

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 18 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06320

研究課題名(和文) 作業者と協働可能な365日稼働する小型農業ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of 365 Days Collaborative Small Agricultural Robot

研究代表者

森尾 吉成 (Morio, Yoshinari)

三重大学・生物資源学研究所・教授

研究者番号：90273490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、年間を通して多様な作業に活用可能なロボットを開発するために、1) 中山間地域の圃場をロボットが自律走行するために必要な自己位置検出・環境地図作成システム、2) ロボットが走行中に収集した3次元点群データや画像データから抽出した作業情報を環境地図にマッピングする環境地図マッピングシステム、3) 産業用ロボットアームとロボットハンドを農作業に活用するためのロボットアーム・ハンド制御システム、4) 人手が必要な作業現場で、作業者と協働するロボットが作業者の行動を把握するための作業者行動追跡・環境地図マッピングシステム、の4つのシステムを開発することを目的とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発された4つのシステムは、365日休みなく行われる多様な農作業現場で、作業者の行動に合わせて自律走行しながら作業を支援する農業ロボットを開発するための重要な要素技術として活用可能である。中山間地域で衛星信号が安定して受信できない圃場で、開発したシステムが不整地走行時の自己位置を頑健に検出し、多様な圃場の状況に合わせて作業経路を決定し、ロボットアームとロボットハンドを用いて作業を行い、さらには、協働する作業者の行動に合わせて作業を支援する機能を提供するために活用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to develop an agricultural robot that can be used for various tasks throughout the year, the objective of this study was to develop four systems: 1) a robot self-position detection and environment mapping system for autonomous driving in fields in mountainous areas; 2) an environment mapping system that work information extracted from 3D point cloud data and image data collected by the robot during driving can be mapped onto an environment map; 3) a robot arm-hand control system for working in agricultural field; and 4) a worker behavior mapping system that robot can monitor worker behavior and collaborate with worker through the environment map at a work site that requires human intervention.

研究分野：農業機械学

キーワード：農業ロボット 自己位置検出・環境地図マッピング ロボットアーム制御 作業者追跡・環境地図マッピング LiDAR-SLAM visual-SLAM 深層学習

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

トラクタ、田植え機、コンバインに代表される農業機械は、高価であるものの汎用性がないため、作業が行われる特定の時期に使用される以外は、倉庫に眠り、スペースを占有するだけの機械と化す。そのため、365日休みなく行われる農作業現場からは、年間を通して人と一緒に作業ができ、1台で多様な作業が行える汎用性の高い農業ロボットの開発が望まれていた。研究が開始された当時、一般的なロボット開発分野では、機械学習や深層学習といった人工知能が開発され、ロボットが周辺環境を認識しながら、自律走行やロボットマニピュレータによる自動作業を行うシステムの研究・開発が数多くなされていた。しかしながら、道路や工場等の障害物の少ない平らな舗装路面を走行するロボットの開発とは異なり、衛星信号の受信も不安定で、障害物が多く存在し、不整地走行を求められ、多様な作業が行われる農作業現場向けの農業ロボットの開発は容易ではなかった。当時は、衛星信号が安定して得られる大規模圃場を対象に、汎用性は低いが比較的開発しやすいトラクタ、田植え機、コンバインのロボット化が行われ、現場への導入が開始されていた。日本では、中山間地域で多様な農業を営む農家の割合が高く、人手が必要な作業が多いことから、このような大型ロボットの導入は進んでいなかった。

2. 研究の目的

本研究では、年間を通して多様な作業に活用可能なロボットを開発するために、1) 中山間地域の圃場をロボットが自律走行するために必要な自己位置検出・環境地図作成システム、2) ロボットが走行中に収集した3次元点群データや画像データから抽出した作業情報を環境地図にマッピングする環境地図マッピングシステム、3) 産業用ロボットアームとロボットハンドを農作業に活用するためのロボットアーム・ハンド制御システム、4) 人手が必要な作業現場で、作業者と協働するロボットが作業者の行動を把握するための作業者行動追跡・環境地図マッピングシステム、の4つのシステムを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究で開発に取り組んだ4つのシステムの、1) ロボット自己位置検出・環境地図作成システム、2) 環境地図マッピングシステム、3) ロボットアームの制御システム、4) 作業者行動追跡・環境地図マッピングシステム、それぞれについて、研究方法の概要を以下にまとめる。

(1) ロボット自己位置検出・環境地図作成システムの開発

ロボットの自律走行に必要なロボット自己位置検出・環境地図作成機能の開発では、画像情報ベースのシステムとLiDAR点群情報ベースのシステムの2種類のシステムを開発した。

画像情報ベースのシステムでは、計測機器にステレオカメラ (Stereolabs, ZED と ZED2) を用い、visual SLAM 法の一つである ORB-SLAM2 法を用いて自己位置検出および環境地図作成を行うシステムを開発した。さらに、ステレオカメラ内蔵の IMU を用いて、visual-inertial SLAM 法を用いた自己位置検出・環境地図作成システムも開発した。

LiDAR 点群情報ベースのシステムでは、計測機器に 3D LiDAR (Velodyne Lidar, VLP-16)、IMU (Parker LORD Microstrain, 3DM-GX5-AHRS) を用い、LiDAR-inertial SLAM 法の一つである LIO-SAM 法を用いて自己位置検出および環境地図作成を行うシステムを開発した。作成した環境地図を用いて2回目以降のロボット走行時の自己位置を検出するために、3次元点群マッチング手法の一つである NDT Scan Matching 法を独自にカスタマイズし、一般的な NDT Scan Matching 法が自己位置検出に失敗する場合でも頑健に自己位置推定できるシステムを開発した。

(2) 環境地図マッピングシステムの開発

開発したロボット自己位置検出・環境地図作成システムを用いて、ロボットが走行しながら収集した3次元点群データや画像データから作業に必要な情報を抽出し、その抽出した情報を環境地図にマッピングするシステムを開発した。

画像情報をベースにした visual-SLAM を用いたシステムでは、エンドウ栽培圃場と柑橘栽培圃場の2種類の圃場を対象に、作業情報をマッピングするシステムを開発した。エンドウ栽培圃場では、白黒マルチ被覆畝に対して行われる播種作業時の、ロボットの走行軌跡、畝の3次元中央線に沿った目標経路、播種穴の3次元位置をマッピングした。自己位置検出法には、ORB-SLAM2 法を用い、目標経路からのロボットの横偏差および進行方向偏差が計測できるシステムを開発した。畝の中央位置や播種穴の検出手法には、深層学習モデルの一つである YOLOv3 法を組み込んだ独自アルゴリズムを開発した。一方、柑橘栽培圃場では、ステレオカメラを手を持った作業者が樹体の周囲を歩行しながら樹体領域全体の画像を撮影し、visual-inertial SLAM 法を用いて作業者の自己位置検出を行うとともに、ステレオ画像と YOLOv3 を用いて検出した各果実の3次元位置を環境地図にマッピングするシステムを開発した。さらには、マッピングした果実の3次元位置を基に、ロボットの走行経路の違いによる収穫可能果実数の変化を計算機上で出力可能な収穫シミュレータを開発した。

LiDAR 点群情報ベースの LiDAR-SLAM 法を用いるシステムでは、温州ミカンおよび夏ミカンを栽培する 2 種類の柑橘栽培圃場を対象とした。樹形や圃場の様子が異なる 2 種類の圃場に対して、走行路面の抽出と、抽出した路面の環境地図へのマッピングを行い、また、地上部樹体の抽出およびラベリング、抽出した樹体の環境地図へのマッピングを行った。さらに、地上部樹体の 3 次元表面形状を抽出し、抽出した樹体の表面領域を環境地図へマッピングするとともに、3 次元表面形状に沿った作業経路の生成と環境地図へのマッピングを行えるシステムを開発した。

(3) ロボットアーム・ハンド制御システムの開発

ロボットアーム (Universal Robots, UR5e) およびロボットハンド (Robotiq, 2F-85) を制御しながら柑橘果実を収穫するためのロボットアーム制御システムを、オープンソースの 3 次元ロボットシミュレータの Gazebo を使いながら開発した。開心自然型の栽培が行われる柑橘圃場から、ステレオカメラ (Stereolabs, ZED2) を使って果実や枝葉などの圃場データを取得し、Gazebo に取り込んだ。画像中の果実の位置は、YOLOv3 を用いて検出し、果実の 3 次元位置は、ステレオカメラで取得した 3 次元点群データと色情報を使って検出した。さらに、ロボットハンド把持姿勢は、果実毎に最適な把持姿勢を決定するシステムを開発した。果実の収穫順は、最短経路探索法の一つである 2-opt 法を用いて決定するシステムを開発し、ロボットアームの障害物回避機能は、枝や果実などの障害物を回避しながら目的の果実を収穫するための軌道を生成するシステムを開発した。

(4) 作業行動追跡・環境地図マッピングシステムの開発

柑橘果実収穫中の作業者の行動に注目し、作業中の作業者の位置や姿勢を検出するとともに作業内容を認識し、その結果を協働するロボットに通知するシステムを開発した。作業者は、3D LiDAR (Velodyne Lidar, VLP-16), IMU (Parker LORD Microstrain, 3DM-GX5-AHRS), ステレオカメラ (Stereolabs, ZED2) の計測センサを取り付けた背負い子を背負って作業を行う。この背負い子を背負えば、作業者の位置が、LiDAR-inertial SLAM 法の一つである LIO-SAM 法を用いて検出されると同時に、検出結果が環境地図にマッピングされる。ステレオカメラ画像から計測した 3 次元点群データから地面を推定するとともに、深層学習モデルやステレオカメラの深度情報を用いて作業者の骨格やコンテナの 3 次元位置を検出し、作業者の歩行速度も計測しながら、収穫、屈伸、運搬、歩行、の 4 種類の作業内容を認識させ、その認識結果を環境地図にマッピングした。

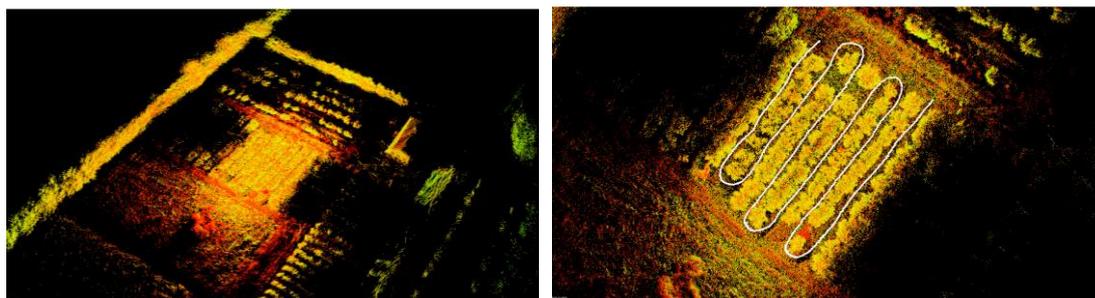
一方、計測センサを作業者が装着することなく作業者の行動を追跡するシステムとして、3D LiDAR とステレオカメラを取り付けた自立型センサを開発し、作業者が作業場所を移動するたびに、作業者の背後に設置したセンサが、作業者の位置や滞留時間、作業中のコンテナの位置や個数などの作業情報を自動取得し、環境地図にマッピングするシステムを開発した。また、計測センサを作業者が装着することのないもう一つ別の方式の追跡システムとして、3D LiDAR 単体を用いて広範囲を移動する作業者の位置を検出するシステム、カメラと 3D LiDAR を融合させてカメラで得られた画像情報から作業者やコンテナを検出し、3D LiDAR から取得した 3 次元点群情報を使って、コンテナを運搬する作業者の行動を追跡するシステムも開発した。

4. 研究成果

開発に取り組んだ 4 つのシステムについて得られた主な成果を以下にまとめる。

(1) ロボット自己位置検出・環境地図作成システムの開発成果

Fig. 1 は、柑橘栽培圃場の果樹列の列間を走行するロボット車両の自己位置を検出した結果である。環境地図は、Fig. 1(a)に示すように、LiDAR-inertial SLAM 法を使って生成され、列間を走行するロボットの位置は、Fig. 1(b)に示す白線部のように、独自カスタマイズした NDT Scan Matching 法を使って検出した。検証実験は時期を変えて複数回実施し、最初に作成した同じ環境地図を、時間が経過した後も使って自己位置を検出させたが、この圃場では、約 1 年経過後に走行した場合でも、旋回時に検出位置の精度が低下するものの検出不能になることなく、



(a) 生成された環境地図

(b) ロボット自己位置検出結果

Fig. 1 LiDAR-inertial SLAM 法を使った柑橘栽培圃場の環境地図作成と自己位置検出結果

自己位置を検出できる結果を得た。独自カスタマイズしていない NDT Scan Matching 法では、環境地図を作成した日と同じ日の走行時において、旋回領域の自己位置の検出に失敗する結果となったことから、我々が開発したシステムの有効性が示された。一方、visual-SLAM 法を用いた自己位置検出法では、走行距離が長くなるにつれて蓄積誤差が大きくなり、構築された環境地図と移動軌跡は歪み、回転時に検出不能となるなどの課題が残った。Visual-SLAM 法は、構築した環境地図に歪みが発生する欠点はあるが、局所的な計測精度は低くないことから、エンドウの播種作業など、局所的な領域の自己位置検出が必要な作業では有効に機能した。また、ロボットの周囲に特徴的な物体が存在しない広大な圃場においては、LiDAR 点群情報ベースの手法の計測精度が大きく低下する一方で、画像情報ベースの visual-SLAM 法は良好な計測が行えたことから、開発した画像情報ベースの visual-SLAM 法の有効性が確認された。

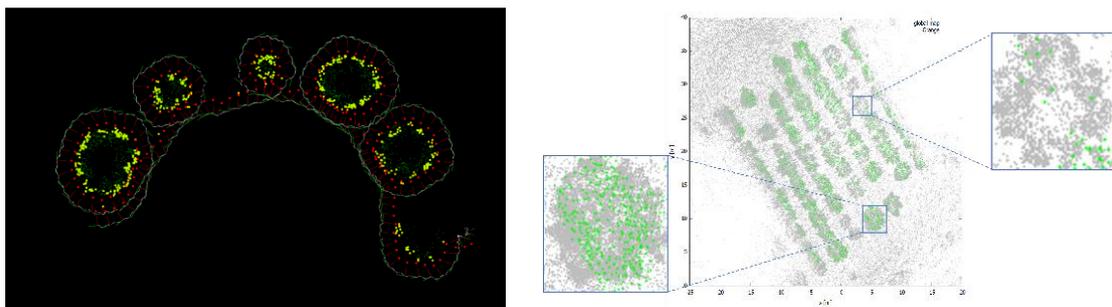
(2) 環境地図マッピングシステムの開発成果

Fig. 2 は、柑橘栽培圃場において検出された果実を環境地図にマッピングした結果である。Fig. 2(a)は、夏ミカン圃場に対して、ステレオカメラを使った visual-inertial SLAM 法を用いて生成した環境地図上に、検出した果実(緑マーク)とロボットの走行経路をマッピングした後、収穫シミュレーション時の収穫位置(赤マーク)と収穫可能果実(黄緑マーク)をマッピングした結果である。この果実マッピングされた環境地図を使って、収穫位置を変えながら収穫可能数を推定できるため、収穫作業を開始する前に、収穫経路や収穫位置のシミュレーションが容易に行える環境が得られた。Fig. 2(b)は、温州ミカン圃場に対して、LiDAR-inertial SLAM 法を使って生成された環境地図上に、ロボットの上下に 2 台設置したステレオカメラを使って樹体の上部から下部にかけて検出された果実を環境地図上にマッピングした結果である。この環境地図を使って、圃場を小区画に分けた区画ごとの果実密度が推定でき、栽培や収穫作業に有用な栽培データを取得できる結果が得られた。その他、エンドウ播種作業時のロボットの走行軌跡、目標経路、播種穴の 3 次元位置マッピングシステムにおいても、visual-SLAM 法は局所的には良好な計測精度が得られたことから、ロボットの播種作業に必要な情報が安定して取得できた。

一方、Fig. 3 は、夏ミカン栽培圃場において、LiDAR-inertial SLAM 法を使って生成された環境地図上に、Fig. 3(a)に示すように、LiDAR の 3 次元点群データから抽出した地表面と樹体をマッピングした結果と、Fig. 3(b)に示すように、樹体の 3 次元表面形状に沿って農薬散布竿の作業経路をマッピングした結果である。環境地図に樹体の 3 次元表面形状がマッピングされたことで、樹体ごとの形状に合わせた作業経路を事前にシミュレーションできる結果が得られた。

(3) ロボットアーム・ハンド制御システムの開発成果

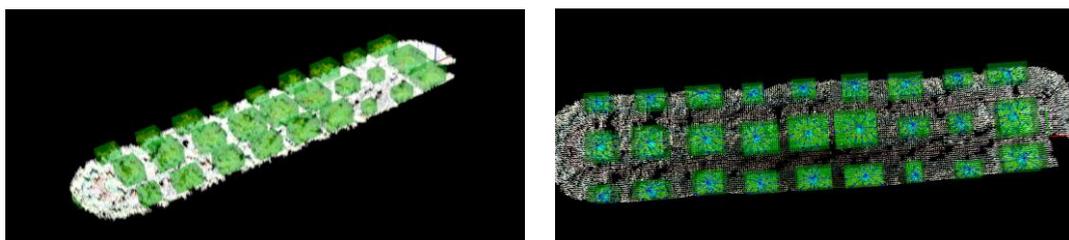
Fig. 4 は、開心自然型栽培された温州ミカンの樹体から、Fig. 4(a)に示すように、収穫作業の障害となる枝や葉と果実の占有領域を Voxel として抽出し、果実の収穫順の決定を行った後、Fig. 4(b)に示すように、3 次元ロボットシミュレータの Gazebo 上で、障害物を回避させながらロボットアームとハンドを制御して果実を収穫させた結果の一例である。果実の一部の領域が



(a) visual-SLAM ベースの結果

(b) LiDAR-inertial SLAM ベースの結果

Fig. 2 柑橘栽培現場における環境地図への果実マッピング結果

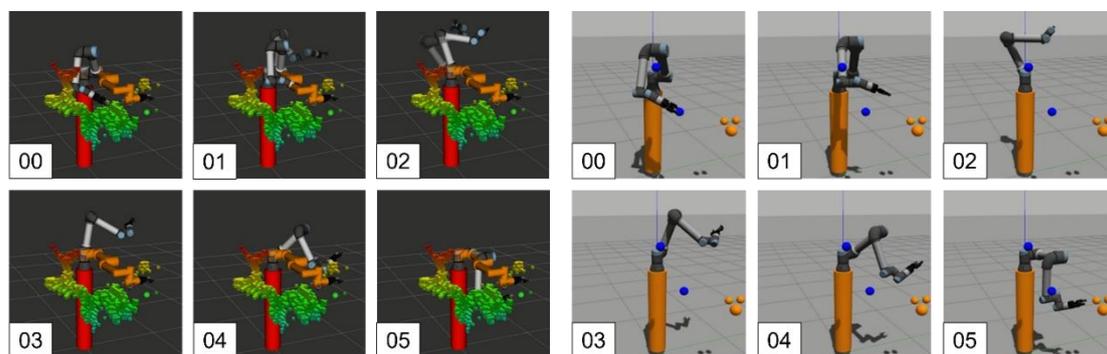


(a) 地表面と樹体の抽出結果

(b) 樹体表面形状に沿った作業経路

Fig. 3 柑橘栽培圃場の地表面・樹体抽出結果と樹体 3 次元表面形状に沿った作業経路計画

葉に隠されている場合も、ステレオカメラから得られる 3 次元点群データと画像データから、ロボットハンドの挿入位置と姿勢が良好に検出され、あくまでもシミュレータ上ではあるが、障害物を回避しながらロボットアーム先端に取り付けられたハンドの 2 本指の間に果実を安定して納めることができる結果が得られた。実際の圃場データを Gazebo に取り込むことによって、多様な樹体に対して収穫シミュレーションが実施でき、収穫機構の検討が行えた。



(a) ロボットアーム周囲の障害物認識 (b) 障害物回避による果実収穫

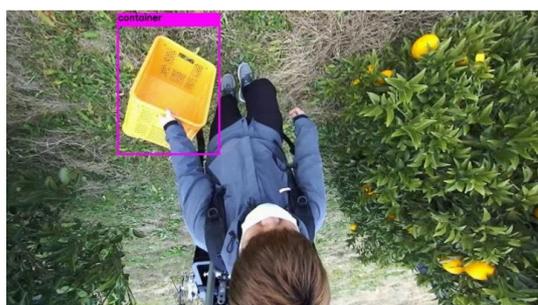
Fig. 4 ロボットアームとロボットハンドを用いた果実収穫シミュレーション結果

(4) 作業者行動追跡・環境地図マッピングシステムの開発成果

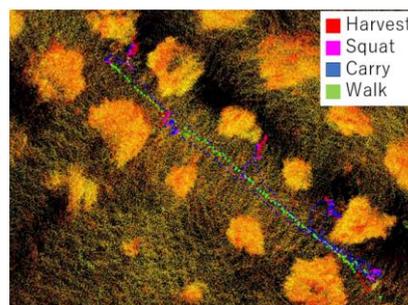
Fig. 5 は、柑橘果実の収穫中の作業者を対象に、LiDARA-inertial SLAM 法を使って生成した環境地図上に、収穫、屈伸、運搬、歩行、の 4 つの作業状態と作業位置をマッピングした結果である。Fig. 5(a)に示すように、4 つの作業状態を認識するために必要な、コンテナの有無、作業者の骨格、地面領域などの情報が深層学習モデルを使って安定して検出され、Fig. 5(b)に示すように、圃場内で行われた作業が頑健に認識され、認識された結果が環境地図上の作業位置に精度よくマッピングされる結果が得られた。このシステムを使えば、作業者は自分の行動を、この環境地図を通してロボットに送信できるようになり、ロボットー作業者間のコミュニケーションを実現するシステムを開発することができた。

作業者が計測センサを装着しないタイプの行動追跡システムの開発では、3D LiDAR とステレオを組み合わせた自立型センサを作業者の背後に常に置きながら作業を行うことによって、作業者の位置や、作業場所ごとの滞留時間、作業で使われたコンテナの位置が安定して環境地図にマッピングされる結果が得られた。その他、3D LiDAR 単体を用いて複数の作業者を同時に追跡するシステムの開発では、LiDAR の計測限界距離の 100 m 付近までの範囲で、圃場内を移動する 6 人の作業者の移動軌跡を同時に計測できる結果が得られた。また、カメラと 3D LiDAR を融合させて作業者の行動を追跡するシステムの開発では、計測可能範囲が 20 m と狭いが、カメラと 3D LiDAR を融合させて作業者が行うコンテナ運搬作業時の作業行動を認識できる結果が得られた。

以上のように、本研究では、365 日休みなく行われる多様な農作業現場で、作業者の行動に合わせて自律走行しながら作業を支援する農業ロボットを開発するための重要な要素技術が開発された。



(a) 画像中のコンテナの検出結果



(b) 4 種類の作業状態マッピング結果

Fig. 5 柑橘栽培圃場の地表面・樹体抽出結果と樹体 3 次元表面形状から決定した作業経路

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鶴見桜子, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 130
2. 論文標題 エンドウ栽培ロボット自律走行のためのマルチ被覆畝認識と自己位置認識	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 栢田優希, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 130
2. 論文標題 人間協調型農業ロボットのためのLiDARとカメラを用いた作業空間内物体追跡	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中西龍太郎, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 130
2. 論文標題 自律走行型農業ロボットを用いた環境地図作成のための圃場空間内物体マッピング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 末松佑介, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 131
2. 論文標題 自律走行型農業ロボットのためのLiDARとカメラを用いた環境認識	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 13-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 久野桂介, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 131
2. 論文標題 果樹栽培収穫ロボット制御のための環境認識	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 15-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 久野桂介, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 128
2. 論文標題 狭空間における人間協調型農業ロボット自律走行のための環境認識システムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 末松佑介, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 128
2. 論文標題 人間協調型コンテナ運搬ロボットのための積卸し作業認識システムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 湯浅穂南, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 128
2. 論文標題 農業ロボット自動走行のための畦畔・作物認識システムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大村浩麻, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 129
2. 論文標題 農業ロボット自動走行のための走行路面および空間認識	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 51-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤優, 森尾吉成, 末松佑介, 久野桂介, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 132
2. 論文標題 人間協調型柑橘果実収穫ロボットのための圃場空間内果実マッピング	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中田茉由子, 森尾吉成, 末松佑介, 久野桂介, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 132
2. 論文標題 人間協調型柑橘栽培収穫ロボットのための圃場空間内物体追跡	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 尾崎瑠美, 森尾吉成, 末松佑介, 久野桂介, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 132
2. 論文標題 人間協調型農業ロボットのためのLiDARを用いた広範囲作業追跡	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 栢田優希, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 133
2. 論文標題 柑橘栽培収穫ロボットのための圃場空間内果実マッピング	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 15-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中西龍太郎, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 133
2. 論文標題 柑橘果実収穫ロボットのための環境認識とロボットアーム制御	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 37-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中島伸, 森尾吉成, 栢田優希, 中西龍太郎, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 134
2. 論文標題 人間協調型農業ロボット制御のための作業行動マッピング	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森本温登, 森尾吉成, 中西龍太郎, 栢田優希, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 134
2. 論文標題 柑橘栽培収穫ロボットアーム制御のための果実認識	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 井ノ下胤仁 , 森尾吉成, 柘田優希, 中西龍太郎, 内藤啓貴, 村上克介	4. 巻 134
2. 論文標題 柑橘栽培収穫ロボット制御のための樹体と作業空間認識	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 森尾吉成, 大村浩麻, 鶴見桜子, 中西龍太郎, 柘田優希, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 農業ロボット自律走行のためのステレオカメラおよび3D LiDARを用いた環境認識
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末松佑介, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 自律走行型農業ロボットのためのLiDARとカメラを用いた環境認識
3. 学会等名 関西農業食料工学会第146回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久野桂介, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 果樹栽培収穫ロボット制御のための環境認識
3. 学会等名 関西農業食料工学会第146回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤優, 森尾吉成, 末松佑介, 久野桂介, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 人間協調型柑橘果実収穫ロボットのための圃場空間内果実マッピング
3. 学会等名 関西農業食料工学会第147回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中田茉由子, 森尾吉成, 末松佑介, 久野桂介, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 人間協調型柑橘栽培収穫ロボットのための圃場空間内物体追跡
3. 学会等名 関西農業食料工学会第147回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾崎瑠美, 森尾吉成, 末松佑介, 久野桂介, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 人間協調型農業ロボットのためのLiDARを用いた広範囲作業追跡
3. 学会等名 関西農業食料工学会第147回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大村浩麻, 森尾吉成, 村上克介
2. 発表標題 農業ロボット自動走行のための走行路面および空間認識
3. 学会等名 関西農業食料工学会第144回例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鶴見桜子, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 エンドウ栽培ロボット自律走行のためのマルチ被覆畝認識と自己位置認識
3. 学会等名 関西農業食料工学会第145回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栴田優希, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 人間協調型農業ロボットのためのLiDARとカメラを用いた作業空間内物体追跡
3. 学会等名 関西農業食料工学会第145回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西龍太郎, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 自律走行型農業ロボットを用いた環境地図作成のための圃場空間内物体マッピング
3. 学会等名 関西農業食料工学会第145回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栴田優希, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 柑橘栽培収穫ロボットのための圃場空間内果実マッピング
3. 学会等名 関西農業食料工学会第148回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中西龍太郎, 森尾吉成, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 柑橘果実収穫ロボットのための環境認識とロボットアーム制御
3. 学会等名 関西農業食料工学会第148回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島伸, 森尾吉成, 柘田優希, 中西龍太郎, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 人間協調型農業ロボット制御のための作業行動マッピング
3. 学会等名 関西農業食料工学会第149回例会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森本温登, 森尾吉成, 中西龍太郎, 柘田優希, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 柑橘栽培収穫ロボットアーム制御のための果実認識
3. 学会等名 関西農業食料工学会第149回例会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井ノ下胤仁, 森尾吉成, 柘田優希, 中西龍太郎, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 柑橘栽培収穫ロボット制御のための樹体と作業空間認識
3. 学会等名 関西農業食料工学会第149回例会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森尾吉成, 末松佑介, 久野桂介, 中田茉由子, 佐藤優, 尾崎瑠美, 内藤啓貴, 村上克介
2. 発表標題 人間協調型柑橘栽培収穫ロボットのための圃場空間内物体マッピング
3. 学会等名 第80回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関