

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14751

研究課題名（和文）羽ばたきコミュニケーションを瞬時に読み取るミツバチカメラの研究

研究課題名（英文）A study of a honeybee camera instantly recognizes flapping communication

研究代表者

島崎 航平（Shimasaki, Kohei）

広島大学・デジタルものづくり教育研究センター・特任助教

研究者番号：20867303

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）：本研究では高速ビジョンを用いた音声周波数レベルの羽ばたきコミュニケーションを実時間イメージング・定量化するミツバチカメラの研究を行った。仲間に蜜源の場所を教える8の字ダンス等を例として、CNN認識によるミツバチ位置・姿勢検出と画素レベルデジタル信号処理による羽ばたき検出を組合せた、個体毎のコミュニケーション定量化アルゴリズムを提案した。また500fps画像で実時間動作する高速ビジョンをミツバチカメラとして開発した上で、農研機構ミツバチユニット協力下、巣内の8の字ダンスの長時間モニタリングを実施し、季節で変化する蜜源位置に対する尻振りダンス検出によるオンライン定位実験等を通し、有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して進めてきた、デジタル信号処理の全画素実装により、ミツバチの羽ばたきを画素単位で実時間検出し、ダイナミクスベース画像認識技術を内包した新機軸の生物行動モニタリングシステムとして、これまで明らかにされていないミツバチの社会性アクティビティを示す羽ばたきコミュニケーション定量化を実現する点で、学術的意義がある。また、本研究で開発した技術は単一画像の空間アピランスのみでは検出が難しい、飛翔生物固有の羽ばたきパターンによる生物種判定に基づき、個体群での羽ばたきコミュニケーションを可視化し、群社会性を示す蜂群アクティビティを定量化するミツバチカメラとして社会的意義をもたらす。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated a honeybee camera for real-time imaging and quantification of wing flapping communication at the audio frequency level, starting from the vibration imaging research using high-speed vision. We proposed a high-speed vision algorithm to quantify individual wing flapping communication by combining the position and orientation detection of honeybees by CNN recognition and the wing flapping detection by pixel-level digital signal processing. We also developed a high-speed vision camera that can operate in real time for 1000 fps images as a honeybee camera, and conducted long-term monitoring of the figure-8 dance in the hive with the cooperation of the Honeybee Unit of the NARO. The effectiveness of the bee camera based on high-speed vision was demonstrated through these experiments.

研究分野：計測工学関連

キーワード：アクティビティセンシング 生物モニタリング 高速ビジョン 振動イメージング 振動源検出 高速対象追跡 短時間フーリエ変換 画素レベル信号処理

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

農作物の花粉交配を行うミツバチは重要な生産動物である一方で、些細なインシデントでの個体群崩壊が養蜂管理で問題であり、その未然予知に向けた蜂群モニタリングへの強い要求がある。ミツバチは数千～数万匹の群をなす社会性昆虫であり、羽ばたきを伴うコミュニケーションダンスでの羽ばたき計測ができれば、蜜源位置・蜜貯蔵状態・外敵接近等の事象や個体群崩壊に直結したコミュニケーション不足等を検知可能となる。蜂群モニタリングとして巣内温度・湿度・重量計測ともに羽音強度・周波数モニタリングや蜂群画像解析の事例があるが、前者は音の低指向性から個体間の羽ばたき音分離が難しく、後者は羽ばたき周波数よりも低い数十 fps の標準ビデオレート撮影であり、社会性に直結した羽ばたきによる個体間インタラクションは観察されていない。

本研究で開発したミツバチカメラは、音声周波数レベルの振動分布が観測できる高速ビジョン技術を起点とした、広域にわたる複数ミツバチの高空間指向性での羽ばたき観測を実現可能とし、空間パターンに依存した従来画像処理とは一線を画した形で、音声周波数帯域での画像認識技術と振動解析技術が統合したダイナミクスベース画像認識技術を実装し、インシデントを未然に防ぐ蜂群アクティビティモニタリング技術に直結すると考え、本研究の着想に至った。

## 2. 研究の目的

画素レベルでの振動イメージング等の高速ビジョン技術に基づいた、目視不能な羽ばたき振動分布を可視化するミツバチカメラの開発とともに、農研機構ミツバチユニットの生物系研究者と連携した養蜂現場サイトでの巣内の 8 の字ダンスの長時間モニタリング実験を通じた、社会性昆虫としての蜂群アクティビティ指標となる羽ばたきコミュニケーションのオンライン定量化を実現することを目的とする。

RFID 等を装着せずに羽ばたきパターンに基づいた種同定・アクティビティ計測を可能とする全画素輝度信号に対する短時間フーリエ変換の並列実行により、複数個体の羽ばたき動作を同時検出するミツバチカメラを開発するとともに、巣箱内の長時間モニタリングに基づくオンライン蜜源定位実験等を通してその有効性を示す。

## 3. 研究の方法

複数周波数帯域を分離可能とする階層的画素レベル信号処理機能と CNN を用いたミツバチ個体検出機能の統合により、個体毎の羽ばたきコミュニケーション検出を実現するミツバチ行動解析アルゴリズムを構築し、長時間モニタリングにおける蜜源ヒートマップ等の可視化を通し、その有効性を示す。

具体的には以下の研究項目の研究を行った。

- 体の動きと羽ばたきを周波数分離可能とする階層的画素レベル信号処理
- オフライン高速ビデオ画像を用いたコミュニケーションダンス解析アルゴリズム
- 羽ばたき周波数を瞬時に計測可能とする実時間ミツバチカメラ開発
- 巣箱内での羽ばたきコミュニケーションの長時間オンサイトモニタリング試験
- 羽ばたき検出による個体識別、インシデント検出、訪花モニタリングの展開可能性検証

## 4. 研究成果

体の動きと羽ばたきを周波数分離可能とする階層的画素レベル信号処理

本研究は農研機構ミツバチユニットの研究者の協力の下、茨城県つくば市にある農研機構畜産研究部門内の屋外に配置された巣箱等に対する研究結果をまとめている。

撮影環境としては、CPU(Intel Core i7-10750H @ 2.60GHz)、16 GB メモリ、GPU(NVIDIA GeForce RTX 2070 with Max-Q Design) を搭載し、Windows OS 10 Pro(64-bit) が OS として動作するゲーミングラップトップ PC(AORUS15P, GIGABYTE) と最大フレームレートが 720x540@539fps で動作可能なモノクロ CMOS イメージセンサを持つ高速 USB3.1 カメラ(DMK 37BUX287Imaging Source)を用いた。

長時間モニタリングにおいて、遠隔操作が必要な場面では、Docomo の 4G 無線 Wifi を使用し、リモートデスクトップ環境を用いて広島から筑波の農研機構に設置した機材を遠隔制御した。

ダンスミツバチ姿勢推定 (正常)

ダンスミツバチ姿勢推定 (エラー)

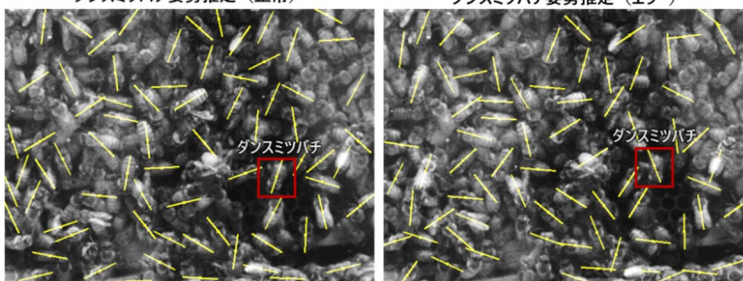


図 1 . CNN 認識によるダンスミツバチ個体姿勢推定

まず、はじめに、Github でソースコードが公開されている Okinawa Institute of Science & Technology の Greg 教授らが開発した CNN を用いたミツバチ個体検出 AI 機能 (DenseObjectDetection) を利用して、ダンスミツバチの個体同定を行った。元々の学習データセットは 4K 以上の高解像度で学習されたものであり、今回使用した 640x480 画像は元データのそれに比べて低解像度となっており、ミツバチの密集度の



違いや学習させたテスト画像が少量であることの影響を受け、姿勢推定及び未検出には誤差が生じる個体も複数存在したが、ダンスミツバチに対しても個体検出が出来ていることが分かる。

次に、ダンスミツバチの羽ばたきを読み取るため、ダンスミツバチの尻振り動作に対応した形で、画像を任意の角度に回転させるアフィン変換を行い、ミツバチの頭とお尻の位置を仮想的に固定した状態で、画像を取得するものとした。図2で示すように、尻振り動作を行いながら少しずつ移動するミツバチに対して、回転角度を合わせた形で、トラッキングを実現した。

ダンスミツバチの尻振り動作を仮想的に固定し

た時系列画像に対して、32 フレーム毎にフーリエ変換を行い、ピーク周波数画像及び羽位置(x=14, y=47)の輝度周波数応答を示した。ダンスミツバチの右翼付近で赤く表示されている領域では羽ばたき回数が 170-200Hz 前後であることが検出されている。ここで、フーリエ変換に対して、十分なフレーム数を確保できなかったのはダンスを行う際のミツバチの羽ばたきが 20 フレーム程度に対する 0.1 秒前後の短時間の輝度変化によるものであるためである。

オフライン高速ビデオ画像を用いたコミュニケーションダンス解析アルゴリズム

ダンス検出及び蜜源定位については下記の流れでアルゴリズムを実装した。

#### ダンス検出アルゴリズム：

1. 高フレームレート画像取得
2. フーリエ計算用画像バッファリング(フレーム数をKとする)
3. 全画素に対するフーリエ変換
4. ノイズ除去等を行い、ダンス候補領域抽出

#### 蜜源定位アルゴリズム：

5. ダンス候補領域の重心モーメント計算
6. 候補領域に対するラベリング
7. ラベルの貼付されたダンス候補毎にダンス継続時間とダンスの開始位置から終了地点を算出(フーリエ変換毎の時間をカウント)
8. ダンスが連続でない場合の修復
9. ダンスの実施開始時間と太陽光の向きから、訪花した蜜源位置を推定

一般に、尻振りダンスミツバチの計測による蜜源位置の特定には、尻振りダンスを行うミツバチの検出、巣箱垂直方向に対するダンスの進行方向の角度特定、ダンスの時間の長さを導出できれば、撮影した巣箱の緯度経度と太陽の位置・角度との関係性から求めることができる。

ここで、提案したアルゴリズムを PC 環境で実装して利用して、2020 年 7 月 31 日 15 時 9 分から 15 時 18 分の間に約 9 分間撮影した、1920x1080@120fps の高フレームレートビデオ画像に対する蜜源定位マップを図3に示す。フーリエ変換に用いたフレーム数はK=20とし、ダンスミツバチの検出を行った。巣内を高速に移動するミツバチの誤検出を防ぐため、ダンス候補領域が連続した位置であるかどうかを判定し、近くの場合は移動方向とし、同じミツバチであると判断するようにしている。そのため、短い時間のダンスは無視するものとした。

蜜源位置を表すために、google マップのデフォルトレイヤーを用いて、その画像中心に存在する青いプロットが農研機構内に設置された観察用巣箱で、撮影を実施した観測地点(緯度: 36.020635、経度: 140.120258)で、複数存在する赤いプロットはダンスミツバチが仲間に伝えた蜜源位置である。この時期では、農研機構の西側を中心に訪花していることが分かる。蜜源位置が住宅やショッピングセンターの位置には集中しておらず、緑地上に基本的に存在することが分かる。

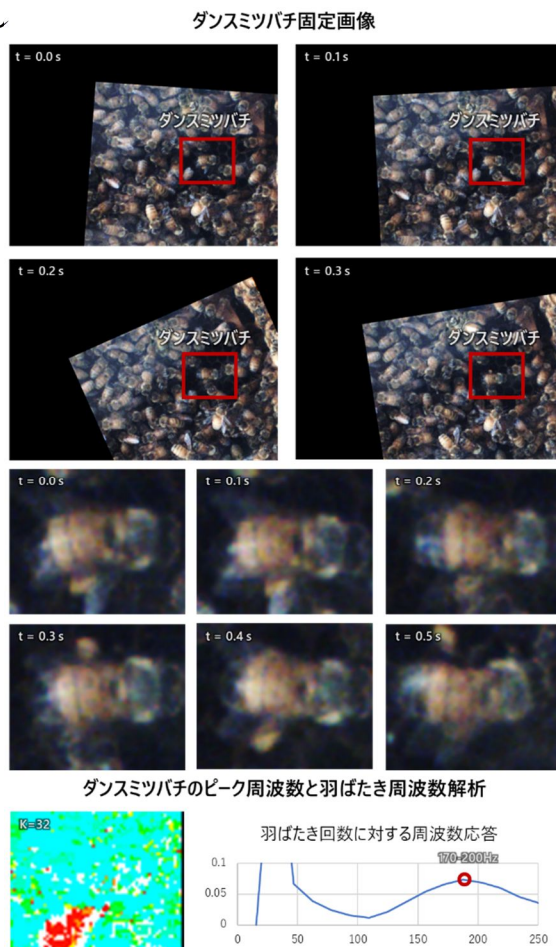


図2 . ダンスミツバチの羽ばたき計測



図3 . 7月31日の蜜源定位マップ

### 羽ばたき周波数を瞬時に計測可能とする実時間ミツバチカメラ開発

次に、640x480 画素画像で 120fps に設定した高速カメラ映像に対して、 $K=32$  とし、実時間 8 の字ダンス検出を行った。画素レベル高速フーリエ変換は先述したゲーミング PC の GPU 上で主に実装されており、全画素に対するピーク周波数画像の計算結果は 30fps 程度でディスプレイ出力され、図 4 はその実時間表示されるディスプレイ画面をスクリーン録画ソフトウェアを用いて録画し、ある時刻の録画画像を切り取って、表示したものである。図 4 のピーク周波数画像では、ダンスの周波数 18Hz 前後に対応した形で赤く検出されており、他のミツバチの移動や羽ばたきに左右されることなく、ダンスミツバチを実時間検出・特定することに成功している。ダンス検出後のミツバチに対して、ダンスの解読動作及び蜜源定位マップ出力の処理を高速化し、実時間で蜜源位置を可視化できるようにすることが今後の課題である。例えば、640x480@500fps の高フレームレート画像を非圧縮で保存すると、1 時間で 1 TB 近いメモリ容量が必要となる。そのため、実時間動作を増やしていくことで、オフライン画像保存では、メモリの問題から録画可能時間が限定されていたが、そうしたメモリ領域の制約を受けることなく、長時間に向けたモニタリングが可能となる。

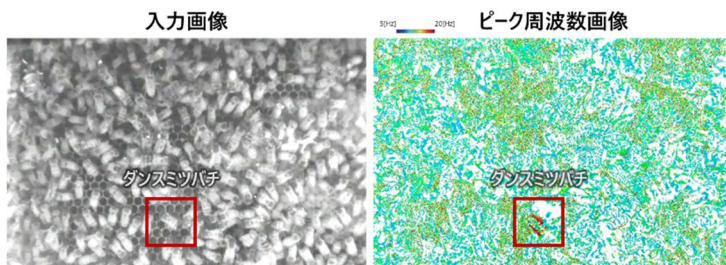


図 4 . ピーク周波数画像を用いた実時間ダンス検出

### 巣箱内での羽ばたきコミュニケーションの長時間オンサイトモニタリング試験

次に、長時間の高フレームレート画像撮影に対応した 1440x1080 画素画像で 120fps 撮影した画像に対する尻振りダンスに基づく蜜源位置の調査を行った。フーリエ変換に用いたフレーム数は  $K=20$  である。今回、提案したアルゴリズムを使用し、2021 年 10 月 14 日 11 時 10 分から 15 時 17 分の間に約 4 時間撮影した、高フレームレートビデオ画像に対する蜜源定位マップを図 5 に示す。マップ中心に存在する観測地点（緯度：36.020635、経度：140.120258）に対して、赤いプロットで示す蜜源位置が概ね東方向から北方向にかけて、飛翔していることが分かる。これは図 3 で説明した前年度の 2020 年 7 月 31 日の計測データと比較して、東側への訪花が多くなっていることが確認できる。季節の変化に伴い、花の種類が変化し、ミツバチもそれに合わせて訪花位置を変動させていることが確認できた。プロットの位置が飛び飛びになっているのはダンスの継続時間をフーリエ変換毎の時間としており、今回の場合は 20 フレーム毎の 0.16 秒毎で飛翔距離が決定している。今後はより長期間の訪花に対して、蜜源定位マップを作成し、季節変化及び気候による変化、実際の植生図と合わせて、蜜源の定量化を行っていくことを目標としている。



図 5 . 10 月 14 日の蜜源定位マップ

### A. 分蜂インシデントに対する飛翔数計測実験

次に、巣箱周辺で飛翔するミツバチの様子をフレームレート 500fps、画素数 640 x 480 画素で撮影した長時間高速ビデオ画像を用いて、オフライン解析を行った。日照変動による影響を抑えるために、30 秒毎に自動露光時間制御を行いながら、2 秒間の高速ビデオ撮影を 1 日あたり 1560 回、午前 6 時から午後 7 時まで 13 時間に相当する撮影時間として 2021 年 5 月 1 日から 7 日まで 7 日間実施した。

分蜂が発生した 5 月 3 日 10 時 15 分の入力画像（図 6 右側）とその前日 5 月 2 日の同時刻の入力画像（図 6 左側）を (a)、同時刻での飛翔ミツバチが検出された領域を (b)、該当日時の 30 秒毎の飛翔数を (c) として図 3 に示す。気象庁のデータによると、両日とも降水はなく天候は晴れで、平均気温は 5 月

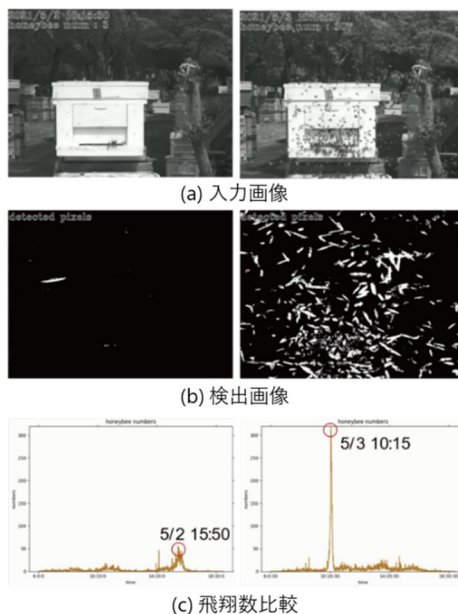


図 6 . 分蜂日とその前日の飛翔数比較



2 日が 14.4 度、3 日が 15.4 度、平均湿度は 77 %、48 %であった。フーリエ変換に用いたフレーム数は  $K=32$ 、出周波数帯域は 30-250 Hz とし、30 秒毎に得られた 0.06 秒間の高速ビデオ画像に対して画素レベル STFT を計算し、振動源定位に基づく飛翔ミツバチの計数処理を行った。(b) の画像中で、白い領域は飛翔ミツバチが検出された部分であり、隣接した領域は 1 匹とカウントされる。分蜂が発生した時間帯には、300 匹前後の検出が確認され、飛翔数が大きく異なることから、分蜂の検出可能性が確認された。

### B. スズメバチ襲来インシデント検出実験

自然背景下でカメラ視野に比べて非常に小さな対象が複雑な背景の元で多方向に飛翔する場合として、自然環境下に配置された巣箱周辺で飛翔する 12~14 mm 大のセイヨウミツバチ、移動が非常に速い 35~40 mm 大のオオスズメバチを撮影した高フレームレート画像に対して、各個体の羽ばたき検出を確認した。撮影範囲を 1m×1m となるようカメラを配置し、1pixel の大きさは約 1mm となり肉眼では対象が不明慮かつ存在すら認識が困難な条件とした。

ミツバチの羽ばたき周波数が 180-220Hz 程度であるのに対し、スズメバチの羽ばたき周波数が 80-120Hz であることを利用して、オフラインで、各対象の移動方向を推定して、ミツバチ及びスズメバチの羽ばたき回数に対する全画素短時間フーリエ変換を計算し、種別の判別を行った。図 7 (b) で、スズメバチ及びミツバチ入力画像を示しており、各個体の移動推定を行い、画像中心に捉えられていることが分かる。ピーク周波数検出画像 (図 7 (c)) ではミツバチ及びスズメバチの羽ばたき回数をカラーマップ表示しており、スズメバチの羽領域に対応した  $40 \times 40$  画素画像が緑色、ミツバチの羽領域に対応した  $10 \times 10$  画素画像が赤色で描画されている。この羽ばたき回数は図 7 (d) 時間周波数スペクトログラムで示す、羽ばたき周波数の時間変動に対応した羽ばたき回数になっており、スズメバチが 90Hz 前後、ミツバチが 220Hz 前後で飛翔していたことを示している。明らかな羽ばたき周波数の違いによって、個体種別を識別できる可能性を確認した。

### C. 広域訪花モニタリング

広域環境での訪花モニタリングを実現するべく、上記研究技術を起点として、園芸圃場での広域羽ばたき検出を目指した、トライアル研究も開始しており、農研機構とその関係企業の協力の下、イチゴ促成ハウスでのミツバチ訪花トライアル撮影を行っている。図 8 のように、わずか 35 画素程度で映り込んだ飛翔ミツバチの羽ばたきを検出し、訪花位置の同定に成功した。実際に、人間の耳では、飛んでいるのはわかるが、どのあたりを飛んでいて、どこに訪花しているのかを目視で探していくのは至難の業である。このように、高速ビデオ画像に対するオフライン解析により、ハウス内で高速飛翔するミツバチを捉えるとともに、イチゴ植生等の複雑な自然背景下での飛翔時において花や葉によるオクルージョンが頻発する場合も、訪花ミツバチが検出可能とし、高速ビジョンによる羽ばたき検出技術の優位性を確認している。

本研究では、ダンス検出をはじめとする、いくつかの検証実験を通して、画素レベルでの振動ダイナミックセンシング技術が複雑な背景環境である場合や、膨大な数のミツバチが存在している場合に、尻振り動作や羽ばたき周波数をダイナミクス特徴として利用して、実時間で振動源検出及び追跡を行う手法の有効性を確認した。

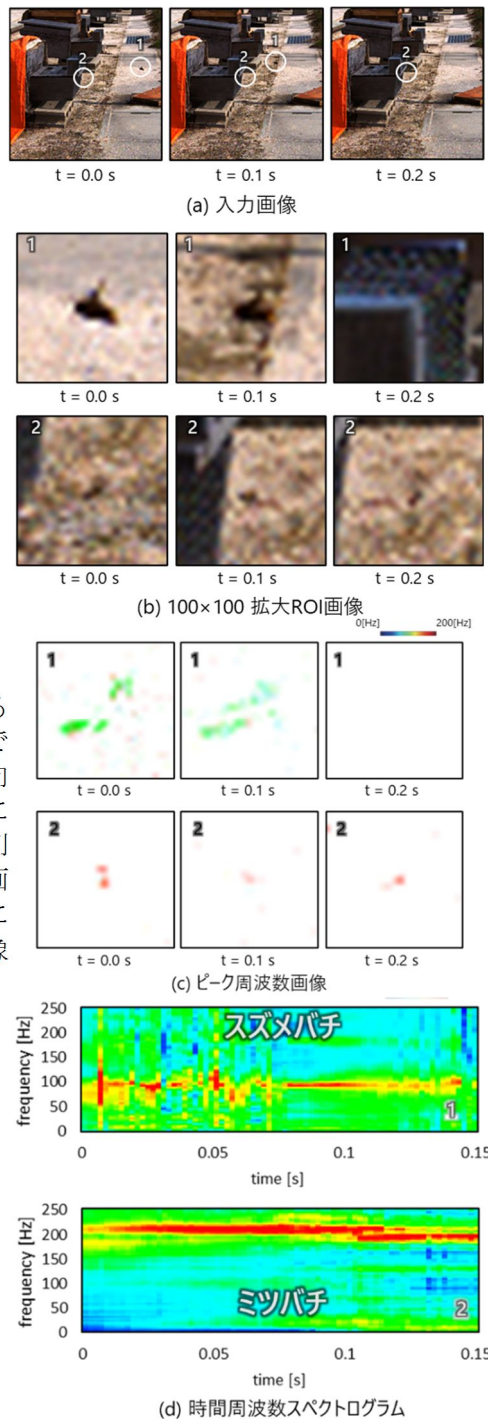


図 7 . スズメバチの羽ばたき計測

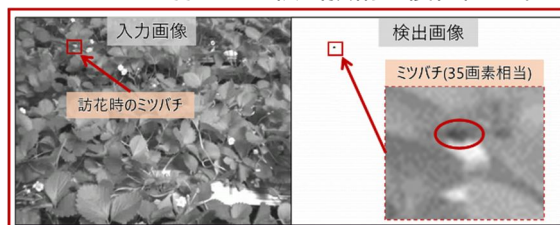


図 8 . イチゴ促成ハウスの訪花モニタリング

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Takeshi Takaki, Idaku Ishii, and Kazuhiko Yamamoto	4. 巻 20
2. 論文標題 HFR-Video-Based Honeybee Activity Sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 5575-5587
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSEN.2020.2968130	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 Zhengmi Tang, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Takeshi Takaki, Idaku Ishii, Idaku, Aoi Koga, Hiroshi Matsuda	4. 巻 60
2. 論文標題 Ironworks Conveyor Monitoring Using Mirror-drive High-speed Active Vision	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 960-970
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-643	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 -
1. 著者名 Mingjun Jiang, Kohei Shimasaki, Shaopeng Hu, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 6
2. 論文標題 A 500-fps Pan-tilt Tracking System with Deep-learning-based Object Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 691-698
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2020.3048653	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 Mingjun Jiang, Ryo Sogabe, Kohei Shimasaki, Shaopeng Hu, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 70
2. 論文標題 500-fps Omnidirectional Visual Tracking Using Three-Axis Active Vision System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIM.2021.3053971	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 Shaopeng Hu, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 21
2. 論文標題 A Simultaneous Multi-object Zooming System Using an Ultrafast Pan-tilt Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 9436-9448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2021.3054425	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 Deepak Kumar, Sushil Raut, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 8
2. 論文標題 Projection-Mapping-Based Object Pointing Using a High-Frame-Rate Camera-Projector System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-021-00197-2	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 Atul Sharma, Sushil Raut, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 10
2. 論文標題 Visual-Feedback-Based Frame-by-Frame Synchronization for 3000 fps Projector-Camera Visual Light Communication	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 1631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/electronics10141631	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 Zulhaj Aliansyah, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii, and Shuji Umemoto	4. 巻 21
2. 論文標題 Single-Camera-Based Bridge Structural Displacement Measurement with Traffic Counting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21134517	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 Kohei Shimasaki, Zulhaj Aliansyah, Taku Senoo, Idaku Ishii, Tomohiko Ito	4. 巻 61
2. 論文標題 Wide-area Operation Monitoring of Conveyors Using a Panoramic Vibration Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 2587-2596
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-182	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 市川辰旺, 宮濱晃一, 佐々木謙二, 出水亨, 古賀揚維, 島崎航平, 石井抱, 松田浩	4. 巻 21
2. 論文標題 たわみ影響線及びたわみ曲線の変化率を利用した橋梁劣化箇所同定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 実験力学	6. 最初と最後の頁 97-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11395/jjsem.21.97	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 Kohei Shimasaki, Nagahiro Fujiwara, Shaopeng Hu, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 103
2. 論文標題 High-frame-rate Video-based Multicopter Tracking System Using Pixel-level Short-time Fourier Transform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Intelligent and Robotic Systems	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) 10.1007/s10846-021-01483-2	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 松永 望, 吉田 大哲, 島崎 航平, 妹尾 拓, 高木 健	4. 巻 87
2. 論文標題 重心位置調節機能を持つドローン用アームのキャリブレーション方法と空中での動作の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 21-00016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00016	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 Shaopeng Hu, Wei Lu, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 71
2. 論文標題 View and Scanning-Depth Expansion Photographic Microscope Using Ultrafast Switching Mirrors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	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) 10.1109/TIM.2022.3147331	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 Shaopeng Hu, Hongyu Dong, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Taku Senoo, and Idaku Ishii	4. 巻 7
2. 論文標題 Omnidirectional Panoramic Video System with Frame-by-frame Ultrafast Viewpoint Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 4086 - 4093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3150484	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 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 伊藤優 , 胡少鵬 , 島崎航平 , 石井抱
2. 発表標題 高速アクティブビジョンを用いた顔・QRコード同時照合システム
3. 学会等名 ROBOMECH2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liheng Shen, Shaopeng Hu, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii
2. 発表標題 Simultaneous Multi-face Zoom Tracking for 3-D People-Flow Analysis with Face Identification
3. 学会等名 The 16th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (MSN 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島崎 航平, Zulhaj Muhammad Aliansyah, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 パノラマ振動イメージングを用いた広域コンベア回転モニタリング
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第181回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hironori Yoshida, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii, and Kazuhiko Yamamoto
2. 発表標題 A long-time automated honeybees count system using high-speed vision
3. 学会等名 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Raut Sushil, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, and Idaku Ishii
2. 発表標題 Vibration-feature-based Multicopter Detection with CNN-based Appearance Validation
3. 学会等名 7th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mingjun Jiang, Ryo Sogabe, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, and Idaku Ishii
2. 発表標題 An Omnidirectional Multicopter Tracking System with HFR-Video-Based Vibration Source Localization
3. 学会等名 7th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎 航平, 高橋 裕之, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 高速ビジョンを用いたバーチャル触診システム
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第59期講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎 航平, 胡 少鵬, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 超高速パンチルトカメラを用いたリモート振動モニタリングシステム
3. 学会等名 IIP2021 情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mingjun Jiang, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii
2. 発表標題 Vibration Detection Using Differential Multiple Exposure Imaging
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sushil Raut, Idaku Ishii, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Akio Namiki
2. 発表標題 Development of High-speed Miniature Pan-Tilt Embedded Vision System
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 島崎航平, Atul Kumar Sharma, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 Nvidia Jetson TX2を利用した実時間振動イメージングシステム
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 抱、島崎 航平、胡 少鵬、妹尾 拓、奥松 俊博、松田 浩
2. 発表標題 エリアセンシング技術による遠隔クレーンモニタリング
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第182回講演大
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎 航平、胡 少鵬、妹尾 拓、石井 抱、伊藤友彦、松本愛
2. 発表標題 高速ビジョンを用いたアンローダークレーン振動モニタリング
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第182回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立石侑也, 島崎航平, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 ロボットハンドを使用した加振によるねじ緩み判別
3. 学会等名 第19回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎 航平, 妹尾 拓, 石井 抱, 荻原 麻理, 芳山 三喜雄
2. 発表標題 分蜂を捉えるミツパチカメラ
3. 学会等名 第19回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shaopeng Hu, Wei Lu, Kohei Shimasaki, and Idaku Ishii
2. 発表標題 View and Depth Expansion System for Microscope Photography Based on Dual Ultrafast Switching Mirror
3. 学会等名 The 12th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liheng Shen, Shaopeng Hu, Kohei Shimasaki, and Idaku Ishii
2. 発表標題 Multi-Person Authentication Using an Ultrafast Pan-Tilt Camera
3. 学会等名 The 12th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shaopeng Hu, Hongyu Dong, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Taku Senoo, and Idaku Ishii
2. 発表標題 Omnidirectional Panoramic Video System with Frame-by-frame Ultrafast Viewpoint Control
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (国際学会)
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
研究協力者	大久保 悟 (Okubo Satoru)  (30334329)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・グループ長補佐  (82111)	
研究協力者	芳山 三喜雄 (Yoshiyama Mikio)  (10510258)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産研究部門・上級研究員  (82111)	
研究協力者	荻原 麻理 (Ogihara Mari)  (80586850)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産研究部門・研究員  (82111)	
研究協力者	石井 抱 (Ishii Idaku)  (40282686)	広島大学・先進理工系科学研究科・教授  (15401)	

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
---------	---------