

農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究

人工知能未来農業創造研究

栽培・労務管理の最適化を加速するオーンプラットフォームの整備

令和3年度 最終年度報告書

課題番号	17935610
研究実施期間	平成29年度～令和3年度（5年間）
代表機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門
研究開発責任者	施設生産システム研究領域 上級研究員 黒崎 秀仁
研究開発責任者 連絡先	TEL : 029-838-8909
	FAX : 029-838-8538
	E-mail : kurosaki@affrc.go.jp
共同研究機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（農業機械研究部門、農業ロボティクス研究センター）
	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
	株式会社三菱総合研究所
	バイエルクロップサイエンス株式会社
	国立大学法人千葉大学
	国立大学法人東京大学
	株式会社誠和
	宮城県農業・園芸総合研究所
	小林クリエイト株式会社

<別紙様式3>最終年度報告書

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室		研究担当者 (注1)
	H29	30	R1	2	3	機関	研究室	
研究開発責任者						農研機構野菜花き研 究部門	-	◎黒崎秀仁 (2021.4~) ◎岡田邦彦 (~2020.3) ◎太田智彦 (2020.4~ 2021.3)
1 人工知能に利用で きる作業管理データセ ット構築	○	○	○	○		農研機構・革新工学 センター	高度施設型作業ユニ ット	○太田智彦
					○	農研機構・農業機械 研究部門	施設園芸生産システ ムグループ	○黒崎秀仁 (2021.4~)
1-1-A 作業データ 入力デバイスの開発と 作業データの解析およ び利活用方法の研究	○	○	○	○	○	農研機構・革新工学 センター(～	高度施設型作業ユニ ット(～2021.3)、	△太田智彦
	○	○	○	○	○	2021.3)、農業ロボテ ィクス研究センター (2021.4～)	施設ロボティクスユ ニット(2021.4～)	内藤裕貴
	○	○	○	○	○	農研機構・革新工学セ ンター(～2021.3)、	高度施設型作業ユ ニット(～2021.3)、	深津時広
	○	○				農研機構・農業機械 研究部門(2021.4～)	施設園芸生産システ ムグループ (2021.4～)	吉永慶太 (～2019.3)
			○	○				坪田将吾 (2019.4～ 2021.3)
				○	○			山田哲資 (2020.4～ 2021.3)
					○			黒崎秀仁 (2021.4～)
					○			中山夏希 (2021.4～)
				○			深井智子 (2021.4～)	
	○					農研機構・革新工学 センター	労働環境技術評価ユ ニット	菊池 豊 (～2018.3)
			○	○	○	小林クリエイト(株)	自動車推進部 自動 車企画課(～2020.3) アグリ事業部 (～2020.4)	松林和幸

1-1-B 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、情報管理およびオープンプラットフォームデータベースの構築	○	○	○		宮城農園研	作業技術チーム	△高橋正明 (~2020.3)	
	○	○	○			生産工学ユニット	小池修 (~2020.3)	
	○	○	○	○	○		施設野菜チーム	△(2020.4~) 神崎正明
	○	○	○	○	○			金子壮
				○	○			菅野秀忠 (2020.4~)
	○					千葉大学	大学院園芸学研究科	丸尾 達 (~2018.3)
	○	○	○			農研機構・野菜花き研究部門	生産工学ユニット	△岩崎泰永 (~2020.3)
		○	○	○				杉山智美 (2018.4~ 2021.3)
		○	○					江口雅丈 (2018.4~ 2020.3)
		○	○					篠原洋太 (2018.4 ~ 2020.3)
				○				△磯崎真英 (2020.4~ 2021.3)
					○		施設野菜花き生産管理システムグループ	△小田篤 (2021.4~)
					○			山浦寛子 (2021.4~)
				○		施設野菜花き生育制御グループ	菅野圭一 (2021.4~)	
1-1-B 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、情報管理およびオープンプラットフォームデータベースの構築	○	○	○	○	○	農研機構・革新工学セ	高度施設型作業ユ	△深津時広
			○	○		ンター(~2021.3)、農	ニット(~2021.3)、施	坪田将吾 (2019.4~2021.3)
				○	○	業機械研究部門 (2021.4~)	設園芸生産システム グループ(2021.4 ~)	山田哲資 (2020.4~)
					○			中山夏希 (2021.4~)
					○			深井智子 (2021.4~)
					○			下元耕太 (2021.4~)
	○	○	○	○	○	農研機構・革新工学	高度施設型作業ユニ	△太田智彦
					センター(~	ット(~2021.3)、		

	○	○	○	○	○	2021.3)、農業ロボティクス研究センター(2021.4～)	施設ロボティクスユニット(2021.4～)	内藤裕貴	
1-(2) 作業データの人工知能への適用技術の開発(～2021.3)	○	○	○	○		産業総合技術研究所	知能システム研究部門(～2020.3)、	○永見武司(～2020.3)	
	○	○					人工知能研究センター(2020.4～)	△小島一浩(～2019.4)	
	○	○	○	○				△(2020.4～) 増田健(～2021.3)	
	○	○	○	○				小林匠(～2021.3)	
	○	○	○	○				渡辺顕司(～2021.3)	
	○	○	○	○				中坊嘉宏(～2021.3)	
	○	○	○	○				角保志(～2021.3)	
	○	○	○	○				藤原清司(～2021.3)	
2. 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化	○	○	○			農研機構・野菜花き研究部門		○岡田邦彦(～2020.3) ○小田篤(2020.4～)	
2-(1) 作業計画策定に活用可能な生育予測モデルの開発	○	○				農研機構・野菜花き研究部門	施設生産ユニット	△東出忠桐(～2019.3)	
	○	○						安 東 赫(～2019.3)	
	○							河崎 靖(～2018.3)	
	○							斉藤岳士(～2018.3)	
			○	○				中野有加(2019.4～2020.3)	
	○	○	○	○	○			施設生産ユニット(～2021.3)、施設野菜花き生育制御グループ(2021.4～)	菅野圭一
	○	○	○	○	○			(2021.4～)	村松幸成
			○	○	○			施設生産ユニット(～2021.3)、施設野菜花き生産管理システムグループ(2021.4～)	△小田 篤(2018.4～)
					○			施設野菜花き生育制御グループ	寛 雄介
			○			農研機構・農業情報研究センター(2020.4～2021.3)	農業 AI 推進室	△イ ウンソク(2020.4～2021.3)	

				○				イスラム (2020.4 ~ 2021.3)
				○				高地伸夫 (2020.4 ~ 2021.3)
2-(2) 着果モニタリングシステムの開発	○	○			農研機構・革新工学センター	高度施設型作業ユニット(～2021.3)	△吉永慶太 (～2019.3)	
	○	○	○	○	農研機構・革新工学センター (～2021.3)、	高度施設型作業ユニット(～2021.3)、施設ロボティクスユ	△(2019.4 ~ 2021.3) 内藤裕貴	
	○	○	○	○	農業ロボティクス研究センター(2021.4～)	ニット(2021.4～)	太田智彦	
					○農研機構・革新工学センター(～2021.3)、	高度施設型作業ユニット(～2021.3)、	△下元耕太 (2021.4～)	
	○	○	○	○	農業機械研究部門 (2021.4～)	施設園芸生産システムグループ(2021.4～)	深津時広 坪田将吾 (2019.4～ 2021.3)	
					○		山田哲資 (2020.4～)	
					○		中山夏希 (～2021.4)	
					○		深井智子 (～2021.4)	
2-(3) 人工知能を活用した栽培環境制御による病害管理システムの構築	○	○	○	○	ボッシュ(株) (～2020.12)	FUJIプロジェクト(～2018.3) アグリカルチャービジネスユニット (2018.4～2020.12)	伊藤 聖	
	○	○	○	○	バイエルクロップサイ	デジタルインキュベーター	盛 朝子	
	○	○			エンス(株) (～2021.1)	タージャパン (～2021.1)	日下裕之 (～2018.5)	
		○	○	○			山本雅康 (2018.4 ~ 2021.3)	
		○	○	○			劉珂 (2018.4 ~ 2020.12)	
	○	○	○	○	(株)三菱総合研究所	地域創生事業本部	△伊藤保	
	○	○	○	○		イノベーション開発本部	濱田美来	
	○	○	○	○		経営イノベーション本部	水野友美 (～2021.3)	
	○	○	○	○			山本奈々絵 (～2021.3)	

			○	○	○		地域創生事業本部	岸 紘平 (2019.4～)
				○	○			木村元則 (2020.4～)
1-(4)人工知能を活用した生育モニタリング技術の開発	○	○	○			産業総合技術研究所	知能システム研究部門(～2020.3)、人工知能研究センター(2020.4～)	△永見武司 (～2020.3)
	○	○	○	○	○			△(2020.4～) 増田健
3. 作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用	○	○	○	○	○	千葉大学	大学院園芸学研究院	○後藤英司
(1) 作業・生育・環境・エネルギーのデータの解析・利用技術の開発	○	○	○	○	○	千葉大学	大学院園芸学研究院	△後藤英司
	○	○	○	○	○			彦坂晶子
	○	○	○					石神靖弘 (～2020.3)
				○	○			吉田英生 (2020.4～)
(2) 人工知能親和性の高い新たな環境制御最適化手法の開発	○	○	○	○	○	東京大学	大学院農学生命科学研究科	△富士原和宏 松田 怜
	○	○	○	○	○	(株)誠和	研究開発部	陣在 ゆかり
	○	○	○	○	○			下田和則
(3) 栽培環境データの人工知能への適用技術の開発	○	○				産業総合技術研究所	知能システム研究部門	△永見武司 (～2019.3)
	○	○						中坊嘉宏 (～2019.3)
	○	○						角保志 (～2019.3)
	○	○						藤原清司 (～2019.3)
	○	○						渡辺顕司 (～2019.3)
			○	○	○	農研機構・革新工学センター(～2021.3)、農業ロボティクス研究センター(2021.4～)	高度施設型作業ユニット(～2021.3)、施設ロボティクスユニット(2021.4～)	△太田智彦 (2019.4～)
			○	○	○	小林クリエイト(株)	自動車推進部 自動車企画課(～2020.3)、	松林和幸 (2019.4～)

								アグリ事業部 (2020.4～)	
--	--	--	--	--	--	--	--	---------------------	--

※略称可

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付してください。

I-2. 研究目的

日本の施設園芸生産は気候や生育状態により、作業時間が年間で大きく変動する。大規模施設では季節によって作業量が異なり、雇用者数を調整する必要があるなどの問題があり、規模を拡大する上での大きな制約条件となっている。また、人件費はランニングコストとして全経費の3～5割程度の大きな割合を占めている。現在大規模生産ハウスでは経験的に作業内容を割り当て、作業配置を決定しており、作業管理の効率化、平準化、低コスト化が求められている。商工業分野ではAIの利用による作業支援・効率化が始められているが、農業分野では、AIを利用するための作業・労務管理に関するデータプラットフォームがなく、早急な整備が求められている。また、防除作業に掛かる多大な労力も問題であり、防除作業の効率化には、的確な病害発生予測が欠かせない。慣行の防除は、生産者の勘と経験に多くを依存しているが、AIを活用した病害発生予測システムの開発が必要である。栽培環境最適化については、オランダなどとは異なる高温・強日射、かつ、多様な気候・施設条件という我が国の施設園芸条件下で、年間作業量の平準化による作業性向上という観点からの環境制御の高度化が必要である。

本研究は、参画研究機関が有する次の技術に基づき進めた。①作業技術、②産地での環境・生育データ共有・指導技術、③生育センシング技術、④生育予測技術、⑤環境制御技術。本研究は①人工知能に利用できる作業管理データセット構築、②人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化、③作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用の小課題からなる構成とした。研究は栽培・労務管理に関連するデータを5年以上整備するとともに、雇用労働力の最適配置等、労働時間の平準化や短縮を可能とする人工知能技術を3種以上開発し、オープンプラットフォームを整備することを目標として取り組んだ。

その結果、大規模施設園芸での作業のデータを効率的に収集できる入力デバイスを開発し、収集データが人工知能アプリケーション開発に利用できるようにする。太陽光利用型植物工場など、複数の施設園芸施設において、作業データ、および、環境、生育データなどを5年間収集する。これら作業データなどのフォーマットを規格化する。

- ・トマト、キュウリ、イチゴにおいて主要病害に対応する病害予測システムを開発し、実用化を目指す。
- ・上記作物の病害予測が可能になることに伴う、早期対応が可能になることによる労働時間削減等の波及効果を定量化する。

本課題は大規模施設園芸の安定高収益化を図るため、栽培・労務管理にAIを活用できるオープンプラットフォームを整備する目的で進めた。今年度は次に挙げる労務管理・栽培データ入力システムの開発を進め、施設園芸の作業・栽培・環境データを研究期間中、5年間継続して収集しつつ、AI技術である着果モニタリングシステム、病害予測システムの2件の開発を行い、さらに、葉面積AI測定技術を開発した。したがって、研究期間内の目標が達成された。

その結果、下記の効果が期待される。

1. 施設園芸生産者から提供されるデータを活用できるオープンプラットフォームの確立により、ソフトウェアベンダーなどが作業効率化のためのソフトウェアを開発可能となり、生産者は労働生産性が向上するとともにゆとりのある作業を行うことが可能となる。
2. AIを活用して開発した技術である病害発生予測システムはすでに複数病害で実用化され、農薬散布回数を減らすことが可能となり、生産者の作業負担を軽減し、減農薬栽培に寄与する。着果モニタリングシステム、葉面積センシング技術は高精度な収量予測を可能とし、生産物の計画生産、安定出荷が可能となる。

I-3. 研究方法

(1) 人工知能に利用できる作業管理データセット構築

効率的に作業データを収集できるシステムとして、タグを用いた作業データ入力システムを開発する。さらに、慣行作業の作業毎の作業時間を解析し、作業管理にAIを用いる有効性を調べる。施設園芸において、人工知能技術を利用して労務管理・栽培技術などを最適化できるようにするための基盤技術を目指し、各種取得情報を効率的に取り扱うことができるオープンプラットフォームとして「栽培労務管理OPF」を構築する。宮城県内大規模生産3法人の環境、生育、収量、作業情報の各種データを収集し、オープンプラットフォームに搭載しやすい方式に編集・加工した。

(2) 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化

施設内の温度、日射、CO₂濃度から乾物生産を連続的に算出することができる「生育・収量予測ツール」を活用して、将来の収穫量を予測し、予測された収量から収穫作業に必要な人員と作業時間を算出する。効率的な栽培管理モデル策定に貢献できるよう、レール間畝移りを自動化する自律走行台車と、自律走行台車に搭載する着果モニタリングシステムを開発する。環境データ、栽培管理データ、発病イベントデータの収集を行い、当該データを用いた病害発生予測人工知能の開発、精緻化を行った。病害予測がもたらす社会的、経済的効果についてロジックツリーを用いて整理し、評価体系を構築した。構築した評価体系に基づきKPIを設定し、協力農家へのアンケート調査および統計データ、実際の農家の防除行動の変化に基づき、社会的経済的効果の定量化と、実際に営農上もたらされた効果について評価を行った。生育モニタリングシステムのモデルシミュレーションの時間的精度を向上させる技術と作業計画策定に必要とされるサブモデルモジュールの研究開発を行う。生育予測モデルのために収集されたデータや画像データから、群落特性などの生育状態を推定する技術を開発する。

(3) 作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用

太陽光型植物工場で収集するデータを活用して、作業・生育・環境・エネルギーのデータの解析を行い、環境制御、生育制御、栽培管理、作業管理、労務管理、資源・エネルギー利用計画の統合的管理運用モデルを開発する。また、その作業管理シミュレーション等の精度検証、および実装プログラムの検証を行う。人工知能親和性の高い新たな環境制御最適化手法の一つとして、温室へのCO₂施用の費用対効果を判断する上での「コア」情報であるCO₂施用速度-温室内植物個体群純光合成速度（以後、 P_n ）応答曲線（以後、CP曲線）をリアルタイムで推定する方法を開発する。AIに活用するため、作業データと合わせて環境データ、生育データを記録できる作業入力システムを開発する。

I-4. 研究結果

(1) 人工知能に利用できる作業管理データセット構築

タグを利用して効率的にハウス内で作業時間を記録できる3種類の作業データ入力システム（バーコード型、QRコード型、RFID型）を開発した。慣行の作業データを解析した結果、収穫時間は収穫量と相関が高く、AIを利用せず作業時間を推定できると考えられたが、芽かきなどの生育管理作業時間は不規則に変動することから、収穫量のみでの推定精度は低かった。今後、AIを活用し、作業時間を推定可能となれば作業時間の平準化、短縮に有効であると考えられた。オープンプラットフォーム(OPF)に関しては、大規模施設で

の各種データを整理し、さまざまな施設園芸生産現場で取り扱うデータを包括的に取り扱える標準データ体系を策定した。標準データ体系では、日々蓄積されるデータとして、環境情報、作物情報、農作業情報、収穫物情報および汎用情報の5つに大別して整理するとともに、これらの詳細を説明するメタデータとして、各生産現場固有の基本情報と多くの生産現場で共通の基本項目として設定した。標準データ体系に準拠したエクセルによるオフラインデータ入力シートと、これを栽培労務管理OPF上のデータベースに取り込む支援アプリケーションの開発も行った。大規模生産法人の環境、生育、収量、作業情報、の各種データを収集し、OPFに搭載しやすい方式に改善しつつデータの蓄積を研究期間中行った。

(2) 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化

宮城県の実証施設におけるトマト栽培について、年間にわたる収量予測予測を行った結果、3か年3作で、予測精度が7.3%から15.4%の範囲に収まることが明らかになり、開発した方法の精度が確認できた。開発した自律走行台車（レール間畝移り装置）は、着果モニタリングシステムの作業レール間畝移りの自動化を可能にし、本システムが施設全体をくまなく巡回可能であることを実証試験により確認した。トマトを対象とした着果モニタリングシステムの実証試験では、低段栽培条件で188果のうち178果(95.2%)を検出し、長期多段栽培試験で1,089果のうち1,022果(93.8%)を検出するなど、高精度な果実検出が可能であった。AIを活用した病害発生予測について、平成30年にはトマト葉かび病、令和元年度にはキュウリうどんこ病の予測AIを開発・実用化した。令和元年度にトマトの灰色かび病と葉かび病については蓄積データを加えて精緻化し、予測AIを新しいバージョンに更新・実用化した。令和元年度と令和2年度にはそれぞれトマト灰色かび病およびキュウリうどんこ病のリスク予測機能について、実際の圃場における病害防除および薬剤散布への効果などについて検証する試験を行い、慣行防除区と比較して、リスク予測に従って薬剤散布するAI予測防除区で薬剤散布回数が少ない結果となった。農家の日頃の農作業に対する負担軽減等の効果については、最終的に病害発生量、農薬散布回数等で「減っている」という回答が過半数を占めた。実際の農薬散布回数に基づく分析では、病害の発生率に対する農薬散布率において、2016年の2.0から、2019年で0.6、2020年で0.7に減少し、病害の発生に対して効率的に農薬散布されるようになることが確認できた。経済効果についての試算では、最大で、農薬コストの削減効果についてはトマトで1.1億円、キュウリで0.6億円、イチゴで1.0億円、労働コストの削減効果についてはトマトで0.6～1.3億円、キュウリで0.5億円、イチゴで0.6～1.4億円という結果が得られた。AIを用いた群落中のトマト葉面積のセンシングについては、RGB-Dセンサーを用いた葉面積センシング技術を開発し、Leave-one-out交差検証法により、葉の点数との間で線形当てはめによる葉面積推定の評価を行った。その結果、相関係数約0.8、誤差約20%の結果を得た。

(3) 作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用

統合的管理運用モデルの構成要素である栽培環境モデル、生育モデル、資源・エネルギーモデル、作業管理モデル、経営モデルの5つのモデルを開発し、5つのモデルを連結させた統合的管理運用モデルを商用シミュレーションソフトウェア「TRNSYS」で作成した。温室の4作の実証データを用いてシミュレーションを行い、モデルの妥当性を検証した。モデルの精度を確認後、モデルを改良し、年間収量を最大、ある季節の収量を最大、年間の収益性を最大にするために必要な資源・エネルギー・作業量の試算ができるモデルを開

発した。CO₂施用速度－温室内植物個体群純光合成速度（以後、 P_n ）応答曲線（CP曲線リアルタイム推定プログラム）を開発し、過去のデータ抽出における環境要素レベル範囲設定の合理的な決定法および純光合成速度補正法の改良を行った。これらの改良の結果、CP曲線リアルタイム推定法は、換気回数の変動を抑制できる強制換気温室に対しては適用が可能なレベルに達した。作業データ入力システムを改良し、環境データ、生育データを同じシステム上で記録できるシステムを開発した。環境データは環境制御システムで記録した温湿度、二酸化炭素、養液濃度のデータをCSVファイルで入力可能である。生育データは茎径、葉数など設定したデータを画面上から手動で入力できる。

I-5. 今後の課題

本研究ではAIを施設園芸生産の効率化のために活用ためのオープンプラットフォーム、および、データ標準化技術を開発した。今後は、開発技術に基づいてソフトウェアベンダーなどがデータを活用して効率化のためのソフトウェア開発が行える環境を整備する必要がある。さらに、AIを活用したサンプル技術である着果モニタリング技術、病害発生予測システム、葉面積センシングシステムを開発し、これらは一部実用化されたが、メーカーへの技術移転により生産者に活用できる技術開発を行う必要がある。

I. 研究の進捗状況等

本課題は大規模施設園芸の安定高収益化を図るため、栽培・労務管理にAIを活用できるオープンプラットフォームを整備する目的で進めた。今年度は作業データ入力システムを改良し、作業・栽培・環境データを入力できるようにした。施設園芸の作業・栽培・環境データを、5年間継続して収集しつつ、試行オープンプラットフォームを改良し、作業・栽培・環境データを格納、AIに活用できるよう改良した。AIサンプル技術として着果モニタリングシステムを改良し、トマト以外にパプリカに対応した。さらに、病害予測システム、栽培データ取得のための葉面積AI測定技術を開発した。

1. 人工知能に利用できる作業管理データセット構築

(1) AIに活用できる作業データを収集するシステムを開発する目的で、RFID型作業データ入力システムのハウスでの利用試験を行い、ユーザーインターフェースを向上する改良を行った。慣行作業データの解析の結果、芽かき・誘引など生育に影響される管理作業時間、および管理作業時間を含む合計作業時間の予測でAIを活用する有効性が認められた。生産法人の生育、環境、作業に関する情報を5年間継続して収集し、生育、作業データの標準化形式を策定した。データプラットフォーム構築のため、標準化データフレームを試作した。

2. 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化

(1) 収量予測モデルの予測収量から推定される作業時間を予測収量に応じて補正可能な方法を考案した。(2) 収穫作業時間を推定するために、レール上を自動走行し、動画から、AIにより、トマトの収穫果実数を検出する着果モニタリングシステムを改良し、パプリカを検出可能とした。(3) 病害発生予測システムについて、イチゴ灰色カビ病、キュウリうどんこ病のデータを蓄積し、これまで開発したシステムを改良し、AIで予測できるようにした。農家へのアンケート調査結果より、病害予測の導入により、病害発生量、農薬散布回数で「減った」という結果が過半数を占め、作業時間削減に対して一定の効果が確認できた。(4) RGB-Dセンサーにより、葉をセンシングし、三次元点群をAIにより葉面積計測を行う技術を改良し、精度が70%から80%に向上した。

3. 作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用

(1) 生育、エネルギー、環境を統合した計算プログラムを改良し、統計の環境データから、生育、エネルギー、作業時間を推定することが可能となった。(2) CO₂施用速度から植物個体群純光合成速度を推定するシステムについて、ナスの光合成速度推定試験を行い、光合成量と収量の関係を調べた。(3) 作業データ入力システムを改良し、スマホなどのハウス内端末により栽培データ、画像を入力可能とし、作業・栽培・環境データを取扱性良く、AIに活用可能とした。

II. 小課題ごとの研究目的等

小課題番号	1	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1. 人工知能に利用できる作業管理データセット構築		
実行課題名	(1) 作業データ収集技術の開発とデータ解析 A. 作業データ入力デバイスの開発と作業データの解析 および利活用方法の研究		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・農業機械研究部門・施設園芸生産システムグループ・黒崎秀仁		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・農業ロボティクス研究センター・施設ロボティクスユニット・太田智彦		

1) 研究目的

AIに活用できる作業データをハウス内で効率的に収集できる入力システムを開発する。また、慣行作業データの解析により、作業データのAIへ利活用する有効性を調べる。

2) 研究方法

効率的に作業データを収集できるシステムとして、タグを用いた作業データ入力システムを開発する。さらに、慣行作業の作業毎の作業時間を解析し、作業管理にAIを用いる有効性を調べる。

3) 研究結果

タグを利用して効率的にハウス内で作業時間を記録できる3種類の作業データ入力システム（バーコード型、QRコード型、RFID型）を開発した。バーコード型は、無線LANによりデータを転送し、作業データを記録可能であり、簡易な構造で安価に製作可能であり、中規模の生産者で利用可能と考えられた。QRコード型、RFID型は、クラウドを利用し作業データを記録する。作業管理のためのソフトウェアを同時に開発しており、大規模の生産者で活用できると考えられた。さらに、RFID型は課題3-3と連携し、生育データ、環境データを作業データと合わせて同じソフトウェア上で入出力、記録できるようにした。慣行の作業データを解析した結果、収穫時間は収穫量と相関が高く、AIを利用せず作業時間を推定できると考えられた。一方、芽かきなどの生育管理作業時間は不規則に変動することから、AIを活用することによって作業時間を推定できると考えられた。

4) 成果活用における留意点

開発した作業データ入力システムの実用化、利用にあたっては施設規模に応じた型式の選定を必要とする。

5) 今後の課題

作業データの標準化を進め、標準化データを活用して、ベンダーなどによりAIによる作業管理システムが開発することが望まれる。

小課題番号	1	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1 人工知能に利用できる作業管理データセット構築		
実行課題名	(1) 作業データ収集技術の開発とデータ解析 B 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、情報管理およびオープンプラットフォームデータベースの構築		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・農業機械研究部門・施設園芸生産システムグループ・黒崎秀仁		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・野菜花き研究部門・施設野菜花き生産管理システムグループ・小田篤		

1) 研究目的

施設園芸の大規模生産において、人工知能技術を利用するための生産現場のオープンプラットフォームデータベースを構築する。また、データ(作業・生育・環境)を効率的に収集・保存・管理・解析・提供可能なしくみを構築する。

2) 研究方法

宮城県内大規模生産3法人の環境、生育、収量、作業情報の各種データを収集し、オープンプラットフォームに搭載しやすい方式に編集・加工した。

3) 研究結果

大規模生産法人の環境、生育、収量、作業情報の各種データを収集し、オープンプラットフォームに搭載しやすい方式に改善しつつデータの更なる蓄積を図る一方、蓄積したデータをコンソーシアムメンバーと共有した。

4) 成果活用における留意点

作業名等の個人情報が漏洩しないように、データを適切に取り扱うこと。

5) 今後の課題

なし

小課題番号	1	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1. 人工知能に利用できる作業管理データセット構築		
実行課題名	(1) 作業データ収集技術の開発とデータ解析 B 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		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・農業機械研究部門・施設園芸生産システムグループ・黒崎秀仁		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・農業機械研究部門・施設園芸生産システムグループ・深津時広		

1) 研究目的

施設園芸の各種作業を人工知能による効率化を目指すためのオープンプラットフォームを構築する。また人工知能に利用できる形態のデータセット化や、効率的な収集方法の確立、収集データフォーマットの標準化・規格化を進める。

具体的には、データ連携基盤対応の労務管理・栽培技術の効率化を支援する施設園芸用オープンプラットフォームを開発する。また、全国の大規模施設（次世代施設園芸拠点）の環境・作物・作業データを収集・解析し、データ連携基盤へ対応可能なデータ変換技術、データ連携基盤対応の支援アプリケーションを開発し、人工知能を利用するための技術開発を行う。

2) 研究方法

施設園芸において、人工知能技術を利用して労務管理・栽培技術などを最適化できるようにするための基盤技術を目指し、各種取得情報を効率的に取り扱うことができるオープンプラットフォームとして「栽培労務管理OPF」を構築する。

まず、宮城県内のトマト大規模施設法人（次世代施設園芸拠点）で取得されている環境・作物・作業データを収集・解析し、施設園芸のさまざまな現場で取得される、形式・定義・項目などが異なる各種データを統一的に取り扱うことができる、標準的なデータ体系を定義する。また、これらのデータをクラウドデータベース上で効率的にやりとりできるプラットフォームを構築し、そのための各種APIの設計・開発を行う。また、農業データ連携基盤(WAGRI)との連携を目指し、労務管理・栽培技術の効率化を支援するシステムを開発するとともに栽培労務管理OPFの改良を行う。

3) 研究結果

これまでに取得した大規模施設での各種データを整理し、さまざまな施設園芸生産現場で取り扱うデータを包括的に取り扱える標準データ体系を策定した。標準データ体系では、日々蓄積されるデータとして、環境情報、作物情報、農作業情報、収穫物情報および汎用情報の5つに大別して整理するとともに、これらの詳細を説明するメタデータとして、各生産現場固有の基本情報と多くの生産現場で共通の基本項目として設定した。

次に、標準データ体系のフレームワークとして、各現場では取得しているデータをできるだけそのまま登録できる柔軟なものとし、代わりに各データの内容を把握できるメタデータを付与できるものとした。一方利用者側からは、これらのデータを標準化データに変換・補間・推定して出力する枠組みを策定した。

これらのシステムを実現するため、クラウド上(AWS)にデータベース、データをやり取りするためのAPI群、これらを利用してサービスを提供するWebアプリケーションサービス、利用者への情報提供をおこなうポータルサイトなどをまとめた、栽培労務管理OPFを構築した。栽培労務管理OPFでは農業データ連携基盤(WAGRI)との連携を視野に、REST型設計モデルで作成しHTTPメソッドでやり取りするよう設計した。あわせて多様なデータの共有・利用・連携が行えるよう、各種APIを開発・用意した。また開発したAPIを利用し、労務管理・栽培技術を効率化する共通サービスとして、作業量計算サービスアプリケーションと収量予測サービスアプリケーションを作成した。作業量計算サービスアプリケーションでは、データベースに蓄積された作業履歴情報や関連する基本情報に基づいて、各作業項目に対し作業者の平均作業能率を提示するとともに、この平均作業能率を利用し、指定した作業量をこなすのにどのメンバーだとどれくらい時間が必要かを提示する機能を備えた。収量予測サービスアプリケーションでは、気温・日射量・CO₂濃度・花房数から果実収量を推定するモデルを利用し、APIを通じて施設内の環境情報や栽培の基本情報などを取得して、指定した日付の収量予測結果を提示する機能や、データベースから実際の収穫量が取得してモデル結果と実測結果を同時にグラフ表示して比較できる機能を用意した。

また、農業データ連携基盤(WAGRI)と連携するうえで必要な、各APIやデータへの利用制限を簡単に行うための認証機能や、データ利用時に異常値や欠損値などの不適切なデータを検出・除去するためのデータクレンジング機能を実現するためのAPIを開発した。あわせて栽培労務管理OPFを効率的に利用できるよう、標準データ体系に準拠したエクセルによるオフラインデータ入力シートと、これを栽培労務管理OPF上のデータベースに取り込む支援アプリケーションの開発も行った。

4) 成果活用における留意点

策定した標準データ体系については、その詳細をガイドラインとしてまとめWeb上にて公開・更新を行っている。また開発した栽培労務管理OPFは現在クラウドサービスとして公開範囲を限定して運用を行っている。作業量計算サービスアプリケーションや収量予測サービスアプリケーションおよび各種APIについては、農研機構の職務作成プログラムとして登録されており、利用については農研機構の規定に沿う。

5) 今後の課題

本研究課題では、施設園芸における多様なデータの共有・利用・連携を可能にするプラットフォームを整備するにあたり、栽培労務管理OPFを開発した。本プロジェクト終了に伴い、開発したプラットフォームがあるクラウドサービスの契約が終了するため、今後どのように運用・維持させるか現在検討中である。

小課題番号	2	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	2 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化		
実行課題名	(1)作業計画策定に活用可能な生育予測モデルの開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・野菜花き研究部門・施設野菜花き生産管理システムグループ・小田 篤		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・野菜花き研究部門・施設野菜花き生産管理システムグループ・小田 篤		

1) 研究目的

作業計画を策定するために、生産性向上を意図した生育モデルを策定する。

2) 研究方法

施設内の温度、日射、CO₂濃度から乾物生産を連続的に算出することができる「生育・収量予測ツール」を活用して、将来の収穫量を予測し、予測された収量から収穫作業に必要な人員と作業時間を算出する。さらに、予測収量から算出した予想作業時間と実際の作業時間とを比較し、予測値の精度を確認する。

3) 研究結果

宮城県の実証施設におけるトマト栽培について、2017年度夏定植型の作型の施設内の温度、CO₂濃度と日射量を「生育・収量予測ツール」に入力し、年間にわたる予測収量の算出を行った結果、年間収量のシミュレーション値が39.6t/10aとなった。この予測値と2018年度夏定植型の作型で実際に収穫された収量の間で、比較的収量の少ない2018年11月28日～2019年1月22日で平均絶対誤差率(MAPE)が21.3%、比較的収量の多い2019年4月3日～2019年5月28日でMAPEが8.0%となった。予測された収量から収穫時間を予測し、実際の収穫に要した時間と比較すると2018年11月28日～2019年1月22日でMAPEが18.4%、比較的収量の多い2019年4月3日～2019年5月28日でMAPEが55.6%となった。一方で、2017年度作の実際に収穫に要した時間を解析すると、収穫量が増加すると収穫作業の効率が向上することが分かった。収穫作業時間を目的変数、収量を説明変数とした非線形回帰式を作成し、この回帰式を適応して予測された収量から収穫時間を予測し、実際の収穫に要した時間と比較すると、2018年11月28日～2019年1月22日でMAPEが12.1%、比較的収量の多い2019年4月3日～2019年5月28日でMAPEが7.3%となり、予測精度が向上した。さらに、2019年度作と、2020年度作について、予測された収量から収穫時間を予測し、実際の収穫に要した時間と比較すると比較的収穫量の少ない2019年11月29日～2020年1月23日、2020年11月27日～2021年1月21日で予測精度(MAPE)がそれぞれ10.7%、15.4%となり、比較的収量の多い2020年4月3日～2020年5月28日、2021年4月2日～2021年5月27日ではMAPEがそれぞれ15.1%、8.7%となった。3か年の独立した3作で、予測精度が7.3%から15.4%の範囲に収まることが明らかになり、開発した方法の精度が確認できた。

4) 成果活用における留意点

本研究は宮城県の実証施設におけるトマト栽培について行った事例であり、別の事例に適応するには栽培環境や労務環境、品目の違いによる予測計測の係数を設定する必要がある。

5) 今後の課題

栽培環境や労務環境、品目の違いにも対応できるよう予測計測の係数を設定することで、様々な事例についても作業時間を予測する技術として発展させる必要がある

小課題番号	2	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	2 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化		
実行課題名	(2)着果状況モニタリングシステムの開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・野菜花き研究部門・施設野菜花き生産管理システムグループ・小田 篤		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・農業機械研究部門・施設園芸生産システムグループ・下元耕太		

1) 研究目的

栽培・労務管理を効率化するには対象となる作物の生育状態も詳細に把握する必要がある。そこで着果状態などの栽培施設内における生育情報を、時空間的に取得・蓄積して効率的な栽培管理モデル策定に貢献できるよう、レール間畝移りを自動化する自律走行台車と、自律走行台車に搭載する着果モニタリングシステムを開発する。

2) 研究方法

自律走行台車は、作業用レール手前に専用の短い誘導レールを敷設し、そのレールに沿って横移動する方式を考案し開発した。

着果モニタリングシステムの開発では、トマトやパプリカ等を対象作物として、光量差を利用した撮像機構を採用することにより、撮影時に手前の植物体（株）のみ明瞭に写る画像を収集することが可能な技術を開発した。また、深層学習を用いた物体検出技術により画像上の果実検出を行い、検出された果実画像に含まれる画素ごとの色情報から果実の成熟度を評価・分類し、撮影列（エリア）の収穫可能な果実数を推定するシステムの開発を行った。

実証試験を通じて明らかとなった課題について装置の改良を行い、数か月間の運用試験を実施して、労働時間の平準化効果についても評価した。

3) 研究結果

開発した自律走行台車（レール間移替装置）は、着果モニタリングシステムの作業レール間畝移りの自動化を可能にし、本システムが施設全体をくまなく巡回可能であることを実証試験により確認した。

トマトを対象とした着果モニタリングシステムの実証試験では、低段栽培条件で188果のうち178果(95.2%)を検出し、長期多段栽培試験で1,089果のうち1,022果(93.8%)を検出するなど、高精度な果実検出が可能であった。なお、学習用に計測対象とした栽培温室とは異なる温室で栽培されているトマトの果実検出においても高い検出精度を示し、汎用的な果実検出が可能であることが示唆された。

GUI機能等システムの改良により操作が容易となり、計測からデータのオンラインスト

レージへのアップロードまで、現地生産法人の職員自身で全て運用することが可能となった。パブリカ生産温室での運用試験において、検出された果実数を用いて翌週の収穫作業時間を予測した場合、予測した4つの週のうち2つの週の予測誤差(絶対パーセント誤差、APE)は10%以下であった(平均絶対パーセント誤差(MAPE)は11.2%)。0.6ha栽培エリアの収穫における各週の総作業時間と総作業人数を5週間調査したところ、週単位で計算された各収穫日の1人あたりの収穫作業時間は最長で144min、最短で51minであった。同栽培エリアの1日あたりの各作業者の収穫作業時間を120min一定と平準化した場合で計算したところ、作業時間予測に基づく作業人数の最適化による削減可能な作業人数は、5週間で約15人(週あたり平均3人)であった。これは、1年あたり及び1haあたりに換算すると約52万円(年間人件費を3000万円/haとすると約1.7%)の人件費削減に相当する。

4) 成果活用における留意点

1. 本成果は、栽培面積が概ね1ha以上の大規模な施設園芸生産者から数十aの中規模の施設園芸生産者での活用に適する。

2. 本システムの自律走行台車は、操舵装置を持たない簡易な走行機構(電動)で自動走行するため、高所作業車等が走行するための作業用レールが施設内の畝間に敷設されている必要がある。自律走行台車(レール間移替装置)は、専用の短い誘導レールに沿って横移動するため、作業用レール手前に複数の誘導レールを敷設する必要がある。本装置は、(有)吉岡鐵工に製作を委託しているものである。

3. 本計測システムは、他用途の画像解析(着花計測、病虫害・生理障害株検出、植物体の計測に基づく葉面積計測など)のための自動走行機能付き画像入力装置としても、利用可能である。

4. 作業管理システムと組み合わせることで、収穫可能な果実数から作業に必要な時間・作業人員数を予測し、適切な作業計画策定、労働時間の平準化や短縮に資することが期待される。

5) 今後の課題

今後は、果実検出の対象作物の拡大、着花計測等の検出対象部位の拡大、収穫量及び作業時間の予測適応期間の拡大が求められる。

小課題番号	2	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	2 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化		
実行課題名	(3) 人工知能を活用した栽培環境制御による病害管理システムの構築		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・野菜花き研究部門・施設野菜花き生産管理システムグループ・小田篤		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	バイエルクロップサイエンス（株）・デジタルインキュベータージャパン・伊藤 聖		

1) 研究目的

①病害予測人工知能の開発

病害発生予測人工知能について、開発、精緻化を進め、適用作物や対応病害の拡大を目指す。

②病害予測システムの波及効果

病害予測がもたらす社会的、経済的効果についてロジックツリーを用いて整理し、評価体系を構築した。構築した評価体系に基づきKPIを設定し、協力農家へのアンケート調査および統計データ、実際の農家の防除行動の変化に基づき、社会的経済的効果の定量化と、実際に営農上もたらされた効果について評価を行った。

2) 研究方法

①病害予測人工知能の開発

環境データ、栽培管理データ、発病イベントデータの収集を行い、当該データを用いた病害発生予測人工知能の開発、精緻化を行った。すでに実用化済みのリスク予測システムを用い、作物栽培圃場において病害防除および薬剤散布への効果などについて検証する試験を行った。

②病害予測システムの波及効果

病害予測がもたらす社会的、経済的効果についてロジックツリーを用いて整理し、評価体系を構築した。構築した評価体系に基づきKPIを設定し、協力農家へのアンケート調査および統計データ、実際の農家の防除行動の変化に基づき、社会的経済的効果の定量化と、実際に営農上もたらされた効果について評価を行った。

3) 研究結果

①病害予測人工知能の開発

きゅうり・いちごの病害予測人工知能の開発に必要なデータ収集にについて、主に研究期間の前半で、協力農家を順次増やしてデータ収集の地域・規模を広げ、全研究期間を通してデータ収集を継続的に行った。収集したデータをもとに、平成30年にはトマト葉かび病、平成31年にはキュウリうどんこ病の予測AIを開発・実用化した。トマトの灰色かび病と葉かび病については蓄積データを加えて精緻化し、平成31年に予測AIを新しいバージョンに更新・実用化した。新規病害(キュウリ灰色かび病、キュウリ菌核病、イチゴ灰色かび病)については、予測AIの開発にむけ

て準備を進め、イチゴ灰色かび病については試作版の開発と精度の検証に着手した。キュウリ灰色かび病およびキュウリ菌核病については、予測AI開発のためのデータ量が十分でない判断されたため、開発を見送った。

令和元年度と令和2年度にそれぞれトマト灰色かび病およびキュウリうどんこ病のリスク予測機能について、実際の圃場における病害防除および薬剤散布への効果などについて検証する試験を行った。どちらの試験においても、慣行防除区(7~10日間隔で薬剤散布)と比較して、AI予測防除区(リスク予測に従って薬剤散布)で薬剤散布回数が少ない結果となった。

②病害予測システムの波及効果

農家の日頃の農作業に対する負担軽減等の効果については、最終的に病害発生量、農薬散布回数等で農家の実感として「減っている」という回答が得られた。特に使用履歴が長い農家からは、年変動の影響が大きいものの「年によっては病害をかなり減らすことができた」との自由回答が得られており、病害被害とそれに伴う営農活動の効率化に一定の効果があるものと考えられる。

実際の農薬散布回数に基づく分析では、病害の発生率に対する農薬散布率において、2016年の2.0から、2019年で0.6、2020年で0.7に減少し、病害の発生に対して効率的に農薬散布されるようになることが確認できた。

経済効果について試算を実施したところ、最大で、農薬コストの削減効果についてはトマトで1.1億円、キュウリで0.6億円、イチゴで1.0億円、労働コストの削減効果についてはトマトで0.6~1.3億円、キュウリで0.5億円、イチゴで0.6~1.4億円、病害被害の低減についてはトマトで39億円、キュウリで20億円、イチゴで35億円という結果が得られた。

4) 成果活用における留意点

①病害予測人工知能の開発

実用化した病害予測AIは、病害発生・農薬散布記録を入力しない状態でも利用可能であるが、入力されると感染リスク予測の計算に用いられ、より正確なリスク表示になる。このことについてユーザーに周知し、感染リスク予測を有効活用してもらえよう、普及の際などに注力していきたい点である。

②病害予測システムの波及効果

社会的、経済的効果の試算結果については、今回実験にご協力いただいた農家、地域での結果であること、また病害発生においては年ごとの変動も大きく、その影響を受けていることに留意されたい。

5) 今後の課題

①病害予測人工知能の開発

キュウリ灰色かび病、キュウリ菌核病については、全研究期間を通して協力農家からデータの提供を受けたが、他の病害と比較して発生頻度が低く、病害予測AI開発に必要なレベルまでのデータを収集するのに時間がかかった。発病頻度の低い病害については、今後も継続してデータ収集が必要である。また、ユーザーからはトマト・キュウリ・イチゴ以外の作物での病害予測AIや、害虫予測の要望もあり、今後の課題といえる。

②病害予測システムの波及効果

病害予測の導入により、農家の労働負担や農薬散布において、一定の低減効果が見られ、それらに基づく経済効果を確認することができた。一方で、農家の使用歴によって効果に差があることが想定され、今後効果的な使い方を含めた情報提供が必要であると考えられる。

小課題番号	2	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	2 人工知能を活用した作業計画策定による作業効率化		
実行課題名	(4)人工知能を活用した生育モニタリング技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・野菜花き研究部門・施設野菜花き生産管理システムグループ・小田篤		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	産総研・人工知能研究センター・増田健		

1) 研究目的

生育モニタリングシステムのモデルシミュレーションの時間的精度を向上させる技術と作業計画策定に必要とされるサブモデルモジュールの研究開発を行う。生育予測モデルのために収集されたデータや画像データから、群落特性などの生育状態を推定する技術を開発する。また、作業データ管理活用プラットフォームを拡張し、生育モニタリングに活用可能な予測機能を有する人工知能を開発する。

2) 研究方法

施設栽培作物の生育モニタリングの具体的な研究課題として、太陽光型植物工場でのトマト栽培における葉面積推定を設定した。現状では葉面積の計測は破壊検査で行われており、作業に非常に手間と時間がかかるため、一部の株に対してしか行うことができない。この計測を非破壊化できれば、計測データを増やすとともに農作業の労務の軽減化に寄与することができる。

トマトの葉は複雑な形状の複葉であり、また、植物工場においてトマトは密な群落として植えられており、隣接する株の葉が交錯している。一つの栽培ベンチに二列で植えられており、栽培ベンチ間の通路にしかセンサーを設置できず、それぞれの株を一方からしか計測することができない。

本研究では各画素について色情報とともに奥行値も計測することができるRGB-Dセンサーを用い、センサーが上下に移動するような装置を用いて通路側から株をスキャンしてRGB-D画像系列を取得し、これを位置合わせ・統合してボクセル化された点群を生成する。

この点群には対象株の他に、隣接株や植物ではない物体（クリップ、フック、ケーブル、機器類）も含まれている。点群データの各点に4クラスのラベル（茎、葉、実、他）を付与したアノテーションデータを作成し、このデータを用いて学習を行い、点群データをこの4クラスにセグメンテーションする。

それぞれのデータで茎と認識された部分点群に対して、人手で指定した初期値から曲線当てはめを行い対象の株の茎を特定する。葉の点群をクラスタリングし、指定された株の茎の周囲のクラスタの点数を、別途その株を破壊検査することによって得られた葉面積の真値と照合することで、葉面積推定手法の検証を行う。

3) 研究結果

点群データのセグメンテーション手法としてPointNet++を用い、145の点群データについてラベルづけを行った。破壊検査により葉面積の真値がわかっている24個体について、Leave-one-out交差検証法により、葉の点数との間で線形当てはめによる葉面積推定の評価を行った。統計学的外れ値を除去した23個体について、相関係数約0.8、平均絶対値パーセント誤差 (MAPE) 約20%の結果を得た。植物工場で栽培されている群落中のトマトを通路からRGB-Dセンサーでスキャンして生成した点群データを用いて20%程度の精度で葉面積が計測できることがわかった。

4) 成果活用における留意点

本研究では限られたデータしか使用しておらず、さまざまな環境での一般性については検討が必要である。非常に葉が密でどこからでも茎が見えないような状況には対応が困難である。

5) 今後の課題

本手法では栽培現場で用いられる葉面積の簡易的な推定手法に近い精度が得られているとはいえ、より多くのデータを用いて学習を行い信頼性の高い評価を行う必要がある。実用を視野に入れると、他の環境での一般性も検証した上で、計算量や操作性の改善も必要である。この研究では点群データを使用した。画像等の他のデータや生長モデル等の事前知識と組み合わせるとさらに改善が得られる可能性がある。

<引用文献>

[1] Charles R. Qi, Li Yi, Hao Su, and Leonidas J. Guibas. Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. In *Proceedings of the 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)*, Long Beach, CA, USA, 2017.

[2] Takeshi Masuda: Leaf Area Estimation by Semantic Segmentation of Point Cloud of Tomato Plants, 7th workshop on Computer Vision in Plant Phenotyping and Agriculture (CVPPA 2021), In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops*, pp.1381-1389, 2021.

小課題番号	3-(1)	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	3 作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用		
実行課題名	(1)作業・生育・環境・エネルギーのデータの解析・利用技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	千葉大学大学院・園芸学研究院・後藤英司		

1) 研究目的

作業管理データプラットフォームを拡張して生育・栽培・環境・エネルギーのデータセットの収集基盤を整備し、これらを統合して作業管理・栽培管理等を解析して最適運用管理を行うシステムを開発する。

2) 研究方法

太陽光型植物工場で収集するデータを活用して、作業・生育・環境・エネルギーのデータの解析を行い、環境制御、生育制御、栽培管理、作業管理、労務管理、資源・エネルギー利用計画の統合的管理運用モデルを開発する。また、その作業管理シミュレーション等の精度検証、および実装プログラムの検証を行う。

3) 研究結果

統合的管理運用モデルの構成要素である栽培環境モデル、生育モデル、資源・エネルギーモデル、作業管理モデル、経営モデルの5つのモデルを開発した。生育モデルについては、一作のシミュレーションの過程で実栽培の葉面積、LAI等のデータを用いて成長量を補正するサブプログラムを作成した。具体的には、栽培期間中の葉面積とLAIを画像処理により非破壊でモニタリングする方法を開発した。この5つのモデルを連結させた統合的管理運用モデルを商用シミュレーションソフトウェア「TRNSYS」で作成した。温室の4作の実証データを用いてシミュレーションを行い、モデルの妥当性を検証した。

モデルの精度を確認後、モデルを改良し、最終的に「年間収量を最大、ある季節の収量を最大、年間の収益性を最大、にするために必要な資源・エネルギー・作業量の試算や、収量1単位(1 kg/m²)に必要な資源(水、CO₂ガス)を最小、同エネルギー(熱、電気)を最小、同農作業量を最小などの条件を満たす作型(定植日と栽培終了日を指す)やその温室に合う栽培管理を提案できるモデル」を開発した。また、利用者がローカルで試験利用できる実行形式の配布版をEXCELで作成した。

4) 成果活用における留意点

本モデルは、対象立地の気象データさえあれば、収量予測、コスト試算、収益推定をすることができる。そのため、現在使用中のトマト菜園では、次作の収益増加のための作型の策定、省エネ・労務量削減の戦略の検討、施設の環境制御機器類の追加・機能強化などに活用できる。また、今後新規の菜園を建築・導入する際に対象立地の気象データさえあれば、収量予測、コスト試算、収益推定をすることができる。さらには、海外に温室を建

設する場合にも、気象データさえあれば、同様な推定ができる。

生育モデルにはトマトの品種ごとに設定する品種パラメータ（群落吸光係数、最大葉面積、最大果実重など）が4～6個ある。主要な品種であればそれを使用できるが、新品種の場合は、長段取りならば1年、低段栽培ならば数作の栽培データからパラメータを求める必要がある。作業管理モデル、経営モデルについては、応用場面毎に、栽培方式や価格などの経営データを更新して入力することが必要である。

5) 今後の課題

イチゴ、パプリカ、キュウリなどの周年生産が行われる果菜類において、生育モデルを開発し、トマトの生育モデルと入れ替えれば、同様なシミュレーションが可能である。

小課題番号	3	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	3 作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用		
実行課題名	(2) 人工知能親和性の高い新たな環境制御最適化手法の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	千葉大学大学院・園芸学研究科・後藤英司		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	東京大学・生物環境工学研究室・富士原和宏		

1) 研究目的

人工知能親和性の高い新たな環境制御最適化手法の一つとして、温室へのCO₂施用の費用対効果を判断する上での「コア」情報であるCO₂施用速度－温室内植物個体群純光合成速度（以後、 P_n ）応答曲線（以後、CP曲線）をリアルタイムで推定する方法を開発するとともに、その手法の実用規模温室への適用を可能とすることを目的とする。

2) 研究方法

CP曲線のリアルタイム推定法を開発し、それをキュウリおよびトマト栽培中の強制換気小型モデル温室に適用して問題点の抽出を行い、推定法の改良・修正を行った。また、ある程度の改良・修正が完了した時点で、イチゴおよびナス栽培中の試験温室に適用し、問題点の抽出を進めた。同時に、自然換気温室の換気回数をリアルタイムで推定する方法の開発も実施した。さらに、CP曲線リアルタイム推定法の中心的技術である温室内植物個体群純光合成速度推定法を実用規模温室に適用した場合の問題点と効果を検討した。

3) 研究結果

CP曲線リアルタイム推定プログラムを開発し、その後、おもにデジャブ・データ抽出における環境要素レベル範囲設定の合理的な決定法および純光合成速度補正法の改良を行った。これらの改良の結果、CP曲線リアルタイム推定法は、換気回数の変動を抑制できる強制換気温室に対しては適用が可能なレベルに達したといえる。自然換気温室の換気回数をリアルタイムで推定する方法の開発も行ったが、CP曲線リアルタイム推定法を自然換気温室に適用できるほどの高い推定精度は得られなかった。また、温室内植物個体群純光合成速度推定法の適用試験で得られた知見を基に、令和5年の公開を目指して商品開発を進めている。

4) 成果活用における留意点

CP曲線リアルタイム推定法を適用できる温室は、現時点では、換気回数の変動をある程度抑制できる温室あるいは換気回数がある程度の精度で推定できる温室に限定される。

5) 今後の課題

CP曲線リアルタイム推定法の社会実装を促すには、まずその推定法の中心的技術である温室内植物個体群純光合成速度推定法の利用効果の周知とその普及を進める必要がある。

小課題番号	3	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	3 作業性を考慮した栽培管理最適化と人工知能利用		
実行課題名	(3) 作業・栽培・環境データの人工知能への適用技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	千葉大学大学院・園芸学研究科・後藤英司		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構・農業ロボティクス研究センター・施設ロボティクスユニット・太田智彦		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

AIに活用するため、作業データと合わせて環境データ、生育データを記録できる作業入力システムを開発する。

2) 研究方法

課題1－(1)－Aと連携し、その課題で開発した作業データ入力システムを改良することにより環境データ、生育データを同じシステム上で記録できるようにする。

3) 研究結果

課題1－(1)－Aで開発した作業データ入力システムを改良し、環境データ、生育データを同じシステム上で記録できるシステムを開発した。環境データは環境制御システムで記録した温湿度、二酸化炭素、養液濃度のデータをCSVファイルで入力可能である。生育データは茎径、葉数など設定したデータを画面上から手動で入力できる。

4) 成果活用における留意点

広く活用するためには作業、環境、生育データの標準化が必要である。

5) 今後の課題

作業、環境、生育データの標準化を進め、標準化データを活用して、ベンダーなどによりAIによる作業管理システムが開発することが望まれる。

Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

個別課題番号 17935610

課題名 栽培・労務管理の最適化を加速するオープンプラットフォームの整備

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		PCT	報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
17935610	1	8	31	11	3	4	0	0	0	0	11	4	4	25

(1)学術論文

区分:①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	タイトル	著者	機関名	掲載誌	掲載論文のDOI	発行年	発行月	巻(号)	掲載ページ
1	①	Development of LAI and fruit load estimation method using a three-dimensional shape measurement sensor	Takahashi Mら	宮城県農業・園芸総合研究所	Acta Horticulturae		2019			
2	①	Comparison of neural network models with aerodynamic and empirical models toward real-time estimation of the number of air exchanges per hour of a naturally ventilated greenhouse.	Matsuda, R.ら	東京大学・(株)誠和	Journal of Agricultural Meteorology	https://doi.org/10.2480/agrmet.D-19-00009	2019	10	75(4)	166-172
3	①	センサーデータとAIを活用した病害感染リスク予測	盛朝子	ボッシュ株式会社	植物防疫		2019	6	73(6)	381-386
4	①	Estimation of the light environment inside a tomato canopy in a greenhouse by using the ray tracing method	Y. Ohashi, Y. Ishigami and E. Goto	千葉大学	Acta Horticulturae (in press)		2020			
5	①	Monitoring the Growth and Yield of Fruit Vegetables in a Greenhouse Using a Three-Dimensional Scanner. Sensors 2020, 20(18), 5270; https://doi.org/10.3390/s20185270 - 15 Sep 2020	Yuta Ohashi, Yasuhiro Ishigami, Eiji Goto	千葉大学	Sensors	https://doi.org/10.3390/s20185270	2020	9	20	5270 (18pp)
6	①	Estimation of the light interception of a cultivated tomato crop canopy under different furrow distances in a greenhouse using the ray tracing.	Yuta Ohashi, Taiki Torii, Yasuhiro Ishigami, Eiji Goto	千葉大学	J. Agric. Meteorol.	https://doi.org/10.2480/agrmet.D-20-00030	2020	10	77	188-193
7	①	Intraseasonal and interseasonal applicability of a neural network model for real-time estimation of the number of air exchanges per hour of a naturally ventilated greenhouse	Matsuda, R.ら	東京大学・(株)誠和	Journal of Agricultural Meteorology		2021	1	77(1)	

8	①	Temporary Reduction and Control of Female Flower Expression in Cucumber (Cucumis sativus L.) by Application of 1-methylcyclopropene	Oda Aō	農研機構 野菜花き 研究部門	Hort. J.	https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-307	2021			
9	①	Light-Intercepting Characteristics and Growth of Tomatoes Cultivated in a Greenhouse Using a Movable Bench System	Y. Ohashi, M. Murai, Y. Ishigami and E. Goto	千葉大学	Horticulturae	https://doi.org/10.3390/horticulturae8010060	2022	1	8	60

(2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	栽培・労務管理の最適化を加速するオープンプラットフォームの整備	岡田 邦彦	農研機構野花研	人工知能未来農業創造プロジェクト公開シンポジウム	2018	2
2	次世代施設園芸拠点へのAIプロジェクトの展開	小田 篤・東出 忠桐	農研機構野花研	人工知能未来農業創造プロジェクト公開シンポジウム	2018	2
3	AIとWAGRIIによるトマト収穫・出荷量モニタリングとデータ利用	深津 時広・内藤 裕貴	農研機構革新研	人工知能未来農業創造プロジェクト公開シンポジウム	2018	2
4	宮城県大規模生産ハウスにおけるAI活用のための取り組みと展望	岩崎 泰永	農研機構野花研	人工知能未来農業創造プロジェクト公開シンポジウム	2018	2
5	AIを活用したきめ細やかな栽培環境を目指して	石井 雅久	農研機構農工研	人工知能未来農業創造プロジェクト公開シンポジウム	2018	2
6	作業計画策定を想定したトマト着果検出モデルの精度評価	内藤 裕貴, 太田智彦, 深津時広, 東出 忠桐, 村松 幸成	農研機構農業技術革新工学研究センター	農業情報学会	2018	5
7	着花情報を利用したイチゴの早期収量予測法の検討	内藤 裕貴, 太田智彦, 深津時広, 坪田将吾, 吉永慶太	農研機構農業技術革新工学研究センター	農業環境工学関連5学会	2018	9
8	一連のAI精緻化の取り組みも含む病害予測AI開発全般について、口頭発表を予定。	伊藤聖	ボッシュ株式会社	関東東海北陸エリア 病害虫担当者 現地検討会	2018	10
9	一連のAI精緻化の取り組みも含む病害予測AI開発全般について、口頭発表を予定。	盛朝子	ボッシュ株式会社	関東東海北陸エリア 病害虫担当者 現地検討会	2018	10
10	トマト生育モデルの太陽光型植物工場の統合的管理への応用	後藤英司、村井美郷、大森渉、石神靖弘、彦坂晶子	千葉大学	農業環境工学関連5学会	2018	9
11	太陽光型植物工場における日本品種用のトマト生育モデルの開発	後藤英司、彦坂晶子、後藤英司	千葉大学	日本生物環境工学会	2018	9
12	Real-time response curve estimation of the canopy net photosynthetic rate to the CO2 supply rate in a ventilated greenhouse.	Fujiwara, K., Y. Ohshima	東京大学	GreenSys 2017, 北京, 中国	2017	8
13	CO2施用速度-温室内植物個体群純光合成速度応答曲線のリアルタイム推定法(2)-デジャブ・データ抽出によるヒューリスティックな推定法の構築-	富士原和宏, 川島崇志, 大嶋勇樹, 松田 怜	東京大学	日本農業気象学会75周年記念大会	2018	3
14	ニューラルネットワークを用いた自然換気温室の換気回数の推定	早野康太, 松田怜, 八木聡, 富士原和宏	東京大学	日本生物環境工学会	2018	9

15	CO ₂ 施用速度-温室内植物個体群純光合成速度応答曲線リアルタイム推定法の改良	川島崇志・富士原和宏・松田 怜	東京大学	日本農業気象学会 北陸支部・関東支部2018年度合同例会	2018	11
16	AI 利用のための施設園芸作業管理システムの開発 -作業実態の調査とデータ入力システムの試作-	太田智彦・内藤裕貴・深津時広・坪田将吾・山田哲資・東出忠桐	農研機構農業技術革新工学研究センター	2019年 農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会 合同国際大会	2019	9
17	作業管理システムおよびセンシング機器を用いたトマト作業情報の取得	高橋正明・小池修	宮城県農業・園芸総合研究所	平成31年度農作業学会	2019	3
18	Development of LAI and vigor estimation method using a three-dimensional shape measurement sensor	Takahashi Mら	宮城県農業・園芸総合研究所	greensys2019	2019	6
19	Transition of leaf area index of tomato in large scale greenhouse and study of easy estimation method of leaf area index	Kaneko Sら	宮城県農業・園芸総合研究所	greensys2019	2019	6
20	Yield and Harvesting Time Prediction by Deep Learning based Automated Tomato Fruits Monitoring System	内藤 裕貴, 深津時広, 坪田将吾, 太田智彦	農研機構農業技術革新工学研究センター	Greensys 2019	2019	6
21	AIによるトマト果実着果モニタリングシステム -自動着果計測に基づく収穫作業時間予測の試み-	内藤裕貴, 村松幸成, 東出忠桐, 深津時広, 坪田将吾, 山田哲資, 太田智彦	農研機構農業技術革新工学研究センター	2019年 農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会 合同国際大会	2019	9
22	深層学習を活用した自動着果計測による収穫作業時間予測の検討	内藤裕貴, 村松幸成, 東出忠桐, 深津時広, 坪田将吾, 山田哲資, 太田智彦	農研機構農業技術革新工学研究センター	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9
23	「CO ₂ 施用速度-温室内植物個体群純光合成速度曲線推定法の小型ガラス温室への適用」	川島崇志・大嶋勇樹・松田 怜・富士原和宏	東京大学	日本農業気象学会	2019	3
24	「ニューラルネットワークを用いた自然換気温室の換気回数のリアルタイム推定法の検討」	早野康太・富士原和宏・松田 怜	東京大学・(株)誠和	日本農業気象学会	2019	3
25	「Improvement of the real-time response curve estimation of the canopy net photosynthetic rate to the CO ₂ supply rate in a ventilated greenhouse」	Kawashima, T., Matsuda, R., Fujiwara, K.	東京大学・(株)誠和	米国園芸学会	2019	7
26	「自然換気温室のリアルタイム換気回数推定の試み: ニューラルネットワークモデルと空気力学的モデルおよび経験的モデルとの比較」	松田 怜・早野康太・八木聡・富士原和宏	東京大学・(株)誠和	園芸学会	2019	9
27	「CO ₂ 施用速度-温室内植物個体群純光合成速度曲線のリアルタイム推定プログラム開発」	川島崇志・松田 怜・富士原和宏	東京大学	日本農業気象学会関東甲信越支部	2019	11
28	3D Shape Reconstruction of Plant Roots in a Cylindrical Tank From Multiview Images	Takeshi Masuda	産総研	The 2nd Workshop on 3D Reconstruction in the Wild (3DRW2019) in conjunction with ICCV 2019	2019	10
29	Estimation of the light environment inside a tomato canopy in a greenhouse by using the ray tracing method	Y. Ohashi, Y. Ishigami and E. Goto	千葉大学	Greensys2019(国際園芸学会)	2019	6
30	レイトレーサー法を用いたトマト群落内光環境の推定	大橋雄太、後藤英司、石神靖弘	千葉大学	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9

31	Development of an integrated greenhouse management model for tomato production	Eiji Goto, Ayumu Omori and Yasuhiro Ishigami	千葉大学	AGHPF2019(日中韓施設園芸国際会議)	2019	11
32	労務管理や栽培技術の効率化を支援する施設園芸用共通プラットフォームの設計	深津時広、太田智彦、内藤裕樹、坪田将吾	農研機構	農業情報学会2020年度年次大会	2020	5
33	強制換気温室におけるCO ₂ 施用速度-植物個体群純光合成速度曲線のリアルタイム推定システムの開発	川島崇志、松田怜、富士原和宏	東京大学	日本農業気象学会	2020	3
34	IoTとAIを活用した病害感染リスク予測システム	佐々貴洋、伊藤聖、盛朝子、清水佐知子	ボッシュ株式会社	令和2年度日本植物病理学会関東部会	2020	9
35	Development of an integrated greenhouse management model for tomato production	Eiji Goto	千葉大学	2020 Korea-Japan Joint-Workshop on Plant Factory(韓日植物工場ワークショップ)	2020	12
36	Leaf Area Estimation by Semantic Segmentation of Point Cloud of Tomato Plants	増田健	産業技術総合研究所	7th workshop on Computer Vision in Plant Phenotyping and Agriculture (CVPPA 2021), Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops, pp.1381-1389	2021	10
37	大規模施設園芸における作業管理システムの開発と導入	太田智彦	農研機構農業ロボティクス研究センター	園芸学会	2021	9
38	Real-time response curve estimation of the canopy net photosynthetic rate to the CO ₂ supply rate in a ventilated greenhouse - A novel concept for greenhouse CO ₂ enrichment	Fujiwara, K.	東京大学・(株)誠和	2021 International Forum on Protected Horticulture (中国)	2021	4
39	トマト収量予測実現に向けたAI技術およびデータ利用基盤技術の開発	深津時広、内藤 裕貴	農研機構	人工知能未来農業創造プロジェクト公開シンポジウム	2019	2
40	労務管理や栽培技術の効率化を支援する施設園芸用共通プラットフォームの設計	深津 時広、太田 智彦、内藤 裕貴、坪田 将吾	農研機構	農業情報学会2020年度年次大会	2020	5
41	栽培労務管理オープンプラットフォーム・データベースのための施設園芸用標準データ体系	深津 時広、太田 智彦、坪田 将吾、内藤 裕貴、山田 哲資	農研機構	農業情報学会2021年度年次大会	2021	5
42	施設園芸におけるデータ共有・利活用の実現に向けた栽培労務管理OPFの概要	深津時広	農研機構	植物工場先端技術シンポジウム	2021	11

(3) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌(学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	④	病害予測 トマト葉かび病(6/24)	伊藤聖	ポッシュ株式会社	日本農業新聞	2019	6
2	④	病害予測 オプション トマト葉かび病	田口仁美	ポッシュ株式会社	Web広告 - アグリジャーナル	2019	7
3	⑤	「最新AIで施設園芸の作業効率化が実現」	太田智彦、内藤裕貴、八谷 満	アグリジャーナル (https://agrijournal.jp/renewableenergy/53701/)	アクセスインターナショナル	2020	6

(4) 国内特許権等

区分: ①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日
1	②	台車	吉永慶太、太田智彦、深津時広、内藤裕貴	農研機構	農研機構農業技術革新工学研究センター	特開2020-789780	2018/11/12	
2	②	列間移替装置	内藤裕貴、太田智彦	農研機構	農研機構農業技術革新工学研究センター	特開2021-95027	2019/12/18	
3	②	列間移替装置	内藤裕貴、太田智彦、吉岡豊	農研機構、吉岡鐵工	農研機構農業技術革新工学研究センター	特開2021-95027	2019/12/18	
4	②	温室内環境推定方法、温室内環境推定装置及びコンピュータープログラム	下田和則、陣在ゆかり	誠和	誠和	特開2021-114968	2020/1/28	

(5) 国際特許権等

区分: ①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日	出願国
1		該当無し							

(6) 報道等

区分: ①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

整理番号	区分	記事等の名称	機関名	掲載紙・放送社名等	掲載年月日	備考
1	①	タイトル、AIによるトマト葉かび病サービスを開始した (本プロジェクト開始前にトマトの灰色かび病の予測サービスは発売済みなので、サービス対象病害の追加)	ボッシュ株式会社		2018/6/6	
2	④	オプション 病害予測 キュウリうどんこ病	ボッシュ株式会社	Plantect商品パンフレット	2019/9/1	
3	④	オプション 病害予測 キュウリうどんこ病	ボッシュ株式会社	日本農業新聞 広告	2019/12/5	
4	④	オプション 病害予測 キュウリうどんこ病	ボッシュ株式会社	会社案内	2019/7/1	
5	④	オプション 病害予測 キュウリうどんこ病	ボッシュ株式会社	web	2019/6/30	ボッシュ株式会社 Plantect®(プランテクト)の公式Webサイトに掲載 http://www.bosch-plantect.jp/about.html
6	④	AIを活用したトマト栽培における適正作業の自動立案	小林クリエイト(株)	パンフレット	2019/9/1	
7	④	トマト葉かび・灰色かび病、きゅうりうどんこ病についての紹介	ボッシュ株式会社	プランテクト 新パンフレット	2020/1月	
8	④	トマト葉かび・灰色かび病、きゅうりうどんこ病についての紹介	ボッシュ株式会社	プランテクト 広告向けページ	2020/6月	
9	④	「Plantectはじめてガイド」にて、データや病害予測AIの活用を促進するとともに、トマト葉かび・灰色かび病、きゅうりうどんこ病の病害予測AIについての紹介	ボッシュ株式会社	プランテクト専用アプリケーション内	2020/9月	
10	④	Plantect取扱説明書	バイエルクロップサイエンス株式会社	プランテクト専用アプリケーション内	2021/4月	https://cropscience.bayer.jp/ja/home/plantect/assets/pdf/Plantect_guide_Ver.2.pdf
11	④	ユーザーインタビュー動画	バイエルクロップサイエンス株式会社	バイエルクロップサイエンスYoutubeチャンネル	2021/12月	https://www.youtube.com/c/BayerCropScienceJapan

(7) 普及に移しうる成果

区分: ①普及に移されたもの・製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの(複数選択可)。

整理番号	区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月	主な利用場面	普及状況	
1	①	プロファイナダークラウド 光合成推定コンテンツ	株式会社 誠和	2023	4	プロファイナダークラウドでの推定純光合成量表示	生産者試験 5か所実施中
2	①	病害予測システム(トマト葉かび病、キュウリうどんこ病)	バイエルクロップサイエンス	2021	3	病害予測	自社製品に組み込み
3	①	列間移替装置	農研機構	2021	10	着果モニタリングシステムなどの列間移動	受注販売中(メーカーへ実施許諾)
4	①	収量予測API	農研機構	2021	4	トマト収量予測	受注販売中(企業へ実施許諾)

(8) 発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)の状況

整理番号	発表会の名称	機関名	開催場所	年月日	参加者数	備考
1	農研機構人工知能未来農業創造プロジェクト公開シンポジウム — AIを利用した施設園芸・植物工場の未来へ向けて—	農研機構野花研	一橋大学一橋講堂	2018.2.12	300	
2	一連のAI精緻化の取組みも含む病害予測AI開発全般について発表。	ボッシュ株式会社		2018/12/8		土葉会
3	一連のAI精緻化の取組みも含む病害予測AI開発全般について発表。	ボッシュ株式会社		2019/1/22		スマート農業時代の植物防疫を考える
4	AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発成果と社会実装に向けた展望	共催:(一社)日本施設園芸協会、愛媛大学、愛媛大学植物工場研究センター、ai tomato、栽培労務管理OPFコンソ	オンライン	2021/11/30	190	http://igh.agr.ehime-u.ac.jp/pdf/sympo1_20211130.pdf

(9) アウトリーチ活動の状況

区分:①一般市民向けのシンポジウム・講演会及び公開講座・サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展・大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け出前授業等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	機関名	開催場所	年月日	参加者数	主な参加者	備考
1	①	AIによるトマト生産の効率化—AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発—(プロジェクトの内、AIによる果実検出、作業管理システム、データプラットフォームに関する概要説明)	農研機構農業技術革新工学研究センター	東京ビックサイト	2018/7/11			施設園芸・植物工場展
2	①	AIによるトマト生産の効率化—AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発—	農研機構農業技術革新工学研究センター		2018/7/11			GPEC スマートアグリ・ソリューション 2018 農研機構展示ブース内
3	①	施設園芸における IoT、AI、ロボット活用などスマート化について	農研機構・農業技術革新工学研究センター		2018/10/12			第3回農業電化シンポジウム「最新のスマート農業におけるIoT、AIの応用」
4	①	タイトル、AIによるトマト葉かび病サービスを開始した(本プロジェクト開始前にトマトの灰色かび病の予測サービスは発売済みなので、サービス対象病害の追加)	ボッシュ株式会社		2018/5/21			プレスリリースなど、特段の公表を行うことなく、追加サービスを実装したものである。

5	①	AIによるトマト葉かび病サービスを開始した (本プロジェクト開始前にトマトの灰色かび病の予測サービスは発売済みなので、サービス対象病害の追加)	ボッシュ株式会社		2018/9/30				カタログ掲載、展示会における表示
6	②	AIによるトマト生産の効率化－AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発－ (プロジェクトの内、AIによる果実検出、作業管理システム、データプラットフォームに関する概要説明)	農研機構農業技術革新工学研究センター	東京ビックサイト	2018/7/11				施設園芸・植物工場展
7	②	AIによるトマト生産の効率化－AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発－ (プロジェクトの内、AIによる果実検出、作業管理システム、データプラットフォームに関する概要説明)	農研機構農業技術革新工学研究センター	東京ビックサイト	2018/11/20				アグリビジネス創出フェア
8	②	シンポジウム発表「施設園芸におけるIoT、AI、ロボット活用などスマート化について」	農研機構農業技術革新工学研究センター	東京大学	2018/10/12				第3回農業電化シンポジウム「最新のスマート農業におけるIoT、AIの応用」
9	②	セミナー発表「施設生産におけるAI活用促進に向けた取組の紹介」	農研機構農業技術革新工学研究センター	愛媛大学	2019/1/30				愛媛大学植物工場先端技術セミナー「ICT/IoT/AI世代の植物工場技術：実装可能な生体情報計測とモデル化」
10	②	いわてスマート農業祭トリニティ(主催：岩手県) 着果モニタリングロボット試作機を展示	農研機構農業技術革新工学研究センター	岩手県産業文化センター「アピオ」	2019/8/23-4	未公表	生産者、行政関係者、企業関係者		
11	②	第9回産業振興フェア in いわた(主催：磐田商工会議所)、ルール間移動台車試作機を展示	農研機構農業技術革新工学研究センター	アミューズ豊田	2019/11/8-9	未公表	企業関係者、行政関係者、学生		
12	①	施設園芸のスマート化に関する講演(東北地区農電現地研修会 主催：東北農業電化協会、講演題名：施設園芸における最新のスマート農業について)	農研機構農業技術革新工学研究センター	パレスへいあん	2019/11/14	未公表	生産者、行政関係者、企業関係者		
13	②	アグリビジネス創出フェア2019(主催：農林水産省)着果モニタリングロボット試作機を展示	農研機構農業技術革新工学研究センター	東京ビッグサイト	2019/11/20-22	約36,000	生産者、企業関係者、行政関係者		
14	②	スマート農業・畜産体験フェア(主催：福島イノベーション・コースト構想推進機構、福島県) 着果モニタリングロボット試作機を展示	農研機構農業技術革新工学研究センター	飯舘村交流センター ふれ愛館	2019/11/29	未公表	生産者、行政関係者、企業関係者		
15	②	2019国際ロボット展(主催：一般社団法人日本ロボット工業会、日刊工業新聞社)着果モニタリングロボット試作機を展示	農研機構農業技術革新工学研究センター	東京ビッグサイト	2019/12/18-21	141,133	企業関係者、行政関係者、学生、生産者		

16	②	講演「太陽光型植物工場の環境・収量・資源・収益を推定する統合モデルの開発」	千葉大学	アグロ・イノベーション2019(東京ビッグサイト)	2019/11/20	40	施設園芸事業者	
17	①	Web講演会での講演「施設生産におけるAI活用に向けた取り組み」	アグリジャーナル	https://agrijournal.jp/	2020/10/10より	—	生産者、専門家、一般市民	
18	②	アグリビジネス創出フェア出展	バイエルクロップサイエンス株式会社	東京ビッグサイト 青海展示棟	2021/11/24-26	—	生産者、企業、関係機関など	https://agribiz.maff.go.jp/
19	②	広島県スマート農業フェア出展	バイエルクロップサイエンス株式会社	広島市中小企業会館	2021/12/9	—	生産者、企業、関係機関など	https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/411163.pdf
20	①	植物工場先端技術シンポジウム	バイエルクロップサイエンス株式会社	オンライン	2021/11/30	100	一般市民、学生、関係機関など	https://xn--ehime-u-4b9kx39jec3co14a.ac.jp/wp-content/uploads/2021/11/20211122_shokubutsu.pdf
21	②	施設園芸・植物工場展(GPEC)出展	一般社団法人日本施設園芸協会	愛知県国際展示場	2021/7/14~16	16,288	学生、大学教員、メーカー、商社、研究機関職員、農業生産者、行政等	https://www.gpec.jp/2021/pdf/report2021_JP.pdf
22	①	スマートアグリ ジャパン主催者セミナー 講演	スマートアグリコンソーシアム	愛知県国際展示場	2021/7/16	—	学生、大学教員、メーカー、商社、研究機関職員、農業生産者、行政等	https://www.gpec.jp/2021/pdf/report2021_JP.pdf
23	②	アグリビジネス創出フェア2021 出展	農林水産省	東京ビッグサイト 青海展示棟	2021/11/24~26	—	学生、大学教員、研究機関職員、農業生産者、行政等	https://agribiz.maff.go.jp/
24	①	AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発成果と社会実装に向けた展望 講演	(一社)日本施設園芸協会、愛媛大学、愛媛大学植物工場研究センター、ai tomato、栽培労務管理OPFコンソ	オンライン	2021/11/30	190	学生、大学教員、研究機関職員、農業生産者、行政等	http://igh.agr.ehime-u.ac.jp/pdf/sympo1_20211130.pdf
25	①	温室環境シミュレーションとトマト生育モデルを結合した統合的管理運用モデルの開発	千葉大学	植物工場先端技術シンポジウム(愛媛大学、オンライン)	2021/11/30	190	施設園芸事業者	