

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

令和 2 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：2017～2019

課題番号：17K08031

研究課題名(和文) MAN-ROBOT農業協働のためのビッグデータ学習可能な人工知能の開発

研究課題名(英文) Development of Artificial Intelligence to Self-Learn Big Data for Man-Robot Collaboration in Agricultural Field

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、農業ロボット用の人工知能を開発することを目的とした。中山間地域が多い日本の農作業現場では衛星測位システムが安定して利用できないことから、カメラに基づく自律走行型農業ロボットのためのナビゲーションシステムを開発した。ロボットが周囲の状況を認識し安全に配慮しながら作業者と協働することができるように、農業ロボットの自己位置を検出するとともに環境地図を作成するシステム、作業経路に沿ってロボットをナビゲーションするシステム、農作業空間内の主要物体を認識するシステム、作業者の作業動作から作業を支援するタイミングを判断するためのシステムを、それぞれ開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

衛星測位システムの信号が安定して得られない農作業現場では、自動車を自動走行させるためのシステムをそのまま使用することはできない。本研究では、カメラのみを用いてロボット車両や作業者の自己位置を正確に検出し、また、走行経路上に存在する農道、水路、畦畔、作物などの農業固有の物体を認識しながらロボットをナビゲーションする独自の人工知能システムを開発した。さらに、農作業現場で頻繁に行われるコンテナの運搬作業時のコンテナ積み下ろし動作を認識するシステムを開発するなど、農業ロボットの機能として必要とされる人工知能を開発した。

研究成果の概要(英文)： This study focused on the development of AI (artificial intelligence) systems for agricultural robots. As in many Japanese hilly and mountainous areas, the signal of GNSS cannot always be stably received, a visual-based navigation system has been developed for an autonomous agricultural robot. In order that the robot can recognize the surrounding scene and safely collaborate with workers, we have developed some types of AI systems, such as self-position detection systems, environmental map generation systems, robot navigation systems, agricultural major objects recognition and mapping systems, and worker assistance timing decision system, for agricultural robots in this study.

研究分野：農業機械学

キーワード：農業ロボット 人工知能 自己位置検出 環境地図作成 visual-SLAM 深層学習 作業動作認識 画像処理

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、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我が国では、農業基本法が1961年に制定されて以降、高米価政策や農業の機械化が進むにつれて兼業農家の割合が急増し、農業従事者数が急速に減少した。平成28年2月時点の農業従事者数は200万人を割り込み、65歳以上は65%を占め、担い手の弱体化が深刻な状況にあった。一方、失業者や非正規雇用者が増加する傾向にあり、都市部を中心に労働力が大量に余る時代に直面し、今後10年以内に消滅する職業が話題となるなど、働き方が大きく変化する時代が到来していた。日本の農業政策が大転換期を迎え、大規模経営や企業参加を奨励する方向に舵が切られ、農業ロボット産業が生まれる環境が整いはじめていた。稲作を中心に、ロボットトラクタやロボットコンバインも出現し始めてはいたが、開発されたロボットは汎用性はなく、人間と協働するための知能化は進んでいなかった。

### 2. 研究の目的

本研究は、農業ロボットが周囲の状況を認識しながら安全に自律走行でき、ロボットが作業者の動きに合わせて協働できるように、農業ロボット専用の人工知能を開発することを目的とした。特に、中山間地域が多い日本の農作業現場では衛星測位システムが安定して利用できないことから、カメラのみを用いた人工知能システムの開発を目指した。本研究では、具体的には、次に挙げる、1) 農業ロボットの自己位置検出・環境地図作成システムとロボットナビゲーションシステムの開発、2) 農作業空間内の主要物体認識システムと環境地図への物体描画システムの開発、3) 作業支援タイミング判断のための作業動作認識システムの開発、の3つのシステムを開発した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 農業ロボットの自己位置検出・環境地図作成システムとロボットナビゲーションシステムの開発

ロボットの自己位置検出・環境地図の作成のために、1号機として、図1(a)に示すように、前方と左右の3方向を観察する単眼カメラ3台を小型車両に搭載し、ロボット周囲の農場シーンをあらかじめ機械学習させておくことによって、ロボットの自己位置を認識するシステムを開発した。農場シーン中の特徴点の抽出にはSURF法を用い、機械学習アルゴリズムにはRandom Forestsを用いた。2号機として、図1(b)に示すような左右2眼を持つステレオカメラを用いてロボットや作業者の自己位置を検出し、環境地図を作成するシステムを開発した。自己位置検出と環境地図作成手法には、visual-SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 法の一つであるORB-SLAM法を用い、農作業現場固有の作業空間で頑健に動作するように、基本機能を拡張するカスタマイズを行った。

ロボットの走行経路を決定するシステムには、作業者がステレオカメラを移動させながらロボットよりも先に作業を行うことによって、ロボットの移動経路を作業の進捗に合わせて環境地図に描いていくシステムを開発した。

#### (2) 農作業空間内の主要物体認識システムと環境地図への物体描画システムの開発

ロボット車両が走行する農作業現場に存在する主要物体を認識し、環境地図上に描画するために、1号機では、図2に示すように、ロボット車両が走行する農道、農道の左右両端、さらには、交差点、農道に沿って存在する水路、ガードレール、ビニルハウス、建物、電柱といった物体を認識するシステムを開発するとともに、環境地図上に、農道の走行可能な路面と路面の左右両端を描画するシステムを開発した。物体の認識手法には、深層学習 (Deep Learning) 手法の一つであるYOLOv3 (YOLO: You Only Look Once, v3: version 3) 法を用い、物体の3次元位置情報は、ステレオカメラから得られる物体の深度情報とORB-SLAM法で取得されるステレ

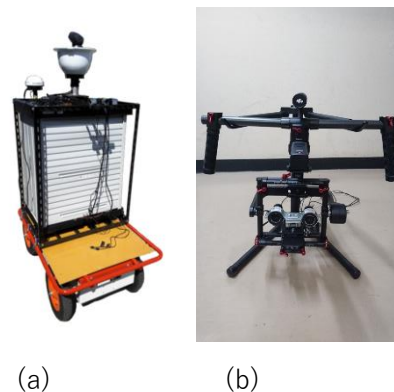


図1 ロボット車両とカメラシステム：(a)3方向単眼カメラを搭載した車両、(b)作業者も持ち運び可能な Web カメラを使ったステレオカメラシステム。

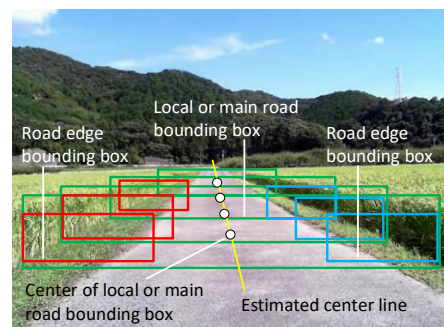


図2 深層学習を用いた農道領域と農道の左右両端の認識システム。



図3 コンテナを車両から下ろす作業動作の認識。

カメラの自己位置・自己姿勢情報を組み合わせることによって求めた。

2号機として、圃場周囲の畦畔や水路、圃場内の作物、農作業用倉庫内の物体を環境地図へ描画するシステムを開発した。1号機と同様に、畦畔、水路、倉庫内の物体認識手法には、YOLOv3を用い、環境地図上への認識物体の描画には、ステレオカメラによる深度情報とORB-SLAMによるカメラの自己位置・自己姿勢情報を用いた。

3号機として、圃場内に置かれた採集コンテナをロボットが運搬するために、収穫物が入れたコンテナの3段3列の積み方を認識するシステムやコンテナ3つで組まれる空きコンテナを認識するシステムを開発した。さらに、ロボットをコンテナ正面にナビゲーションするシステムも開発し、コンテナに対するロボットの6通りの姿勢（大きく左斜め、少し左斜め、正面、少し右斜め、大きく右斜め、側面）を深層学習手法のYOLOv3を用いて認識しながら、ロボットを誘導するシステムを開発した。さらに、ロボットに対するコンテナの相対的な3次元位置関係と、コンテナ側面にある把持穴の3次元位置を計測するシステムを開発した。コンテナ側面の把持穴の3次元座標は、コンテナの正面画像と深度情報を使いながら画像では観察できないコンテナの側面の穴の位置を推定する方法で計測した。

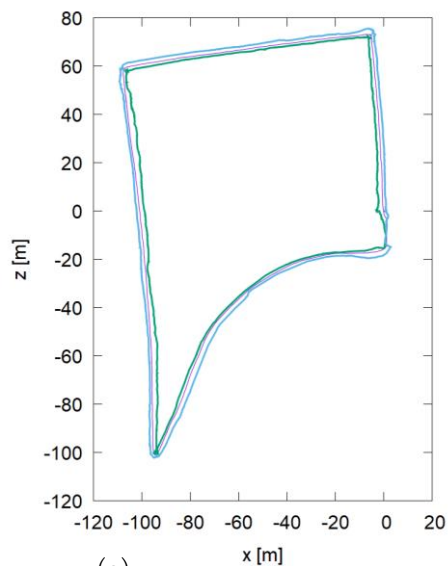
(3) 作業支援タイミング判断のための作業動作認識システムの開発

農作業者の動作に合わせて作業を支援するためのシステムとして、図3に示すような、作業者による車両へのコンテナの積み下ろし作業を認識するシステムを開発した。本システムでは、コンテナを積む作業と下ろす作業を区別でき、さらに、積み込み作業を開始時点と積み込み作業の終了時点をそれぞれ検出できる。また、同時に、積み下ろしたコンテナの数をカウントでき、積み下ろし作業者の車両に対する3つの相対的な位置関係（右側、前方、左側）を認識できるシステムを開発した。

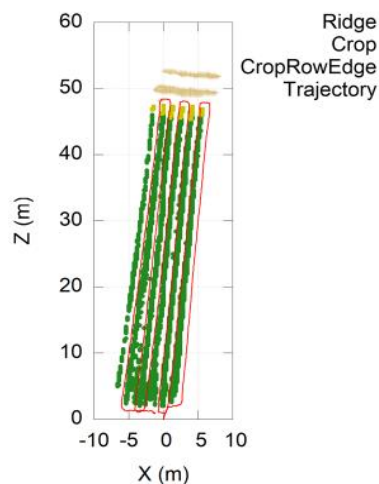
#### 4. 研究成果

(1) 自己位置検出・環境地図作成システムの検証実験では、我々が開発したシステムの自己位置計測性能を検証するため、比較対象として、全方位レーザーレーダー装置である3D LiDAR (Light detection and ranging)を用いたSLAM計測も同時に行い、衛星測位システムを用いた計測結果との比較を行った。平坦な圃場が大きく広がる作業現場では、開発したシステムが頑健に自己位置を計測でき、衛星測位システムに近い地図を取得できる結果が得られた。一方、LiDARを用いたシステムでは、自己位置を認識するための情報がレーザー情報からほとんど獲得できず、位置計測に大きく失敗する結果となった。

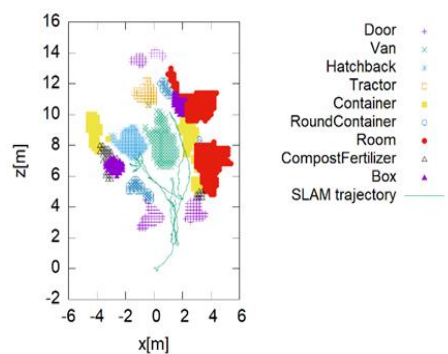
図4は、実験結果の一例であり、図4(a)は、全長約510 mの農道周回路を車両が走行したときの移動軌跡と農道の路面の左右両端の位置を環境地図のxz平面に描画した結果である。図4(b)は、エンドウ豆の栽培圃場内を作業者が移動したときの移動軌跡と、作物列とその作物列の終端、作物列終端付近にある畦畔をそれぞれ描画した結果である。図4(c)は、農業用倉庫内を作業者が移動したときの移動軌跡と、2種類の車両、倉庫扉、トラクタ、2種類のコンテナ、小部屋、肥料袋、梱包材を描画した結果である。この他にも、梅畑内の全長約120 mの作業者の移動軌跡と梅の木の位置を環境地図に同時に描画する実験や、耕耘直後の広大な圃場内の片道約110 mの4本の移動経路を描画させる実験、



(a)



(b)



(c)

図4 環境地図平面への物体の描画結果：(a)全長約510 mの農道上の道路両端（緑色と水色の線）と移動軌跡（紫色の線）の描画結果、(b)エンドウ豆の作物（緑色）、作物の終端（黄緑）、圃場端の畦畔（黄土色）、移動軌跡（赤）の描画結果、(c)農業倉庫内の主要物体描画結果。



さらには、茶畑内の片道約 40 m の 4 本の移動経路を描画させる実験を行った。いずれの実験においても、開発したシステムは頑健に動作する結果が得られた。

(2) ロボットナビゲーションシステムの検証実験では、コンテナからロボットまでの距離を 6 m 以内の範囲で、圃場内に置かれたコンテナの 6 通りの向き（大きく左斜め、少し左斜め、正面、少し右斜め、大きく右斜め、側面）が頑健に認識できることを確認した。さらに、ロボットに対するコンテナの相対的な 3 次元位置関係と、コンテナ側面にある把持穴の 3 次元位置を精度良く計測できる結果を得た。

(3) 作業支援タイミング判断のための作業動作認識システムの検証実験では、屋内と屋外の 2 種類の作業現場において、作業者がロボット車両荷台の左側、右側、正面の 3 カ所に立ち、4 個のコンテナを積み込む作業と下ろす作業をそれぞれ認識させた。図 5 に、屋内における積み込み動作時に深層学習が認識した作業者、コンテナなどを認識している様子を示している。実験では、コンテナを把持し始めた時点とコンテナの積み込み動作が終了した時点の 2 つのタイミングを頑健に認識できる結果が得られた。また、車両に対する作業者の位置関係（右側、前方、左側）も良好に認識できる結果を得た。

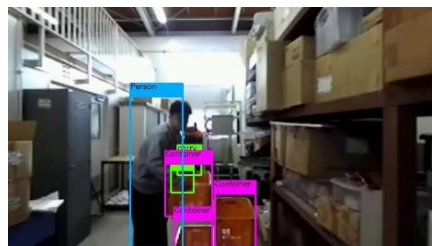


図 5 コンテナを車両に積む作業動作における YOLOv3 の認識箇所。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 2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 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 -
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 -
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 -
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 Yoshinari Morio, Ryosuke Nagaya, Hiroma Omura, Yuki Makibuchi, Katsusuke Murakami	4. 巻 Part C, 8(1)
2. 論文標題 Vision-based localization and mapping system for navigating autonomous agricultural vehicle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Comprehensive Engineering	6. 最初と最後の頁 33-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14270/IJCE2019.C00210.10	査読の有無 有
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 Yoshinari Morio, Yuya Hanada, Yuta Sawada, Katsusuke Murakami	4. 巻 12(3)
2. 論文標題 Field Scene Recognition for Self-Localization of Autonomous Agricultural Vehicle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Engineering in Agriculture, Environment and Food	6. 最初と最後の頁 325-340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eaef.2019.03.001	査読の有無 有
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 永谷良介, 森尾吉成, 大村浩麻, 村上克介	4. 巻 125
2. 論文標題 農作業支援ロボットのための走行路周辺環境認識システムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部支部報	6. 最初と最後の頁 33-34
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 巻淵優紀, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 125
2. 論文標題 農作業支援ロボットのための作業空間内主要物体認識システムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部支部報	6. 最初と最後の頁 35-36
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 森尾吉成, 永谷良介, 巻淵優紀, 大村浩麻, 村上克介	4. 巻 OS2-4
2. 論文標題 農業用自動走行車両のための画像に基づく環境認識技術の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学第6部会合同国際大会講演要旨	6. 最初と最後の頁 30-30
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 田中基暉, 森尾吉成, 大村浩麻, 村上克介	4. 巻 127
2. 論文標題 コンテナ運搬ロボットののためのナビゲーションシステムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会会報	6. 最初と最後の頁 33-34
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 森尾吉成, 澤田勇太, 塩地正崇, 田中基暉, 村上克介	4. 巻 085-1
2. 論文標題 農作業知的支援可能なロボット車両開発のための農業シーン認識	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業環境工学関連学会2018年合同大会講演要旨集	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 大村浩麻, 森尾吉成, 永谷良介, 卷淵優紀, 村上克介	4. 巻 126
2. 論文標題 農業用自動走行車両のための画像に基づく環境認識技術の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部支部報	6. 最初と最後の頁 29-29
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 塩地正崇, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 124
2. 論文標題 農作業知的支援のための作業シーン認識	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 28-28
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 田中基暉, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 124
2. 論文標題 農道自律走行可能なロボット車両開発のためのシーン認識	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 29-29
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 Yoshinari Morio, Yuta Sawada, Masataka Shioji, Motoki Tanaka, Katsusuke Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Field scene recognition for navigating autonomous agricultural vehicle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of The 9th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering (ISMAB2018)	6. 最初と最後の頁 693-698
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 澤田勇太, 森尾吉成, 永谷良介, 村上克介	4. 巻 123
2. 論文標題 ロボット車両自律走行のための農道シーン認識	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	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 永谷良介, 森尾吉成, 村上克介	4. 巻 122
2. 論文標題 農道自律走行可能なロボット車両開発のための状況認識システム	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 29
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 森尾吉成, 寺本光貴, 三和 誠, 永谷良介, 村上克介	4. 巻 -
2. 論文標題 農道自律走行可能なロボット車両開発のための状況認識システム	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第76回農業食料工学会年次大会講演要旨	6. 最初と最後の頁 202
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11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 森尾吉成, 永谷良介, 巻淵優紀, 大村浩麻, 村上克介
2. 発表標題 農業用自動走行車両のための画像に基づく環境認識技術の開発
3. 学会等名 2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学第6部会合同国際大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中基暉, 森尾吉成, 大村浩麻, 村上克介
2. 発表標題 知的作業支援のための深層学習を用いた作業記録システムの開発
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第142回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinari Morio, Yuta Sawada, Masataka Shioji, Motoki Tanaka, Katsusuke Murakami
2. 発表標題 Field Scene Recognition for Navigating Autonomous Agricultural Vehicle
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering (ISMAB2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森尾吉成, 澤田勇太, 塩地正崇, 田中基暉, 村上克介
2. 発表標題 農作業知的支援可能なロボット車両開発のための農業シーン認識
3. 学会等名 農業環境工学関連学会2018年合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永谷良介, 森尾吉成, 大村浩麻, 村上克介
2. 発表標題 農作業支援ロボットのための走行路周辺環境認識システムの開発
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第140回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 巻淵優紀, 森尾吉成, 村上克介
2. 発表標題 農作業支援ロボットのための作業空間内主要物体認識システムの開発
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第140回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大村浩麻, 森尾吉成, 永谷良介, 巻淵優紀, 村上克介
2. 発表標題 農業用自動走行車両のための画像に基づく環境認識技術の開発
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第141回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森尾吉成, 寺本光貴, 三和 誠, 永谷良介, 村上克介
2. 発表標題 農道自律走行可能なロボット車両開発のための状況認識システム
3. 学会等名 第76回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 澤田勇太, 森尾吉成, 永谷良介, 村上克介
2. 発表標題 ロボット車両自律走行のための農道シーン認識
3. 学会等名 第138回農業食料工学会関西支部例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塩地正崇, 森尾吉成, 村上克介
2. 発表標題 農作業知的支援のための作業シーン認識
3. 学会等名 第139回農業食料工学会関西支部例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中基暉, 森尾吉成, 村上克介
2. 発表標題 農道自律走行可能なロボット車両開発のためのシーン認識
3. 学会等名 第139回農業食料工学会関西支部例会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----