

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  
AIを活用した栽培・労働管理の最適化技術の開発  
令和3年度 最終年度報告書

課題番号	17935689
研究実施期間	平成29年度～令和3年度（5年間）
代表機関	国立大学法人愛媛大学
研究開発責任者	高山弘太郎
研究開発責任者 連絡先	Tel: 089-946-9821
	FAX : 089-946-9821
	E-mail : takayama.kotaro.mk@ehime-u.ac.jp
共同研究機関	国立大学法人豊橋技術科学大学
	PLANT DATA株式会社
	PwCあらた有限責任監査法人
	凸版印刷株式会社
	協和株式会社
	株式会社浅井農園
	株式会社福井和郷

<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)
	29	30	R1	R2	R3	機関	研究室	
研究開発責任者	/	/	/	/	/	愛媛大学	大学院農学研究科	高山弘太郎
1 植物生体情報の計測と解析								
1-1 多角的植物生体情報ロボット計測技術の開発と低コスト化	○	○	○	○	○	愛媛大学	大学院農学研究科	◎高山弘太郎 藤内直道 (2019.9~)
1-2 光合成蒸散リアルタイムモニタリングによる収量予測	○	○	○	○	○	豊橋技術科学大学	エレクトロニクス 先端融合研究所 先端農業・バイオリサーチセンター 建築・都市システム学系	戸田清太郎 (2019.7~)
1-3 生育スケルトンによる生育状態共有に基づく栽培管理の最適化	○	○	○	○	○			
2 植物診断サービスの開発と提供								
2-1 システム環境の調査	○	○				PLANT DATA 株式会社		○北川寛人 △海野博也 齋藤祐介 (2018.2~ 2019.3) 稲葉一恵 (2018.4~) 味口優樹 (2017.12 ~2018.12) 加納多佳留 (2019.4~)
2-2 植物診断サービスおよび低コストクロロフィル蛍光画像計測システムの開発	○	○	○	○	○			
2-3 UIシステムの設計と開発	○	○	○	○	○			
2-4 労務管理のための作業指示アプリの開発	○	○	○	○	○			
3 データ分析による栽培・労務管理の最適化								
3-1 ルールベース・モデルの開発	○	○	○	○	○	PwCあらた有限責任監査法人		○西原立 △藤内翔太 前任者 藤山祥紀 (~2018.9) 前任者 松田康隆 (2018.10~ 2019.9) 後任者 藤内翔太 (2019.10~)
3-2 AI技術と連携したモデルの検討		○	○	○	○			
3-3 栽培管理・労務管理の見える化による改善：シナリオ①								
3-4 生育の制御による作業ピークの抑制・分散：シナリオ②								
3-5 生育診断による植物生育の効率化：シナリオ③								
3-6 1~2週間後の収量等予測による作業者最適配置：シナリオ④	○	○	○	○	○			
4 生体情報とリンクした労務管理の情報化技術の開発								
4-1 動態把握技術の開発	○	○	○	○	○	凸版印刷株式会社	情報コミュニケーション事業本部	○永野武史 △宮内健一

4-2 トマトの収量予測モデルの開発	○	○	○	○	○			前任者成田康雄 (~2020. 3) 後任者宮内健一 (2020. 4~)
5 光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムの開発								
5-1 システムの設計と最適化	○	○	○	○	○	協和株式会社	ハイポニカ事業本 部	◎佐藤裕久 ○磯山侑里
5-2 システムの現場実証								
6 ロボット生体情報計測による栽培・労務管理技術の開発と実証								
6-1 計測データの活用法の検討	○	○	○	○	○	株式会社浅井農園	研究開発部	○ 浅井雄一郎 △ 馬野幸紀 呉 婷婷 勝部尚隆 田中美穂
6-2 計測データを活用した栽培・労務管理の実証	○	○	○	○	○			
7 収量予測に基づいた栽培・労務管理技術の開発と実証								
7-1 動態把握と作業品質評価技術の実証試験	○	○	○	○	○	株式会社福井和郷	栽培チーム	○山本克樹 △鈴木靖隆
7-2 トマトの収量予測モデルの開発実証	○	○	○	○	○			

(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

太陽光植物工場は、環境制御技術と自動化・機械化技術との融合により、高い生産効率を達成する大規模農作物生産システムとして確立されつつあり、さらなる増収・安定生産を目的としたICTの高度化の流れは年々加速している。一方、太陽光植物工場の性能を最大限に発揮させるには「植物の生育に合わせた栽培・労務管理」が必須となるが、この「植物生育の見極め」が人間の主観的判断に委ねられており、栽培・労務管理の根拠とすべき生育状態の数値データが皆無であることが、栽培・労務管理へのAI適用の大きな障壁となっていた。

このため、本研究では、

1. 植物生体情報の計測と解析
2. 植物診断サービスの開発と提供
3. データ分析による栽培・労務管理の最適化
4. 生体情報とリンクした労務管理の情報化技術の開発
5. 光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムの開発
6. ロボット生体情報計測による栽培・労務管理技術の開発と実証
7. 収量予測に基づいた栽培・労務管理技術の開発と実証

により、多元的植物生体情報・労務情報・環境情報に基づいてトマトの栽培・労務管理を効率化するための高精度ダイナミック・ルールベース・モデルを構築し、単位収量あたりの雇用労働費を10%以上削減することを目標とする。なお、高精度生体情報計測技術の低コスト化、AIを活用した植物画像の解析による生体情報の精度向上も行う。

その結果、

1. 数値データに基づいた安定的かつ効率的な国際競争力のある施設生産技術の確立
2. 作物生育状態の見える化技術による国内食料生産の意義の理解促進

が期待される。

## I-3. 研究方法

### 1) 植物生体情報の計測と解析

#### (1) 多元的植物生体情報ロボット計測技術の開発と低コスト化

太陽光植物工場で栽培される主要品目であるトマトを対象として、生育状態を日単位で正確に評価するロボット化された多元的植物生体情報計測技術を開発する。ロボット計測のためのプラットフォームとして、これまでに研究代表者らが開発し、井関農機(株)およびPLANT DATA(株)から販売されているクロロフィル蛍光画像計測システムを用いることで、開発期間を飛躍的に短縮する。なお、多元的植物生体情報計測装置の普及拡大に向けた低コスト化(計測装置の価格を現状の2/3以下[1台180万円以下]にする)のための技術開発も行う。なお、豊橋技術科学大学は計測システムの工学面での開発を担当する。

「1日単位の生育状態の変化の検出ができる精度」を計測技術の達成目標とし、特に、管理者の業務(樹勢評価、労務管理、経営判断)に即時活用が可能な高精度生体情報計測技術として、樹勢評価および生殖・栄養成長バランス評価において重要視される葉量・茎伸長量・茎径・果実肥大・果実着色速度などの計測アルゴリズムを新規に開発する。なお、AI(ディープラーニング、機械学習)による画像解析技術を用いて、ロボット計測される大量のクロロフィル蛍光画像の解析を行い、生体情報計測精度を向上させる。

#### (2) 光合成蒸散リアルタイムモニタリングによる収量予測

光合成と蒸散のリアルタイムモニタリングは極めて重要である。本研究課題では、太陽光植物工場で栽培される主要品目であるトマトを対象として、個体群(2個体)の光合成速度と蒸散速度をリアルタイムで計測するシステム(以降、光合成計測チャンバ)を開発し、さらに、実測された光合成(蒸散)量の実測に基づいて収量予測を行うアルゴリズムを開発する。また、本システムを用いて計測される光合成・蒸散の環境応答に基づいて植物診断を行うアルゴリズムの開発も行う。なお、光合成蒸散リアルタイムモニタリングのプロトタイプは、研究代表者らのこれまでの研究によって開発されており、これを発展させることで計測装置の開発期間を飛躍的に短縮する。なお、CO<sub>2</sub>濃度計測ユニットの開発は共同研究機関の協和(株)と豊橋技術科学大学が担当し、植物診断結果や収量予測結果を表示するUIの開発はPLANT DATA(株)が担当する。

#### (3) 生育スケルトンによる生育状態共有に基づく栽培管理の最適化

熟練した管理者は、作物の様子を主に目視で観察し、自らの記憶に照らして生育状態の良し悪しを正確に評価している。一方、近年の農業生産の企業化・大規模化の流れのなかで、このような栽培ノウハウの情報化ニーズが急速に高まっており、たとえば、トマトの樹勢(生育バランス)を数値データに基づいて把握するための週1回の頻度の生育調査などが広く普及しつつある。研究代表者らは、長期多段栽培トマトを対象として計測される茎伸長速度や茎径などの基本的な生育調査データを用いて描画する「生育スケルトン」を開発し、これをインターフェースとして用いることで樹勢の変化の直観的な把握を可能にした。本研究課題では、生育スケルトンをベースにした複数生産者の生育状態の相互比較が可能なウェブアプリケーションを開発するとともに、これに環境情報を統合して生育診断を行い、栽培・労務管理を最適化するための知見を抽出する。

### 2) 植物診断サービスの開発と提供

#### (1) システム環境の調査

全国8箇所の実証試験地(共同研究機関、協力機関)の生産ほ場の環境制御装置などの

ハードウェアと各種ソフトウェアの現状を調査し、植物生体情報活用の方針を確定する。

(2) 植物診断サービスおよび低コストクロロフィル蛍光画像計測システムの開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学が新規に開発する生体情報計測アルゴリズムに対応した計測・解析ソフトウェアの開発と商品化・サービス化に必要なウェブアプリを開発する。また、愛媛大学が平成30年度に開発したつり下げ型画像計測ロボットによる多元的植物生体情報計測と光合成計測チャンバの標準モデルの仕様を確定するとともに生産現場における安定計測を実現する。

(3) UIシステムの設計と開発

共同研究機関である愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあたら有限責任監査法人・凸版印刷(株)と共同でルールベース・モデルのシステム実装を行い、画像計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”、光合成計測チャンバ用ウェブアプリ“Photo[synthesis] Review”、生育スケルトンによる生育状態共有ウェブアプリ“Skelton Review”に専用機能として追加する。また、ルールベース・モデルの入力値(多元的植物生体情報・労務管理情報・環境情報)のデータフォーマットに対応したサーバを確立し、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあたら有限責任監査法人が提供するAI技術を実装する。

(4) 労務管理のための作業指示アプリの開発

凸版印刷(株)・PwCあたら有限責任監査法人と共同で、作業指示アプリを試作し、労務管理者による試用を行う。

3) データ分析による栽培・労務管理の最適化

目標である「単位収量あたりの雇用労働費を10%以上削減」達成に向けて、4つの改善シナリオを確立して生産現場に導入し、その効果の測定を行った。4つの改善シナリオについて、相互の関係性を含めて整理しておく。

まず、シナリオ④「1～2週間後の収量等予測による作業最最適配置」では、本プロジェクトで開発するツール等の大部分の活用を想定している。目標である「単位収量あたりの雇用労働費削減」に寄与する中心的なシナリオの位置づけである。シナリオ②「生育制御による作業ピークの抑制・分散」およびシナリオ③「生育診断による植物生育の効率化」は労務の逼迫が予測される際に発動される、シナリオ④を支える補助的なシナリオである。シナリオ①「栽培管理・労務管理の見える化による改善」は上記3つのシナリオすべての土台となる基盤的なシナリオである。研究の進め方は次のとおりである。研究の前半においては、分析に使用可能なデータが限定的であったため、使用可能なデータの基礎分析を進めるとともに、大学や生産現場とディスカッションを重ね、植物生理学知見や生産現場の知見を取り込みながら、ルールベース・モデルの構築および改善シナリオの具体化を進めた。研究の後半においては、改善シナリオで活用する植物生体情報、環境情報および労務情報が一定程度蓄積されてきたため、AI技術を含む機械学習モデルや数理モデルを構築し、生産現場への導入および効果測定を行った。特にシナリオ①および④を目標達成への寄与の大きいシナリオと捉えて、優先的に取り組み、(株)浅井農園および(株)福井和郷の商業的生産ほ場で実証を行い、経営上の効果を測定した。シナリオ②および③については、大学のほ場を中心にその有効性の実証を行った。シナリオごとの研究方法を以下に記載する。

【シナリオ①「栽培管理・労務管理の見える化による改善」】

各ほ場で取得・計測されるデータを整理し、データ入力をより容易にするためのフォーマット案等を策定・提案し、データの効率的な蓄積を進めた。生産ほ場との検討を重ね、

栽培管理・労務管理に資するデータの可視化方法について検討を行った。植物体の画像情報については、果実数や茎頂位置等の情報を抽出するための、画像認識モデルの開発を行い、計測およびUI開発を行うPLANT DATA(株)にノウハウの提供を行った。労務情報について、労務情報の見える化を行う労務分析ツールを開発し、(株)福井和郷に提供した。生産現場における労務管理への活用を推進した。

【シナリオ②「生育制御による作業ピークの抑制・分散」】

環境調節による生育制御の効果を予測するため、大学等と検討を行いながら、日射量・温湿度・CO<sub>2</sub>濃度等の環境情報から光合成速度を予測するモデルを構築した。商業的生産ほ場で実際に環境調節に介入して生育制御を行うことが困難であったため、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATA・浅井農園でその有効性で検討することとした。

【シナリオ③「生育診断による植物生育の効率化」】

主に光合成計測チャンバから得られる情報から植物の状態を把握すべく、大学等と検討を行いながら、各種モデルの構築を行った。光合成を阻害・促進している環境要因を特定するために、統計的因果推論の理論に基づく光合成速度要因分解モデルを構築した。さらに、阻害要因の1つである乾燥等の要因による「気孔の閉じ」を検出するために、日射量と蒸散速度の関係を分析するモデルを構築した。愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATA・浅井農園でその有効性で検討することとした。

【シナリオ④「1～2週間後の収量等予測による作業者最適配置」】

生産ほ場および大学と検討を重ね、予測の基礎となるルールベース・モデルの構築を行うとともに、シナリオの具体化を行った。特に生産現場で行われている意思決定のタイミングを踏まえ、本シナリオを3つのサブシナリオに分解して実証を行った。各サブシナリオの概要および関係性は次のとおりである。サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」では、多元的植物生体情報等を活用して植物体の生育を予測することで、作業を「いつ」実施するかを最適化を行う。これは、生産現場で週次で行われている作業計画へのAI適用に対応する。サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業者最適配置」では、労務実績データをもとに定量化した作業者ごと作業種ごとの得意・不得意の情報から、「誰にどの作業を」実施させるかの最適化を行う。これは、生産現場で日次で行われている作業者配置へのAI適用に対応する。サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」では、多元的植物生体情報等を活用した収量予測を行う。予測した収量はサブシナリオ④-3のインプットになるとともに、有利販売へも活用される。これは、生産現場で週次で行われている収量予測へのAI適用に対応する。

<サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」>

茎伸長を予測し、誘引・つり下ろし作業の実施日を最適化することで、作業回数を削減すべく、大学や生産ほ場と検討を重ねて、茎伸長予測モデルを構築し、生産現場のオペレーションを踏まえた運用方法を策定し、実際に(株)浅井農園の商業的生産ほ場で実証を行い、経営上の効果を測定した。

<サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業者最適配置」>

作業者ごと作業種ごとに得意・不得意を踏まえた作業者配置を行うことで、作業効率を向上すべく、生産ほ場と検討を重ねて作業者最適配置ツールを開発し、(株)福井和郷の商業的生産ほ場で実証を行い、経営上の効果を測定した。

<サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」>

サブシナリオ④-2のインプットとなる収量予測の精度を向上すべく、収量予測モデル

の開発に取り組んだ。取得しているデータの異なる(株)浅井農園および(株)福井和郷のそれぞれについてモデルを開発し、予測結果の提供を行い、その精度の検証を行った。

#### 4) 生体情報とリンクした労務管理の情報化技術の開発

作業者の動態・労務実績と多元的植物生体情報をリンクさせた労務管理技術の開発を行う。また、定点型高精度カラー画像計測(色づきカメラ)により直近(1~2週間程度)の高精度収量予測を行い、作業者の最適配置を可能にするとともに、愛媛大学が提供する多元的植物生体情報と連動した実用レベルのトマト収量予測モデルを構築する。

- (1) 動態把握技術の開発：作業者の動態履歴と愛媛大学が提供するロボット計測されるトマト個体群のクロロフィル蛍光パノラマ画像の解析による作業精度評価(葉かき、誘引および収穫の質と量)を統合することで、植物生体情報に基づいた労務管理と作業実績の管理を行う。なお、栽培施設内での作業者の動態把握については、Bluetoothセンサ技術とネットワークカメラを組合せたID管理技術であるID-Watchy(凸版印刷(株)が提供)や他社が提供する同様の技術を比較検討し、必要十分な空間分解能と時間分解能を確定して実装する。
- (2) トマトの収量予測モデルの開発：トマト果実の可視光画像計測による果実の色づき評価(色づきカメラ)に基づいた直近(1~2週間程度)の高精度収量予測(予測精度±10%)を行う。また、愛媛大学が提供する植物診断ロボットによる高精度生体情報、光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムによる光合成量の情報、環境情報、さらには、気象予測情報を解析し、高精度生体情報に立脚した実用レベルのトマト収量予測モデルを構築する。

#### 5) 光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムの開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学が開発した光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステム(以降光合成計測チャンバ)の実用化を目的として、センサケースの設計開発・検証を行った。また、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATA(株)と共同で開発品を(株)浅井農園・(株)福井和郷をはじめとした生産農場において実証試験を行い、光合成計測チャンバの設置・運用方法および計測データに基づきユーザビリティの高いUIの仕様を検証した。

#### 6) ロボット生体情報計測による栽培・労務管理技術の開発と実証

同社の研究ほ場に導入されている植物生体情報計測ロボットが提供する多元的植物生体情報に基づいた栽培・労務管理技術の開発を行う。なお、多元的植物生体情報を用いた環境調節にウェイトを置いた技術開発を行い、収量増大と労務効率の向上を同時に達成する。

- (1) 計測データの活用法の検討：同社の実験温室に導入されている植物生体情報計測ロボットを用いて計測される日単位の高精度植物生体情報を、生育制御のための栽培管理や作業効率向上のための労務管理に活用するためのプロセスを具体化し、PLANT DATA(株)が開発するアプリケーションにニーズを反映させる。
- (2) 計測データを活用した栽培・労務管理の実証：6) - (1)の成果物として提供されるアプリケーションを用いて、植物生体情報計測ロボットが提供する高精度植物生体情報に基づいた栽培・労務管理を確立する。各種予測には多元的植物生体情報によりダイナミックにチューニングされるルールベース・モデルを活用する。

#### 7) 収量予測に基づいた栽培・労務管理技術の開発と実証

同社の生産ほ場に導入されている植物生体情報計測ロボット(井関農機(株))が提供する多元的植物生体情報に基づいた栽培・労務管理技術の開発を行う。なお、凸版印刷(株)のID管理技術(ID-Watchy)が提供する高精度労務情報との組合せによって、労務管理にウェイトを置いた技術開発を行い、労働力不足が生じない栽培・労務管理を実現する。

- (1) 動態把握と作業品質評価技術の実証試験：凸版印刷(株)のID管理技術(ID-Watchy)によ



る労務管理システムを活用した作業者の動態把握および植物生体情報計測ロボットによる作業評価技術を導入し、実用化に向けた実証試験を行う。なお、PwCあらた有限責任監査法人が提供する4つの改善シナリオのうち、特に、シナリオ②「生育制御による作業ピークの抑制・分散」にウェイトを置いた実証試験を行う。

- (2) トマトの収量予測モデルの開発実証：凸版印刷(株)が開発するトマト果実の可視光画像計測による果実の色づき評価に基づいた直近(1～2週間程度)の高精度収量予測モデルと、愛媛大学が開発する光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムによる収量予測モデルの実用化に向けた実証試験を行う。なお、PwCあらた有限責任監査法人が提供する4つの改善シナリオのうち、特に、④「2週間後の収量予測による作業者最適配置」にウェイトを置いた実証試験を行う。

## I-4. 研究結果

### 1) 植物生体情報の計測と解析

#### (1) 多元的植物生体情報ロボット計測技術の開発と低コスト化

多元的植物画像計測ユニットを開発し、これを用いた果実肥大・果実着色速度の高精度計測アルゴリズムを開発した。また、AI（ディープラーニング・機械学習）による画像解析技術を用いた計測精度向上技術を検討した。低コスト型計測装置として、つり下げ型画像計測ロボットのプロトタイプを作成し、生産現場に設置して長期稼働試験を行い、この間に取得されたが、栽培管理に資する有効であることを確認した。

#### (2) 光合成蒸散リアルタイムモニタリングによる収量予測

量産化と一般生産ほ場への普及を念頭においた計測システムを開発し、デュアルセンサシステムによる計測精度向上を行うとともに、商業的生産現場での実測値を用いて収量予測が可能であることを示唆した。これまでの開発成果として、2019年9月にPhoto[synthesis] Cellとして市販化した。さらに、協力機関であるワーゲニンゲン大学（オランダ）での計測にも着手し、海外展開の可能性を検討した。最終的に、延べ30箇所以上のほ場に光合成計測チャンバを設置して計測安定性を向上させるとともに、取得したデータを用いて数理モデルと機械学習モデルを組み合わせた収量予測・植物診断アルゴリズムを開発し、PLANT DATAのウェブアプリに実装した。

#### (3) 生育スケルトンによる生育状態共有に基づく栽培管理の最適化

生育状態の変化（違い）の強調表示アルゴリズムと複数生産者間での生育状態の相互比較が可能なウェブアプリを開発し、ユーザビリティの向上を図った。さらに、文献に基づいた樹勢診断と樹勢適正化のためのアドバイス（自動コメント機能）を追加した。また、ウェブアプリに収穫量を記録する機能を追加し、草勢と収量の関係の見える化を行った。

### 2) 植物診断サービスの開発と提供

#### (1) システム環境の調査

全国8箇所の実証試験地（共同研究機関、協力機関）の生産ほ場における環境制御装置などのハードウェアと各種ソフトウェアの現状を調査した。その結果、クロロフィル蛍光画像計測システム（ロボット化されたものを含む）は、井関農機(株)およびPLANT DATA(株)が販売しているが、植物生育や栽培管理作業の数値評価を行う機能は無いこと、光合成蒸散リアルタイムモニタリングおよび生育スケルトンによる生育状態共有についても、生産者が植物診断や生育状況の判断に利用可能なユーザインターフェースは整備されていないことが明らかになった。

#### (2) 植物診断サービスおよび低コストクロロフィル蛍光画像計測システムの開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学が開発したつり下げ型画像計測ロボットによる多元的植物生体情報計測と光合成計測チャンバの生産現場における長期運用を行った。つり下げ型画像計測ロボットについては、愛媛大学・豊橋技術科学大学と共同で高精度生体情報の取得のために必須となるクロロフィル蛍光画像計測を低コストで実現する装置を開発し、市販化に向けた準備が整った。光合成計測チャンバについては、累計50台を有償サービスとして導入した。その過程で、事前にはほ場の通信環境や電源の有無、光合成計測チャンバをつり下げる部材の位置等を確認するチェックシートと取り付けマニュアルを作成した。これにより、PLANT DATA(株)の遠隔サポートのみでユーザー自身が光合成計測チャンバを設置できるようになり、より安定して簡易に導入可能なシステムを提供することが可能になっ

た。

### (3) UIシステムの設計と開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあらた有限責任監査法人・凸版印刷(株)・(株)浅井農園・(株)福井和郷と共同でルールベース・モデルのシステム実装を行い、画像計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”、光合成計測チャンバ用ウェブアプリ“Photo[synthesis] Review”、生育スケルトンによる生育状態共有ウェブアプリ“Skelton Review”に専用機能として追加した。また、ルールベース・モデルの入力値のデータフォーマットに対応したサーバを確立し、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあらた有限責任監査法人が開発したAIによるトマト果実検出技術や収量予測モデル、茎頂部・葉面積解析技術の実装を行った。

### (4) 労務管理のための作業指示アプリの開発

凸版印刷(株)・PwCあらた有限責任監査法人による労務効率化の仮説構築に基づいて、表示項目を精査するとともに作業指示アプリの要件抽出を行った。そして、PwCあらた有限責任監査法人が開発した茎伸長モデルによる茎伸長予測結果とそこから推定される最適つり下ろし作業日の提案レポートをつり下げ型画像計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”に実装した。

## 3) データ分析による栽培・労務管理の最適化

4つの改善シナリオの生産現場における実証に取り組み、その経営上の効果を測定した。特にシナリオ①および④を(株)浅井農園および(株)福井和郷で実証し、単位収量あたりの雇用労働費10%以上削減を達成した。以下でシナリオごとに研究結果を述べる。なお、「2) 研究方法」に記載したシナリオの関係性から効果測定についてはシナリオ④の成果の中で述べているが、実際には同時に実証しているシナリオ①の効果を含んでいる。

### 【シナリオ①「栽培管理・労務管理の見える化による改善」】

(株)浅井農園および(株)福井和郷の両ほ場において、令和2年度までにデータの取得・加工・分析・可視化、生産現場での活用の態勢を構築し、継続して運用を行った。(株)浅井農園では生体情報計測に基づく栽培管理の見える化を行った。詳細は小課題2の結果を参照されたい。(株)福井和郷では労務実績データを活用した労務分析ツールを開発し、週次で更新し、生産現場で活用している。

【シナリオ②「生育制御による作業ピークの抑制・分散」】および【シナリオ③「生育診断による植物生育の効率化」】の詳細は小課題1の成果を参照されたい。

### 【シナリオ④「1～2週間後の収量等予測による作業最最適配置」】

研究方法に記載のとおり、本シナリオを3つのサブシナリオに分解して実証を行った。サブシナリオごとにその成果を述べる。

＜サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」＞：(株)浅井農園において茎伸長予測に基づく誘引・つり下ろし作業の実施日の最適化に取り組み、誘引・つり下ろしの作業回数ベースで8.9%、全体の作業時間換算で2.7%の削減を達成した。

＜サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業最最適配置」＞：(株)福井和郷において労務実績データを活用した数理モデルによる作業最最適配置に取り組み、単位収量あたりの作業時間13.1%削減を達成した。

＜サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」＞：サブシナリオ④-2のインプットとなる収量予測の精度向上に向けて、許容誤差±10%以内での的中率80%を目標として2ほ場でモデルを構築した。植物体の画像情報を主なインプットとした(株)浅井農

園では的中率39%、環境情報を主なインプットとした(株)福井和郷では的中率25%の精度となり目標は達成できなかったが、乖離の原因の考察を行い今後の対応策を整理した。なお、サブシナリオ④-2のインプットとなる収量予測としては、モデルの予測値を参考に決定したほ場管理者の見込み値を使用した。

商業的生産ほ場での実証につき適用技術についての制限があったため、サブシナリオ④-1と④-2を別個のほ場で実証することとなったが、同時に実施した場合の削減見込みは16.4% [=1 - (1 - 0.027) × (1 - 0.141)] となり、目標の単位収量あたりの雇用労働費10%以上削減を達成した。

#### 4) 生体情報とリンクした労務管理の情報化技術の開発

研究初年度よりBluetoothセンサ技術とネットワークカメラを組合せたID管理技術であるID-Watchy (凸版印刷(株)が提供)を(株)福井和郷の生産ほ場に設置し、高空間、高時間分解に対応する労務管理システムを開発した。また、協力機関である全国の大規模太陽光植物工場に労務管理システムに対する課題、ニーズのヒアリングをおこない、導入コストを含めたシステムの大規模生産法人における要件を明らかにした。その後、当初に開発したBluetoothセンサ技術を用いたシステムの低コスト化に向け、LPWA (Low Power Wide Area) やUWB (Ultra Wide Band: 超広帯域無線通信) などの広域通信技術を用いた位置測位実証をおこない、最終的にヒアリングに基づくターゲット導入コストに近い労務管理システムをUWBを用いたシステムとして開発、リリースした。

また、収量予測モデルの開発については果実の色づき変化のカメラを用いた計測をおこなった。その後、愛媛大学、PLANT DATA(株)、協和(株)、PwCあらた有限責任監査法人とともに(株)福井和郷に光合成チャンバを設置し、植物生体計測データを用いた収量予測の実証運用を(株)福井和郷とともに実施し、その有用性を明らかにした。

#### 5) 光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムの開発

実証試験に基づき、多様な環境に適応できる光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムの設置・運用方法を作成した。同システム複数台を用いて同条件で管理された計測個体群を計測した場合光合成速度・蒸散速度・総コンダクタンスは同様の推移を計測することを生産農場において実証した。また、計測エラーを自動検出するアルゴリズムを検証した。

#### 6) ロボット生体情報計測による栽培・労務管理技術の開発と実証

令和元年までに、愛媛大学とPLANT DATAが共同で試作したウェブアプリ“Growth Review”と植物生体情報計測ロボットを用いることで、日単位の光合成活性と一部の生育指標の変化の把握が可能となっていた。また、“Skelton Review”を用いた週次の栽培管理戦略の検討に着手し、令和2年度は、光合成計測チャンバで取得される光合成と蒸散に関する情報 (“Photo[synthesis] Review”) を用いた栽培・労務管理の簡素化の実証を行った。さらに、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATAが共同開発したつり下げ型画像計測ロボットの動作確認を行った。これらの技術を用いることで、2週間で収穫量がどのように変動するかという極めて重要な事項の把握が可能になる。

#### 7) 収量予測に基づいた栽培・労務管理技術の開発と実証

凸版印刷(株)が開発した労務管理システムをプロトタイプの段階より商用生産するほ場に導入し、その運用検証をおこなった。その検証を通し、同システムの運用負荷や機器耐性の影響をフィードバックし、開発に貢献した。また、3.6haの作業実績データを凸版印刷(株)、PwCあらた有限責任監査法人とともに分析をおこない、PwCあらた有限責任監査法人

の労務配置最適化ツールの開発をともにし、その運用実証を実栽培労務の現場にて実証をおこなった。実証を通し、システム不具合や改善点をフィードバックし、改良につとめ、運用後の労務実績データによる労務削減効果を明らかにした、一方で、凸版印刷(株)の色づきカメラ、愛媛大学、PLANT DATA(株)、協和(株)の光合成チャンバを導入し、その計測データの分析をPwCあらた有限責任監査法人とともにこない、植物生体計測データに基づく収量予測モデルの運用実証も実施し、予測結果の検証を行った。

## I-5. 今後の課題

### 1) 植物生体情報の計測と解析

社会実装に向けて生産現場への導入を進める。2030年度までに先端的太陽光植物工場の半数以上に導入されることを目的としたプロモーションを進める。

### 2) 植物診断サービスおよび低コストクロロフィル蛍光画像計測システムの開発

現時点における技術的な課題は特にはない。ただし、普及拡大に向けたアウトリーチを活発に行う必要がある。

### 3) データ分析による栽培・労務管理の最適化

サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」に関して、実証内で茎伸長予測に基づくつり下ろし作業日の最適化を行ったが、つり下ろし作業日と果実位置との兼ね合いが今後の課題として挙げられる。つり下ろし作業のタイミングは果実の高さに影響するため、収穫作業の負荷等に間接的に影響する可能性がある。そのため、茎頂位置だけでなく果実の位置をも考慮することで、より現場の感覚に沿った提案が可能となることが期待される。また、計測の安定性や作業負荷を鑑み、つり下ろし作業について最適化を行ったが、葉かき、芽かき、摘花、摘果作業等についても展開も期待される。

サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業最最適配置」については、実証を行った(株)福井和郷で発生した課題に対応したツールを開発し、現場での実証も半年以上行うことができた。今後は、今回開発したツールを、他の大規模生産ほ場にスムーズに導入可能な状態とすることが考えられる。多くの作業者を抱える大規模生産ほ場では、同種の課題を抱えていることが想定されるが、今回は(株)福井和郷における労務管理に即した開発を行っているため、他の大規模ほ場への展開では、ある程度のカスタマイズが必要となる可能性がある。

サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」では、長期間の予測が今後の課題として残っている。2週間を超える長い期間の予測を高精度で実現するためには、複雑な予測モデルを構築する必要があるため、継続的なデータ収集が求められる。

### 4) 生体情報とリンクした労務管理の情報化技術の開発

今後、労務管理システムについては更なる導入コストの削減に向け、UWBによるシステムその他、位置測位の精度が高く様々なデバイスに搭載されることが予想され低コスト化が見込まれるBLE5.1技術による位置測位の検討を自社開発で行い、継続的なシステム改良を進める予定である。

### 5) 光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムの開発

液化CO<sub>2</sub>ガスを用いたCO<sub>2</sub>施用に伴い急激にCO<sub>2</sub>濃度が変化する環境において光合成速度を安定的に計測する手法を開発することでデータをより効率的に収集・活用できる可能性がある。また、現状の計測データ解析には植物生理や環境応答に関する知見が求められるため、データ解析のアルゴリズムを確立することで、ユーザビリティの向上・利用者層の拡大を見込むことができる。

### 6) ロボット生体情報計測による栽培・労務管理技術の開発と実証

次期作以降の栽培管理についても本取り組みを継続し、生体情報に基づいた環境制御・栽培管理の生産現場実装を推進する必要がある。

### 7) 収量予測に基づいた栽培・労務管理技術の開発と実証

今後、労務管理システム、労務最適化ツール、植物生体計測装置等の継続利用を通し、更なる運用の改善による効果の向上につとめる。

小課題番号	17935689	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1. 植物生体情報の計測と解析		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	愛媛大学・大学院農学研究科・高山弘太郎		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

- (1) トマトの生育状態を日単位で正確に評価する低コストでロボット化された画像計測技術を開発する。さらに、本技術を用いて、環境調節や労務管理を効率化するための基盤となる高精度生体情報を提供する。
- (2) トマト個体群の光合成蒸散速度リアルタイムモニタリングシステム（以降、光合成計測チャンバ）を開発し、さらに、本システムを用いて計測されるデータに基づいて収量予測を行うアルゴリズムを開発する。また、光合成と蒸散の環境応答に基づいて植物診断を行うアルゴリズムの開発も行う。
- (3) 週次の生育調査データを用いて描画される「生育スケルトン」は、樹勢変化の直観的把握を可能にするUIである。本UIをベースにした複数生産者間での生育状態の相互比較が可能なウェブアプリケーションを開発する。さらに、環境情報との統合により、栽培・労務管理を最適化するための知見を抽出する。

### 2) 研究方法

#### (1) 多元的植物生体情報ロボット計測技術の開発と低コスト化

太陽光植物工場で栽培される主要品目であるトマトを対象として、生育状態を日単位で正確に評価するロボット化された多元的植物生体情報計測技術を開発する。ロボット計測のためのプラットフォームとして、これまでに研究代表者らが開発し、井関農機(株)およびPLANT DATA(株)から販売されているクロロフィル蛍光画像計測システムを用いることで、開発期間を飛躍的に短縮する。なお、多元的植物生体情報計測装置の普及拡大に向けた低コスト化（計測装置の価格を現状の2/3以下 [1台180万円以下] にする)のための技術開発も行う。なお、豊橋技術科学大学は計測システムの工学面での開発を担当する。

「1日単位の生育状態の変化の検出ができる精度」を計測技術の達成目標とし、特に、管理者の業務（樹勢評価、労務管理、経営判断）に即時活用が可能な高精度生体情報計測技術として、樹勢評価および生殖・栄養成長バランス評価において重要視される葉量・茎伸長量・茎径・果実肥大・果実着色速度などの計測アルゴリズムを新規に開発する。なお、AI（ディープラーニング、機械学習：協力機関である(株)Nextremerの協力を得る）による画像解析技術を用いて、ロボット計測される大量のクロロフィル蛍光画像の解析を行い、生体情報計測精度を向上させる。

#### (2) 光合成蒸散リアルタイムモニタリングによる収量予測

光合成と蒸散のリアルタイムモニタリングは極めて重要である。本研究課題では、太陽光植物工場で栽培される主要品目であるトマトを対象として、個体群（2個体）の光

合成速度と蒸散速度をリアルタイムで計測するシステム（以降、光合成計測チャンバ）を開発し、さらに、実測された光合成（蒸散）量の実測に基づいて収量予測を行うアルゴリズムを開発する。また、本システムを用いて計測される光合成・蒸散の環境応答に基づいて植物診断を行うアルゴリズムの開発も行う。なお、光合成蒸散リアルタイムモニタリングのプロトタイプは、研究代表者らのこれまでの研究によって開発されており、これを発展させることで計測装置の開発期間を飛躍的に短縮する。なお、CO<sub>2</sub>濃度計測ユニットの開発は共同研究機関の協和(株)と豊橋技術科学大学が担当し、植物診断結果や収量予測結果を表示するUIの開発はPLANT DATA(株)が担当する。

### (3) 生育スケルトンによる生育状態共有に基づく栽培管理の最適化

熟練した管理者は、作物の様子を主に目視で観察し、自らの記憶に照らして生育状態の良し悪しを正確に評価している。一方、近年の農業生産の企業化・大規模化の流れのなかで、このような栽培ノウハウの情報化ニーズが急速に高まっており、たとえば、トマトの樹勢（生育バランス）を数値データに基づいて把握するための週1回の頻度の生育調査などが広く普及しつつある。研究代表者らは、長期多段栽培トマトを対象として計測される茎伸長速度や茎径などの基本的な生育調査データを用いて描画する「生育スケルトン」を開発し、これをインターフェースとして用いることで樹勢の変化の直観的な把握を可能にした。本研究課題では、生育スケルトンをベースにした複数生産者の生育状態の相互比較が可能なウェブアプリケーションを開発するとともに、これに環境情報を統合して生育診断を行い、栽培・労務管理を最適化するための知見を抽出する。

## 3) 研究結果

### (1) 多元的植物生体情報ロボット計測技術の開発と低コスト化

平成29年度は、基本的な成長指標（茎伸長・葉量）の計測技術を開発した。平成30年度は、多元的植物画像計測ユニットを開発し、これを用いた果実肥大・果実着色速度の高精度計測アルゴリズムを開発した。また、AI（ディープラーニング・機械学習）による画像解析技術を用いた計測精度向上技術を検討した。令和元年度は、低コスト型計測装置として、つり下げ型画像計測ロボットのプロトタイプ（開発した生育指標を実装）を作成し（図1-1）、生産現場（浅井農園）に設置して長期稼働試験に着手した。令和2年度は、各種画像計測のさらなる精度向上、複数箇所での継続的な実証試験を通じた計測安定性の向上を行った。令和3年度は、複数の太陽光植物工場（前出の浅井農園に加えて、わが国のセミクローズド温室の先駆者である明野菜園〔アグリマインド、山梨〕）

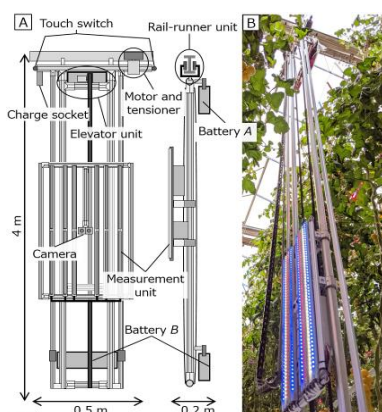


図1-1 商業化用つり下げ型ロボットの模式図(A)と写真(B)

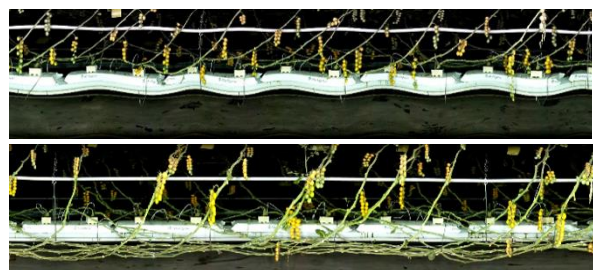


図1-2 揺れ抑制機構による取得画像の安定性向上（上:抑制機構無し、下:抑制機構あり）



に設置し、通年での連続計測による計測安定性向上（図1-2）、栽培管理に資する生体情報の生産者への提供・栽培管理の検討を行うとともに、画像解析の堅牢性向上に向けて物体検知（AI）モデルの付加を行った。

## (2) 光合成蒸散リアルタイムモニタリングによる収量予測

平成29年度は、量産化と一般生産ほ場への普及を念頭においた計測システムを開発した。平成30年度は、デュアルセンサシステムによる計測精度向上を行うとともに、商業的生産現場での実測値を用いて収量予測が可能であることを示唆した。また、光合成（蒸散）における機能不全アラームの基本アルゴリズムを開発した。令和元年度は、デュアルセンサシステムを搭載した光合成計測チャンバを作成し、計測安定性を向上させるとともに、植物診断が可能なUIを実装した。これまでの開発成果として、2019年9月にPhoto[synthesis] Cellとして市販化した。さらに、協力機関であるワーゲニンゲン大学（オランダ）での計測にも着手し、海外展開の可能性を検討した。令和2年度は、計測精度の向上、収量予測・植物診断アルゴリズムを開発し、栽培管理への活用に着手した。令和3年度は、延べ30箇所以上のほ場に光合成計測チャンバを設置して計測安定性を向上させるとともに、取得したデータを用いて数理モデルと機械学習モデルを組み合わせた収量予測（実証を行った浅井農園の項目で詳細を示す）・植物診断アルゴリズムを開発し、PLANT DATAのウェブアプリに実装した（図1-3）。

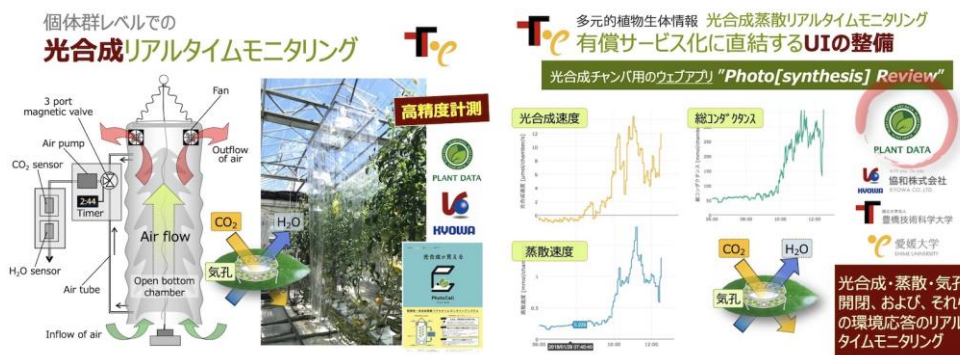


図1-3 光合成計測チャンバの概略（左）とデータ表示用ウェブアプリUI（右）

## (3) 生育スケルトンによる生育状態共有に基づく栽培管理の最適化

トマトの生育スケルトンのデザインは確立されていた。平成29年度は、生育状態の変化（違い）の強調表示アルゴリズムと複数生産者間での生育状態の相互比較が可能なウェブアプリを開発し、ユーザビリティの向上を図った。平成30年度は、文献に基づいた樹勢診断と樹勢適正化のためのアドバイス（自動コメント機能）を追加した。令和元年度は、ウェブアプリの強化（読み上げ機能の追加）を行った。令和2年度は、ウェブアプリに収穫量を記録する機能を追加し、草勢と収量の関係の見える化を行った。さらに、複数の生産者間で生育状態を共有することで栽培管理の見直しを行う試みに着手した。令和3年度は、熟練農家の生育状態を理想個体として読み込み、自身の生育状態と比較することができる機能を追加し、従来の師弟関係において対面で受け継がれてきた草勢の見極めのDXを推進した。

## 4) 成果活用における留意点

現時点における成果活用における留意点は特にはない。

## 5) 今後の課題

社会実装に向けて生産現場への導入を進める。2030年度までに先端的太陽光植物工場の

半数以上に導入されることを目的としたプロモーションを進める。

<引用文献>

1. Naomichi Fujiuchi, Kazue Inaba, Shinchu Oh, Sayaka Okajima, Yuichiro Asai, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama. Using a real-time photosynthesis and transpiration monitoring system to develop random forest models for predicting cherry tomato yield in a greenhouse, *Journal of Agricultural Meteorology*. *Under revision (to be accepted)*
2. 加納多佳留, 戸田清太郎, 海野博也, 藤内直道, 仁科弘重, 高山弘太郎. トマト個体群を対象としたつり下げ型多元的植物生体画像情報計測ロボットの開発—仕様と動画取得安定性の評価—. *Eco-engineering*, 2022. *In press*
3. S. Toda, T. Higuchi, T. Sakamoto, T. Kanoh, N. Fujiuchi, H. Nishina, K. Takayama. Deep learning model for monitoring daily tomato plant growth. *Acta Horticulturae*. 2021.
4. M.N. Nguyen, K. Inaba, S. Toda, K. Suzuki, Y. Iwasaki, K. Takayama. Effect of reducing phosphorus dosage in nutrient solution on soilless culture of grafted tomato crops. *Acta Horticulturae* 1317 99-106 2021.
5. Yuyu Romdhonah, Naomichi Fujiuchi, Kota Shimomoto, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama. Averaging Techniques in Processing the High Time-resolution Photosynthesis Data of Cherry Tomato Plants for Model Development. *Environmental Control in Biology* 59 (3) 107-115. 2021.
6. Yuyu Romdhonah, Naomichi Fujiuchi, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama. Empirical Model for the Estimation of Whole-plant Photosynthetic Rate of Cherry Tomato Grown in a Commercial Greenhouse. *Environmental Control in Biology* 59 (3) 117-124 2021.
7. Kota Shimomoto, Naomichi Fujiuchi, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kazue Inaba, Yuyu Romdhonah, Kotaro Takayama. Comparison of photosynthetic rates, transpiration rates, and total conductance of greenhouse-grown tomato plants measured with two open chambers with different ventilation rates, *Journal of Agricultural Meteorology* 2021.
8. Moliya NURMALISA, Takayuki TOKAIRIN, Kotaro TAKAYAMA, Takanobu INOUE. Numerical study on improving uniformity of airflow in newly developed photosynthetic chamber. *Environmental Control in Biology* 2021.
9. Naomichi Fujiuchi, Kazue Inaba, Takeru Kanoh, Yuyu Romdhonah, Seitaro Toda, Kota Shimomoto, Yuri Isoyama, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama. Method to calculate net photosynthetic rate of whole tomato plants under continuously increasing or decreasing CO<sub>2</sub> concentrations in a greenhouse using a real-time photosynthesis and transpiration monitoring system. *Environmental Control in Biology* 2021.
10. 戸田清太郎, 高山弘太郎, 加納多佳留, 藤内直道, 高橋憲子, 仁科弘重. クロロフィル蛍光画像計測ロボットを用いた日単位の茎伸長計測. *Eco-Engineering* 32 (2) 15-21 2020.

11. 戸田清太郎, 高山弘太郎, 加納多佳留, 藤内直道, 高橋憲子, 仁科弘重. トマト個体群を対象とした多元的画像計測装置の開発. *Eco-Engineering* 32 (2) 33-37 2020.
12. Kota Shimomoto, Kotaro Takayama, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kazue Inaba, Yuri Isoyama, Shin-Chu Oh. Real-time monitoring of photosynthesis and transpiration of a fully-grown tomato plant in greenhouse. *Environmental Control in Biology* 58 (3) 65-70 2020.
13. 磯山侑里, 高山弘太郎, 王震中, 藤内直道, 高橋憲子, 仁科弘重. 高精度蒸散リアルタイムモニタリングシステムを用いたトマト個体群の水ストレス応答の評価. *Eco-Engineering* 32 (3) 55-60 2020.

小課題番号	17935689	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	2. 植物診断サービスの開発と提供		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	PLANT DATA(株) 北川寛人		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

愛媛大学が提供する植物生体情報計測アルゴリズムを実装した計測・解析ソフトウェアとこれを用いて得られる多元的植物生体情報を栽培・労務管理に活用するためのUI（ユーザインターフェイス）を開発する。生産者（管理者などのエンドユーザ）にとってユーザビリティの高い植物診断サービスを構築し、有償サービスとして社会実装する。また、作業者の作業習熟度を向上させる機能を有する作業指示アプリを開発し、作業効率を高める。

#### (1) システム環境の調査

全国8箇所の実証試験地（共同研究機関、協力機関）の生産ほ場の環境制御装置などのハードウェアと各種ソフトウェアの現状を調査し、植物生体情報活用の方針を確定する。

#### (2) 植物診断サービスおよび低コストクロロフィル蛍光画像計測システムの開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学が新規に開発する生体情報計測アルゴリズムに対応した計測・解析ソフトウェアの開発と商品化・サービス化に必要なウェブアプリを開発する。また、高精度生体情報の取得のために必須となるクロロフィル蛍光画像計測を低コストで実現する装置を開発し、市販化を目指す。

#### (3) UIシステムの設計と開発

共同研究機関である愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあらた有限責任監査法人・凸版印刷(株)と共同で、実証試験地の生産ほ場で得られる植物生体情報のAIへの繋ぎ込み、および、生産者（管理者などのエンドユーザ）がこの情報を活用するためのUIに関する設計と開発を行う。

#### (4) 労務管理のための作業指示アプリの開発

共同研究機関である凸版印刷(株)・PwCあらた有限責任監査法人と共同で、①作業の現状と予測（多元的植物生体情報とルールベース・モデルの活用）、②習熟度付き作業項目と各作業の優先度（高精度労務情報を活用）、③作業習熟支援（高精度労務情報を活用）、を提供する作業指示アプリを開発し、作業員全員が現状の平均的作業スピード（普通のスピード）で作業が行えるように作業の習熟を促し、作業員全体としての作業能力を効率的に高める。

### 2) 研究方法

#### (1) システム環境の調査

全国8箇所の実証試験地（共同研究機関、協力機関）の生産ほ場の環境制御装置などのハードウェアと各種ソフトウェアの現状を調査し、植物生体情報活用の方針を確定する。

#### (2) 植物診断サービスおよび低コストクロロフィル蛍光画像計測システムの開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学が新規に開発する生体情報計測アルゴリズムに対応した計測・解析ソフトウェアの開発と商品化・サービス化に必要となるウェブアプリを開発する。また、愛媛大学が平成30年度に開発したつり下げ型画像計測ロボットによる多元的植物生体情報計測と光合成計測チャンバの標準モデルの仕様を確定するとともに生産現場における安定計測を実現する。

### (3) UIシステムの設計と開発

共同研究機関である愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあらた有限責任監査法人・凸版印刷(株)と共同でルールベース・モデルのシステム実装を行い、画像計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”、光合成計測チャンバ用ウェブアプリ“Photo[synthesis] Review”、生育スケルトンによる生育状態共有ウェブアプリ“Skelton Review”に専用機能として追加する。また、ルールベース・モデルの入力値(多元的植物生体情報・労務管理情報・環境情報)のデータフォーマットに対応したサーバを確立し、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあらた有限責任監査法人が提供するAI技術を実装する。

### (4) 労務管理のための作業指示アプリの開発

凸版印刷(株)・PwCあらた有限責任監査法人と共同で、作業指示アプリを試作し、労務管理者による試用を行う。

## 3) 研究結果

### (1) システム環境の調査

全国8箇所の実証試験地(共同研究機関、協力機関)の生産ほ場における環境制御装置などのハードウェアと各種ソフトウェアの現状を調査した。その結果、クロロフィル蛍光画像計測システム(ロボット化されたものを含む)は、井関農機(株)およびPLANT DATA(株)が販売しているが、植物生育や栽培管理作業の数値評価を行う機能は無いこと、光合成蒸散リアルタイムモニタリングおよび生育スケルトンによる生育状態共有についても、生産者が植物診断や生育状況の判断に利用可能なユーザインターフェースは整備されていないことが明らかになった。

### (2) 植物診断サービスおよび低コストクロロフィル蛍光画像計測システムの開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学が開発したつり下げ型画像計測ロボットによる多元的植物生体情報計測と光合成計測チャンバの生産現場における長期運用を行った。つり下げ型画像計測ロボットについては、愛媛大学・豊橋技術科学大学と共同で高精度生体情報の取得のために必須となるクロロフィル蛍光画像計測を低コストで実現する装置を開発した。(株)浅井農園での実証試験では、長期運用により計測データ記録に用いるMicroSDカードに劣化が生じ、撮影データの一部に欠損が生じることが確認された。このため、

より耐久性の高いSSDをデータ記録に使用し、長期運用において安定的



図2-1 光合成計測チャンバ設置前のチェックシートと取り付けマニュアル

なデータ取得が可能となったことで、市販化に向けた準備が整った。光合成計測チャンバについては、累計50台を有償サービスとして導入した。その中で、植物体が成長すると光合成計測チャンバをつり下げる部材を超えてしまうなど光合成計測チャンバの設置が複雑になってしまう事例が確認されたため、事前には場の通信環境や電源の有無、光合成計測チャンバをつり下げる部材の位置等を確認するチェックシートと取り付けマニュアル(図2-1)を作成した。これにより、PLANT DATA(株)の遠隔サポートのみでユーザー自身が光合成計測チャンバを設置できるようになり、より安定して簡易に導入可能なシステムを提供することが可能になった。また、つり下げ型画像計測ロボットを用いて複数の高さで撮影した画像をパノラマ合成し、画像計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”に表示することで、現場に行って確認することなく毎日の植物の状態を即時把握できるようになった(図2-2)。

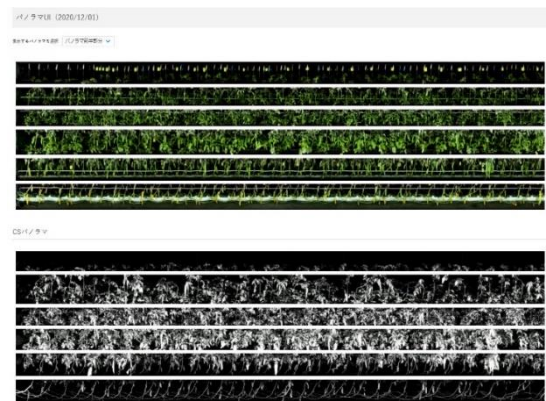


図2-2 “Growth Review”より閲覧可能な植物のパノラマ画像

### (3) UIシステムの設計と開発

愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあらた有限責任監査法人・凸版印刷(株)・(株)浅井農園・(株)福井和郷と共同でルールベース・モデルのシステム実装を行い、画像計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”、光合成計測チャンバ用ウェブアプリ“Photo[synthesis] Review”、生育スケルトンによる生育状態共有ウェブアプリ“Skelton Review”に専用機能として追加した。また、ルールベース・モデルの入力値のデータフォーマットに対応したサーバを確立し、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PwCあらた有限責任監査法人が開発したAIによるトマト果実検出技術や色相による収量予測モデル、茎頂部・葉面積解析技術の実装を行った(図2-3)。

AIによる果実数把握 / 色相による収量予測



光合成計測チャンバ用ウェブアプリ“Photo[synthesis] Review”

には、生体情報・環境情報を重ねて表示できる機能、光合成・蒸散および環境要因の関係を分析する機能、日単位の積算日射量・光合成量・蒸散量の経時変化を把握可能な機能(図2-4)、光合成計測チャンバのデータとリンクして収穫量を入力・表示できる機能の実装を行った。加えて、愛媛大学・豊橋技術科学大学が開発した光合成計測チャンバより得られた光合成量・蒸散量のデータを用いて2週間後の収穫量を予測する機能を実装した。クラウド機能を活用した画像解析の学習モデルの作成と、それをUIに実装する手法を確立することで、場所にとらわれずに高精度な学習モ

茎頂・葉量の把握と毎日の推移



図2-3 AIによるトマト果実検出技術や色相による収量予測モデルと茎頂部・葉面積解析

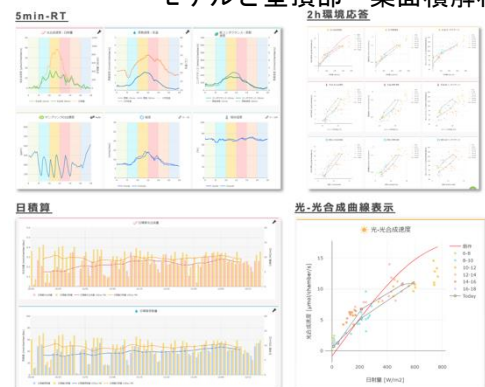


図2-4 “Photo[synthesis] Review”における生体情報と環境情報の関係解析UI

デルの作成ができるようになり、研究分析段階での試行錯誤と学習モデルの組み込みを容易にした。また、植物体の茎頂検出と葉量解析の既存の解析システムにおいてパノラマ画像をもとにした解析を可能にしたことで、通信状況が悪い場合にはパノラマ画像をエッジで生成することにより、通信容量を削減する仕組みを構築した。

#### (4) 労務管理のための作業指示アプリの開発

凸版印刷(株)・PwCあらた有限責任監査法人による労務効率化の仮説構築に基づいて、表示項目を精査するとともに作業指示アプリの要件抽出を行った。そして、PwCあらた有限責任監査法人が開発した茎伸長モデルによる茎伸長予測結果とそこから推定される最適つり下ろし作業日の提案レポートをつり下げ型画像計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”に実装した(図2-5)。つり下ろし作業をいつ頃実施することになるのか直観的に把握できるようになっており、作業効率の向上に貢献することが期待できる。

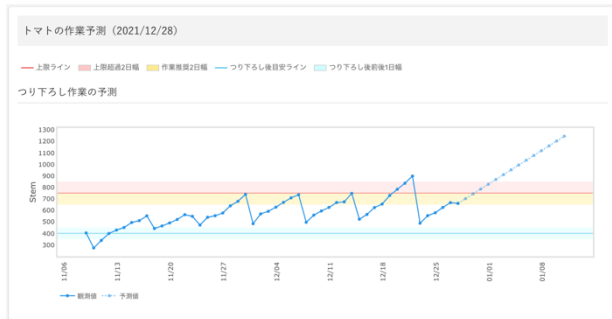


図2-5 茎伸長予測結果とそこから推定される最適つり下ろし作業日の提案レポートのUI

#### 4) 成果活用における留意点

現時点における成果活用における留意点は特にはない。

#### 5) 今後の課題

現時点における技術的な課題は特にはない。ただし、普及拡大に向けたアウトリーチを活発に行う必要がある。

#### <引用文献>

1. Naomichi Fujiuchi, Kazue Inaba, Shinchu Oh, Sayaka Okajima, Yuichiro Asai, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama. Using a real-time photosynthesis and transpiration monitoring system to develop random forest models for predicting cherry tomato yield in a greenhouse, *Journal of Agricultural Meteorology*. *Under revision (to be accepted)*
2. 加納多佳留, 戸田清太郎, 海野博也, 藤内直道, 仁科弘重, 高山弘太郎. トマト個体群を対象としたつり下げ型多元的植物生体画像情報計測ロボットの開発—仕様と動画取得安定性の評価—. *Eco-engineering*, 2022. *In press*
3. S. Toda, T. Higuchi, T. Sakamoto, T. Kanoh, N. Fujiuchi, H. Nishina, K. Takayama. Deep learning model for monitoring daily tomato plant growth. *Acta Horticulturæ*. 2021.
4. Kota Shimomoto, Naomichi Fujiuchi, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kazue Inaba, Yayu Romdhonah, Kotaro Takayama. Comparison of photosynthetic rates, transpiration rates, and total conductance of greenhouse-grown tomato plants measured with two open chambers with different ventilation rates, *Journal of Agricultural Meteorology* 2021.

5. Naomichi Fujiuchi, Kazue Inaba, Takeru Kanoh, Yayu Romdhonah, Seitaro Toda, Kota Shimomoto, Yuri Isoyama, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama. Method to calculate net photosynthetic rate of whole tomato plants under continuously increasing or decreasing CO<sub>2</sub> concentrations in a greenhouse using a real-time photosynthesis and transpiration monitoring system. *Environmental Control in Biology* 2021.
6. 戸田清太郎, 高山弘太郎, 加納多佳留, 藤内直道, 高橋憲子, 仁科弘重. クロロフィル蛍光画像計測ロボットを用いた日単位の茎伸長計測. *Eco-Engineering* 32 (2) 15-21 2020.
7. 戸田清太郎, 高山弘太郎, 加納多佳留, 藤内直道, 高橋憲子, 仁科弘重. トマト個体群を対象とした多元的画像計測装置の開発. *Eco-Engineering* 32 (2) 33-37 2020.
8. Kota Shimomoto, Kotaro Takayama, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kazue Inaba, Yuri Isoyama, Shin-Chu Oh. Real-time monitoring of photosynthesis and transpiration of a fully-grown tomato plant in greenhouse. *Environmental Control in Biology* 58 (3) 65-70 2020.



小課題番号	17935689	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	3. データ分析による栽培・労務管理の最適化		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	PwCあらた有限責任監査法人・西原立		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

データ分析・モデル構築・AI利用のノウハウを活用し、愛媛大学が提供する多元的植物生体情報に基づいた栽培・労務管理を行うためのルールベース・モデルを構築する。また、先端的AI技術との連携に向けたデータフォーマット案の策定と各種モデルの整備を行う。さらに、多元的植物生体情報・労務情報・環境情報を構成するデータを精査し、トマトの栽培・労務管理を効率化するためのデータ分析手法を構築するとともに、愛媛大学およびその他の共同研究機関と密に連携して単位収量あたりの雇用労働費10%以上削減に向けた改善シナリオを確立する。

### 2) 研究方法

目標である「単位収量あたりの雇用労働費を10%以上削減」達成に向けて、4つの改善シナリオを確立して生産現場に導入し、その効果の測定を行った。

4つの改善シナリオについて、相互の関係性を含めて整理しておく。まず、シナリオ④「1～2週間後の収量等予測による作業者最適配置」では、本プロジェクトで開発するツール等の大部分の活用を想定している。目標である「単位収量あたりの雇用労働費削減」に寄与する中心的なシナリオの位置づけである。シナリオ①「生育制御による作業ピークの抑制・分散」およびシナリオ③「生育診断による植物生育の効率化」は労務の逼迫が予測される際に発動される、シナリオ④を支える補助的なシナリオである。シナリオ①「栽培管理・労務管理の見える化による改善」は上記3つのシナリオすべての土台となる基盤的なシナリオである。

研究の進め方は次のとおりである。研究の前半においては、分析に使用可能なデータが限定的であったため、使用可能なデータの基礎分析を進めるとともに、大学や生産現場とディスカッションを重ね、植物生理学知見や生産現場の知見を取り込みながら、ルールベース・モデルの構築および改善シナリオの具体化を進めた。研究の後半においては、改善シナリオで活用する植物生体情報、環境情報および労務情報が一定程度蓄積されてきたため、AI技術を含む機械学習モデルや数理モデルを構築し、生産現場への導入および効果測定を行った。特にシナリオ①および④を目標達成への寄与の大きいシナリオと捉えて、優先的に取り組み、(株)浅井農園および(株)福井和郷の商業的生産ほ場で実証を行い、経営上の効果を測定した。シナリオ②および③については、大学のほ場を中心にその有効性の実証を行った。シナリオごとの研究方法を以下に記載する。

#### 【シナリオ①「栽培管理・労務管理の見える化による改善」】

各ほ場で取得・計測されるデータを整理し、データ入力をより容易にするためのフォー

マット案等を策定・提案し、データの効率的な蓄積を進めた。生産ほ場との検討を重ね、栽培管理・労務管理に資するデータの可視化方法について検討を行った。植物体の画像情報については、果実数や茎頂位置等の情報を抽出するための、画像認識モデルの開発を行い、計測およびUI開発を行うPLANT DATA(株)にノウハウの提供を行った。労務情報について、労務情報の見える化を行う労務分析ツールを開発し、(株)福井和郷に提供した。生産現場における労務管理への活用を推進した。

#### 【シナリオ②「生育制御による作業ピークの抑制・分散」】

環境調節による生育制御の効果を予測するため、大学等と検討を行いながら、日射量・温湿度・CO<sub>2</sub>濃度等の環境情報から光合成速度を予測するモデルを構築した。商業的生産ほ場で実際に環境調節に介入して生育制御を行うことが困難であったため、大学の生産ほ場でその有効性で実証することとした。

#### 【シナリオ③「生育診断による植物生育の効率化」】

主に光合成計測チャンバから得られる情報から植物の状態を把握すべく、大学等と検討を行いながら、各種モデルの構築を行った。光合成を阻害・促進している環境要因を特定するために、統計的因果推論の理論に基づく光合成速度要因分解モデルを構築した。さらに、阻害要因の1つである乾燥等の要因による「気孔の閉じ」を検出するために、日射量と蒸散速度の関係を分析するモデルを構築した。

#### 【シナリオ④「1～2週間後の収量等予測による作業者最適配置」】

生産ほ場および大学と検討を重ね、予測の基礎となるルールベース・モデルの構築を行うとともに、シナリオの具体化を行った。特に生産現場で行われている意思決定のタイミングを踏まえ、本シナリオを3つのサブシナリオに分解して実証を行った。各サブシナリオの概要および関係性は次のとおりである。サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」では、多元的植物生体情報等を活用して植物体の生育を予測することで、作業を「いつ」実施するかを最適化を行う。これは、生産現場で週次で行われている作業計画へのAI適用に対応する。サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業者最適配置」では、労務実績データをもとに定量化した作業者ごと作業種ごとの得意・不得意の情報から、「誰にどの作業を」実施させるかを最適化を行う。これは、生産現場で日次で行われている作業者配置へのAI適用に対応する。サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」では、多元的植物生体情報等を活用した収量予測を行う。予測した収量はサブシナリオ④-3のインプットになるとともに、有利販売へも活用される。これは、生産現場で週次で行われている収量予測へのAI適用に対応する。

##### <サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」>

茎伸長を予測し、誘引・つり下ろし作業の実施日を最適化することで、作業回数を削減すべく、大学や生産ほ場と検討を重ねて、茎伸長予測モデルを構築し、生産現場のオペレーションを踏まえた運用方法を策定し、実際に(株)浅井農園の商業的生産ほ場で実証を行い、経営上の効果を測定した。

##### <サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業者最適配置」>

作業者ごと作業種ごとに得意・不得意を踏まえた作業者配置を行うことで、作業効率を向上すべく、生産ほ場と検討を重ねて作業者最適配置ツールを開発し、(株)福井和郷の商業的生産ほ場で実証を行い、経営上の効果を測定した。

##### <サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」>

サブシナリオ④-2のインプットとなる収量予測の精度を向上すべく、収量予測モデ

ルの開発に取り組んだ。取得しているデータの異なる(株)浅井農園および(株)福井和郷のそれぞれについてモデルを開発し、予測結果の提供を行い、その精度の検証を行った。

### 3) 研究結果

4つの改善シナリオの生産現場における実証に取り組み、その経営上の効果を測定した。特にシナリオ①および④を(株)浅井農園および(株)福井和郷で実証し、単位収量あたりの雇用労働費10%以上削減を達成した。以下でシナリオごとに研究結果を述べる。なお、「2) 研究方法」に記載したシナリオの関係性から効果測定についてはシナリオ④の成果の中で述べているが、実際には同時に実証しているシナリオ①の効果を含んでいる。

#### 【シナリオ①「栽培管理・労務管理の見える化による改善」】

(株)浅井農園および(株)福井和郷の両ほ場において、令和2年度までにデータの取得・加工・分析・可視化、生産現場での活用の態勢を構築し、継続して運用を行った。(株)浅井農園では生体情報計測に基づく栽培管理の見える化を行った。(株)福井和郷では労務実績データを活用した労務分析ツールを開発し、週次で更新し、生産現場で活用している。

#### 【シナリオ②「生育制御による作業ピークの抑制・分散」、シナリオ③「生育診断による植物生育の効率化」】

これらのシナリオの実証は愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATA・浅井農園によって行った。

#### 【シナリオ④「1～2週間後の収量等予測による作業者最適配置」】

研究方法に記載のとおり、本シナリオを3つのサブシナリオに分解して実証を行った。サブシナリオごとにその成果を述べる。

##### <サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」>

(株)浅井農園において茎伸長予測に基づく誘引・つり下ろし作業の実施日の最適化に取り組み、誘引・つり下ろしの作業回数ベースで8.9%、全体の作業時間換算で2.7%の削減を達成した。

##### <サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業者最適配置」>

(株)福井和郷において労務実績データを活用した数理モデルによる作業者最適配置に取り組み、単位収量あたりの作業時間13.1%削減を達成した。

##### <サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」>

サブシナリオ④-2のインプットとなる収量予測の精度向上に向けて、許容誤差±10%以内で的中率80%を目標として2ほ場でモデルを構築した。植物体の画像情報を主なインプットとした(株)浅井農園では的中率39%、環境情報を主なインプットとした(株)福井和郷では的中率25%の精度となり目標は達成できなかったが、乖離の原因の考察を行い今後の対応策を整理した。なお、サブシナリオ④-2のインプットとなる収量予測としては、モデルの予測値を参考に決定したほ場管理者の見込み値を使用した。商業的生産ほ場での実証につき適用技術についての制限があったため、サブシナリオ④-1と④-2を別個のほ場で実証することとなったが、同時に実施した場合の削減見込みは  $1 - (1 - 0.027) \times (1 - 0.131) = 15.4\%$  となり、目標の単位収量あたりの雇用労働費10%以上削減を達成した。

### 4) 成果活用における留意点

当然ながら、AIを活用した栽培・労務管理の最適化を行うには、AIの開発・運用に必要なデータの取得・蓄積が必要となる。

サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」では、日次で植物体の画像計測を行うことにより、日次の茎伸長量をリアルタイムに取得できた点が寄与している。

サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業者最適配置」では、作業者ごと作業種ごとの得意・不得意を労務実績データに基づいて定量化できた点が寄与している。特に作業種によっては1年のうち一時期しか行われられないものもあるため、安定した運用を行うためには1年以上の労務実績データが蓄積されていることが望ましい。

サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」では、目標とした許容誤差±10%以内での的中率80%を達成できなかったが、画像計測情報の収量予測精度向上への寄与が大きいことが判明した。また光合成データも精度向上に寄与するという示唆が得られた。

## 5) 今後の課題

サブシナリオ④-1「生育予測に基づく作業計画最適化」に関して、実証内で茎伸長予測に基づくつり下ろし作業日の最適化を行ったが、つり下ろし作業日と果実位置との兼ね合いが今後の課題として挙げられる。つり下ろし作業のタイミングは果実の高さに影響するため、収穫作業の負荷等に間接的に影響する可能性がある。そのため、茎頂位置だけでなく果実の位置をも考慮することで、より現場の感覚に沿った提案が可能となることが期待される。また、計測の安定性や作業負荷を鑑み、つり下ろし作業について最適化を行ったが、葉かき、芽かき、摘花、摘果作業等についても展開も期待される。

サブシナリオ④-2「労務情報に基づく作業者最適配置」については、実証を行った(株)福井和郷で発生した課題に対応したツールを開発し、現場での実証も半年以上行うことができた。今後は、今回開発したツールを、他の大規模生産ほ場にスムーズに導入可能な状態とすることが考えられる。多くの作業者を抱える大規模生産ほ場では、同種の課題を抱えていることが想定されるが、今回は(株)福井和郷における労務管理に即した開発を行っているため、他の大規模ほ場への展開では、ある程度のカスタマイズが必要となる可能性がある。

サブシナリオ④-3「植物生体情報等に基づく収量予測」では、長期間の予測が今後の課題として残っている。2週間を超える長い期間の予測を高精度で実現するためには、複雑な予測モデルを構築する必要があるため、継続的なデータ収集が求められる。

## <引用文献>

なし

小課題番号	17935689	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	4. 生体情報とリンクした労務管理の情報化技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	凸版印刷(株)・永野武史		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

高精度作業動態把握システムを開発し、社会実装に適したシステムのリリースを目指す。また、(株)福井和郷において実証を行い、労務データの見える化、またそのデータを活用した分析モデルの効果を明らかにする。また、高精度作業動態把握システムと各種モデル(労務配置最適化モデル・植物環境応答モデル)との連携を進め、最終目標である雇用労働費10%削減を安定的に実施できるシステムを確立する。

### 2) 研究方法

作業者の動態・労務実績と多元的植物生体情報をリンクさせた労務管理技術の開発を行う。また、愛媛大学等が提供する多元的植物生体情報計測装置を(株)福井和郷に導入し、作業者の最適配置を可能にするとともに、実用レベルのトマト収量予測モデルを構築する。

#### (1) 動態把握技術の開発

作業者の動態履歴と愛媛大学が提供するロボット計測されるトマト個体群のクロロフィル蛍光パノラマ画像の解析による作業精度評価(葉かき、誘引および収穫の質と量)を統合することで、植物生体情報に基づいた労務管理と作業実績の管理を行う。栽培施設内での作業者の動態把握については、Bluetoothセンサ技術とネットワークカメラを組合せたID管理技術であるID-Watchy(凸版印刷(株)が提供)や他社が提供する同様の技術を比較検討し、必要十分な空間分解能と時間分解能を確定して実装する。

#### (2) トマトの収量予測モデルの開発

愛媛大学が提供する植物診断ロボットによる高精度生体情報、光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムによる光合成量の情報、環境情報、さらには、気象予測情報を解析し、高精度生体情報に立脚した実用レベルのトマト収量予測モデルを構築する。

### 3) 研究結果

研究初年度よりBluetoothセンサ技術とネットワークカメラを組合せたID管理技術であるID-Watchy(凸版印刷(株)が提供)を(株)福井和郷の生産ほ場に設置し、高空間、高時間分解に対応する労務管理システムを開発した。また、協力機関である全国の大規模太陽光植物工場に労務管理システムに対する課題、ニーズのヒアリングをおこない、導入コストを含めたシステムの大規模生産法人における要件を明らかにした。その後、当初に開発したBluetoothセンサ技術を用いたシステムの低コスト化に向け、LPWA(Low Power Wide Area)やUWB(Ultra Wide Band:超広帯域無線通信)などの広域通信技術を用いた位置測位実証をおこない、最終的にヒアリングに基づくターゲット導入コストに近い労務管理システムをUWBを用いたシステムとして開発、リリースした。

また、収量予測モデルの開発については果実の色づき変化のカメラを用いた計測をおこなった。その後、愛媛大学、PLANT DATA(株)、協和(株)、PwCあたらた有限責任監査法人とともに(株)福井和郷に光合成チャンバを設置し、植物生体計測データを用いた収量予測の実証運用を(株)福井和郷とともに実施し、その有用性を明らかにした。

#### 4) 成果活用における留意点

(株)福井和郷の商用ほ場の実証を通し労務管理システムの開発をおこなったが、様々なほ場の仕様により使用する資材等の環境が異なるため、位置測位に用いる電波への影響等今後提案する大規模生産ほ場については都度、導入検証を行ったうえでの提案を実施する。

#### 5) 今後の課題

今後、労務管理システムについては更なら導入コストの削減に向け、UWBによるシステムその他、BLE5.1技術による位置測位の検討を自社開発で行い、継続的なシステム改良を進める予定である。

#### <引用文献>

なし

小課題番号	17935689	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	5. 光合成蒸散リアルタイム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	協和(株)・佐藤裕久		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

金型設計～射出成形品/2次加工品製作～組立品製作～出荷までをトータルプロデュースする事業を展開しており、これらのノウハウと技術を活用して光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムの実用化開発を行う。

### 2) 研究方法

愛媛大学・豊橋技術科学大学が開発した光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステム（以降、光合成計測チャンバ）の実用化を目的として、センサケースをはじめとしたチャンバの設計最適化に取り組んだ。また、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATA(株)と共同で開発品を(株)浅井農園・(株)福井和郷をはじめとした生産農場において実証試験を行い、光合成計測チャンバの設置・運用方法および計測データに基づきユーザビリティの高いUIの仕様を検証した。

### 3) 研究結果

光合成計測チャンバを用いて太陽光型植物工場で栽培しているトマトを連続計測した結果、水ストレスによる気孔閉鎖および光合成速度の低下を計測できることがわかった（図5-1）。また、チャンバの構成部品である天板の重量を40%削減（5kg→3kg）した上で従来品と同等に計測できることを確認した。実証試験結果に基づき多様な設置環境に対応した設置・運用方法を記載したマニュアルを作成した（図5-2）。

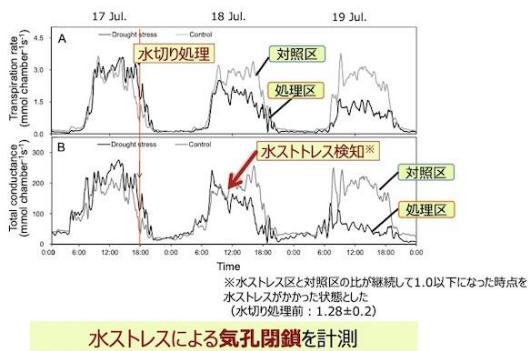


図5-1. 水ストレス検知例

### 5. 側部被覆シートの高さ調整

ハサミ等で側部被覆シートを植物体の最下葉より下でカットします（側部被覆シートが長すぎる場合は取り付ける前における程度カットしておくとう便利です）。

※ただし培地や地面に触れない高さでカットしてください。



図5-2. 設置・運用マニュアル

同一の栽培列に光合成計測チャンバを3台設置し、計測値を比較した結果を図5-3に示す。計測値は同様に推移しており、チャンバを複数台用いて栽培や環境管理の比較に活用できることがわかる。被計測株の葉面積はチャンバ間で10%程度差があったことが確認できており、蒸散速度・総コンダクタンスはその影響を受けていることが考えられる。また、

光合成速度はCO<sub>2</sub>施用によるCO<sub>2</sub>濃度の急激な変化に伴い、計測値が大きく変動し、データ解析時にクレンジングを目視で行う必要がある点が課題であった。そこで、二酸化炭素の顕著に伴う外れ値を自動検出するアルゴリズムを作成し、目視でエラーと判定するデータを検出することが確認できた（図5-4）。UIに実装することで利用者のユーザビリティを向上できる。なお、光合成計測チャンバは令和2年10月に上市し（商品名：「Photo[synthesis] Cell<sup>®</sup>」）、レンタルサービスとして令和3年時点で40台以上導入している。光合成計測チャンバ単体として栽培および環境管理に活用できることが伺える。

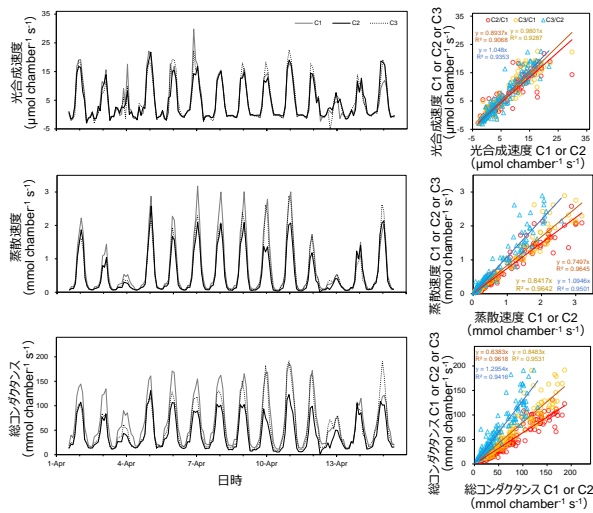


図5-3 3台のチャンバを同時に用いて隣接する個体群を対象として計測された値の比較

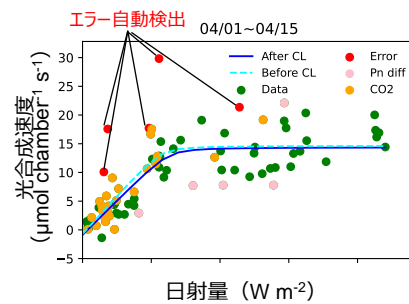


図5-4 計測エラー自動判定結果

#### 4) 成果活用における留意点

光合成計測チャンバは植物生体情報のトレンドを計測するために設計されている。農場内の中央値程度の個体群を代表点として計測することで農場全体のトレンドを計測できる。栽培または環境管理条件を検証するためには条件ごとに光合成計測チャンバを設置し同期間で比較することが好ましい。CO<sub>2</sub>施用によるCO<sub>2</sub>濃度の急激な変化は光合成速度の計測値に影響を与える。チャンバの開口部より下の位置でCO<sub>2</sub>を放出している場合に特に顕著である。

#### 5) 今後の課題

液化CO<sub>2</sub>ガスを用いたCO<sub>2</sub>に伴い急激にCO<sub>2</sub>濃度が変化する環境において光合成速度を安定的に計測する手法を開発することでデータをより効率的に収集・活用できる可能性がある。また、現状の計測データ解析には植物生理や環境応答に関する知見が求められるため、データ解析のアルゴリズムを確立することで、ユーザビリティの向上・利用者層の拡大を見込むことができる。

#### <引用文献>

1. 磯山侑里, 高山弘太郎, 王震中, 藤内直道, 高橋恵子, 仁科弘重. 高精度蒸散リアルタイムモニタリングシステムを用いたトマト個体群の水ストレス応答の評価. Eco-Engineering 32 (3) 55-60 2020.



小課題番号	17935689	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	6. ロボット生体情報計測による栽培・労務管理技術の開発と実証		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	(株)浅井農園・浅井雄一郎		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

研究ほ場（20a規模、オランダフェンロ型ガラス温室）に導入されている植物生育診断装置（PD6C、井関農機（株））等が提供する日単位または週単位の植物生体情報に基づいた栽培・労務管理技術の開発を行う。愛媛大学と共同で実証実験を行い、植物生体情報を生育制御・栽培管理に活用するプロセスを具体化し、PLANT DATAが担当するウェブアプリ開発に反映させる。成果物として提供されるウェブアプリを用いて栽培管理戦略を検討し、収量増大と労務効率の向上を同時に達成する栽培・労務管理手法を確立する。

### 2) 研究方法

令和元年までに、愛媛大学・豊橋技術科学大学とPLANT DATAが共同で試作したウェブアプリ“Growth Review”と植物生体情報計測ロボットを用いることで、日単位の光合成活性と一部の生育指標の変化の把握が可能となっていた。令和2年度は、光合成計測チャンバで取得される光合成と蒸散に関する情報を用いた栽培・労務管理の簡素化の実証に着手し、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATAが共同開発したつり下げ型画像計測ロボットの動作確認を行っていた。令和3年度は、愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANT DATAと共同で、つり下げ型画像計測ロボットと光合成計測チャンバを用いた高精度植物生体情報計測を同年で実施し、取得されたデータに基づいた栽培管理の実証（茎伸長モデルに基づいたつり下ろし作業、光合成モデルと収量予測に基づいた環境制御）を行った。

最終的な実証試験として、植物生体情報計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”（PLANT DATA、愛媛大学、豊橋技術科学大学）によって提供される日単位の生育状態の変化、生育スケルトンに基づいた樹勢評価ウェブアプリ“Skelton Review”（PLANT DATA、愛媛大学）による樹勢変化、光合成計測チャンバ用ウェブアプリ“Photo[synthesis] Review”（PLANT DATA、愛媛大学、豊橋技術科学大学）による光合成と蒸散の時々刻々の変化に基づいた週次の栽培管理検討会を継続する。また、愛媛大学・PLANT DATA・PwCあらたが提供する植物診断を用いた栽培管理を試行する。

### 3) 研究結果

植物生体情報計測ロボット用ウェブアプリ“Growth Review”・生育スケルトンに基づいた樹勢評価ウェブアプリ“Skelton Review”・光合成計測チャンバ用ウェブアプリ“Photo[synthesis] Review”を統合的に活用し、栽培管理指針の策定に活用できるUIデザインに落とし込んだ。具体的には、本年度に新たに設置したつり下げ型画像計測ロボット（Type-2）を用いて取得したトマト個体群の上段画像を用いて、PwCあらた・PLANT DATAと連携してつり下ろし作業の最適化を実証した（PwCあらたの報告を参照）。また、中段・

下段1・下段2の画像を用いて、果実数と果実の色づきの把握を、AIと画像解析組み合わせ実施した(図6-1)。果実の色づきの程度を、収穫指示のための色見本の区分に適合するかたちで4区分し(色相に基づいた区分であるため技術的には無段階の区分が可能)、流通・小売業者との契約においてあらかじめ設定されている収穫量を達成するための収穫果実色の設定と作業員への色見本の提示に活用できることを確認した(図6-2)。

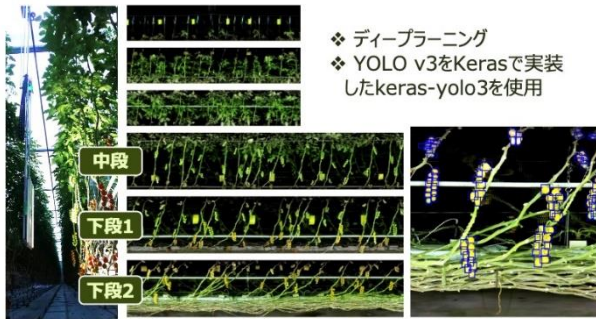


図6-1 中段および下段の画像を用いた果実の状態把握の様子(右はディープラーニングによる検出例)



図6-2 自動検出された果実の色づきの程度の詳細把握の様子

光合成計測チャンバについては、令和2年度は、計測精度の向上、収量予測・植物診断アルゴリズムを開発し、栽培管理への活用に着手した。令和3年度は、延べ30箇所以上のほ場に光合成計測チャンバを設置して計測安定性を向上させるとともに、取得したデータを用いて数理モデルと機械学習モデル(図6-3-上)を組み合わせた収量予測(図6-3-右)・植物診断アルゴリズムを開発し、PLANT DATAのウェブアプリに実装した。これらのデータと生育スケルトンに基づいた樹勢評価を組み合わせ、栽培管理指針の検討を行うことをルーティンとした。

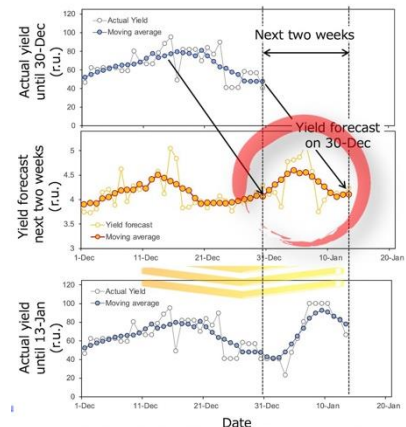
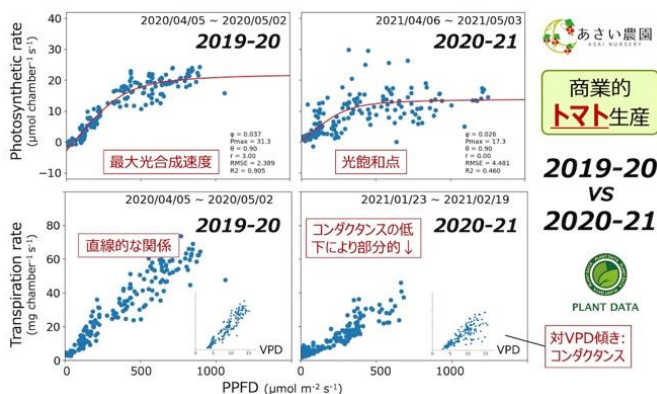


図6-3 浅井農園における光合成蒸散の環境応答(上図-左:2019-20作型、上図-右:2020-21作型)と光合成蒸散データに基づく2週間後収量予測AIによる収量変動予測実証(右図)

▶ 光合成・蒸散のわずが2変数で、今後2週間の週平均収量の変動を予測することが可能

#### 4) 成果活用における留意点

現時点における成果活用における留意点は特にはない。

#### 5) 今後の課題

次期作以降の栽培管理についても本取り組みを継続し、生体情報に基づいた環境制御・栽培管理の生産現場実装を推進する必要がある。

<引用文献>

1. Naomichi Fujiuchi, Kazue Inaba, Shinchu Oh, Sayaka Okajima, Yuichiro Asai, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama. Using a real-time photosynthesis and transpiration monitoring system to develop random forest models for predicting cherry tomato yield in a greenhouse, Journal of Agricultural Meteorology. *Under revision (to be accepted)*

小課題番号	17935689	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	7. 収量予測に基づいた栽培・労務管理技術の開発と実証		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	(株)福井和郷・山本克樹		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

雇用労働費10%以上削減に向けて、各機関が開発したシステム・モデルの実証を行い、商業的トマト生産における効果を明確化する。

### 2) 研究方法

凸版印刷(株)のID管理技術が提供する高精度労務情報との組合せによって、労務管理にウェイトを置いた技術開発を行い、労働力不足が生じない栽培・労務管理を実現する。

(1) 動態把握と作業品質評価技術の実証試験：凸版印刷(株)のID管理技術 (ID-Watchy) による労務管理システムを活用した作業者の動態把握および植物生体情報計測ロボットによる作業評価技術を導入し、実用化に向けた実証試験を行う。なお、PwCあらた有限責任監査法人が提供する4つの改善シナリオのうち、特に、②「生育制御による作業ピークの抑制・分散」にウェイトを置いた実証試験を行う。

(2) トマトの収量予測モデルの開発実証：愛媛大学等が開発する光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムによる収量予測モデルの実用化に向けた実証試験を行う。なお、PwCあらた有限責任監査法人が提供する4つの改善シナリオのうち、特に、④「2週間後の収量予測による作業最最適配置」にウェイトを置いた実証試験を行う。

### 3) 研究結果

凸版印刷(株)が開発した労務管理システムをプロトタイプの段階より商用生産するほ場を導入し、その運用検証をおこなった。その検証を通し、同システムの運用負荷や機器耐性の影響をフィードバックし、開発に貢献した。また、3.6haの作業実績データを凸版印刷(株)、PwCあらた有限責任監査法人とともに分析をおこない、PwCあらた有限責任監査法人の労務配置最適化ツールの開発をともにし、その運用実証を実栽培労務の現場にて実証をおこなった。実証を通し、システム不具合や改善点をフィードバックし、改良につとめ、運用後の労務実績データによる労務削減効果を明らかにした。一方で、凸版印刷(株)の色づきカメラ、愛媛大学、PLANT DATA(株)、協和(株)の光合成チャンバを導入し、その計測データの分析をPwCあらた有限責任監査法人とともにおこない、植物生体計測データに基づく収量予測モデルの運用実証も実施し、予測結果の検証を行った。収量予測モデルの詳細および検証結果については小課題3の成果を参照されたい。

### 4) 成果活用における留意点

期間中の運用実証を通し各システム、モデルの運用実証を実施し、雇用労働費10%削減を達成したが、継続的な効果については継続した運用を行い、検証する必要がある。

### 5) 今後の課題

今後、労務管理システム、労務最適化ツール、植物生体計測装置等の継続利用を通し、更なる運用の改善による効果の向上につとめる。

<引用文献>

なし

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)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
17935689	5	8	53	4	14	2	0	0	0	1	16	3	9	17

(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	表計算ソフトExcelを用いた施設生産トマトの年間期待収穫量概算ツールの開発	下元耕太、仁科弘重、高橋憲子、高山弘太郎	愛媛大学	Eco-Engineerin	<a href="https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.30.47">https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.30.47</a>	2018	4	30(2)	47-58
2	①	クロロフィル蛍光画像計測ロボットを用いた日単位の茎伸長計測	高山弘太郎 戸田清太郎, 加納多佳留, 藤内直道,	愛媛大学	Eco-Engineerin	<a href="https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.32.15">https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.32.15</a>	2020	4	32(2)	15-21
3	①	トマト個体群を対象とした多元的画像計測装置の開発	高山弘太郎 戸田清太郎, 加納多佳留, 藤内直道,	愛媛大学	Eco-Engineerin	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/seitaikogaku/32/2/32_33/_pdf/-char/ja">https://www.jstage.jst.go.jp/article/seitaikogaku/32/2/32_33/_pdf/-char/ja</a>	2020	4	32(2)	33-37
4	①	高精度蒸散リアルタイムモニタリングシステムを用いたトマト個体群の水ストレス応答の評価	高山弘太郎, 藤内直道, 磯山侑里	愛媛大学 協和株式会社	Eco-Engineerin	<a href="https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.32.55">https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.32.55</a>	2020	7	32(3)	55-60
5	①	Real-time monitoring of photosynthesis and transpiration of a fully-grown tomato plant in greenhouse.	高山弘太郎, 藤内直道, 磯山侑里	愛媛大学 協和株式会社	Eco-Engineerin	<a href="https://doi.org/10.2525/ecb.58.65">https://doi.org/10.2525/ecb.58.65</a>	2020	7	58(3)	65-70
6	①	イチゴ・トマト・パプリカ葉のクロロフィル分析における分光光度計とHPLCの比較	稲葉一恵, 藤内直道, 仁科弘重, 高山弘太郎,	愛媛大学・豊橋技術科学大学・PLANTDATA株式会社	Eco-Engineering.	<a href="https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.33.39">https://doi.org/10.1145/0/seitaikogaku.33.39</a>	2021	4	33(2)	39-44
7	①	Averaging Techniques in Processing the High Time-resolution Photosynthesis Data of Cherry Tomato Plants for Model Development	Yayu Romdhonah, Naomichi Fujiuchi, Kota Shimomoto, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama	愛媛大学 豊橋技術科学大学 農研機構	Environmental Control in Biology	<a href="https://doi.org/10.2525/ecb.59.107">https://doi.org/10.2525/ecb.59.107</a>	2021	7	59(3)	107-115
8	①	Empirical Model for the Estimation of Whole-plant Photosynthetic Rate of Cherry Tomato Grown in a Commercial Greenhouse	Yayu Romdhonah, Naomichi Fujiuchi, Noriko Takahashi, Hiroshige Nishina, Kotaro Takayama	愛媛大学 豊橋技術科学大学	Environmental Control in Biology	<a href="https://doi.org/10.2525/ecb.59.117">https://doi.org/10.2525/ecb.59.117</a>	2021	7	59(3)	117-124

9	①	Effect of reducing phosphorus dosage in nutrient solution on soilless culture of grafted tomato crops	M.N. Nguyen, K. Inaba, S. Toda, K. Suzuki, Y. Iwasaki, K. Takayama	豊橋技術科学大学 PLANTDATA イノチオホールディング ス 農研機構	Acta Horticulturae	10.17660/actahortic.2021.1317.12	2021	8	(1317)	99-106
10	①	Comparison of photosynthetic rates, transpiration rates, and total conductance of greenhouse-grown tomato plants measured with two open chambers with different ventilation rates	Kota SHIMOMOTO, Naomichi FUJIUCHI, Noriko TAKAHASHI, Hiroshige NISHINA, Kazue INABA, Yayu ROMDHONAH, Kotaro TAKAYAMA	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA 農研機構	農業気象学会 Journal of Agricultural Meteorology	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/77/4/77_D-21-00029/_article/-char/ja">https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/77/4/77_D-21-00029/_article/-char/ja</a>	2021	11	77	270-277
11	①	Deep learning model for monitoring daily tomato plant growth	S. Toda, T. Higuchi, T. Sakamoto, T. Kanoh, N. Fujiuchi, H. Nishina, K. Takayama	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA 農研機構	Acta Horticulturae	<a href="https://doi.org/10.17660/actahortic.2022.1337.38">https://doi.org/10.17660/actahortic.2022.1337.38</a>	2021	12	(1337)	283-288
12	①	Method to calculate net CO2 exchange rate of whole plants under continuously increasing or decreasing CO2 concentrations in a greenhouse using a real-time photosynthesis and transpiration monitoring system	Naomichi FUJIUCHI, Kazue INABA, Takeru KANO, Yayu ROMDHONAH, Seitaro TODA, Kota SHIMOMOTO, Yuri ISOYAMA, Hiroshige NISHINA, Kotaro TAKAYAMA	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA 協和 農研機構	Environmental Control in Biology	<a href="https://doi.org/10.2525/ecb.60.13">https://doi.org/10.2525/ecb.60.13</a>	2022	2	60	13-21
13	①	Numerical study on improving uniformity of airflow in newly developed photosynthetic chamber	Moliya NURMALISA, Takayuki TOKAIRIN, Kotaro TAKAYAMA, Takanobu INOUE	愛媛大学 豊橋技術科学大学	Environmental Control in Biology	10.2525/ecb.60.23	2022	3		

## (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	高精度生体情報計測技術の太陽光植物工場への実装-フェノタイプング技術の実用化と将来展望-	高山 弘太郎	愛媛大学	第39回『施設園芸総合セミナー・機器資材展』	2018	2
2	高精度な植物生育診断とこれによる栽培・労務管理の最適化	高山 弘太郎	愛媛大学	第2回日・オランダ農業協力対話 第1回分科会	2018	6
3	シンポジウム ハイレゾ[生育+労務+環境]情報による農業生産と情報セキュリティ	高山 弘太郎	愛媛大学	農業環境工学関連5学会2018年合同大会	2018	9
4	OS-15 高精度[生育+労務+環境]情報を用いた太陽光植物工場における農作物生産	高山 弘太郎 北川寛人 西原立 永野武史 佐藤裕久	愛媛大学 PLANT DATA PwCあらた 凸版印刷 協和	農業環境工学関連5学会2018年合同大会	2018	9
5	セッション 12 生体計測・センサ「クロロフィル蛍光インダクション現象の Slow phase の多項式近似」	戸田清太郎	愛媛大学	日本生物環境工学会2018年東京大会	2018	9
6	炭酸ガス研究会(光合成、生体情報の自動取得)	高山 弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	炭酸ガス研究会	2019	7
7	「光合成計測チャンバ”Photo[synthesis] Cell”を用いたトマト個体群の水ストレス応答の評価」	高山 弘太郎 磯山 侑里	愛媛大学、 協和	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9
8	陽子移動反応質量分析計を用いた高精度匂い成分計測によるハダニ食害の早期検知」	高山 弘太郎	愛媛大学	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9
9	AIを活用した実用化植物診断技術とその普及戦略	高山 弘太郎	愛媛大学	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9
10	大規模施設栽培における作業最適化に向けた労務管理システムの開発	永野武史	凸版印刷株式会社 株式会社福井和郷	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9
11	日本生物環境工学会2019年千葉大会 ～SPAとIoPの最新動向と展望～ 「データ駆動型農業の現在とAIの活用による高度化」	西原 立	PwCあらた有限責任監査法人	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9
12	光合成計測チャンバを用いたアブシシン酸散布処理がトマト個体群の光合成と蒸散に及ぼす影響の解析」	稲葉 一恵 高山 弘太郎	愛媛大学 PLANTDATA株式会社 豊橋技術科学大学	日本生物環境工学会2019年千葉大会	2019	9
13	Recent Topics on Cultivation and Measurement: New Challenges by Start-Up Companies“ 「High-resolution plant data for greenhouse agricultural production」	高山 弘太郎 北川寛人	愛媛大学 PLANTDATA株式会社 豊橋技術科学大学	第71回日本生物工学会大会	2019	9
14	クロロフィル蛍光画像計測ロボットによる植物生育診断	高山 弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	令和元年度 農業・工業原材料生産と光技術研究会	2019	10



15	第85回日本養液栽培研究会愛知大会・2019年度総会にて光合成計測チャンバに関する成果を発表	磯山 侑里	愛媛大学 豊橋技術科学大学	第85回日本養液栽培研究会	2019	5
16	次世代施設園芸地域展開促進事業―指導者育成に係る研修事業 チャンバに関する成果を発表	磯山 侑里	協和株式会社	令和元年度第2回農研機構つくば植物工場研修会	2019	10
17	トマト個体群を対象としたクロロフィル蛍光画像計測ロボットによる葉量計測	高山弘太郎 戸田清太郎, 加納多佳留, 藤内直道,	愛媛大学,豊橋技術科学大学,PLANTDATA	農業情報学会2020年時大会	2020	5
18	モイスチャーセンサを用いたキュウリ葉における結露リスクの把握	高山弘太郎 稲葉一恵, 加納多佳留, 藤内直道,	愛媛大学,豊橋技術科学大学,PLANTDATA	農業情報学会2020年時大会	2020	5
19	光合成計測チャンバーを用いたトマトにおける収穫量予測モデルの検討	高山弘太郎 稲葉一恵, 藤内直道,	愛媛大学,豊橋技術科学大学,PLANTDATA	農業情報学会2020年時大会	2020	5
20	つり下げ型画像計測装置を用いた長期間連続画像計測	高山弘太郎,海野博也, 加納多佳留, 藤内直道,	愛媛大学,豊橋技術科学大学,PLANTDATA	農業情報学会2020年時大会	2020	5
21	キュウリ圃場向けつり下げ型画像計測装置の開発	高山弘太郎,海野博也, 加納多佳留, 藤内直道,	愛媛大学,豊橋技術科学大学,PLANTDATA	農業情報学会2020年時大会	2020	5
22	施設園芸新技術セミナー・機器資材展 in 佐賀 「キュウリの光合成・蒸散のリアルタイム計測と栽培管理への利用」	高山弘太郎	豊橋技術科学大学	施設園芸新技術セミナー・機器資材展 in 佐賀	2020	9
23	AIを活用した農業	高山弘太郎	愛媛大学,豊橋技術科学大学,PLANTDATA	日本学術会議in山口 公開講演会	2020	9
24	高精度生体情報計測が可能にするSociety5.0の農業生産	高山弘太郎	愛媛大学	日本学術会議中国・四国地区会議主催学術講演会	2020	11
25	ランダムフォレストによるキュウリの収量予測	吉渡匠汰、吉田圭佑、東海林孝幸、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	2020年度日本生物環境工学会オンライン合同支部大	2020	12
26	週次生育調査データの拡張と生育スケルトンによるサイバー空間における草勢診断AIモデルの作成	久保祐哉、高山弘太郎、戸田清太郎、藤内直道,	愛媛大学 豊橋技術科学大学	2020年度日本生物環境工学会オンライン合同支部大	2020	12
27	光合成計測チャンバデータを用いたトマト個体群の光―光合成曲線の解析	橘佳菜子, 稲葉一恵, 藤内直道, 高山弘太郎	愛媛大学,豊橋技術科学大学,PLANTDATA	2020年度日本生物環境工学会オンライン合同支部大	2020	12
28	日本生物環境工学会オンライン合同支部大会-産学連携セッション-	稲葉 一恵	PLANT DATA	2020年度日本生物環境工学会オンライン合同支部大	2020	12

29	トマト茎伸長計測を目的としたR-CNNによる茎頂の自動検出	樋口達哉、坂本哲隆、加納 多佳留、戸田清太郎、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	農業情報学会2021	2021	5
30	光合成計測チャンバ データ を用いたキュウリ個体群の光 - 光合成曲線の解析	橘佳菜子、稲葉一恵、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	農業情報学会2021	2021	5
31	光合成計測チャンバーを用いたトマトの収穫量予測と異常環境応答検知	稲葉一恵、岡島沙也花、浅井雄一郎 雄、藤内直道、高山弘太郎	PLANTDATA 愛媛大学 浅井農園 豊橋技術科学大学	農業情報学会2021	2021	5
32	スマートフォン を用いた YOLOによる イチゴの 草勢評価	坂本哲隆、戸田清太郎、海野博也、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	農業情報学会2021	2021	5
33	高度施設園芸に実装されつつある植物生体情報計測技術	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	農業情報学会2021	2021	5
34	Random forest models based on biological activity of whole plants to predict the yield of tomato fruits in a greenhouse	高山弘太郎、藤内直道、稲葉一恵、岡島沙也花、浅井雄一郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA 浅井農園	EurAgEng2021 Conference	2021	7
35	実装型高精度植物生体情報計測による施設生産の高度化 GP-11	高山弘太郎、藤内直道、稲葉一恵、岡島沙也花、浅井雄一郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA 浅井農園	GPEC	2021	6
36	R-CNN を活用したスマートフォンによるイチゴ個体群の生育調査	戸田清太郎 高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	2021生態工学会年次大会	2021	8
37	農業生産のための植物診断ロボット	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	オプトロニクス WEBセミナー 『光技術×スマート農業』	2021	8
38	AI(R-CNN)によるトマト果実の検出と収穫量予測	戸田清太郎、田内楓、稲葉一恵、加納多佳留、坂本哲隆、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11
39	トマトの葉・茎・果実のクロロフィル蛍光インダクションカーブの形状の違い	戸田清太郎、河原智弘、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11
40	数テラバイトを超える大規模植物生体画像情報の記録におけるストレージ耐久性の確認	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11
41	AI(R-CNN)によるトマト個体群の茎頂検出	樋口達哉、戸田清太郎、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11
42	High-resolution plant growth monitoring for intelligent environmental control in greenhouse	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	international symposium of citrus and subtropical climate fruits 2021	2021	11

43	トマト茎伸長計測を目的としたR-CNNによる茎頂の自動検出	樋口達哉、坂本哲隆、加納 多佳留、戸田清太郎、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	農業情報学会2021	2021	5
44	光合成計測チャンバ データ を用いたキュウリ個体群の光 ー光合成曲線の解析	橋佳菜子、稲葉一恵、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	農業情報学会2021	2021	5
45	光合成計測チャンバーを用いたトマトの収穫量予測と異常環境応答検知	稲葉 一恵、岡島沙也花、浅井雄一郎 雄、藤内直道、高山弘太郎	PLANTDATA 愛媛大学 浅井農園 豊橋技術科学大学	農業情報学会2021	2021	5
46	スマートフォンを用いた YOLOによる イチゴの 草勢評価	坂本哲隆、戸田清太郎、海野博也、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	農業情報学会2021	2021	5
47	高度施設園芸に実装されつつある植物生体情報計測技術	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	農業情報学会2021	2021	5
48	Random forest models based on biological activity of whole plants to predict the yield of tomato fruits in a greenhouse	高山弘太郎、藤内直道、稲葉一恵、岡島沙也花、浅井雄一郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA 浅井農園	EurAgEng2021 Conference	2021	7
49	実装型高精度植物生体情報計測による施設生産の高度化 GP-11	高山弘太郎、藤内直道、稲葉一恵、岡島沙也花、浅井雄一郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA 浅井農園	GPEC	2021	6
50	R-CNN を活用したスマートフォンによるイチゴ個体群の生育調査	戸田清太郎 高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	2021生態工学会年次大会	2021	8
51	農業生産のための植物診断ロボット	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	オプトロニクス WEBセミナー 『光技術×スマート農業』	2021	8
52	AI(R-CNN)によるトマト果実の検出と収穫量予測	戸田清太郎、田内楓、稲葉一恵、加納多佳留、坂本哲隆、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11
53	トマトの葉・茎・果実のクロロフィル蛍光インダクションカーブの形状の違い	戸田清太郎、河原智弘、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11
54	数テラバイトを超える大規模植物生体画像情報の記録におけるストレージ耐久性の確認	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11
55	AI(R-CNN)によるトマト個体群の茎頂検出	樋口達哉、戸田清太郎、藤内直道、高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会	2021	11

56	High-resolution plant growth monitoring for intelligent environmental control in greenhouse	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	international symposium of citrus and subtropical climate fruits 2021	2021	11
57	愛媛大学植物工場研究センターの取り組みについて-スピーキングプラントアプローチの展望-	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	JA包装園芸施設協会	2021	12

(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	Value Navigator (農林水産省の委託プロジェクト研究「人工知能未来農業創造プロジェクト」がスタート)	丸山 琢永	PwCあらた有限責任監査法人	PwCジャパン	2018	2
2	③	PwC Japan Group Annual Review 2016-2017 (人工知能未来農業創造プロジェクト:植物生体情報とAIによる太陽光植物工場における農産物生産の最適化)	丸山 琢永	PwCあらた有限責任監査法人	PwCジャパン	2018	2
3	④	IKUEI NEWSvol.82 (人工知能未来農業創造プロジェクト「匠の技を数値化し、農業に革命を起こす」)	高山 弘太郎	愛媛大学	電通育英会	2018	4
4	④	情報誌「ideanote」(取り組み紹介コーナー)	永野 武史	凸版印刷株式会社	凸版印刷株式会社	2018	12
5	④	<得意先向け情報誌「ideanote」による取り組み紹介> 凸版印刷発行の情報誌「ideanote」内の取り組み紹介コーナーに掲載	永野 武史	凸版印刷株式会社	凸版印刷株式会社	2019	11
6	②	養液栽培研究会の会誌ハイドロポニックス第33巻第1号	磯山 侑里	協和株式会社	養液栽培研究会	2019	9
7	②	香りとスマート農業の可能性 Aroma Research. 78	高山弘太郎	愛媛大学	フレグランスジャーナル	2019	5
8	②	光合成診断技術「植物工場の研究展望」 植物環境工学	高山弘太郎	愛媛大学	養賢堂	2019	4
9	②	植物の生育を知る -光学モニタリングシステム-	高山弘太郎	愛媛大学	日本工業出版	2019	11
10	②	オンサイト匂い成分計測による温室での植物診断 ぶんせき.第10号,449-451	高山弘太郎	愛媛大学	日本分析化学会	2019	10
11	②	日蘭共同研究に見る新「パラダイム」-実装型SPA技術が推進する農学と工学の先端融合- 農業および園芸第94巻、第1号,973-982	高山弘太郎	愛媛大学	養賢堂	2019	10
12	②	新時代に向けた植物工場ビジネス ~第3章I/IoTの活用~植物工場における栽培管理のための植物センシング~ 第2節植物工場における栽培管理のための植物センシング(分担執筆), pp113-120,情報機構	高山弘太郎	愛媛大学	情報機構	2020	2
13	④	ハイポニカレター 2021年1月	磯山 侑里	協和株式会社	自社出版	2020	1
14	②	国内の植物工場における近年の動向と最新の技術開発について	高山弘太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	野菜情報	2021	11

## (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	光合成速度計測システム	高山弘太郎・下元耕太・仁科弘重・高橋恵子・稲葉一恵	愛媛大学 豊橋技術科学大学	愛媛大学 PLANT DATA	特願2018- 62412	2018/3/28	
2	②	つり下げ型植物診断ロボット	高山弘太郎・藤内直道・加納多佳留・戸田清太郎	愛媛大学 豊橋技術科学大学	愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	特願2022-046421	2022/3/23	

## (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	②	光合成速度計測システム	高山弘太郎・下元耕太・仁科弘重・高橋恵子・稲葉一恵	愛媛大学 豊橋技術科学大学	愛媛大学 PLANT DATA	EP19778024.0	2019/3/22		欧州(EPO)

## (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	<「人工知能未来農業創造プロジェクト」に関するプレスリリース>	愛媛大学、PLANT DATA、PwCあらた有限責任監査法人、凸版印刷、協和	各機関のHP	2017/10/18	
2	②	AIでトマト効率栽培 愛媛大、全国農園と実験	愛媛大学	日本経済新聞	2017/10/31	
3	①	ID-Watchyに関するプレスリリース	凸版印刷	凸版印刷のHP	2017/11/2	
4	③	みんなのニュース・えひめ 特集	愛媛大学	テレビ愛媛	2018/1/30	
5	①	産学連携10法人による栽培・労務管理の最適化技術の開発が内閣府のPRISMにより拡大!	愛媛大学、PLANT DATA、PwCあらた有限責任監査法人、凸版印刷、協和	各機関のHP	2018/11/21	
6	③	ニュース	愛媛大学	NHK名古屋放送局	2018/12/27	

7	④	ラジオ広報「天伯之城 ギカダイ」 「植物工場ではたらく植物診断ロボット」	豊橋技術科学大学	高山 弘太郎	2019/7/20	<a href="https://www.tut.ac.jp/castle.html">https://www.tut.ac.jp/castle.html</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=ElirrnRmeWU&amp;t=37s">https://www.youtube.com/watch?v=ElirrnRmeWU&amp;t=37s</a>
8	①	光合成の変化を計測できるシステム「Photo[synthesis] Cell(フォトセル)」の商品化プレスリリース	愛媛大学	高山 弘太郎	2019/9/9	<a href="https://www.ehime-u.ac.jp/data_relese/data_relese-">https://www.ehime-u.ac.jp/data_relese/data_relese-</a>
9	③	植物の光合成をリアルタイムで把握できる「光合成計測システム」について	愛媛大学	高山 弘太郎	2019/9/9	NHK松山放送局「ひめポン！」
10	④	30 世界初！ 光合成をリアルタイムで計測する「光合成計測システム」は何が凄い？	愛媛大学	高山 弘太郎		<a href="https://agrijournal.jp/renewableenergy/49951/">https://agrijournal.jp/renewableenergy/49951/</a>
11	②	「稼げる」植物工場が登場 ものづくりとIoTで革新	愛媛大学	高山 弘太郎	2020/1/23	
12	①	野菜収穫時期AI分析	愛媛大学	高山 弘太郎	2020/2/16	静岡新聞
13	①	光合成計測チャンバの製品版であるフォトセルの商品紹介(HPへの掲載)	協和株式会社	HPへ掲載	2020/7/17	
14	③	AIと農林水産業	豊橋技術科学大学	TBS(Nスタ)	2020/7/17	
15	③	・浅井農園様での技術の活用風景 ・浅井農園ご担当者様インタビュー ・高山先生へのインタビュー	豊橋技術科学大学 株式会社浅井農園	TBS(Nスタ)	2021/5/3	
16	②	光合成測定環境最適に関する記事	豊橋技術科学大学	農業情報新聞	2021/5/5	

## (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	②	生育状態共有ウェブアプリ "Skeleton Review"	PLANT DATA	2018	1	生育スケルトンのインフォグラフィックや数値評価データ、コメントなどのレポートを表示し、チャット形式で生産者や栽培管理者がディスカッションすることができる生育状態共有ウェブアプリ	PLANT DATAの有償サービスに付帯するサービスとして稼働し、随時利用者に対するサービス提供を開始している。
2	②	光合成計測チャンバー "PhotoCell フォトセル"	国立大学法人愛媛大学、PLANT DATA株式会社、協和株式会社	2018	7	植物個体全体を内包するチャンバー内の環境とチャンバーに流入出する空気をセンシングし、個体全体の光合成速度と蒸散速度をリアルタイムでモニタリングすることができる計測装置。	プロト版のモニターを募集し、応募者選定の上、対象となる圃場等に機器を設置、データ計測とその検証を行っており、導入・運用に係るフィードバックを随時受け、製品化への最終調整に反映している。
3	②	光合成計測チャンバー "PhotoCell フォトセル"	国立大学法人愛媛大学、PLANT DATA株式会社、協和株式会社	2019	9	植物個体全体を内包するチャンバー内の環境とチャンバーに流入出する空気をセンシングし、個体全体の光合成速度と蒸散速度をリアルタイムでモニタリングすることができる計測装置。	プロト版のモニターを募集し、応募者選定の上、対象となる圃場等に機器を設置、データ計測とその検証を行っており、導入・運用に係るフィードバックを随時受け、製品化への最終調整に反映している。

## (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	日本学術会議・豊橋技術科学大学 公開シンポジウム —先端フェノタイピング技術の農作物生産への実装—	国立大学法人豊橋技術科学大学	豊橋技術科学大学キャンパス A-101教室 (愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)	2018/12/18	152 ※定員	※日本学術会議との共催
2	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—	国立大学法人愛媛大学	一橋大学一橋講堂 (東京都千代田区一ツ橋2-1-2)	2019/2/12	500 ※定員	※本ファイル記載時点における開催予定 ※農研機構との共催
3	とよしん食農セミナー「植物診断技術とAIを活用した植物工場の栽培・労務管理の高度化」	豊橋技術科学大学	豊橋技術科学大学	2019/7/11	-	<a href="https://www.toyo-shin.co.jp/event/shokunou.php">https://www.toyo-shin.co.jp/event/shokunou.php</a>
4	オムニバス講演 「人口減少社会に立ち向かうICT」 (えひめ未来のしごと博・えひめITフェア)	愛媛大学 豊橋技術科学大学	愛媛県武道館	2019/8/31	-	<a href="https://ehime-it.jp/2019/">https://ehime-it.jp/2019/</a>
5	光合成計測チャンバのデモ機の内容の紹介 (えひめ未来のしごと博・えひめITフェア)	PLANT DATA	愛媛県武道館	2019/8/31	-	<a href="https://ehime-it.jp/2019/">https://ehime-it.jp/2019/</a>
6	人材育成プログラム Dコース	豊橋技術科学大学	豊橋技術科学大学 愛媛大学	2020/1/21	-	<a href="https://www.ehime-u.ac.jp/wp-content/uploads/2019/10/4899daca0427f8fe89bd8c8ea88c6019.pdf">https://www.ehime-u.ac.jp/wp-content/uploads/2019/10/4899daca0427f8fe89bd8c8ea88c6019.pdf</a>
7	植物生体情報(PLANATDATA)の太陽光植物工場におけるビジネス化	豊橋技術科学大学	豊橋技術科学大学 愛媛大学	2020/1/21	-	<a href="https://www.ehime-u.ac.jp/wp-content/uploads/2019/10/4899daca0427f8fe89bd8c8ea88c6019.pdf">https://www.ehime-u.ac.jp/wp-content/uploads/2019/10/4899daca0427f8fe89bd8c8ea88c6019.pdf</a>
8	イノベーション創出研究強化事業セミナー「施設果菜類栽培におけるセンシングとシミュレーション技術の活用」	協和株式会社	東京大学 山上会館本館 大会議室	2019/8/27	-	<a href="http://www.naro.affrc.go.jp/event/list/2019/07/131519.html">http://www.naro.affrc.go.jp/event/list/2019/07/131519.html</a>
9	植物工場先端技術シンポジウム	凸版印刷株式会社 PwCあらた有限責任監査法人 愛媛大学 豊橋技術科学大学 PLANTDATA	オンライン	2021/11/30		<a href="https://www.ehime-u.ac.jp/data_event/data_event-180018/">https://www.ehime-u.ac.jp/data_event/data_event-180018/</a>



## (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	②	第4回 国際次世代農業EXPOへの出展	協和	幕張メッセ	2017/10/13	約30000	農業関係者	
2	①	日本農業情報システム協会(JAISA)主催「スマートアグリシンポジウム2018」における基調講演	愛媛大学	愛媛大学 大会議室	2018/4/7		農業関係者	
3	②	AG/SUM 2018への出展	愛媛大学、PLANT DATA、PwCあらた	日本橋三井ホール	2018/6/11-13		農業関係者	
4	②	日本農業法人協会 夏季セミナー 展示ブースでの紹介	凸版印刷	TKPガーデンシティ竹橋	2018/6/22		農業関係者	
5	②	第20回自動認識総合展への出展	凸版印刷	東京ビッグサイト	2018/9/12-14		農業関係者	
6	②	国際農業資材EXPO 農業ワールドへの出展	PLANT DATA	幕張メッセ	2018/10/10-12		ビジネス関係者	
7	②	超異分野学会 沖縄フォーラム2018 パネリストとして登壇	愛媛大学	琉球大学 50周年記念館	2018/11/3		学術関係者	
8	②	静岡県「次世代施設園芸セミナー」での講演	愛媛大学	静岡県男女共同参画センターあざれあ	2018/11/6	約300	農業関係者	
9	②	アグリライフハック2018での講演	PLANT DATA	ベルサール御成門タワー	2018/12/11		農業関係者	
10	①	タオル美術館記念講演	愛媛大学	タオル美術館	2019/5/18	160	会社員、主婦、学生、行政等	<a href="https://www.ehime-u.ac.jp/post-95899/">https://www.ehime-u.ac.jp/post-95899/</a>
11	③	JTの葉タバコ研究所での技術紹介	凸版印刷	日本たばこ産業株式会社	2019/7/30	5	JT会社員	—
12	②	メッセナゴヤ2019アグリクロス ～技×農-GINOU～チャンパ・Chi蛍光画像計測機器展示)	PLANATDATA	メッセナゴヤ	2019/11/6-9		学生、行政等	<a href="https://www.messenagoya.jp/arrival_gu">https://www.messenagoya.jp/arrival_gu</a>
13	①	とよしん次世代経営者の会『元気塾』豊橋技術科学大学 研究室見学会・交流会	豊橋技術科学大学	豊橋技術科学大学	2019/11/13		学生、行政等	
14	②	aitomatoで商用化したフォトセルの展示	協和株式会社	第8回 国際 スマート農業EXPO@幕張メッセ	2020/10/14-16		会社員	
15	②	協和株式会社 産学連携の取り組みについて	協和株式会社	日本生物環境工学会 オンライン合同支部大会2020	2020/12/18	約100	大学教員・学生	産学連携セッションにて発表
16	②	スマート農業シンポジウムにて、光合成計測チャンパのデモ機の内容の紹介	PLANT DATA	名古屋国際会議場およびオンライン	2021/12/3		会社員、学生、行政等	<a href="https://www.maff.go.jp/tokai/press/seisan_kankyo/attach/pdf/211104-2.pdf">https://www.maff.go.jp/tokai/press/seisan_kankyo/attach/pdf/211104-2.pdf</a>

17	②	地域の施設園芸に貢献する植物対話型スマート農業生産技術(とよしん食育セミナー))	豊橋技術科学大学	オンライン	2021/11/16		会社員、学生等	<a href="https://www.toyo-shin.co.jp/_news/contents/12829.html">https://www.toyo-shin.co.jp/_news/contents/12829.html</a>
----	---	--	----------	-------	------------	--	---------	---