

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05897

研究課題名(和文)ベニバナ収穫ロボットの開発

研究課題名(英文)Development of safflower harvesting robot

研究代表者

片平 光彦 (Katahira, Mitsuhiro)

山形大学・農学部・教授

研究者番号：20390940

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではベニバナ生産を活性化して地域産業を維持するため、栽培から収穫までの作業を効率化する栽培管理ロボットを開発し、人工知能AI(Deep Learning)によるベニバナ花弁と蕾の検出、収穫用ロボットアーム、花弁吸引格納装置、移動台車の開発をそれぞれ行った。Deep Learningによる蕾、花弁の検出精度は約80%であり、物体認識に活用できるレベルであった。収穫部は、回転刃式とバリカン式を開発してほ場試験を行った結果、バリカン式の回収率が良好であった。パラレルリンク式のロボットアームは腕長さが不足していたため、ベニバナを認識できている範囲の中から1/3程度のエリアに収穫範囲が限定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ベニバナ(*Carthamus tinctorius* L.)は、初夏に半径2.5～4.0cmのアザミに似た花を咲かせるキク科の一年草である。ベニバナを染料などで利用するには収穫時に草型の最上位に位置する花弁を大量に収穫する必要がある。しかし、生産現地ではベニバナの収穫が手作業での摘み取りを中心としているため、作業能率が101～143h/10aを要するなど作業効率が低く、収穫量が限定される。本研究ではベニバナ生産で課題となっている栽培や収穫作業を効率化する栽培管理ロボットの開発を目的に、AIによるベニバナ花弁と蕾の検出とロボットアーム、収穫部の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Safflower is a crop cultivated in the Middle East and is an annual plant of the Asteraceae family with a height of 0.5 to 1.0 m and a radius of 2.5 to 4.0 cm in early summer. Safflower is used for high quality foods and high-quality cosmetics, but harvesting is worked by hand, therefore the work efficiency is low. In this study, we developed a cultivation management robot to increase the efficiency of the process from cultivation to harvest, aiming at revitalizing the production of safflower, a local specialty agricultural product. Utilization of buds and flowers utilized, moving the robot arm to the detected flower, harvester operation attached to the bottom of the robot arm, suction and storage operation of petals cut by the harvester.

研究分野：農業機械学

キーワード：人工知能 ロボットアーム ベニバナ 収穫

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ベニバナ (*Carthamus tinctorius* L.) は中近東で栽培化された作物で、草丈 0.5 ~ 1.0m、初夏に半径 2.5 ~ 4.0cm のアザミに似た花を咲かせるキク科の一年草である。日本でのベニバナ栽培は室町時代末期に始まり、江戸時代中期には重要な換金作物として山形県の最上川流域で作付けが拡大して日本一の生産量を誇り、「紅」の染料として織物や化粧品などの日本文化を支えた。宝暦期 (1571 年 ~) には乾燥花餅 120kg で 5 万両の金額で取引され、「京紅」や紅染めの原料として全国の 6 ~ 7 割を山形県産が占めていた。その後、ベニバナは中国産や化学染料の輸入のため明治末以降から生産が大きく減少したが、山形県では昭和 43 年に加工用品種である「モガミベニバナ」を選抜育成するなど生産復興に力を注ぎ、生産性と品質の改善をはかることで産地の回復を実現した。山形県ではベニバナを昭和 57 年に県の花に定め、現在、村山・置賜地方を中心に栽培 (7.2ha : 平成 25 年度, 生産量 275kg : 平成 28 年度) しており、世界農業遺産への登録に向けた取り組みを進めている。

ベニバナを染料や機能性食品として利用するには、草型の最上位に位置する花卉を大量に収穫する必要がある。しかし、生産現地ではベニバナの収穫が手作業での摘み取りを中心としているため、作業能率が 101 ~ 143h/10a を要するなど作業効率が低く、収穫量が限定されるといった問題がある。また、手作業での収穫は朝露や葉の棘の影響で重労働であるため、新規参入者や収穫労働者の確保に際しても大きな障害になっている (図 1)。重労働であるベニバナの収穫については、機械収穫による効率化が古くから検討されている。山形県ではハンディタイプの収穫機を試作し、花卉の切断応力が 2.8 ~ 11.5N、開発機の作業能率が 570g/h (人手 : 579g/h) であることを明らかにした。しかし、開発機は一花ずつ摘み取る形式のため作業能率が人手と同程度であるといった問題点があった (後藤ら, 2007)。海外ではベニバナ種子から抽出される油を利用するため、汎用コンバインを用いた大規模収穫が主流である。花卉の収穫は一般的でないが、エンジンファンを回転させて発生させたエアで花卉を吸引する形式の収穫機が開発されている (Siavash, A., et al., 2015)。しかし、開発された機械は大型であり、夾雑物も多いため実用化まで至っていない。

2. 研究の目的

本研究では地域特産農産物であるベニバナの栽培面積と収穫量を拡大し、生産農家の収益増加による地域の活性化を目的に、課題となっている収穫作業を効率化するベニバナのロボット収穫機を開発する。開発するベニバナ収穫ロボットはベニバナの花弁のみを収穫し、人手と同等の回収率、省力化率 50% を実現できる作業能率を目標とする。

3. 研究の方法

(1) 花卉の認識と自動化については、初年目にほ場やプランターで栽培したベニバナから画像データを取得し、それを黄色と赤の花弁、葉の部分に抽出する画像処理法を確立する。また、得られた画像データは、花弁や葉などにラベル付けして教師データとし、Deep learning による AI エンジンの作成を行う。2 年目以降はデータのフォーワード・バックワードプロパゲーションによる機械学習精度の更新、学習済みモデルを用いたベニバナ花弁認識精度の向上をはかる。

(2) 走行部は初年目にベースとなる自律 4 輪駆動車をベニバナ対応の機体に改造し、生産ほ場での走行性を確認する。2 年目以降は、前年の結果を基に走行部の改良を行い、アーム部と花弁認識 AI エンジン、走行部それぞれを制御するプログラムを分散型プラットフォームの環境で開発する。

(3) 収穫アームの開発では、初年目に 3 軸直交方式とパラレルリンク方式のアームを試作し、ほ場やプランターで栽培したベニバナでその適応性を評価する。2 年目以降は選定したアームを走行部に実装させ、認識部と連動したアームの制御プログラムの開発を行う。

(4) 栽培方法では、初年目に条間を 2 種類とした試験区を作成し、倒伏程度とベニバナの生育量を調査する。2 年目以降は、前年の結果を基にベニバナ収穫ロボットの適応性、収穫精度、収穫作業能率について検討する。

4. 研究成果

(1) ベニバナ花弁と蕾の検出

ベニバナ花弁と蕾の検出は、2018 年 7 月と 8 月にアクションカメラ (Sony , HDR-AS30V) での撮影映像 (1080p , H, 264) を用いた。撮影した映像からは蕾、花弁が写っている部分を Windows10 付属の Spinning Tool を用いて切り出し、入力データ画像サイズを GPU の処理を効率化するため 60MB 以下にした合計 2495 枚を作成して学習させた。学習にはラベル付け (アノテーション) ツールとして、labelImg (Linux_v1.4.3) を用いて「bud」、「flower」にラベル付けを行った。物体認識 (推論) アルゴリズムの作成は、ラベル付けをした学習対象の画像を用いて重みデータ (推

論部))の作成を行った。

静止画での入力データ数別の花卉の検出率調査結果を図1に示す。花卉検出率は学習回数を増やすにつれて一次関数的に高くなり、10000回以上の学習で80%程度となった。なお、この傾向は蕾も同様であった。

個体の検出はデジタルHDビデオカメラレコーダーに対して正対しており、静止画像に明確に写っておりしているものが良好であった。しかし、不整形な個体やビデオカメラに対して正対していない個体、遠距離で特徴抽出ができない個体群は検出されない傾向にあった。また、他の静止画では葉に隠れていて大部分が検出できない個体、暗がりにある個体で検出されない場合があった。検出率が80%付近で飽和したのはこれらの個体を検出できなかったことが要因である。動画での入力データ数別の花卉の検出率は、学習回数を増やすにつれて一次関数的に増加した。10000回から50000回の学習では花卉の検出率が80%程度で安定し、データ数間に5%水準で有意差が生じた。

静止画は1静止画当たりの花卉数平均19.8個が写っているが、動画は1動画当たり平均251個の花弁が写っているため、写っている花弁が多様であった。入力データ数の多い2495枚(花弁の数18238個)のデータセットは424枚(花弁の数1668個)のデータセットと比べて学習した花弁の種類が多かったため、動画中の花弁の多様性に対応して有意差が生じる結果となった。なお、蕾は434枚のデータセットに1006個が含まれており、2495枚のデータセットにはその約8.25倍の8307個が含まれていた。

以上から、蕾と花の認識では大量な画像データを学習させることで、多様な物体に対する重みデータの精度が高くなり、かつ10,000回程度の学習回数で約80%まで認識できる。本収穫ロボットの設計思想として、ロボットで収穫できる場所はロボットで行い、ロボットで摘み取りできなかった花弁は人手で収穫する協調ロボットと位置付けており、約80%の花弁の認識能力で十分な精度と思われる。

(2) ロボット台車(ベースユニット)

1) 4輪式: ベースユニットは、3相動力線ホールセンサ付きインホイールモータ(300W, 24V)と内蔵タイヤ(32.5cm, CXZ-M3)を2本使用した。モータドライバーは、専用ブラシレスコントローラ(ティーエーシー, T-BLDC-1 12V-36V, 400W/ch)を実装した。本モータコントローラはUARTを持ち、そこにBluetooth信号受信用のUSB Dongglを接続してDualshock2 Bluetoothリモコンを接続した。ロボットの制御はZOTAC ZBOX MAGNUS EN31050 (Intel Core i3-7100T (dual-core 3.4 GHz), 8GB DDR4 Memory + 1TB SSD, NVIDIA GeForce GTX 1050 (GPU Core数: 640個) 2GB GDDR5 128-bit、以下ZBOXと呼称)で行い、OSとしてUbuntu 16.04 + ROS Kineticを用いた。この動作環境上にはDeep Learningによる物体認識動作(推論動作)に必要なNVIDIAドライバー、並列演算ライブラリー“CUDA”、Deep Learning用の演算ライブラリー“CuDNN”、映像を扱うライブラリー“OpenCV”の開発環境がそれぞれインストールされている。なお、ZBOXにはリモコンの代わりにコマンドでも動作できるようにした。摘み取り動作は、ZBOXでのリアルタイム認識でGPUを動作させることから約5Aで110Wの最大消費電力を安定供給する必要がある。そのため、ロボットには軽自動車用の鉛バッテリーを直列に2個つなぎ、電力量を確保した。本容量は、5時間率容量(Ah)(容量の1/5の電流を放電し(25%)、10.2Vまで放電できる時間と電流の積)で28Ahであった。ロボットのシステム構成を図2に示す。

4輪式ロボット台車は、左右の駆動輪のインホイールモータ間に回転差があり、ロボットが直進できなかった。本インホイールモータは左右独立して制御されており、直進する場合は左右モータのスピード制御を行う必要があった。直進時はプログラム上で

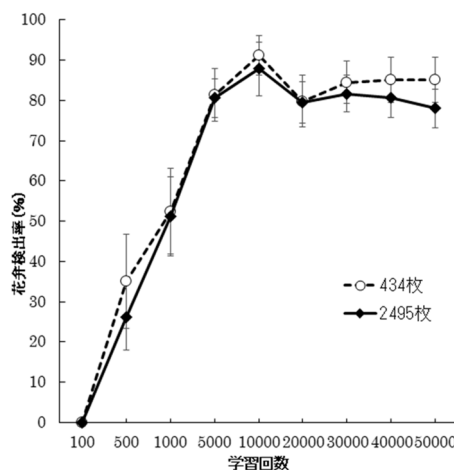


図1 静止画での学習回数の違いがAIの花弁検出率に与える影響

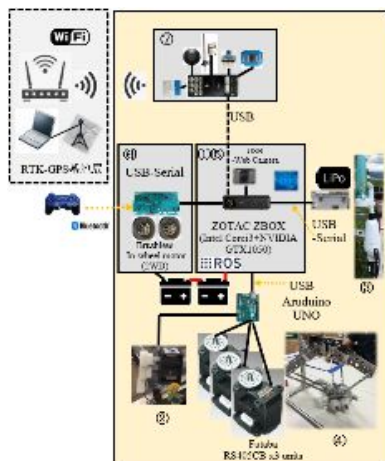


図2 移動ロボットシステム構成



図3 クローラ式台車

左右のスピードを合わせていたが、実際のスピードは異なっていた。その原因はインホイールモータ内蔵の制御プログラムで三相のホールセンサの出力を認識し、スピードに対してフィードバック制御を加えていたが、ホールセンサの判断プログラムにミスがあり、左右のモータの実際のスピードが異なっていた。そこで、左右のセンサー出力と回転数が一致するように修正し、直進できることを確認した。

2) クローラ式: 4輪式は走行性に問題があったため、走行部をクローラ式にした台車を開発した。クローラ式ロボット台車は、市販のリチウムイオン電池と小型モバイルバッテリーで電力を確保し、走行を安定化させるため、クローラの前後に補助輪を付けた(図3)。ロボットの制御構成は4輪式と同様である。

クローラ式ロボット台車は、舗装された平坦な道、実験ほ場などでスムーズな走行を見せた。台車はタイヤをクローラに代えて補助輪を導入したため、安定性が向上したことで超信地旋回や凹凸のある道の走破も可能になった。しかし、台車は上記のいずれの条件下でも直進せず、徐々に右にカーブした。これは、左右のモーターで性質が違い、片方の回転数を上げようとするともう片方の回転数が指数関数的に上昇することで発生した。これを解決するためには現在の曲がり具合を計測し、コンピューターからモーターを補正する必要がある。

(3) ロボットアーム

1) 平行リンク式: 収穫用ロボットアームシステム(平行リンク式: 図4)はPC(OS: Ubuntu 14.04, CPU: intel Core i5 6500, グラフィックボード: Geforce GTX960 Single Fan 4GB メモリ: 8GB)で駆動される。PCにはROS(indigo)がインストールされ、Pythonで制御プログラムを作成した。収穫用ロボットアームシステムの有効性を確認するため、造花で事前検証実験を行なった。図5に示す8箇所の位置に造花を配置し、Webカメラで認識し算出した位置座標をもとに各サーボモーターの目標角度を算出し、マニピュレータが動作して静止した手先位置の座標を比較することで検証した。図5の座標(0, 0, -335)はBase Frameの中心位置を原点とした座標を表し、手先の座標が原点から距離335mmの位置にあることを意味する。各点における目標位置、Webカメラによる算出値、実機実験による手先位置の座標を表1に示す。表1から、目標位置とWebカメラで算出した位置の最大誤差はx軸方向で約4mm、y軸方向で約9mm、z軸方向で約18mmとなっている。

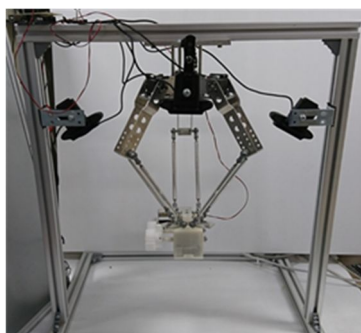


図4 平行リンク式
ロボットアーム

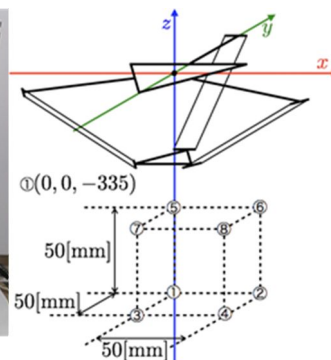


図5 花卉の配置場所

表1 Webカメラの算出値と手先位置(mm)

番号	目標位置	Webカメラによる算出値	手先位置
	(0, 0, -335)	(-0.7, -8.8, -329.2)	(4, -9, -334)
	(50, 0, -335)	(48.9, -6.2, -330.8)	(53, -7, -336)
	(0, -50, -335)	(-0.7, -56.9, -327.6)	(3, -59, -337)
	(50, -50, -335)	(51.6, -54.9, -332.4)	(55, -54, -341)
	(0, 0, -285)	(-2.3, -6.1, -274.2)	(2, -5, -287)
	(50, 0, -285)	(47.3, -6.8, -275.9)	(55, -8, -284)
	(0, -50, -285)	(1.9, -56.1, -267.1)	(3, -60, -278)
	(50, -50, -285)	(45.9, -54.5, -267.2)	(54, -59, -275)

花弁を摘み取ることを考えれば、ほぼ問題ない誤差であり、Webカメラを用いて花弁の位置が正確に測定できていると考えられる。また、目標位置と実際の手先位置との最大誤差はx軸方向で約5mm、y軸方向で約10mm、z軸方向で約10mmであり、Webカメラ画像で算出された座標から平行リンクマニピュレータの手先位置を的確に制御できていることがわかる。以上から、実際の花弁の大きさを鑑みても、摘み取りにおいて本システムを用いることで十分な精度で花弁の摘み取りが可能といえる。

平行リンク式アームのほ場試験では、腕長さが不足していたため、ベニバナを認識できている範囲の中から1/3程度のエリアに収穫範囲が限定された。アーム制御に関し、1個のWebカメラでは死角が多く発生したため、Webカメラの増設による死角の軽減が必要であった。

2) 3軸直交アーム式: 3軸直交アームは、XY軸ユニットとZ軸ユニットで構成した。XY軸ユニットの駆動は2個のステッピングモーター(BULKMAN 3D 23HD56001Y-21B)で行われ、マイクロスイッチで停止位置を制御する。動作制御は、Arduino UNO + CNC Shield(CNC開発キット)をベースに開発され、コンピューター(Lenovo(Corei7) Lenovo Legion Y740)からPythonによるオリジナルプログラムで行った。なお、装置は遠隔制御を可能にするため、Bluetoothアダプタ(Protoneer.co.nz)を追加した。Z軸ユニットは、トルク重視型のアーム(Linear Actuator 24V DC)を活用した。アームはポテンションメータを内蔵しているため、電流での位置制御が可能である。Z軸ユニットは、モータードライバ(BTS7960B DC-43)の回路で昇降の制御(1chは上昇、2chは下降)を行う。アームの位置調整はマイコン(EPS32)からモータードライバに動作信号を送出して行う。Z軸ユニットはXY軸ユニットと同様に、コンピューターからPythonによるオリジナルプログラムで遠隔制御が可能である。Webカメラから入力された画像データは、Cベースのオープンニューラルネットであるdarknetと物体検出アルゴリズムYoIov3で花弁を

認識している。認識された花卉は、3軸直交アームの可動域内であれば3軸直交アームが駆動して収穫部を花卉位置まで移動する。3軸直交アームの可動域は、Webカメラの入力データとアームの動作限界から判断する。

改良したシステムは、花卉の検出と動作範囲を拡大できたが、パラレルリンク式と同様にZ軸の情報取得方法と花卉との茎の固定機構に問題があり、花卉を十分に収穫できなかった。

(4) 収穫部 (エンドエフェクタ)

花卉収穫部 (エンドエフェクタ) は、回転刃式3つとバリカン式2つを用意した (図6)。

回転刃式収穫部は、花卉を収めるケースと花卉が挿入される穴が開いた蓋で構成した。ケースの内部は角ゴムロール2本とモーターを含む花卉摘み取り部 (鶴岡高専設計・製作) を配置した。2つの対向した直方体 (各ゴムロール) は、時計回りと反時計回りに回転する。直方体にはカッターの刃が取り付けられており、直方体が回転することで花卉を切断する。試作した回転刃式は、収穫部大型・ギア大型 (R1型) 収穫部小型・ギア大型 (R2型) モーター24V化・収穫部小型・ギア小型 (R3型) である。バリカン式収穫部は花卉を側面から収穫することを目的に、バリカン型の花采收穫部と刈り取った花卉を収穫する吸引口で構成した。試作したバリカン式は、ハサミ型 (PAOCK 充電式ハサミ RES-3.6V) (B1型) 芝刈り機型 (WORKPRO 芝生バリカン 2WAY 芝刈り機 ガーデン 植木 剪定 コードレス 充電式) (B2型) である。



図6 試作した収穫部 (左: R1型、左2: R2型、中央: R3型、右2: B1型、右: B2型)

収穫部の性能評価試験では、回転刃式でモーターのパワーが足りないため、花卉が収穫部に入るとモーターの回転が低下したため、花卉をすべて収穫することができなかった。また、刈り取りができた花卉は、バキュームに吸い込まれずに落下することがあり、刈取花卉の重量を少なくした。これらを解決するには、モーターのパワーとバキュームの吸引力を改善する必要がある。また、花卉は収穫部の蓋の穴よりも大きい場合に穴に入らず、うまく刈り取りを行えないこともあった。バリカン式はいずれも高い収穫率を示した。これは、バリカン式の課題である茎が収穫部に押されて倒れる現象が、茎を手で把持することで解消されたことが理由である。回転刃式とバリカン式の間には明確な有意差があったが、R1型・R2型・R3型間とB1型・B2型間には有意差がなかった (表2)。これらの結果から、ペニバナ収穫部にはバリカン式が有効である。

(5) 栽培試験の概要

2019年に行った収量調査の結果を表3に示す。

草丈は4月播きで104.8cm、5月播きで90.2cm、6月播きで87.3cmであった。4月播きと5・6月播きの間に5%水準で有意差がみられた。本研究で開発するロボットの地面からアームの先にある収穫部までの長さは95cmから110cmとなっている。そのため、4月播きの作型が花卉の収穫に適しているといえる。しかし、草丈は高くなるほど倒伏しやすくなるため、マイカ線等で倒伏を防止することが必須となる。

生花卉収量と乾燥花卉収量は1㎡当たりで算出した。4月播きで104.8g、5月播きで36.3g、6月播きで22.3gであった。4月播きと5・6月播きの間で5%で有意差があった。また、乾燥花卉収量は4月播きで27.4g、5月播きで19.0g、6月播きで14.6gであった。播種日間に5%水準で有意差がみられた。開花数は4月播きで20.2個、5月播きで11.5個、6月播きで13.0個であった。播種日と列数の間に5%水準で有意差がみられた。花蕾数は4月播きで5.5個、5月播きで7.4個、6月播きで8.7個であった。4月播きと6月播きの間に5%水準で有意差がみられた。2つのバッテリーからロボットを稼働するためのすべての電力を補っているため、開花数が多すぎず花蕾数の多い作型で短時間かつ長期的な作業ができる環境が求められる。そのため、収穫に適した作型は開花数が多過ぎず、今後長期的に収穫が出来る花蕾数が多い作型である。この条件に合い、それに適する作型としては、5月播きが考えられる。この作型は開花数が最低水準の20.2個であり、花蕾数では中間の値の7.4個である。

表2 各収穫部の性能評価

	刈取花重量(g)	全花重量(g)	収穫率
R1型	0.14(0.067)	0.39(0.130)	0.28(0.278) b
R2型	0.07(0.032)	0.19(0.039)	0.31(0.145) b
R3型	0.05(0.039)	0.15(0.043)	0.19(0.220) b
B1型	0.25(0.064)	0.27(0.063)	0.93(0.065) a
B2型	0.16(0.065)	0.17(0.068)	0.97(0.039) a

注1: 括弧内の数値は標準偏差を表す

注2: Tukey異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり

表3 播種時期の違いがペニバナの生育に与える影響

	草丈 (cm)	生花卉収量 (g/株)	乾燥花卉収量 (g/株)	開花数 (個/株)	花蕾数 (個/株)
4月播き	104 a	4.7 a	1.2 a	20.2 a	5.5 a
5月播き	90 b	1.6 b	0.5 b	11.5 b	7.4 ab
6月播き	87 b	1.0 b	0.3 c	13.0 c	8.7 b

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shigeru Ichiura, Hideyuki Yoshihiro, Kazuya Sato, Ryoji Onodera, Mitsuhiko Katahira	4. 巻 2000491
2. 論文標題 Safflower Production Management ECOSYSTEM with AI harvester	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting 2000491	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.13031/aim.202000491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 市浦茂, 相樂あゆみ, 桑原一樹, 森智洋, 片平光彦, 吉弘季幸, 佐藤和也, 小野寺良二	4. 巻 66
2. 論文標題 ベニバナ生産管理ロボットの開発（第一報）	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会東北支部報	6. 最初と最後の頁 33-36
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 市浦茂, 相樂あゆみ, 桑原一樹, 森智洋, 片平光彦, 吉弘季幸, 佐藤和也, 小野寺良二
2. 発表標題 ベニバナの生産管理ロボットの開発（第一報）
3. 学会等名 農業食料工学会東北支部報
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市浦茂, 佐藤和也, 桑原一樹, 森智洋, 片平光彦
2. 発表標題 ベニバナの生産管理ロボットの開発
3. 学会等名 国際食品工業展2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeru Ichiura, Hideyuki Yoshihiro, Kazuya Sato, Ryoji Onodera, Mitsuhiko Katahira
2. 発表標題 Safflower Production Management ECOSYSTEM with AI harvester
3. 学会等名 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------	---------