーション作業の補助プログラムとして座標取得プログラムとデータオーギュメントプログラムを作成した。座標取得プログラムは、マウスで対象物の外形をクリックするとその座標を保存する。また使い勝手を考慮し、取得した座標の可視化 (図 1、黄丸) と入力ミスの修正ができるものとした。データオーギュメントプログラムは、アフィン変換により画像を加工し、画像に合わせたアノテーションファイルを作成する。これらのプログラムにより元データから十数倍の教師データを作成できるようになり、教師データ作成にかかる時間が短縮した。元画像 68 枚から 748 枚分の教師データを作成し、機械学習を行い、USB カメラを用いて物体検出を行った結果、映っている目標物を見失うケースがあった。検出精度を向上させるには、教師データ数をさらに増やす必要があると考えられる。

2) 自律走行台車の作成

マイコンボードは GPU を搭載した JETSON NX、カメラは単眼の USB カメラを選定した。手動操縦プログラムは、コントローラの入力を受け取って手動操縦と自律走行の切り替えを行い、また、手動操縦時の動作命令を作成する (図 3)。自律走行プログラムは、検出された目標種別の物体の中で最大の物体を目標物として (図 2)、目標物の幅から前進速度を、中心座標から進行方向を決定し、自律走行時の動作命令を作成する。具体的には、目標物の幅が大きくなるほど速度を落とし、目標物の中心座標が画面中央に来るように旋回する。将来的に作成した自律走行プログラムと別のプログラムを連結して使用することを想定し、ROS (Robot Operation System) でプログラムを作成した。自律走行台車を用いて走行実験を行った結果、認識距離約 0.5m～約 30m、処理速度約 4 FPS、処理遅れ約 1.1 秒で人を認識し、追従することが可能であった。以上、AI 技術を利用した目標物の認識を ROS 環境で行い、走行台車の自律走行が可能であると確認した。



図1 座標取得プログラム

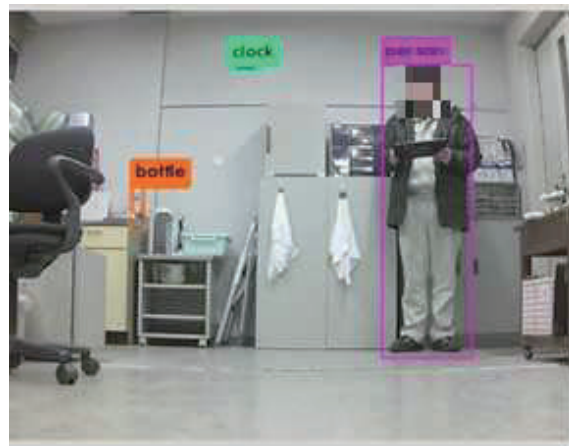


図2 物体検出結果

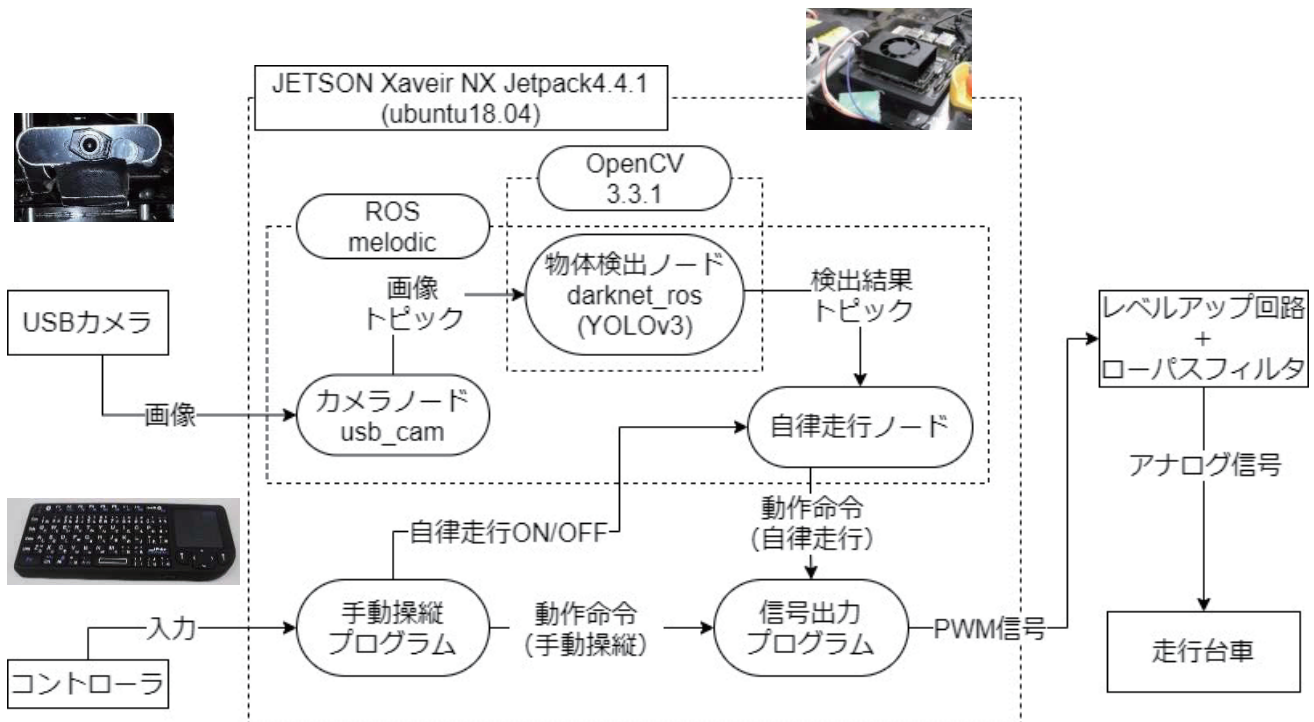


図3 自律走行システム概要

4. 成果の活用面と留意点

必要な認識物を学習させ、対応した走行制御を行うプログラムを作成することで、実作業やほ場間移動等様々な状況に対応した走行制御技術として活用できる。

座標取得プログラムとデータオーギュメントプログラムは職務作成プログラムに登録し、機械学習の教師データ作成に活用できる。

5. 残された問題とその対応

高速走行するロボットに対応するには、物体検出の処理速度の向上と処理遅れの低減に取り組む必要がある。現在実施中の関連課題の中で対応していく予定である。

課題分類：3 (1)

課題 ID：1060201-03-11*20

研究課題：自動運転田植機のフォローアップ

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・自律移動体ユニット

協力分担：なし

予算区分：理事裁量経費

研究期間：完 2020 年度 (令和 2 年度)

1. 目的

SIP で開発した自動運転田植機について、現在スマート農業加速化実証プロジェクトなどを通じて現地実証試験を進めている。本課題は、これら実証機のトラブル対応などのサポートおよび実用化に向けた課題抽出と改良を目的とする。

2. 方法

- 1) 令和元年度の現地実証での意見聴取結果を踏まえ、生成された走行経路や自動運転の状態を表示するためのモニタを開発し、全国 5 地域 (埼玉、北海道、茨城、佐賀、岩手) の実証機の改修作業を行った。
- 2) 経路生成プログラムを改良することで、対応可能なほ場形状の拡充を図った。
- 3) 現地でのトラブルや要望に対する対応を行った。
- 4) 低価格の 2 周波対応 RTK-GNSS 受信機 (u-blox ZED-F9P) を自動運転田植機に搭載するため、従来受信機 (Hemisphere P326) と互換性を持たせた低価格受信機基板を製作した。
- 5) 直進精度評価用として作業機側に RTK-GNSS 受信機 (Hemisphere P306) を設置し、制御用受信機として、従来受信機と低価格受信機それぞれについて 3 段階の作業速度 (0.45m/s、1.0m/s、1.7m/s) で 1 辺 100m の行程を 2 往復 (4 行程) 作業して、その時の目標経路からの標準偏差を求めた。

3. 結果の概要

- 1) 開発したモニタ (図 1) は、ティーチング中においては認識した辺の数や現時点で生成されている作業経路を表示することで、ティーチングによってどのような経路が生成されるのかを使用者が理解しやすくするとともに、ティーチングの失敗を防止するものとした。ティーチングが終了して経路生成が完了した状態においては、生成された経路を表示するとともに、次に作業する経路をハイライト表示することで、円滑な作業を可能とした (図 2)。また、表示パネルに 5 インチ液晶タッチパネルを使用することで、マルチタッチによる直感的な操作で視点の移動や拡大縮小・回転を可能とした。
 - 2) 令和元年度プログラムでは、最大 16 角形の圃場までの対応であったが、湾曲圃場を多角形近似した際に 16 角形では十分でない圃場があったため、最大 32 角形まで対応可能とした。また、作業終了時に前進でほ場から退出したいとの要望が多かったため、ティーチング 1 辺目を植えずに走行することで、前進退出可能な機能を設けた。更に、連続した往復作業が困難な複雑なほ場形状の場合、往復行程を複数個に分割した経路を生成することで対応可能とし、令和元年度プログラムで対応できなかったほ場においても自動運転が可能となった (図 3)。
 - 3) 現地でのトラブル発生時にログファイルを解析し、使用方法の問題かプログラムのバグであるかを判断し、バグであれば修正を行った。その他、地域によっては、耕盤が荒く過傾斜による非常停止が頻発したため傾斜角度の閾値を調整した。また、旋回速度を調節したいとの要望があったため、田植機のみで旋回速度を設定可能とした。
 - 4) 製作した低価格受信機基板 (図 4) は、良好に動作した。
 - 5) 直進精度は、高速時に低価格受信機がやや悪くなる傾向があるものの概ね良好 (図 5) で、旋回制御についても問題は観察されなかった。また、直進精度の指標である横偏差の標準偏差 (図 6) についても最大 0.6cm 程度であり、受信機間で大きな差は認められなかった。
- 以上、自動運転田植機の実証サポートおよび実用化に向けた課題抽出と改良を行った。



図1 開発したモニター

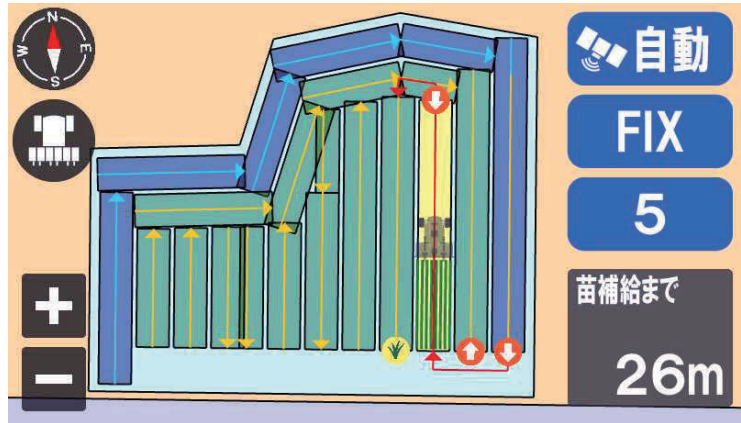


図2 モニタの表示例



図3 変形ほ場での作業結果

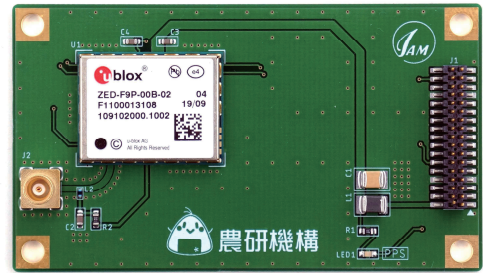


図4 低価格受信機基板



(a) 従来受信機 1.7m/s (b) 低価格受信機 1.7m/s

図5 直進精度の比較

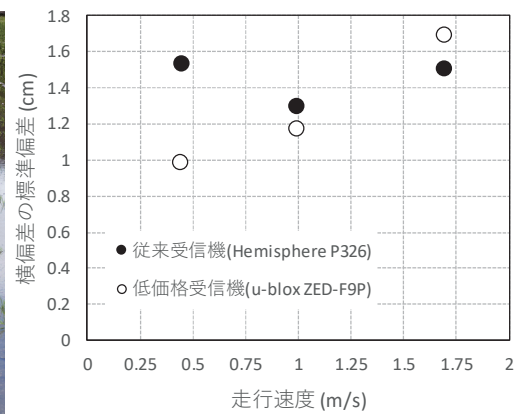


図6 直進精度試験結果

4. 成果の活用面と留意点

スマート農業実証プロジェクトのサポート及び自動運転田植機の実用化に資する。

5. 残された問題と対応

スマート農業実証プロジェクトが終了していない地域についてはさらなるサポートが必要である。

課題分類：2 (1) (2)

課題 I D：1060201-03-12*20

研究課題：水田作向け播種機のスマート化技術の開発

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・自律移動体ユニット、研究推進部・戦略推進室、次世代コア技術研究領域・生産システムユニット

協力分担：なし

予算区分：理事裁量経費(理事長査定枠)

研究期間：完 2020 年度 (令和 2 年度)

1. 目的

農研機構の 2020 年度組織目標「4. スマート農業技術を本格的に普及させる」のうち「スマート農機等の性能・コスト・品質・使いやすさの一体改善」を推進するため、水田作で使用される播種機をスマート化することで、確実に安定した播種作業を可能とし、水稲作においては NARO 型乾田直播技術の実施の容易さの改善につなげる。

2. 方法

1) 播種間隔の高精度可変技術の開発

隣接する播種ユニット間で、種子排出タイミング(正方植え・千鳥植え)が切り替え可能になるよう、播種ユニット連結方式を変更した。同時にユニット駆動の電動化を行った。モータ駆動化した播種機の種子排出タイミングを確認するために播種試験を行った。

2) 種子繰り出しセンシング技術の開発

光学センサを使用し、播種ユニットから種子が土壤中へ落下しているかどうかを確認する手法を開発した。取得信号を解析し、対応可能作業速度を算出した。また、播種深をモニタリングする計測手法についても検討した。

3) 播種状況情報表示システムの開発

市販マイコンボードを使用し、左右のユニット毎に、種子繰り出し情報と播種部詰まりの有無をトラクタ運転席で確認できる表示部を開発した。

3. 結果の概要

1) 播種間隔の高精度可変技術の開発

高速高精度汎用播種機の播種ユニットをベースとし、種子繰り出し機構の駆動方式をモータに変更した 2 条仕様の播種機を製作した(図 1)。圃場試験を行ったところ、初期のズレを維持しながら播種を行うことができた。スタート時のタイミングを制御する機構を追加すれば、行程内の正方植え、千鳥植えを実現可能であると考えられた。しかしながら、行程を跨いだ植え付け位置の同期を実現するためには、GNSS との連携を検討する必要がある。

2) 種子繰り出しセンシング技術の開発

種子詰りの主な発生場所は種子計量操出部になると考えられたため、操出部直後に種子の落下軌跡を横断する形でファイバセンサを配置した(図 2)。繰り出し試験を行い、株間 30cm であれば秒速 6m/s までの作業速度に対応できることを確認した。播種深はコルタが切った溝の深さで決まるため、コルタ支持フレームの高さ変動を計測することで把握できると考えられた。

3) 播種状況情報表示システムの開発

播種ユニット毎に、種子繰り出し状況と播種部詰まりの有無をトラクタ運転席で確認できる表示部を開発した(図 3)。作業機械側とトラクタキャビン側は CAN (Controller Area Network) で接続しているため、将来的に ISOBUS への拡張も可能である。

以上、高速高精度汎用播種機ベースとして水田作向けスマート播種機を試作し、動作確認と課題の抽出を行った。



図1 モータ駆動化した播種機

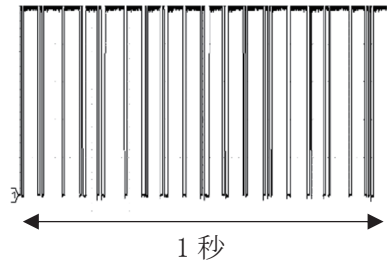
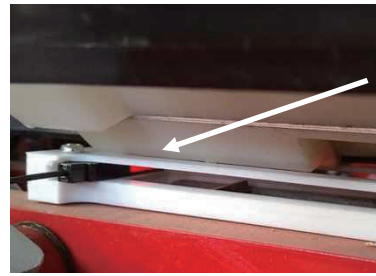


図2 繰り出し部の下側に設置したセンサと取得した信号

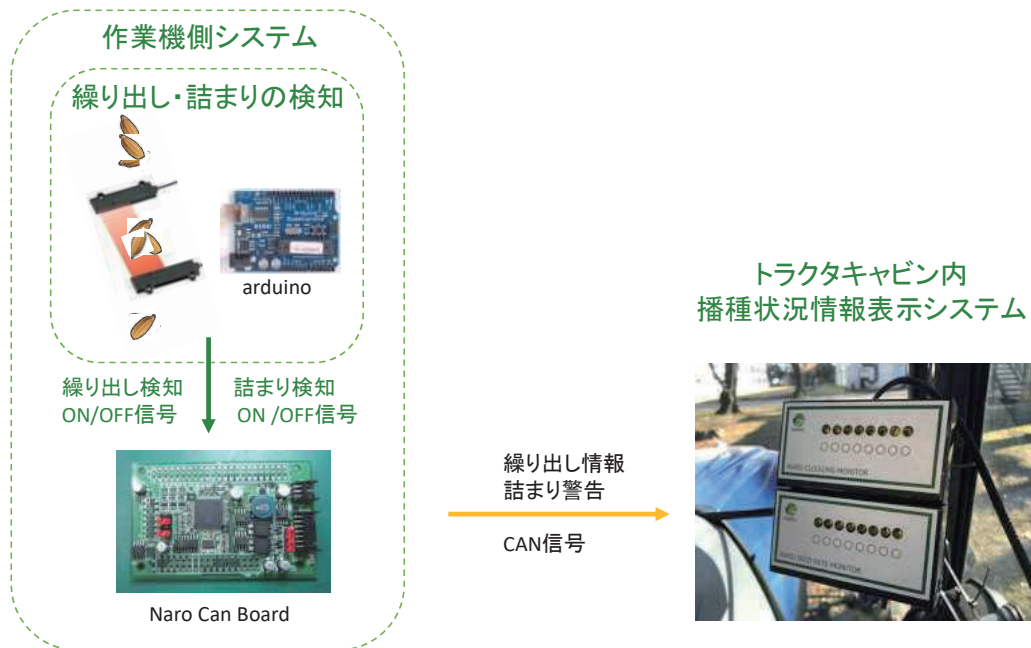


図3 播種状況情報表示システム

4. 成果の活用面と留意点

日本型農業に対応したスマート播種機のプロトタイプ開発に活用する。

5. 残された問題とその対応

単年度課題である本課題を遂行した結果、以下の課題が抽出された。

- ・ 行程内の正方・千鳥植えを実現するための、播種開始時のモータ角度を制御する機構の追加。
- ・ 異なる行程間での播種位置合わせを行うための、GNSS との連動技術の開発。
- ・ 適切な播種深度を実現するための、深度モニタの開発。
- ・ 様々なトラクタとの組み合わせを実現するための、通信部分の ISOBUS 化。

これらの課題について、必要に応じて、新規課題の中で検討を行う。

課題分類：4 (1) (2)

課題 I D：1060202-02-08*20

研究課題：ドローンを利用した栽培管理技術に関する基礎研究

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・生産システムユニット

協力分担：滋賀農技セ、岩手農研セ、東北研、埼玉農技セ、鹿児島農研セ

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2017～2020 年度（平成 29～令和 2 年度）

1. 目的

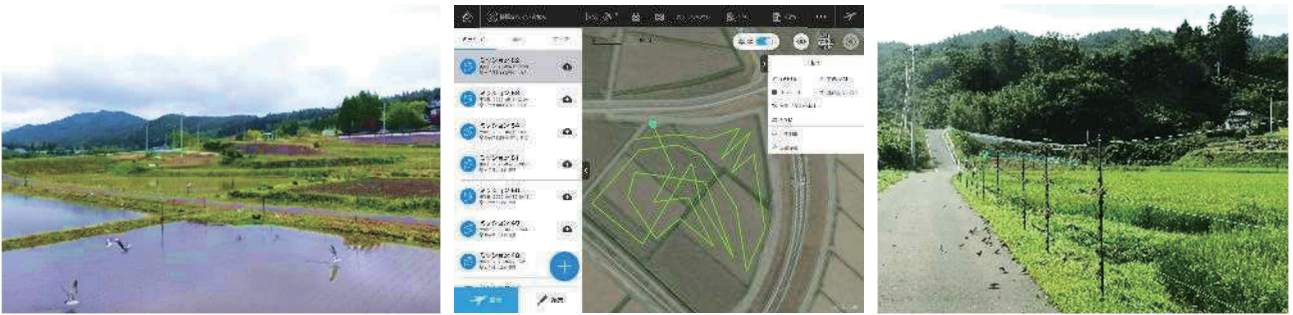
現在、無人ヘリの代用としてドローンを利用した防除作業の技術開発が先進的に行われているが、他の管理作業にもドローンを適用して欲しいという現場からの要望が多い。本研究では、生育情報に基づく追肥技術や直播栽培ほ場における鳥害軽減技術等の調査や基礎試験装置の開発を行う。

2. 方法

- 1) 陸前高田市金田のほ場にて、ウミネコとスズメによる鳥害対策として、ドローンによる追い払いを実施した後、坪刈調査を実施し被害率を算定した。（2017～20 年度）
- 2) 滋賀農技セ内 2 ほ場にて試験区ごとに異なる基肥量で水稻（コシヒカリ）を移植した。幼穂形成期の 2～4 日後に水稻の生育調査を行い、生育量の指標として〔草丈(cm)×茎数(本/m²)×葉色 (SPAD 値)〕を算出した。同日に、マルチスペクトルカメラを搭載したドローンを用いて、赤色と近赤外線画像データを取得し、生育情報として NDVI 値を算出した。生育量が 1690000 相当となる NDVI の値を可変施肥の境界値として、試験区ごとに、手散布や粒剤散布ドローンを用いて尿素の可変施肥を行い、収穫時、坪刈りによる収量調査、品質調査を行った。（2017～20 年度）
- 3) 埼玉県農技セ内の麦と水稻を対象として、収穫前にはほ場をマルチスペクトルカメラ搭載ドローンで空撮して得られた画像と、坪刈り調査によって得られた整粒重とタンパク含有率等の生育データを機械学習させ、空撮画像から生育データを推定する AI を作成した。（2018～20 年度）
- 4) 東北研と鹿児島農研セのほ場を空撮し、Structure from Motion (SfM) によりほ場 3D モデルを作成し、大豆の高さやサトイモのバイオマスの測定を行った。（2017～20 年度）
- 5) 電動ダクトドファンを用いた小型かつ大ペイロードを有するドローンの開発を行った。（2017～19 年度）

3. 結果の概要

- 1) 2018 年度にウミネコ害が確認されたほ場の被害面積率は 4.6%であったのに対し、樹脂製チェーンを搭載した防除用ドローンを定期的に飛行させた際の被害面積率は 0%となり、防除用ドローンの鳥除け効果が確認された。また、2018 年度にスズメ害が確認されたほ場は精玄米重で 15%の被害率であったのに対し、ドローン単体防除区は 519kg/10a、防鳥ネット設置区は 515kg/10a と、ドローンを飛ばしたほ場での減収が確認されず、スズメ害にも防除効果が認められた。
 - 2) 生育測定装置により高精細なマルチスペクトルカメラやそれを搭載しているドローンの評価を行った。また粒剤散布装置の開発を行い、散布精度や散布速度、制御方法などの検討を行った。
 - 3) 画像と坪刈データを TensorFlow で機械学習させるプログラムを開発した。また約 40 枚の RGB 画像を学習した AI を用いた推定では平均絶対パーセント誤差 (Mape) が整粒重 20%、タンパク含有率 4%となり、タンパク含有率の推定精度が高い可能性が示唆された。
 - 4) 高さデータの精度を上げるための飛行方法を確立した。また、作成した 3D モデルと地上測定した大豆の背丈について調査を行い、±5 cm 以内の精度で測定できる可能性が示唆された。
 - 5) 破損しやすい電動ダクトドファンを守るための構造特許の出願と試作機を作成した。
- 以上、水稻の栽培管理へドローンを適用するための技術について検討を行った。



(左：ウミネコの逃避状況 (5/21)、中：自動航行設定画面、右：たかたのゆめに群がるスズメ)

図1 直播栽培ほ場における鳥害軽減技術の試験に関する画像

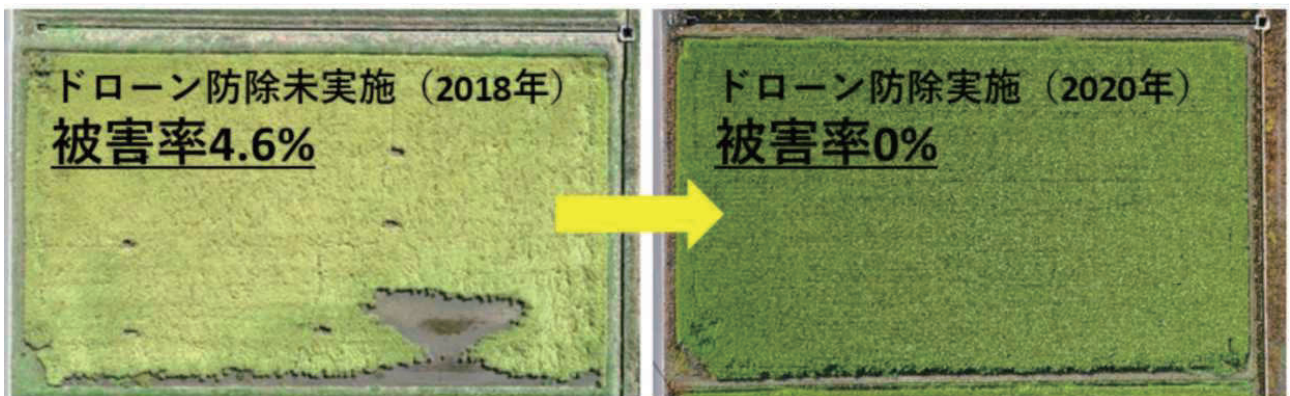


図2 ドローン防除によるウミネコの被害率



(左：可変施肥装置2号機、右：可変施肥ドローン)

図3 生育情報に基づく追肥技術の試験に関する画像

4. 成果の活用と留意点

鳥害の防止に係る研究は、食料生産地域再生のための先端技術展開事業 JPJ000418 において実施したものである。

今回開発したAIは学習データの少なさや画像の妥当性について疑問点が残る。よって、得られた傾向は、あくまで今回作成した機械学習環境の結果であり、画像による植物特性と収量やタンパクを証明するものではない。

5. 残された問題とその対応

特になし。

課題分類：2 (1)

課題ID：1060202-03-09*20

研究課題：東北日本海側1年1作地帯の大規模水稻・大豆輪作集落営農型法人におけるスマート農業による生産性向上の実証

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・生産システムユニット

協力分担：農研機構東北研、秋田農試、(株)クボタ、ヤンマーアグリジャパン(株)、(株)IHI アグリテック、(株)ビジョンテック、(農)たねっこ

予算区分：スマ農実証

研究期間：完 2019～2020 年度 (令和元～2 年度)

1. 目的

高齢化等に伴う農業者の減少と農地集積の進行に対応するため、土地利用型営農組織では、大区画ほ場の利点を活かし高能率化と収量最大化を実現する作業体系の確立が急務である。そこで、大区画ほ場でブロックローテーションにより水稻・大豆栽培に取り組む集落営農型法人を対象に、①稲作では、収量マップに基づく可変基肥と直進田植機の速度連動作業による省資材・安定・多収栽培の実証、②大豆作では、収量マップやメッシュ気象データに基づく灌水支援システムの活用による増収の実証、および乗用管理機の自動操舵による大豆の損傷、減収の削減の実証、さらに③両作目におけるトラクタの汎用利用と自動操舵による高能率化、ラジコン草刈機による法面除草の軽作業化等の実証を行うとともに、④これらの作業・収量データ等の蓄積と見える化を図り、データ駆動型の栽培管理に取り組む。以上を通じ、ICTを導入しつつもコストを低減し水稻・大豆輪作体系で作業の高能率化と収量最大化を達成する営農モデルを確立する。このうち、目標収量レベルの高い一般栽培(品種「ゆめおぼこ」、平均収量 630 kg/10a)において、ドローンリモートセンシングおよび収量コンバインで得られた生育情報・収量情報を用いて、ブロードキャストにて可変施肥を行った際の生育量・収量を慣行栽培体系と比較し、導入効果を検証する。

2. 方法

- 1) 実証対象ほ場 12 筆のうち、可変施肥区 6 筆(密苗)に対して、前年の生育情報および収量情報を基に作成した施肥マップを使用してブロードキャストによる可変施肥を実施し、慣行栽培体系である対照区(中苗)と比較可能な基礎データ及び経営試算の資とするデータを取得する。(2019～2020 年度)
- 2) ドローンリモートセンシングによって生育量(NDVI×被植率)を、収量コンバインによって収量及び倒伏度合いを取得し、可変施肥の効果を検証する。(2019～2020 年度)

3. 結果の概要

- 1) 施肥マップは前年の生育量、収量、移植日(2020 年については倒伏程度を追加)のデータを基に作成した。増収を目指すため、主に前年の収量が低かった範囲を増肥しており、平均窒素投入量については各ほ場で異なる。施肥作業の結果、設定施肥量に対する実施施肥量は 2019 年で 0.97～1.02、2020 年で 1.00～1.02 となり、概ね高精度な施肥を実施できた(図)。その他、慣行栽培体系と比較可能な基礎データおよび経営試算の資とするデータを取得した(表 1)。
- 2) 各年の幼穂形成期の生育調査結果を表 2 に示す。実証区の NDVI×植被率は、対照区に対して低い結果となった。実証区では 2018 年、2019 年いずれも除草剤による葉害の影響が確認されていること、また、2019 年は長雨の影響により密苗を使用した実証区では生育が鈍化したことが影響と考えられる。収量調査の結果を表 3 に示す。2019 年では全刈収量が固定施肥区(中苗) 562 kg/10a に対し、可変施肥区(密苗)は 489 kg/10a と低く、2020 年では固定施肥区(中苗) 471 kg/10a に対し、可変施肥区(密苗)は 475 kg/10a と同程度であった。また、収量調査時にドローンによる空撮および実測にて倒伏程度を確認した結果、2019 年では施肥がオーバーラップする範囲において筋状に倒伏が発生したが 2020 年では発生しなかった。

以上、大区画ほ場における可変施肥ブロードキャストの導入効果について検証した。

表1 可変施肥作業結果

	ほ場 No	面積 (a)	正味稼働時 間	投入量 (kg)	残量 (kg)	施肥量 (kg)	目標施肥量 (kg/10a)	実施施肥量 (kg/10a)	実施施肥量/ 目標施肥量
2019	314	102.2	0:13:19	396.0	67.5	328.5	33.1	32.1	0.97
	315	103.2	0:09:59	397.5	61.5	336.0	33.3	32.6	0.98
	326	103.0	0:12:14	467.0	111.0	356.0	35.8	34.6	0.97
	328	103.2	0:15:53	480.0	188.0	360.0	36.0	34.9	0.97
	333	102.0	0:10:09	481.5	44.0	437.5	42.2	42.9	1.02
	334	102.5	0:10:52	464.0	51.0	413.0	40.4	40.3	1.00
2020	314	102.2	0:10:29	414.0	76.5	337.5	33.0	32.4	1.02
	315	103.2	0:11:37	430.0	100.0	330.0	32.0	31.9	1.00
	326	103.0	0:10:51	507.5	111.5	396.0	38.4	38.1	1.01
	328	103.2	0:10:17	500.5	86.0	414.5	40.2	39.4	1.02
	333	102.0	0:10:27	479.0	67.0	412.0	40.4	39.5	1.02
	334	102.5	0:11:13	516.0	88.5	427.5	41.7	40.8	1.02



図 施肥作業の様子 (2020年 自動操舵)

表2 各年の生育量

	試験区	NDVI×被植率	標準偏差	変動係数
2018	実証区*	0.36	0.017	0.049
	慣行区	0.36	0.019	0.053
2019	実証区	0.32	0.032	0.100
	慣行区	0.33	0.024	0.073
2020	実証区	0.32	0.029	0.092
	慣行区	0.34	0.020	0.059

*中苗使用

表3 収量結果

	試験区	施肥量 (Nkg/10a)	移植日 (月.日)	苗形質			出穂期 (月.日)	倒伏 程度	全刈り 収量 (kg/10a)	玄米 タンパク (%)
				草丈 (cm)	葉令	乾物重 (mg/個体)				
2019	固定基肥区(慣行)	7.7	5/25~5/26	19.7	4.2	22.9	8/9	0.0	554	6.5
	可変基肥区(実証)	9.8	5/27~5/28	15.1	3.6	19.3	8/13	0.2	489	6.6
2020	固定基肥区(慣行)	7.7	5/25~5/26	17.9	4.1	21.9	8/8	0.0	471	6.7
	可変基肥区(実証)	10.2	5/26~5/29	13.2	3.1	10.8	8/11	0.0	475	6.7

4. 成果の活用面と留意点

- 1) スマート農機導入効果の資とする。
- 2) 使用する肥料性状が散布距離に影響するため、散布前に予め肥料性状を確認する必要がある。

5. 残された問題とその対応

実証試験を通し、技術内容に関する情報発信に努める。

課題分類：3 (3) (4)

課題 I D：1060303-02-07*20

研究課題：トマト用接ぎ木装置の開発
－実用化研究

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・生産システムユニット

協力分担：イワタニアグリグリーン (株)、京和グリーン (株)

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度 (平成 30～令和 2 年度)

1. 目的

熟練技術が必要な接ぎ木作業者の労働力不足が深刻化し、今後の安定供給及び需要増加に応えるため、接ぎ木作業の自動化が求められている。クリップによるウリ科用接ぎ木装置が市販され、トマトにも利用可能であるが、苗 1 本ごとに使用される接合資材の低コスト化が求められている。

そこで、低コストな樹脂製テープを用いた新たな接合方法による接ぎ木装置を開発する。

2. 方法

- 1) 前課題「トマト用接ぎ木装置の開発」(2015～2017 年)の試作装置をベースに、実用化を想定した接ぎ木装置 (以下、開発機)を開発した (図)。(2018 年度)
- 2) 革新工学センター、苗生産企業にて性能試験を行うとともに改善点を抽出した。(2019 年度)
- 3) 2) の苗生産企業で得た改善点に対する改良を行い、革新工学センターにて性能試験を行うとともに 2) の苗生産企業の苗を供して性能試験を行った (表 1)。(2020 年度)

3. 結果の概要

- 1) 開発機は、穂木及び台木の切断部、接合部、苗を把持し移動させる回転テーブル、テープ供給部等から構成される。接合部は、弾性力を有した 2 枚の樹脂製テープ (粘着剤不使用) で苗の接合箇所を挟み込み、苗の胚軸周辺を超音波溶着することにより接合箇所の固定を行う。動作内容は、供給者 1 名が穂木及び台木を 1 株ずつ回転テーブル (回転角度 45°) に供給し、初めに供給部から 45° 回転した位置で両苗の斜め切断を同時に行う。次に 135° 回転した位置でテープによる接合を行う。最後に供給部から 225° 回転した位置で、設置されている機外搬出用のコンベア上に苗を落下させ、接ぎ木が完了する。
- 2) 革新工学センターでの試験結果は、活着率は 90% (供試数 187 本) となった。改良点は、苗切断部にて苗の姿勢不良による切断不良となったため、アクチュエータの動作方法等を改良した。改良後の苗生産企業での試験結果は、活着率が 43% (供試数 194 本) と低い結果であった。理由は、穂木及び台木の軸径差が大きい事による影響を各所で受けたためであった。
- 3) 2) からの改善点は、苗切断時の穂木苗の姿勢不良や胚軸の曲がり、細い苗に対して、胚軸を根鉢の重さで伸ばす事を目的に、穂木を根鉢付きで供給するよう変更するとともに苗切断部を改良した。また、穂木及び台木の軸径差に対して、溶着部分の治具形状等を改良した。革新工学センターでの試験結果は、活着率 91.7% (供試数 170 本)、作業能率 524 本/h となった (表 2)。また、苗生産企業の苗を供した試験結果は、活着率は 92.1% となり (供試数 544 本)、熟練作業者と同等程度であった。また、作業能率は 450～520 本/h 程度となり、熟練作業者による作業が 200 本/h 程度である事に対して 2 倍以上の能率で作業できることを確認した。さらに、台木及び穂木の軸径差については、平均で 0.6 mm 程度ある場合でも接ぎ木可能であることを確認した。また、胚軸長 (台木) 及び第 1 節間長 (穂木) は、表 1 の条件において作業が良好である。苗 1 本当たりの樹脂製テープの価格は、市販価格での比較において、手作業用チューブの 35～50% 程度、クリップ (ウリ科接ぎ木装置用) の 15% 程度である。

以上、低コストな樹脂製テープを用いた新たな接合方法によるトマト用接ぎ木装置を開発した。

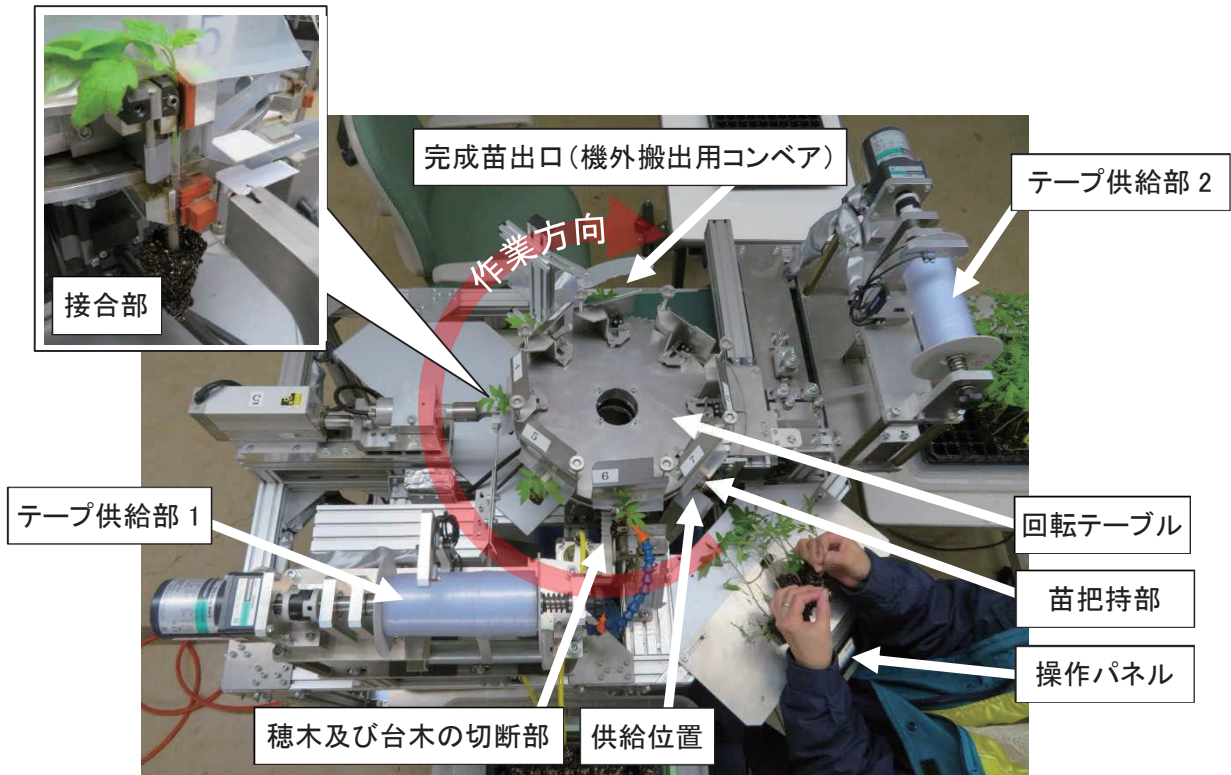


図 開発機の外観

表 1 供試苗の条件

	試験 1 ^{※1}				試験 2 ^{※2}			
	胚軸径 (mm)		第 1 節間長 (mm)	胚軸長 (mm)	胚軸径 (mm)		第 1 節間長 (mm)	胚軸長 (mm)
	穂木	台木	穂木	台木	穂木	台木	穂木	台木
平均	1.4	2.0	32.7	50.5	1.4	2.4	34.1	57.1
最大	1.6	2.3	43.0	71.0	1.6	2.6	45.0	60.0
最小	1.1	1.7	20.0	37.0	1.3	2.2	27.0	51.0

※1 革新工学センターにて育苗、調査数:10 本(10 本/200 穴トレイ)、品種:台木「ポランチ」、穂木「ホーム桃太郎」

※2 苗生産企業にて育苗、調査数:30 本(10 本/200 穴トレイ×3 枚)、品種:台木「ポランチ」、穂木「CF 桃太郎」

表 2 作業能率及び活着率

	試験 1	試験 2
供試数(本)	170	544
作業能率(本/h)	524	446
活着率(%) [※]	91.7	92.1

※ 養生・順化期間:5 日、活着率調査:接ぎ木後7日目

4. 成果の活用面と留意点

開発機は、イワタニアグリグリーン(株)から2021年に市販化を予定している。

5. 残された問題とその対応

トマト品種以外の適応性については検証を行う必要がある。

課題分類：6 (3)

課題 I D：1060303-01-08*20

研究課題：ニンニク調製装置の現地導入適応技術の開発

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・ポストハーベストユニット

協力分担：

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2020 年度 (令和 2 年度)

1. 目的

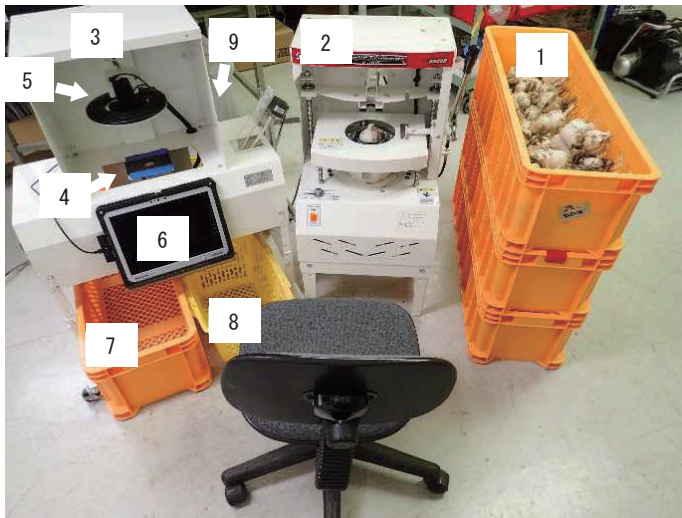
「ニンニク調製の軽労化装置の開発(H29-31)」において開発した盤茎調製機は、根スリ深さをニンニクごとに調整することで、8割以上の仕上がり程度となる根スリが可能であったが、同一階級であっても、個体差により、仕上がり程度には差が生じる。仕上がり程度が不足の場合には再調製をすることとなるが、判定には個人差が生じる。これまでに、AIによる根スリ程度の判定可能性を確認したことから、本課題においては根スリ程度の判定装置(以下、判定装置)を開発し、盤茎調製機(ササキコーポレーション、GN600)との組作業による、簡便な作業方法を検討する。

2. 方法

- 1) 開発した判定装置を図、表1に示す。装置は、webカメラにLED照明を備えた半閉鎖型ボックスの画像取得部、静置したニンニクを判定ごとに振り分けるモーター駆動の判定板および回収箱等からなる動作部、根スリ程度を判定し動作部等を作動させるPC等の制御部からなる。根スリ程度の判定モデルについては、生産者らの主観評価で80点以上が合格で、残りを不足またはキズと判定する。モデルは畳込みニューラルネットワークでよく使われているVGG16により作成し、正解率は0.96である。
- 2) 盤茎調製機での刃物進入深さの設定値(深さ設定)と根スリ程度を確認するため、同一サンプルで、深さ設定を1mmから順に深くする試験を実施し、再調製の効果について調べた。
- 3) 判定装置と盤茎調製機の組作業を、青森県野菜研究所にて図に示すような配置で試験した。作業者はニンニクをコンテナから一つずつ取り出し、根スリしたのち、判定装置の判定板に静置する。静置されたニンニクは自動で合格、不足、キズに判定され、回収箱に振り分けられる。「不足」と判定したニンニクについては、盤茎調製機の深さ設定を調節して再調製することを想定し、用意したサンプルが全て合格となるまでの作業を実施し、能率を求めた。

3. 結果の概要

- 1) 供試装置での判定時間は平均1.85s/回であった。誤判定回避のため判定回数を3回/個としたが、判定板の動作時間を含めた判定装置の動作時間は盤茎調製機のカタログ性能値360個/h(10s/個)以下であった。すなわち、判定は次のニンニクの根スリ作業中に同時に実施されている。
 - 2) 試験結果の一例を表2に示す。深さ1mm設定で根スリすると10個中1個(j)が合格であり、不合格の9個(a~i)を2mmで再調製することとなる。2mmでは9個中5個(e~i)が合格となり、以下繰り返すことにより、最終的に合計26回で全てが合格となる。仮に2mmで開始した場合には17回、3mmで12回、4mmで11回(キズ1個)、5mmで10回(キズ1個)となる。回数を少なくするためには深めの設定から開始すべきであるが、「キズ」の発生に留意する必要がある。
 - 3) 実作業を模した盤茎調製機との組作業試験の結果、供試数25個、サイズL、深さ設定3mmで開始の場合、再調製(4mm)1回の合計26回の調製で、設定の変更を含めた全体の作業能率が353個/hで、盤茎調製機の能率を妨げること無く作業可能であった。
- 以上、ニンニク盤茎調製機と判定装置からなる装置を開発し、良好な組作業の実施を確認した。



- 1) 調製前ニンニク
- 2) 盤茎調製機
- 3) 判定装置
- 4) 判定板
- 5) LED 照明、web カメラ
- 6) PC
- 7) 調製済み 合格回収箱
- 8) 不足回収箱
- 9) キズ回収箱 (背面)

図 ニンニクの根すり程度判定装置と盤茎調製機との組作業を想定した配置例

表 1 判定装置の主要諸元

寸法	全幅(mm)	750
	全高(mm)	950
	奥行き(mm)	600
	質量(kg)	27
	使用電源	AC100 V
	動作部	・判定板：ステッピングモーターで回転、回収箱に振り分け
	画像取得部	・カメラ：Logicool C930e, HD1080p
	制御部	・PC:Panasonic CF-33, corei5-7300 2.6GHz ・モデル：VGG16 を使用して作成したオリジナル ・python で記述したプログラムを PC で実行、動作部を制御

表 2 根すり程度の判定結果の一例

サンプル	盤茎調製機での刃物進入深さの設定値 (深さ設定) (mm)				
	1	2	3	4	5
a	●	●	●	●	○
b	●	●	●	○	○
c	●	●	○	○	○
d	●	●	○	○	○
e	●	○	○	○	○
f	●	○	○	○	○
g	●	○	○	○	○
h	●	○	○	○	○
i	●	○	○	○	○
j	○	○	○	×	×

*:供試サンプルは、2019 年度青森産、2L。

●：不足、○：合格、×：キズ。

4. 成果の活用面と留意点

- 1) 技術内容について学会等で発表予定。
- 2) 合格の基準については本課題で実施した評価によるものであり、特定の出荷規格との関係はない。

5. 残された問題とその対応

根スリの仕上がり程度の合格基準については、生産者と実需者間での合意形成が必要である。

課題分類：6（3）

課題ID：1060303-01-06*20

研究課題：植物体へのダイレクトプリント技術の適用条件の解明

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・ポストハーベストユニット

協力分担：

予算区分：科研費

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

野菜等に、個別情報を書き換え不可能な手法でプリントし、商品の出荷や在庫管理、品目等の混合や偽装対策、ラベル貼りや過剰な袋詰めには代わる商品名記述方法として、植物生体の表面に個別情報をダイレクトプリントする技術を開発する。レーザーによる印字を念頭に、レーザー密度、照射時間等の制御技術と植物体への影響、プリントすべき情報の内容、提示手法について研究する。

2. 方法

- 1) CO₂ レーザー加工機（40W）を用いて、青果物表面にレーザーを強度、照射時間（連続照射、パルス照射、積算時間）を変えて照射し、印字を行った（図1）。供試材料には、表面状態が異なる各種青果物を供試し、印字の状態、印字後の青果物の水分等の状態変化を観察した。（2018～19年度）
- 2) 光学的文字認識技術の利用を想定し、ARコードの印字、読み取り、利用について試験した。読み取りについては、HDwebカメラ（210万画素）、PCおよびARコードを読み取りディスプレイ内の仮想空間上に情報を表示するプログラムからなるシステムを構築し、その読み取り性能、利用方法について検討した。コード印字では、一般的には黒色部分をシンボルの抽出に使用すること、コードに歪みがある場合、読み取りの誤り訂正機能があるものの制限がある。1)の結果より、比較的表面が平らで印字跡が黒く発色する青果物であれば、コード利用の可能性があると考えジャガイモ、キウイフルーツ等を供試材料とした。対照区には、白色上質紙として、ARコードの読み取り具合の違いについて調べた。また仮想空間上に表示する内容として、文字データ、画像データの表示方法について検討した。（2018～20年度）

3. 結果の概要

- 1) レーザー印字の例として、表皮が固く乾燥気味なクリ、もろく乾燥した薄皮のあるニンニク、表皮が薄く水分があるミニトマト、表面にもうじがあるキウイフルーツの結果を図2に示す。出力の調整、レーザーの照射密度条件等を適切に設定することで印字可能であった。その他、バナナ、ピーマン、カンキツ、イモ類、球根等でも印字可能であった。ミニトマトへのレーザー印字による、外観、重量の経時変化を調べたところ、37.4Ws以下の試験区では印字なしの対照区と比して、5日後でも差は確認されず、負荷とならないことが分かった（図3）。また、印字箇所については、対象品目の表面が乾燥気味なものは黒く、表皮が薄く水分があるものは白く見える傾向があった。
- 2) 図4にレーザー印字とその活用例を示す。ジャガイモ表面へのARコードの印字とその読み取りで仮想空間への文字と画像による情報の表示が可能であることを示したが、対照区と比して光環境により検出される階調が不安定となることが多く、利用は限定的であった。印字が白くなる青果物では、シンボル抽出で階調が逆転するためシステムの修正が必要となることから、AIカメラにより文字を認識しweb検索で情報を入手する手法を構築した（図4）。

以上、レーザーによる青果物への文字やコードの印字が可能であることを明らかにするとともに、情報を提供する技術を開発した。

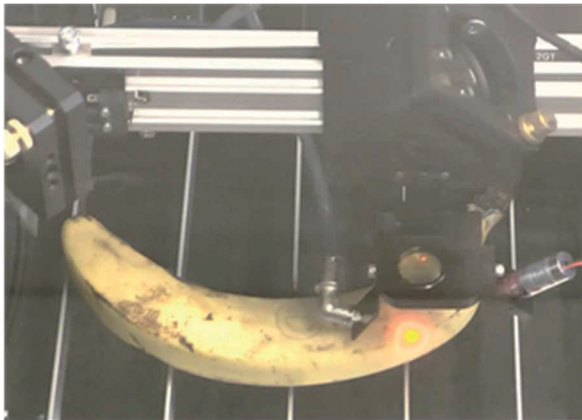


図1 青果物へのレーザー印字の様子



ミニトマト キウイフルーツ

図2 青果物へのレーザー印字例

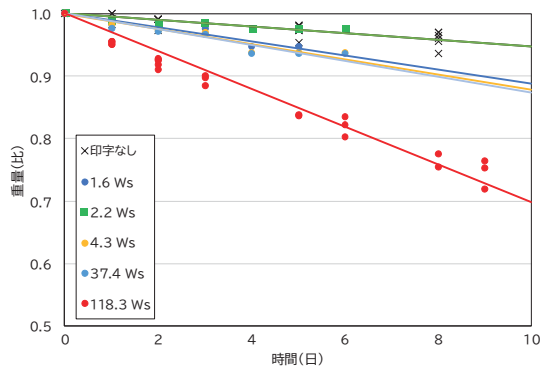


図3 レーザー印字したミニトマト重量の経時変化



図4 ARコードの読み取り、仮想空間上への文字と画像による情報の表示例

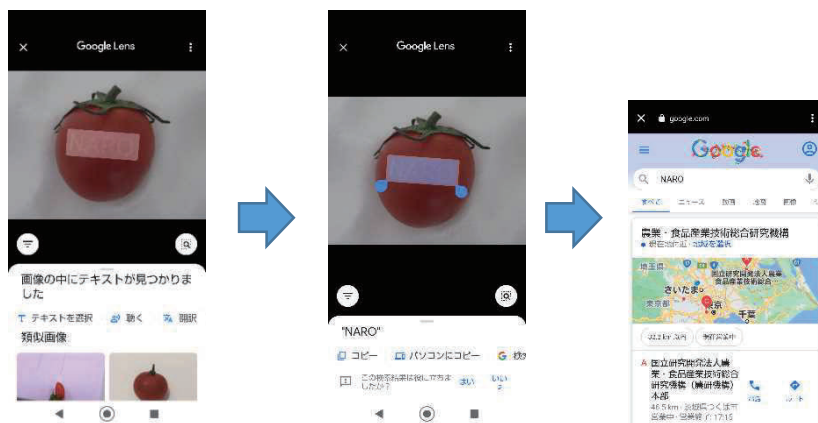


図5 AIカメラによる文字の読み取りとweb検索への誘導による情報の取得

4. 成果の活用面と留意点

技術内容について学会で発表予定。

5. 残された問題とその対応

利用対象品目の選定には社会受容性等を含め別途検討する必要がある。

課題分類：13(2)

課題ID：1060201-03-07*20

研究課題：管理作業用自律走行プラットフォームの開発

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・基礎技術ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

自動運転トラクタや自動運転田植え機など、既存の農用ロボットよりも小型で生産者が汎用的に利用することを目的とした小型農用ロボットの開発を目指す。本研究では、自律走行機能を有する電動台車を試作し、畑作管理作業用機能を搭載するためのプラットフォームとして開発する。本研究により不整形地を自律走行するための制御技術を開発することで、既往研究で開発された画像認識用カメラやロボットアーム等様々な装置を搭載してほ場で利用することが可能になり、営農管理システムと連動して、より高度なデータ駆動型農業が可能になる。

2. 方法

- 1) 同一の走行制御、機能で2つのプラットフォームを試作した。1台はヤンマーアグリ社製野菜運搬機 NC16A（全長×全幅×全高：2290×1480×1025）を、750W の AC サーボモータ 2 台で駆動するハイクリアランスの畑作管理作業用ロボットのための大型プラットフォームとして試作した。もう1台は、共立製の小型クローラ運搬車 KCGJ800V（全長×全幅×全高：850×600×1280）を 450W の DC モータ 2 台で駆動する汎用の作業補助ロボットのための小型プラットフォームとして試作した。（2019～2020 年度）
- 2) プラットフォームの自律走行機能について、プラットフォームの取扱い性を重視して、作業者に自動追従する追従走行機能を本研究での目標と設定した。（2019 年度）
- 3) 市販の追従 AGV について、走行部をクローラに改造した追従プラットフォームを試作した。（2019～2020 年度）
- 4) プロトタイプの追従プラットフォームを試作し、走行制御プログラムを開発した。センサを廉価版の LiDAR (RPLiDAR A2M8 ¥35,000)、コントローラは低コスト小型コンピュータ raspberry pi3(¥5,000) で、追従走行、ジョイスティックによる手動操作、障害物自動回避機能を可能にする。市販の AGV と同等の機能を 1/5 以下のコストで実現することを目指した。（2019 年度）

3. 結果の概要

- 1) 管理作業用の大型プラットフォーム(図1)、汎用利用の小型プラットフォーム(図2)を試作した。2台の走行に関する制御は同一のプログラムで作業員への追従、リモコンによる操作が可能である。
- 2) プロトタイプの追従プラットフォーム(図3)を試作し、走行制御プログラムの検証を行った。作業員の追従、ジョイスティックによる手動操作ともに機能を確認できたが、CPU の処理速度が遅くデータに欠損が生じ、追従対象者を見失う、追従走行の反応が遅れがちとなった。制御 CPU を Windows10 ベースの LattePanda alpha に変更し、改良したプログラムを試作中の大型プラットフォーム、小型プラットフォームに搭載した。
- 3) 市販の AGV を改良した追従プラットフォーム(図4)について、走行性能試験(表)、梨園による実証試験を行った。梨園での走破性を確認し、走行試験によって積載質量 50kg で約 2.7 時間の連続走行が可能であることが明らかになった。

以上、LiDAR による追従走行制御システムを開発し、畑地等での管理作業を目的とした大型プラットフォームと、作業員の補助を目的とした小型プラットフォームを開発した。また、市販 AGV を改造した追従プラットフォームについて性能を明らかにした。



図1 管理作業用大型プラットフォーム



図2 汎用小型プラットフォーム

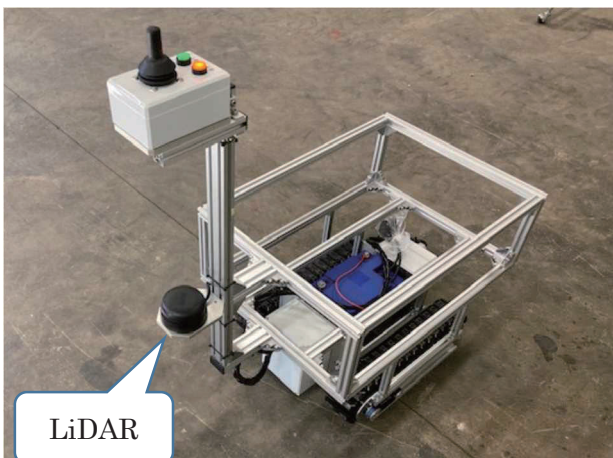


図3 プロトタイプのプラットフォーム

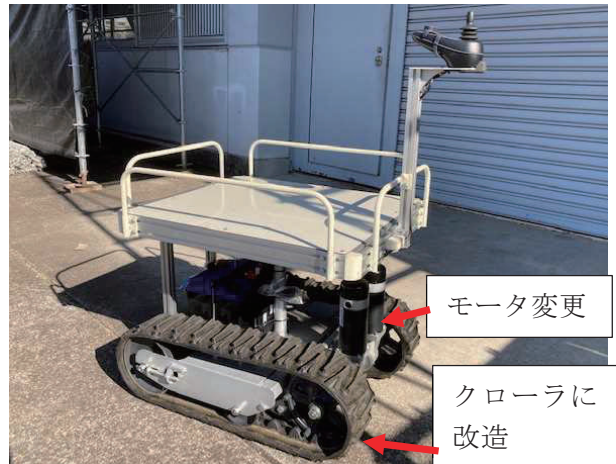


図4 AGV を改良した小型農作業補助ロボット

表 AGV を改良した小型農作業補助ロボットの走行試験結果

	バラストなし		バラスト10kg		バラスト20kg		バラスト30kg		バラスト40kg		バラスト50kg	
	低速	高速	低速	高速	低速	高速	低速	高速	低速	高速	低速	高速
速度 (m/s)	0.81	1.63	0.81	1.63	0.81	1.56	0.81	1.38	0.80	1.18	0.80	0.99
消費電力 (kW)	267.5	544.3	311.0	465.9	303.2	443.8	309.2	411.7	311.4	390.5	345.6	386.5
推定稼働時間(h)	3.5	1.7	3.0	2.0	3.0	2.1	3.0	2.2	3.0	2.4	2.7	2.4

4. 成果の活用面と留意点

Li-ion バッテリーは 1kWh でおよそ 20kg 程度、価格は 20 万円ほどになる。プラットフォームの積載質量、稼働時間を増やすにはバッテリーの搭載量を増やせばよいが、コスト、質量ともに限度がある。

5. 残された問題とその対応

低コスト電動車両追従走行システムとして、本研究で開発した追従走行ソフトウェアとセンサ、モータ等の仕様を農研機構 HP などで公開することで、既存の車両を安価かつ簡易に電動化、追従プラットフォームへ改造する技術としての普及を目指す。

課題分類：13 (2)

課題ID：1060202-03-08*20

研究課題：モジュール型電動農業機械の充電システムに関する研究

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・基礎技術ユニット

協力分担：なし

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2018～2020 年度（平成 30～令和 2 年度）

1. 目的

電動化の利点は、部品の少なさによる機械の簡素化、メンテナンス性の高さ、構造の自由度の高さにある。作業への自動追従、ホーム（充電装置・収穫物の積み込み場所）への帰還等のベース車両の自動運転技術を有した電動農業機械を想定し、ベース車両のバッテリーや充電システムが作業性能や効率にかかると整理し、充電システムを含めた機械の改良の資とする。

2. 方法

- 1) ワイヤレス充電システムの試作：過酷な農業現場での充電を想定した場合、電極による接触充電は、粉塵や夾雑物の影響を受ける。そこで、本課題ではワイヤレス充電を利用したシステムを検討した。ワイヤレス充電では送・受電ヘッドの位置関係が厳格であるとされている。そのため、許容できるズレにまで送・受電ヘッドを自動的に補正できるワイヤレス充電システムを試作し、その性能を調査した。（2018～2020 年度）
- 2) 充電効率試験：充電ステーションに設置されたワイヤレス充電装置（B&PLUS 社製、RCS600）の送信ヘッドと電動台車の受信ヘッドの位置関係について、許容できる送・受電ヘッドの横方向へのズレ、角度のズレ、送・受電ヘッド間の距離を計測し、その際の充電効率について調査した（図 3）。（2019～2020 年度）
- 3) 自動帰還試験：ワイヤレス充電ステーションから 2.6～5.9m の位置において、正面から左右に 0.3～1.5m 離れたポイントからの帰還可否を調査した。（2020 年度）

3. 結果の概要

- 1) 試作したワイヤレス充電システムは、電動台車および充電ステーションによって構成される。電動台車はクローラ型の電動台車（三晃精機、JS-800-CR）を改造し、赤外線センサが充電ステーション上部に設置した点滅する赤外線ランプを目標と認識し、任意の距離に近づいた後停止し、ワイヤレス充電を開始する制御を持たせた（図 1、表）。ワイヤレス充電ステーションは、床面にローラコンベヤを配置し、台車に設置したガイドローラ、充電ステーションに設置した位置決めガイドバーを利用することで進行方向に対して左右方向のズレを容易に微調整することを可能とする構造とした（図 2）
- 2) 充電効率試験の結果、送・受電ヘッド位置のズレにおける充電可能な許容範囲は、相対時に対して横方向 30mm 以内、角度 55° 以内、距離 30mm 以内であった。電圧が設定値である 57V に到達する時間は、相対で 2400 秒、30mm 横ズレの状態では 2830 秒、55° ズれた状態では 2655 秒、30mm 離れた状態では 2600 秒となった。また、満充電になるまでに相対で 6.2Ah であったのに対し、30mm 横ズレの状態では 7.7Ah、55° ズレの状態では 7.9Ah、30mm 離れた状態では 8.1Ah となり、相対と比べて充電効率が悪化した。
- 3) 自動帰還試験の結果、電動台車のガイドローラが充電ステーションのガイドバーへの接触時における角度が 60° 以下において機体の向きを送電ヘッドに相対する姿勢に調整できた（図 4）。各ポイントからの自動帰還の可否を調査した結果、充電ステーションに近く、赤外線ランプの中心線から左右に離れたポイントからの自動帰還ができなかった。これは、赤外線ランプから扇状に放射されている赤外線の範囲を外れたことに起因する。一方、赤外線ランプから 5.9m 離れた場合ではランプの中心線から左右に最大 1.5m 離れていても自動帰還することができた。また、最大で 10m 離れたポイントから帰還することができた。

以上、ワイヤレス充電システムを試作し自動帰還試験を行った結果、自動で正確に送・受電ヘッドを相対させることができ、効率的なワイヤレス充電が可能であることを明らかにした。

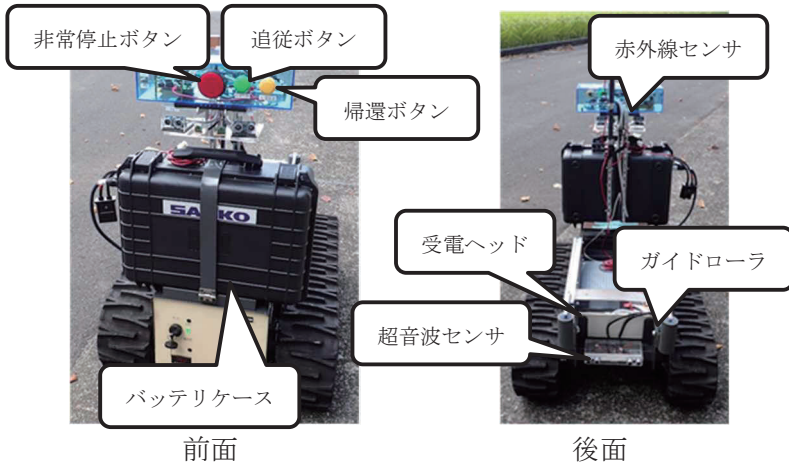


図1 クローラ型電動台車

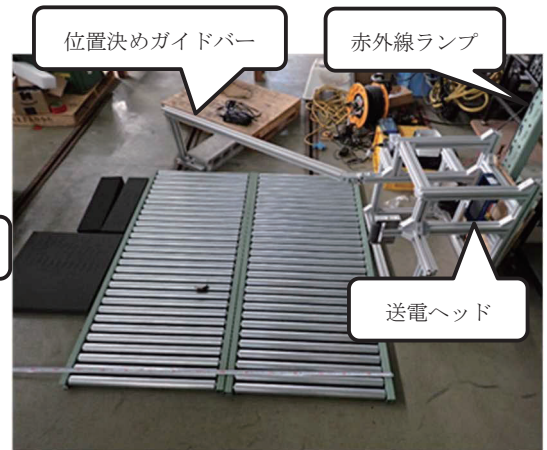


図2 充電ステーション

表 電動台車の仕様

大きさ (幅×全長×全高 mm)	640×850×500
重量 (kg)	95
走行部	クローラ幅 (mm) 150
	トレッド (mm) 330
	設置長 (mm) 575
	ブラシレスモータ 400W、×2
バッテリー	鉛蓄電池 12V、10Ah× 4(48V)
走行速度	0.1~0.7m/s

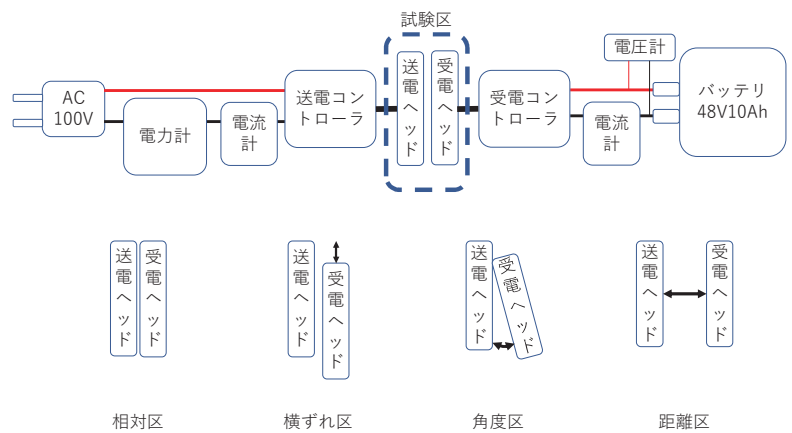


図3 ワイヤレス充電システムの概要及び充電効率試験方法

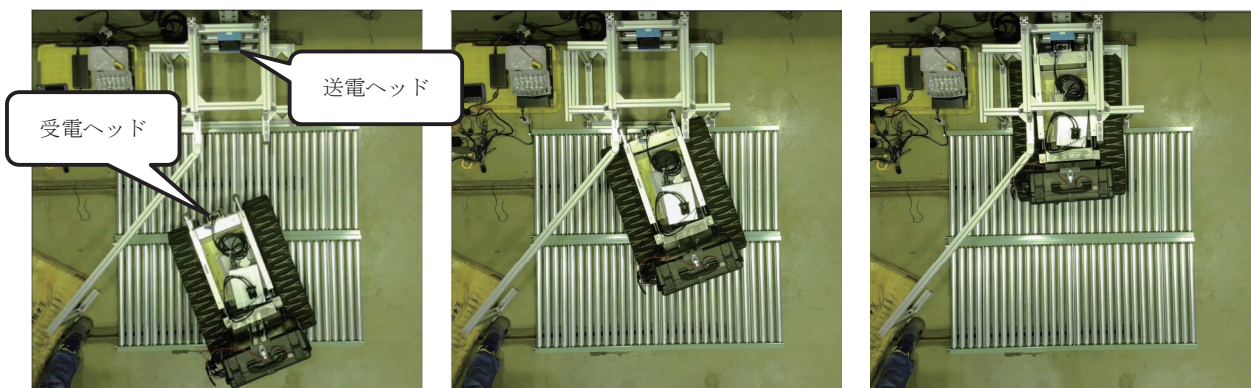


図4 充電ステーションへの帰還の様子

4. 成果の活用面と留意点

モジュール型電動農業機械の充電システムに関する研究の資とする。
ワイヤレス充電ステーションにおける自律走行ロボットの自動帰還方法について論文投稿予定。

5. 残された問題とその対応

電動台車の作業者追従制御の改良および現地実証試験を新規課題で検討予定。

課題分類：13 (9)

課題ID：1060202-03-11*20

研究課題：小型 AI ロボット群の移動プラットフォームのための評価手法およびエネルギー供給・利用技術の開発

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・基礎技術ユニット

協力分担：なし

予算区分：理事裁量経費（理事長査定枠）

研究期間：完 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

2025 年度をめどにプロトタイプが開発される小型 AI ロボット群における移動プラットフォーム（走行部）について、移動プラットフォーム選別のための評価手法および移動プラットフォームを 365 日、24 時間運用させるために必要なエネルギー供給技術について検討する。

2. 方法

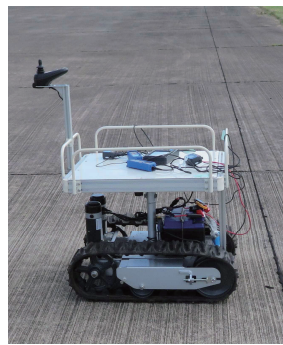
- 1) 評価対象とした小型 AI ロボット群の移動プラットフォーム（走行部）は、現在、社会実装されている電動の「履帯式」、「車輪式」とした。また、試験ではこれら走行部を持つ運搬作業が可能な車両を用いた。農業現場における生産物の運搬作業を想定し、これらの車両の運搬時における連続稼働時間、航続可能距離、電費を評価基準とした。試験では、各車両にバラストを 10kg～50kg まで 10kg 刻みで搭載した状態及び搭載しない状態での路面（平坦なコンクリート路面）走行時における走行時間、電流値、電圧値等を計測した。これら計測データを基に走行速度、消費電力、連続稼働時間、航続可能距離、電費を算出した。なお、履帯式の車両（以下、供試機 A）については、人追従機能を使い、前方の人に追従する形で走行させた。車輪式の車両（以下、供試機 B）についてはコントローラで操作した。
- 2) AI ロボット群への利用を想定し、太陽光発電モジュール（170W）と風力発電モジュール（600W）のハイブリッド発電によって Li-ion バッテリー（1112Wh）を充電するシステムを試作した。試作したハイブリッド充電装置を革新工学センターさいたま事業所敷地内（35° 55' 07" N 139° 36' 09" E）に設置し、発電量、充電量を計測した。得られた計測データと電動台車等の消費エネルギーから、供試機 A、B の稼働可能時間を試算した。

3. 結果の概要

- 1) 表 1 に供試機 A、B の主な仕様、図 1 に外観を示す。試験の結果、供試機 A の低速走行時の消費電力は、負荷荷重が増大するにつれて増加した。一方、高速走行時は、負荷荷重が増大するにつれて低下した。これは、負荷荷重が増大するにつれて、高速走行時の速度が大幅に低下したことに起因していると推察された。航続可能距離については、低速時、高速時ともに、負荷荷重が増大するにつれて短くなることが明らかとなった（表 2）。供試機 B の消費電力は、負荷荷重が増大するにつれて増加する傾向が認められた。航続可能距離については、負荷荷重が増大するにつれて短くなることが明らかとなった（表 3）。以上のことから、50kg の荷物を搭載した状態で比較すると、バッテリーが満充電の状態、供試機 A（高速）は電費 130Wh/km、連続稼働時間約 2 時間で 7 km、供試機 B は電費 29Wh/km、連続稼働時間約 8 時間で 12km 走行可能であることが示された。
- 2) 図 2 に試作した発電システムの外観を示す。冬期（12 月 5 日～15 日）の発電量は平均で太陽光が 597Wh/日、風力が 76Wh/日で合算すると 673Wh/日であった（表 4）。このことから、1 日の蓄電量で、50kg の荷物を搭載した状態の供試機 A（高速）を 1.4 時間、供試機 B を 15 時間程度稼働可能であることが明らかとなった。

表 1 供試機的主要仕様

	供試機A	供試機B
全長	1005 [mm]	591 [mm]
全幅	739 [mm]	484 [mm]
全高	1142 [mm]	1220 [mm]
車体質量	95.7 [kg]	23.4 [kg]
走行部形式	履带式	車輪式
モーター出力	450W×2	200W×2
モーター種類	DCモーター	インホイールブラシレスモーター
バッテリー容量	462Wh×2	343Wh
バッテリー種類	リチウムイオン	リチウムイオン



供試機 A



供試機 B

図 1 供試機の外観

表 2 供試機 A の試験結果

負荷荷重 (kg)	0		10		20		30		40		50	
	低速	高速	低速	高速	低速	高速	低速	高速	低速	高速	低速	高速
走行速度 (m/s)	0.81	1.63	0.81	1.63	0.81	1.56	0.81	1.38	0.80	1.18	0.79	0.99
消費電力 (W)	313.8	645.3	328.3	646.2	345.4	610.9	349.3	607.9	355.4	505.3	381.4	463.2
連続稼働時間 (h)	2.94	1.43	2.81	1.43	2.68	1.51	2.65	1.52	2.60	1.83	2.42	1.99
航続可能距離 (km)	8.59	8.40	8.21	8.39	7.80	8.49	7.71	7.55	7.49	7.77	6.89	7.11
電費 (Wh/km)	107.6	110.0	112.6	110.1	118.4	108.8	119.8	122.4	123.4	119.0	134.1	130.0

表 3 供試機 B の試験結果

負荷荷重 (kg)	0	10	20	30	40	50
走行速度 (m/s)	0.54	0.54	0.51	0.47	0.47	0.42
消費電力 (W)	34.6	35.7	35.0	37.8	41.2	43.1
連続稼働時間 (h)	9.9	9.6	9.8	9.1	8.3	8.0
航続可能距離 (km)	19.1	18.8	17.9	15.5	14.0	12.0
電費 (Wh/km)	18.0	18.2	19.1	22.1	24.5	28.5

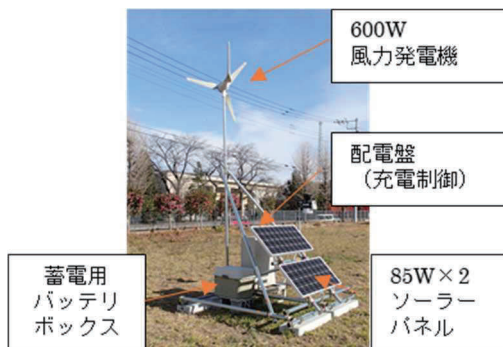


図 2 試作した発電システムの構成

表 4 発電システムによる発電量

	一日あたり 充電量 (期間平均, Wh)	期間中一日あたりの 最大充電量 (Wh)
ソーラーパネル	597	900
風力発電機	76	142
計測期間 (12月5日~12月15日)		

4. 成果の活用面と留意点

小型 AI ロボット群における移動プラットフォームの選定に資する。

5. 残された問題とその対応

移動プラットフォームの評価について、様々な条件下でのデータを蓄積する必要がある。また、ハイブリッド充電装置の年間を通じたデータを蓄積する必要がある。

課題分類：5（3）

課題 I D：1060302-01-05*20

研究課題：ブロッコリー収穫に関する調査研究

担当部署：革新工学センター・次世代コア技術研究領域・基礎技術ユニット

協力分担：十勝農試

予算区分：基礎・基盤

研究期間：完 2020 年度（令和 2 年度）

1. 目的

ブロッコリーは生育が不斉であるため、その収穫は人力による選択収穫で行われる。このため、収穫作業に多くの労力と時間を要し、生産現場からは、収穫作業の省力化・機械化に対する強い要望が挙がっている。また、育苗管理についても収穫作業と同様に労働負担が大きく、省力化が求められている。そこで、ブロッコリー栽培の省力化に向け、直播栽培の可能性を検討するとともに、収穫機械の開発に必要な要件等について調査する。

2. 方法

- 1) 十勝農業試験場内でブロッコリー 9 品種について、播種時期を 3 回に分けて直播栽培を行った。直播栽培と比較するため、このうち 4 品種は移植栽培も行った。直播栽培と移植栽培の初期生育を比較するため、同一播種日の直播栽培と移植栽培の苗について播種から 26 日後に葉数、全長等を比較した。また、機械収穫適正を明らかにするため、収穫適期に一斉収穫による調査を行い、栽培方法、品種間の違いによる差を比較検討した。
- 2) 革新工学センター附属農場でブロッコリー 2 品種について、直播栽培と移植栽培を行った。収穫機械に必要な要件を検討するため、収穫適期に調査を行った。

3. 結果の概要

- 1) 初期生育の調査では、直播栽培の苗は葉数が 1 枚程度多く、全長、最大葉長も大きく、生育良好であった。根長は、移植苗の方が長く、細根がセル内で渦を巻いた状態であった。これに対し、直播栽培の苗は太い直根が発生し、これが生育促進する要因の一つであると推察された。移植栽培、直播栽培とも欠株はほとんど見られなかった（表 1、図 1）。各品種とも直播栽培は収穫適期までの生育日数が 1 週間～10 日程度短かった。花蕾径のばらつきは、移植 128 穴区とそれぞれ比較すると、播種日が同一の 5/8 直播区ではほぼ同等、5/19 直播区ではばらつきが小さく、6/3 直播区ではばらつきが大きかった。品種間で比較すると、移植栽培、直播栽培ともに花蕾の揃いの良い品種は「おはよう」で、移植栽培より直播栽培の方が揃いが良いのは「トップスター」であった（表 2）。作物高さは、品種間差が明瞭にみられ、移植栽培、直播栽培とも高い順に「ピクセル」、「トップスター」、「おはよう」、「SK9-099」であった（図 2）。花蕾中心の左右方向のズレは、品種間で差異は認められなかったが、移植栽培と比較すると直播栽培の方が小さかった（図 3）。以上の結果から、ブロッコリー直播栽培の可能性が示された。また、作物高さ、花蕾のズレ等の性状から機械収穫に適応性が高い品種を明らかにした。
- 2) 調査の結果、「SK9-099」は、直播栽培と移植栽培で比較すると、直播栽培は、1 ヶ月程度収穫適期が早くなった。平均花蕾径は、ほぼ同等であったが、直播栽培の花蕾径のばらつきが大きかった。この理由として、直播栽培では耕うんが粗かったため播種深さにばらつきが生じ出芽が揃わなかったためと推察された。地面と花蕾下端間の距離、倒伏角は両者ともほぼ同等であった（表 3）。花蕾中心の左右方向のズレについては、直播栽培の方が若干大きかった。移植栽培の品種間で比較すると、花蕾径、倒伏角、花蕾中心の左右方向のズレは「SK9-099」の方が大きく、花蕾径のばらつき、地面と花蕾の距離は「サマードーム」の方が大きかった。以上の結果と、文献、ヒアリング調査等の結果を基にブロッコリー収穫機に求められる要件を整理した（表 4）。

以上、ブロッコリー収穫に関する調査を行い、収穫機械の開発に資する知見を得た。

表1 初期生育の比較

品種名	試験区	6/3調査				出芽期 月/日	欠株率 (%)	
		調査株数	葉数(枚)	全長(cm)	根長(cm)			
ピクセル	移植128穴	10	2.1	9.1	18.0	3.5	-	0.0
	直播5/8	10	3.3	11.6	4.8	5.4	5/13	0.0
おはよう	移植128穴	10	2.1	7.2	14.0	3.0	-	0.0
	直播5/8	10	3.2	9.9	3.4	4.9	5/13	0.0
SK9-099	移植128穴	10	2.0	7.9	15.3	3.2	-	0.0
	直播5/8	10	2.9	8.7	2.9	4.5	5/13	4.8
トップスター	移植128穴	10	2.9	8.6	18.2	3.6	-	0.0
	直播5/8	10	3.9	11.1	6.2	5.4	5/13	0.0

注) 欠株率の調査日は5/19、調査株数は21株



左: 移植苗 右: 直播苗 移植苗 直播苗

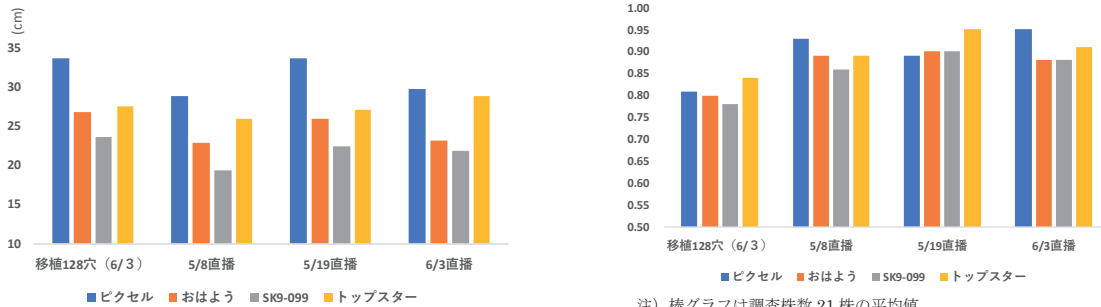
図1 地上及び地下部の生育状況

表2 調査結果(十勝農業試験場内)

品種名	試験区	出芽日 (移植日) 月/日	播種から の出芽 日数	収穫日 月/日	播種からの生育日数 日数	生育差 基準0	一斉収穫時の花蕾の調査	
							平均花蕾径	
							(cm)	CV
ピクセル	移植128穴	6/3	-	7/26	79	基準0	13.1	0.184
	5/8直播	5/12	4	7/15	68	-11	10.9	0.214
	5/19直播	5/23	4	7/25	67	-12	13.4	0.124
	6/3直播	6/11	8	8/6	64	-15	11.1	0.273
おはよう	移植128穴	6/3	-	7/26	79	基準0	12.1	0.109
	5/8直播	5/12	4	7/19	72	-7	11.9	0.163
	5/19直播	5/23	4	7/25	67	-12	13.4	0.106
	6/3直播	6/11	8	8/6	64	-15	10.6	0.255
SK9-099	移植128穴	6/3	-	7/26	79	基準0	12.9	0.205
	5/8直播	5/12	4	7/19	72	-7	11.6	0.172
	5/19直播	5/23	4	7/25	67	-12	13.1	0.183
	6/3直播	6/11	8	8/6	64	-15	11.4	0.286
トップスター	移植128穴	6/3	-	7/22	75	基準0	12.4	0.184
	5/8直播	5/12	4	7/14	67	-8	11.1	0.141
	5/19直播	5/23	4	7/22	63	-12	13.4	0.135
	6/3直播	6/11	8	8/6	64	-11	10.7	0.182

注) 調査株数は15株

注) 直播栽培の出芽率は全品種90%以上、6/3直播区は干ばつのため灌水2回実施



注) 棒グラフは調査株数21株の平均

注) 棒グラフは調査株数21株の平均値

注) 植付位置を中心に左右15cm以内に花蕾の半分以上が収まっている場合は「1」、半分未満の場合は「0.5」、15cmより外にある場合は「0」

図2 作物高さ

図3 花蕾のズレ

表3 調査結果(革新工学センター附属農場)

品種名	試験区	播種日	移植日	調査日	調査株数	花蕾径平均		地面と花蕾の距離平均 (cm)	倒伏角平均 (°)	花蕾中心の左右ズレ平均 (cm)
						(cm)	CV			
SK9-099	移植	8月7日	9月9日	12月3日	30	10.7	0.28	14.9	12.5	3.0
	直播	8月7日	-	10月29日	29	10.8	0.53	15.7	11.2	4.5
サマードーム	移植	8月7日	9月9日	12月3日	30	8.4	0.42	20.0	8.3	2.0
	直播	8月7日	-	10月29日	-	-	-	-	-	-

注) サマードームの直播は病害により枯死したため、調査できなかった

注) 地面から花蕾底部までの距離を測定

表4 ブロッコリー収穫機に求められる要件

	収穫精度	作業能率	価格帯	その他
収穫機械に必要な要件	95%	4~6h/10a	800~1200万	・収穫物の左右のズレへの対応 ・地際での高精度な刈取り

4. 成果の活用と留意点

ブロッコリー収穫機の開発に資する。

5. 残された問題とその対応

気象条件の違いが生育や斉一性等に与える影響について、検討する必要がある。

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2年度（令和2年2月～令和3年2月）の安全性検査実施状況は、表1-1のとおり申込数17機種148型式、合格数15機種140型式であった。

表1-1 安全性検査実施一覧

機種名	申込型式	合格型式	担当
農用トラクター（乗用型）	28	22	性能評価ユニット
農用トラクター（歩行型）	7	7	性能評価ユニット
田植機	31	31	ロボット安全評価ユニット
野菜移植機	5	5	ロボット安全評価ユニット
動力噴霧機（走行式）	1	1	作業機安全評価ユニット
動力刈取機（結束型）	4	4	作業機安全評価ユニット
コンバイン（自脱型）	11	11	作業機安全評価ユニット
コンバイン（普通型）	6	3	作業機安全評価ユニット
ケーンハーベスター	3	3	ロボット安全評価ユニット
乾燥機（穀物用循環型）	45	45	作業機安全評価ユニット
もみすり機	3	3	作業機安全評価ユニット
乗用管理機	3	3	性能評価ユニット
キャベツ収穫機	1	1	作業機安全評価ユニット
人参ハーベスター	1	—	作業機安全評価ユニット
大根収穫機	1	—	作業機安全評価ユニット

多目的田植機	1	1	ロボット安全評価ユニット
合計	148	140	

（令和2年2月～令和3年2月分）

※申込型式のうち、申込を辞退したものの3機種8型式を含む。

2) 令和2年度（令和2年2月～令和3年2月）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のとおりであった。

表1-2 申込受付期間等の一覧

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
2.5.11 2.5.18 2.5.15	2.5.25～6.19 2.5.27～6.19 2.5.29～6.19	革新工学センター	2.7.7	2社 39型式
2.6.5 2.6.12 2.6.26 2.7.2	2.6.19～7.22 2.6.29～7.22 2.6.30～7.22 2.7.17～7.22	革新工学センター	2.8.11	2社 13型式
2.5.25 2.6.12 2.6.22 2.7.7	2.6.29～8.24 2.7.9～8.24 2.7.27～8.24 2.8.17～8.24	革新工学センター 株式会社クボタ堺製造所 井関農機株式会社 砥部事業所 大島農機株式会社	2.9.15	4社 19型式
2.6.19 2.7.7 2.8.7	2.7.16～9.28 2.7.20～9.28	革新工学センター 株式会	2.10.13	3社 6型式

	2. 8. 31 ～9. 28	社クボ タ三重 研究所 みのる 産業株 式会社		
2. 8. 3 2. 8. 28	2. 9. 1 ～10. 26 2. 9. 14 ～10. 26 2. 9. 18 ～10. 26	革新工 学セン ター 株式会 社山本 製作所	2. 11. 17	3社 15型式
2. 8. 28 2. 10. 16 2. 10. 22 2. 10. 29 2. 10. 30	2. 9. 14～ 11. 24 2. 11. 6～ 11. 24 2. 11. 12 ～11. 24 2. 11. 20 ～11. 24	革新工 学セン ター 魚谷鉄 工株式 会社 株式会 社くみ き	2. 12. 15	4社 12型式
2. 9. 7 2. 10. 27 2. 11. 9 2. 11. 19	2. 10. 1～ 12. 23 2. 11. 17 ～12. 23 2. 11. 20 ～12. 23 2. 12. 10 ～12. 23	革新工 学セン ター 株式会 社クボ タ宇都 宮工場 ヤンマ ーアグ リ株式 会社岡 山藤崎 試作セ ンター	3. 1. 19	2社 12型式
2. 9. 4 2. 9. 7 2. 9. 28 2. 10. 19 2. 11. 5 2. 11. 9 2. 11. 16 2. 11. 30 2. 12. 4 2. 12. 14	2. 10. 5～ 3. 1. 25 2. 10. 7～ 3. 1. 25 2. 11. 18 ～3. 1. 25 2. 11. 25 ～3. 1. 25 2. 12. 9～ 3. 1. 25 2. 12. 14 ～3. 1. 25	革新工 学セン ター 株式会 社クボ タ三重 研究所 株式会 社井関 新潟製 造所 株式会 社クボ タ宇都 宮工場	3. 2. 16	4社 24型式

(令和2年2月～令和3年2月分)

3) 令和2年度(令和2年2月～令和3年2月)の安全性検査合格機の型式名、依頼者名、合格番号は、表1-3のとおりであった。

表1-3 合格機一覧

型式名	依頼者の名称	合格番号
キセキ T1854	井関農機株式会社	NARO 20/001
キセキ T1854C	〃	NARO 20/002
キセキ T1864	〃	NARO 20/003
キセキ T1864C	〃	NARO 20/004
三菱 T1504	三菱マヒンドラ農機株式会社	NARO 20/005
キセキ P0637	井関農機株式会社	NARO 20/006
キセキ P0646	〃	NARO 20/007
キセキ P0864	〃	NARO 20/008
キセキ P0864C	〃	NARO 20/009
キセキ P0874	〃	NARO 20/010
キセキ P0874C	〃	NARO 20/011
キセキ H092	〃	NARO 20/012
キセキ H092G	〃	NARO 20/013
キセキ G063	〃	NARO 20/014
キセキ G064	〃	NARO 20/015
キセキ G065	〃	NARO 20/016
キセキ G066	〃	NARO 20/017
キセキ G067	〃	NARO 20/018
キセキ G068	〃	NARO 20/019
キセキ G069	〃	NARO 20/020
キセキ G070	〃	NARO 20/021
キセキ G071	〃	NARO 20/022
キセキ G072	〃	NARO 20/023
キセキ G073	〃	NARO 20/024
キセキ G074	〃	NARO 20/025
キセキ G075	〃	NARO 20/026
キセキ G076	〃	NARO 20/027
キセキ G077	〃	NARO 20/028
キセキ G078	〃	NARO 20/029
キセキ G079	〃	NARO 20/030
キセキ G080	〃	NARO 20/031
キセキ G082	〃	NARO 20/032
キセキ G083	〃	NARO 20/033
キセキ G084	〃	NARO 20/034
キセキ G085	〃	NARO 20/035
キセキ G086	〃	NARO 20/036
キセキ G087	〃	NARO 20/037
キセキ G090	〃	NARO 20/038
キセキ G091	〃	NARO 20/039
ヤンマー T0217	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 20/040
ヤンマー P0001	株式会社	NARO 20/041
ヤンマー P0002	〃	NARO 20/042
ヤンマー P0003	〃	NARO 20/043
KRC40	金子農機株式会社	NARO 20/044
KRC45	〃	NARO 20/045
KRC50	〃	NARO 20/046
KRH55	〃	NARO 20/047
KRH60	〃	NARO 20/048
KRH65	〃	NARO 20/049
KRH70	〃	NARO 20/050
ヤンマー A-10V	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 20/051
ヤンマー AC-10V	株式会社	NARO 20/052
クボタ TS751N	株式会社 クボタ	NARO 20/053
クボタ TS751NW	〃	NARO 20/054
クボタ PC751N	〃	NARO 20/055

キセキ PVHR200A	井関農機株式会社	NARO 20/056	ヤンマー Z0023	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 20/104
キセキ PVHR400Z	〃	NARO 20/057	ヤンマー T0177	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 20/105
キセキ PVHR400AZ	〃	NARO 20/058	ヤンマー T0176	〃	NARO 20/106
キセキ H055G	〃	NARO 20/059	ヤンマー T0175	〃	NARO 20/107
ヤンマー C0001	ヤンマーアグリ	NARO 20/060	ヤンマー T0174	〃	NARO 20/108
ヤンマー C0002	株式会社	NARO 20/061	ヤンマー T0173	〃	NARO 20/109
ヤンマー C0003	〃	NARO 20/062	ヤンマー T0172	〃	NARO 20/110
大島RT240S	大島農機株式会社	NARO 20/063	クボタ PW4C	株式会社 クボタ	NARO 20/111
大島RT280S	〃	NARO 20/064	クボタ PW4R	〃	NARO 20/112
大島RT320S	〃	NARO 20/065	クボタ WP50DSP	〃	NARO 20/113
大島RT360S	〃	NARO 20/066	クボタ WP60DSP	〃	NARO 20/114
大島RT400S	〃	NARO 20/067	クボタ WP80DSP	〃	NARO 20/115
大島RT500S	〃	NARO 20/068	ヤンマー C0008	ヤンマーアグリ	NARO 20/116
大島MRP510Z	〃	NARO 20/069	ヤンマー Z0025	株式会社	NARO 20/117
大島MRP610Z	〃	NARO 20/070	キセキ T1884	井関農機株式会社	NARO 20/118
大島MRP6100	〃	NARO 20/071	ヤンマー T0171	ヤンマーアグリ株式会社	NARO 20/119
ヤンマー P0011	ヤンマーアグリ	NARO 20/072	キセキ P0918	井関農機株式会社	NARO 20/120
ヤンマー P0012	株式会社	NARO 20/073	キセキ P0957	〃	NARO 20/121
ヤンマー P0013	〃	NARO 20/074	キセキ P0967	〃	NARO 20/122
ヤンマー P0014	〃	NARO 20/075	キセキ P0976	〃	NARO 20/123
クボタ V2001	株式会社 クボタ	NARO 20/076	キセキ P0986	〃	NARO 20/124
みのる OPD-4	みのる産業株式会社	NARO 20/077	キセキ P0996	〃	NARO 20/125
クボタ MR1050H	株式会社 クボタ	NARO 20/078	キセキ P1025	〃	NARO 20/126
クボタ MR1050H-PC	〃	NARO 20/079	キセキ P1035	〃	NARO 20/127
クボタ MR1000H	〃	NARO 20/080	キセキ P0918Z	〃	NARO 20/128
クボタ MR1000H-PC	〃	NARO 20/081	キセキ P0957Z	〃	NARO 20/129
クボタ MR900H	〃	NARO 20/082	キセキ P0976Z	〃	NARO 20/130
クボタ MR900H-PC	〃	NARO 20/083	クボタ NW10S	株式会社 クボタ	NARO 20/131
クボタ MR800H	〃	NARO 20/084	クボタ NW8SA	〃	NARO 20/132
クボタ MR800H-PC	〃	NARO 20/085	カワサキ KJS4	カワサキ機工株式会社	NARO 20/133
三菱 C2004	三菱マヒンドラ農機株式会社	NARO 20/086	クボタ R1401	株式会社 クボタ	NARO 20/134
山本 HD-30VAM	株式会社山本製作所	NARO 20/087	クボタ R1401G	〃	NARO 20/135
山本 HD-35VAM	〃	NARO 20/088	クボタ R1402	〃	NARO 20/136
山本 HD-40VAM	〃	NARO 20/089	クボタ R1402G	〃	NARO 20/137
山本 HD-45VAM	〃	NARO 20/090	クボタ R1306	〃	NARO 20/138
山本 HD-50VAM	〃	NARO 20/091	クボタ R1405	〃	NARO 20/139
山本 HD-55VAM	〃	NARO 20/092	キセキ P0948	井関農機株式会社	NARO 20/140
三菱 MM707S	三菱マヒンドラ農機株式会社	NARO 20/093	(令和2年2月～令和3年2月分)		
MM1401	株式会社	NARO 20/094	4) 概評		
MM1402	〃	NARO 20/095	合格機は、合計11社160型式であった。その内訳は、安全キャブ・フレーム検査が4社15型式、安全装備検査が11社140型式、ロボット・自動化農機検査が2社5型式であった。		
MM1403	〃	NARO 20/096			
ヤンマー Be25	ヤンマーアグリ	NARO 20/097			
ヤンマー Be30	株式会社	NARO 20/098			
ヤンマー Be50	〃	NARO 20/099			
ヤンマー Be65	〃	NARO 20/100			
ウオタニ UT-150	魚谷鉄工株式会社	NARO 20/101			
YT6000-TW	株式会社くみき	NARO 20/102			
YT6000-F	〃	NARO 20/103			

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

2年度(令和2年2月～令和3年2月)の一般性能試

験実施状況は、表2のとおり合計3型式であった。

表2 一般性能試験実施一覧

機 種	型式数	担 当
芝地管理機械	2	作業機安全評価ユニット
噴霧器	1	作業機安全評価ユニット
合 計	3	

(令和2年2月～令和3年2月分)

3. OECDテスト

OECDテスト実施規程に基づく令和2年度(令和2年2月～令和3年2月)のOECDテスト実施状況は、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	担 当
農用トラクター(乗用型)用安全キャブ・フレーム	1	作業機安全評価ユニット
合 計	1	

(令和2年2月～令和3年2月分)

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2年度(令和2年2月～令和3年2月)の機能確認実施状況は、表4のとおり農耕トラクター3社13型式(14類別)、農業用薬剤散布車1社1型式(1類別)、および刈取脱穀作業車1社1型式(1類別)であり、合計5社15型式(16類別)であった。

表4 機能確認実施一覧

機 種	依頼者名	報告年月日	型式数	担 当
農耕トラクター	井関農機株式会社	2.11.27	2(2)	性能評価ユニット
		3.1.7	1(2)	
	エム・エス・ケー農業機械株式会社	2.8.21	1(1)	
		株式会社クボタ	2.10.20	
	3.2.2		7(7)	

農業用薬剤散布車	株式会社ショーシン	2.12.11	1(1)	ロボット安全評価ユニット
刈取脱穀作業車	三菱マヒンドラ農機株式会社	2.7.22	1(1)	作業機安全評価ユニット
合 計			15(16)	

(令和2年2月～令和3年2月分)

5. 特定原動機検査

特定原動機検査実施規程に基づく特定原動機検査は、今年度実施しなかった。

6. 特定特殊自動車検査

特定特殊自動車検査実施規程に基づく特定特殊自動車検査は、今年度実施しなかった。

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	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2
4	9	8	19	20	15	12	10
5	10	10	16	17	18	20	10
6	15	11	16	23	18	21	22
7	9	17	17	13	16	14	25
8	10	11	16	22	17	19	9
9	10	21	20	20	10	19	15
10	15	15	16	22	30	17	20
11	15	10	20	15	16	15	11
12	8	6	6	11	22	11	7
1	9	4	8	8	8	6	11
2	9	5	10	10	18	14	17
3	14	19	18	18	15	19	21
計	133	137	182	199	203	187	178

[2] 試作依頼内訳

研究推進部	戦略推進室	22件
	研究推進室	1件
	広報推進室	5件
安全検査部	ロボット安全評価ユニット	4件
	作業機安全評価ユニット	15件
	性能評価ユニット	3件
安全工学研究領域	安全システムユニット	16件
	労働衛生ユニット	46件
高度作業支援システム研究領域		7件
次世代コア技術研究領域	自律移動体ユニット	30件
	ポストハーベストユニット	2件
	基礎技術ユニット	5件
管理部	会計課用度チーム	9件
附属農場		3件

[3] 資材使用量

令和2年に使用した資材の使用量を図1に示した。

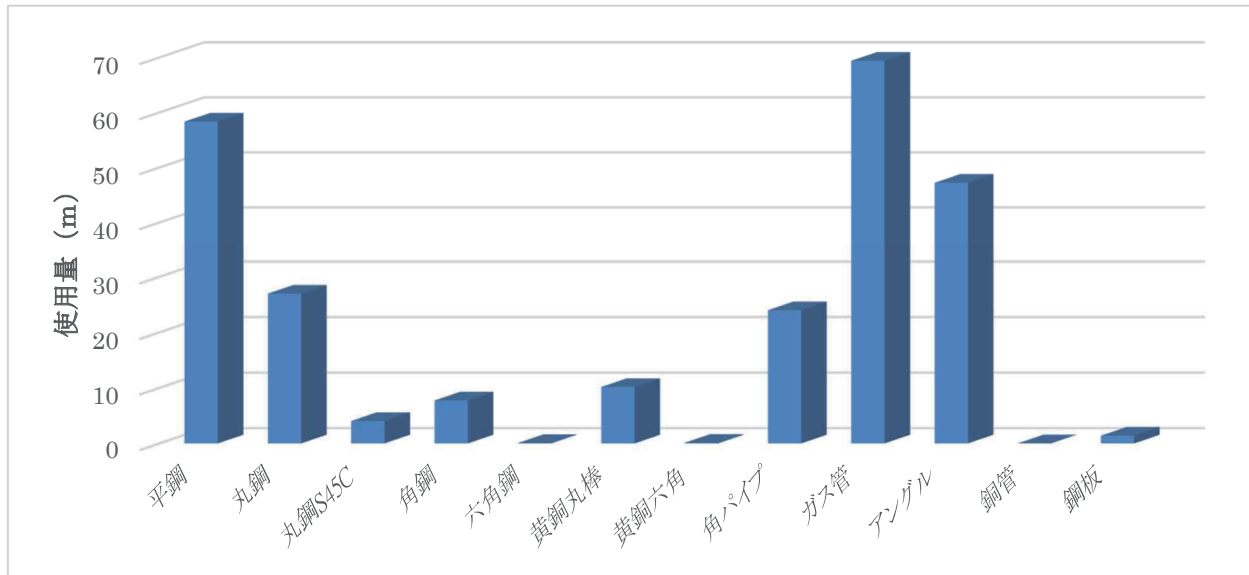


図1 資材使用量(m) * 鋼板は枚

[4] 主な試作品

令和2年の主な試作品。

図2：ロボットトラクタ用4Pヒッチの部品の製作。

図3：H鋼を用いて全長10メートルのプラットフォームを製作。

図4：市販台車をモータ駆動にし、追従機能を備える。(追従機能は外注)

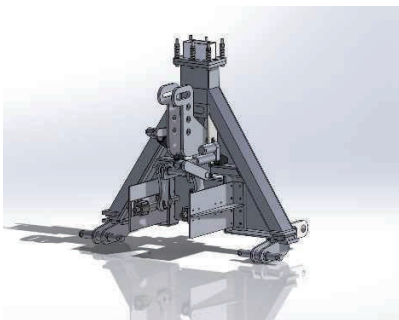


図2:自動作業機着脱機構



図3:事故再現用プラットフォーム



図4:小型農作業補助ロボット

[5] その他

*6尺汎用旋盤(滝沢)、5軸マシニングセンタ(ファナック)購入。

*職員1名増。

2. 附属農場

[1] 土地利用

水田	1281a
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 稻	彩のかがやき	537	537	
		彩のきずな	138	138	
		コシヒカリ	58	58	
		朝の光	113	113	
		大地の風	220	220	
		麦 類 (裸 地)	小麦 —	59 (215)	— —
畑	麦 類	大麦	10	10	
		〃	10	—	生育中
	葉菜類	ブロッコリー	3.0	—	
		ハクサイ	2.0	—	一部生育中
		長ネギ	1.0	11	一部生育中
		ホウレンソウ	1.0	1.0	
	いも類	サトイモ	1.0	1.0	
		その他	大豆	10	1.0

[3] 気象概況

今年度の夏作期間（5月～10月）の気温は5～6月、8～10月は平年よりも高く、7月は平年より低かった。特に8月は極めて高温で、月平均気温が平年よりも3℃程度高かった。降水量は6～7、10月で平年よりも多く、8～9月は平年より少なかった。梅雨明けは8月1日ごろで平年よりも10日程度遅かった。本年は、台風による影響はなかった。日照時間は7、9～10月を除いて平年よりも多く、8月はかなり多照であったが、7月はかなり寡照であった。

[4] 作物の生育概況

1) 水稻

今年の水稲作は、新型コロナウイルス感染拡大による緊急事態宣言の発出を受けてシフト制勤務が実施されたため育苗作業の開始を5月連休後とし、通常の水田作業は6月3日から7月1日までの間に行った。除草ロボット試験用として、7月28日にも田植えを行った。本来であれば早期栽培用の品種で当場の例年と比べても2週間程度田植え時期が遅れたコシヒカリは、7月の低温寡照などの影響も受け茎数が少ない傾向となり低収量であった。その他品種にも同様な傾向が見られた

が、彩のかがやき、大地の風の2品種については比較的安定した収量を確保することができた。可変施肥試験を大々的に実施し施肥量を控えめにした影響もあって平均収量は平年(直近15年間の最高年と最低年を除く平均)比92%程度にとどまった。昨年に続き埼玉県内では高温障害による品質低下の傾向が見られるなか、1等の評価を受ける品種もあった。これについては田植え時期の遅れが高温障害回避に好影響をもたらしたと考えられる。本年は台風による冠水はなく病虫害の被害も見られなかった。

2) 畑作物

麦類は、小麦を水田に、大麦を畑に播種した。小麦は播種後の降雨により広範囲の出芽不良となったため以降の栽培を断念して裸地ほ場に転換し、計量機能付き施肥機等の試験用ほ場として利用することとした。大麦は順調に生育した。令和3年産麦は、11月中旬に畑に小麦及び大麦を播種し、順調に生育している。

ネギを2月下旬に、サトイモを4月上旬に、ハクサイを5月中旬と10月中旬に、ブロッコリーを9月上旬に定植した。ブロッコリーは8月上旬に直播も行った。その他6月中旬に大豆を、10月上旬にハウレンソウを播種した。ネギ及びハウレンソウは収穫時の中腰姿勢の疲労強度試験に、ブロッコリーは収穫機開発のための調査用に、ハクサイは頭部結束機開発の研究にそれぞれ供した。サトイモは拾い上げ試験に供したほか、9月下旬に関係者を招き実施した実演会にも供した。

[5] その他

- ・中央農研との協定研究で実施している水田用除草ロボットの走行試験に試験ほ場および試験材料の提供を行った。
- ・11月26日に開催された埼玉県農業機械化協会実演展示会で実演会場として使用された。
- ・第一収納舎前の舗装工事、堆肥場の整備、本館会議室の改修、一部ほ場への自動灌水装置(水まわりくん)の設置を行った。
- ・第二収納舎穀物乾燥設備の改修工事、育苗室の補修、第一収納舎前トラックスケールの更新を進めている。

本報告の取扱いについて

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

問い合わせ先：

革新工学センター 研究推進部 広報推進室

TEL： 048-654-7030

FAX： 048-654-7130

または

iam-koho@ml.affrc.go.jp

令和2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
農業技術革新工学研究センター

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町 1-40-2
Tel. 048-654-7000 (代)

印刷・発刊 令和3年3月

