

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K19245

研究課題名（和文）クラウド型音響識別法を用いる広域施設園芸用病害虫セキュリティプラットフォームの創成

研究課題名（英文）Creation of a pest security platform for wide-area facility horticulture using a cloud-based acoustic identification method

研究代表者

水谷 孝一（MIZUTANI, Koichi）

筑波大学・システム情報系・研究員

研究者番号：50241790

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：「クラウド型音響識別法を用いる広域施設園芸用病害虫セキュリティプラットフォームの創成」を研究の目的として、(I)コア技術の構築、(II)システムの実装、(III)園芸施設での実証研究を、4年間（COVID19により1年間延長）で実施した。(I)コナジラミ類の交信音と配偶行動との関係を確認するとともに、(II)小型の防音箱を試作して屋外でもコナジラミ類の微小音を取得するシステムを構築し、(III)深層学習によるコナジラミ類の種およびバイオタイプの判別を行う事が出来た。COVID19の影響により当初計画していた園芸施設における従来法との比較研究ができなかったものの、研究の目的を達成する事が出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

【学術的意義】として、微小音を検出する近接マイクロフォン技術、微小信号を高S/N比で抽出する信号処理技術、音の振幅・時間情報を周波数スペクトル・時間の2次元画像情報として取り扱う事で、目的の信号との照合・判別を容易にする深層学習技術等を確立した事、更に農学分野の問題を工学的に解決している点でも意義があると考えられる。

【社会的意義】として、農家の勘に頼って営まれている従来型の農業経営を、工学技術で支援する形で、自動化、省人化、省・減農薬化等の実現の可能性を示せた点は、DX推進による社会実装という意味でも意義を有していると考えられる。

研究成果の概要（英文）：For the purpose of researching "Creation of a wide-area facility horticultural pest security platform using cloud-type acoustic identification method", (I) construction of core technology, (II) system implementation, (III) empirical research at horticultural facilities It was carried out for 4 years (extended by 1 year by COVID19). (I) Confirm the relationship between the communication sound of whiteflies and mating behavior, (II) build a system to acquire minute sounds of whiteflies even outdoors by prototyping a small soundproof box, and (III) We identified species and biotypes of whiteflies using a deep learning. Although it was not possible to carry out a comparative study with the conventional method in the horticultural facility that was originally planned due to the influence of COVID19, it is considered that the purpose of the study could be achieved.

研究分野：農業工学

キーワード：コナジラミ類 バイオタイプ 発生音 深層学習 デジタルトランスフォーメーション 植物保護 クラウド プラットホーム

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

図1に示す様なコナジラミ類(カメムシ目コナジラミ科)は、吸汁による生育不良、ウイルスの媒介、カビの温床となる甘露排出等によりトマトなどの園芸作物の枯死、不作、品質低下を起こし、農作物生産に甚大な被害を与えている。従来の防除技術として、発生確認後に散布する化学農薬があるが、発生の確認が難しく、気が付かないうちに増殖していたり、外観上の違いがない複数のバイオタイプが存在し、かつ農薬感受性がバイオタイプ毎に異なる等の問題点を有していた。本研究は、コナジラミの求愛行動時等で発生する音をバイオタイプ識別する方法を提案するものであり、PCR検査を経ないため、即時の識別が可能である。農家において微小音を取得する装置を試作するとともに、ネットワークを介してデータベース上で照合した結果を、農家に提供するクラウドシステムを構築する事で、農家に適切な農薬選別を遅滞なく提供するものであり、広域からの情報を収集する事ができれば、「コナジラミ発生予報」の様なサービス提供も可能になる。また、病虫害セキュリティプラットホームの一機能として、各農家で利用可能な音響放射によるコナジラミ類の交尾行動の抑制技術についても検討した結果、化学農薬を使用しないでコナジラミ類の増殖を防止が期待できる結果を得る事が出来た。



図1 園芸施設、作物、コナジラミの例

2. 研究の目的

クラウド型音響識別法を用いる広域施設園芸用病虫害セキュリティプラットホームの創成を研究の目的として、(I) コア技術の構築、(II) システムの実装、(III) 園芸施設での実証の段階に分けて、4年間(COVID19により1年間延長)の計画で実施した。(I)として、コナジラミ類の交尾音と配偶行動との関係を確認するとともに、(II)小型の防音箱を試作して、屋外でもコナジラミ類の微小音を取得するシステムを構築し、(III)深層学習によるコナジラミ類の種およびバイオタイプの判別を行う事が出来た。COVID19の影響により当初計画していた、農作物被害、農薬散布量、農業従事者労力を変数とした従来法との比較ができなかったものの、研究の目的である病虫害セキュリティプラットホームの基本的な構築を図る事が出来た。当初の研究計画と対応する研究成果の概要を図2に示す。

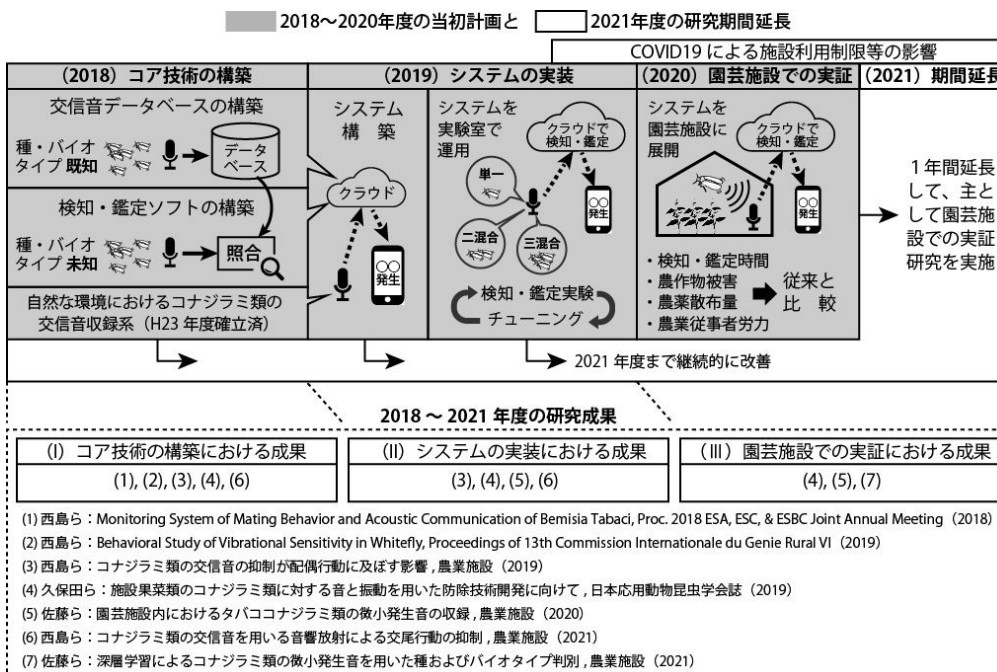


図2 当初の研究計画と対応する研究成果の概要

3. 研究の方法

3.1 コア技術の構築

【機械学習による音情報照合技術】 図3に示すような判定システムを用いる事で、コナジラミ類の発する音情報を周波数スペクトルにする事で、音響情報を画像情報に変換し、深層学習を經由して識別する事で、コナジラミ発生音とその他の雑音との識別を、従来法に比べて F 値で 34.4% 72.9%と飛躍的に向上した。

【音響放射によるコナジラミ類への行動攪乱技術】 図4に示しような実験構成で、コナジラミ音をスピーカーにより人工的にコナジラミ類が寄生する葉に照射したところ、交尾を失敗させることができた。このことにより、化学農薬を用いることなく、コナジラミ類の繁殖の抑制が期待できることが分かった。

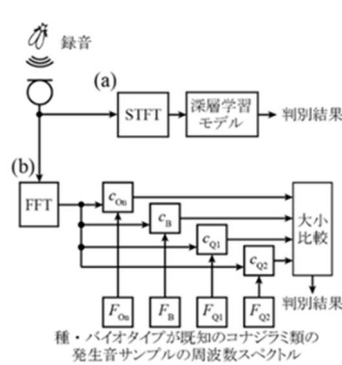


図3 判定システム

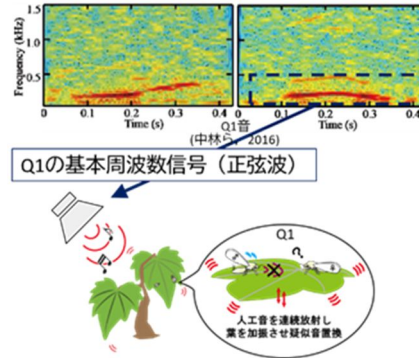


図4 人工音放射による交尾行動の抑制

3.2 システムの実装

【微小音検出技術】 近接マイクロフォンを使用する事で、コナジラミが発生する微小音を検出する技術を確認できた。図5には、音情報と共に動画像を取得するカメラも連動する。

【小型防音箱技術】 外部騒音が存在する屋外環境でも、コナジラミ類の発する微小音のみを検出可能な図6に示す様な防音箱を試作して、その効果を検証する事が出来た。

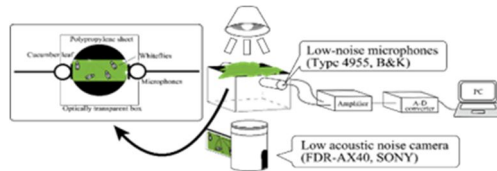


図5 微小音検出システムの一例

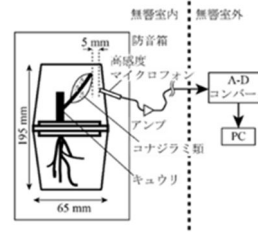


図6 防音箱の一例

3.3 園芸施設での実証

【深層学習によるコナジラミ類の種およびバイオタイプの判別】 図7は、コナジラミ類の発生音のスペクトログラムであり、(a)タバココナジラミ バイオタイプ B, (b)タバココナジラミ バイオタイプ Q1, (c)タバココナジラミ バイオタイプ Q2, (d)オンシツコナジラミの時間-スペクトルを示している。図8は、提案手法、および、従来手法の発生音サンプルの時間長ごとの判別性能である。従来法では発生音のサンプル時間長が短いと極端に判別性能が劣化していたが、提案する方法であれば、0.5 s 以上あれば 80%以上の性能を有していることが分かった。

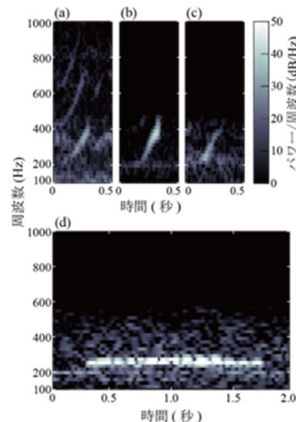


図7 コナジラミ類の発音スペクトル

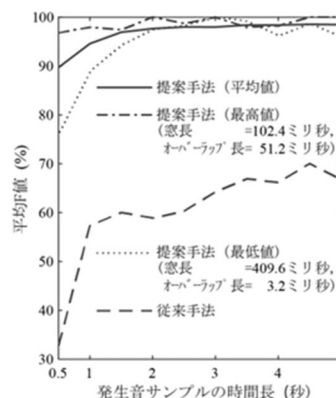


図8 判別性能

【音響放射によるコナジラミ類の交尾抑制】 図9に、スピーカーから放射した場合の葉の表面における放射音圧と加振される葉の振幅の関係を示す。音圧にほぼ比例して葉が加振されている事がわかる。図10は、図9で示した葉の振幅に対する、コナジラミ類の交尾失敗率である。放射音圧が28 mPa（振幅が83 nm）で平均90%の交尾失敗率を得られる事が分かった。

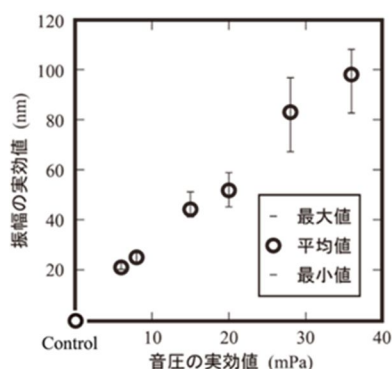


図9 放射音圧と葉の振幅

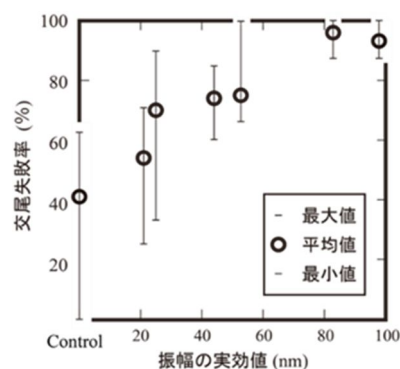


図10 葉の振幅と交尾失敗率

4. 研究成果

【研究成果の概要】 図11に本研究の成果によって、近い将来に実現可能なDX化された施設園芸の概念図を示す。図中の複数のコア技術等については、既に示した通りであり、コナジラミ類の発生を検知、音情報を取得しクラウドにアップロード、クラウド上でデータベースと照合して、発生したコナジラミ類の「種」・「バイオタイプ」を判別、ユーザである農家に判別結果を通知し、農家は、発生したコナジラミ類に最も効果的な忌避音を園芸施設内に設けたスピーカーにより放射し、増殖を抑制する。広域に配置されたモニタリングポストから上がった情報は、「コナジラミ類発生予報」として、ユーザに提供され、忌避音の照射または、適合した農薬の取得と散布を実施可能となる。本研究の実施によって、「病害虫セキュリティプラットフォーム」の基本的な構築を図る事が出来き、研究の目的は達成できたと考える。

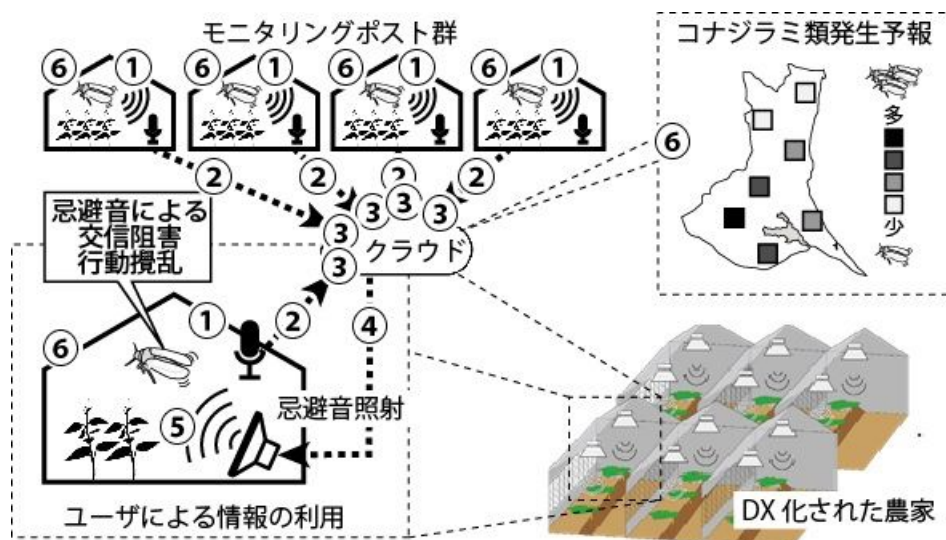


図11 本研究によって実現の可能性が高まったDX化された施設園芸

【残された課題】 COVID19の影響により当初計画していた、農作物被害、農薬散布量、農業従事者労力等を従来法と比較する事ができなかった。本研究課題が終了した後で、COVID19の影響が無くなった時点で再開し、社会実装に繋がたいと考えている。また、コナジラミ類の特に求愛行動における音発生等の生態がまだ良くわかっていない事も判明した。超小型マイクロフォンアレイ等を用いて、工学的に生体の解明研究にも寄与したいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 佐藤広隆, 中林大樹, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗, 久保田健嗣 | 4. 巻 51 |
| 2. 論文標題 園芸施設内におけるタバココナジラミ類の微小発生音の収録 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 農業施設 | 6. 最初と最後の頁 77-88 |
| 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 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 佐藤広隆, 中林大樹, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗, 久保田健嗣 | 4. 巻 52 |
| 2. 論文標題 深層学習によるコナジラミ類の微小発生音を用いた種およびバイオタイプ判別 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 農業施設 | 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 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 西島也寸彦, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 久保田健嗣, 石井雅久, 宇賀博之 | 4. 巻 52 |
| 2. 論文標題 コナジラミ類の交信音を用いる音響放射による交尾行動の抑制 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 農業施設 | 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 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 Kubota Kenji, Mizutani Koichi, Ebihara Tadashi, Hayashi Yasumasa, Uga Hiroyuki, Ishii Masahisa | 4. 巻 63 |
| 2. 論文標題 Towards the Management of Whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) in Greenhouse by Using Acoustic and Vibrational Methods | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology | 6. 最初と最後の頁 97 ~ 107 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1303/jjaez.2019.97 | 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 西島也寸彦, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 久保田健嗣, 宇賀博之 | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 コナジラミ類の交信音の抑制が配偶行動に及ぼす影響 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 農業施設 | 6. 最初と最後の頁 140-145 |
| 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 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 Yasuhiko Nishijima, Koichi Mizutani, Tadashi Ebihara, Naoto Wakatsuki, Kenji Kubota and Hiroyuki Uga | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Behavioral Study of Vibrational Sensitivity in Whitefly | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of 13th Commission Internationale du Genie Rural VI | 6. 最初と最後の頁 6-1130-P-16_1-5 |
| 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 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 Yasuhiko. Nishijima, Ryusuke Miyamoto, Koichi Mizutani, Tadashi Ebihara, Naoto Wakatsuki, Kenji Kubota, Hiroyuki Uga and Masahisa Ishii | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Monitoring System of Mating Behavior and Acoustic Communication of Bemisia Tabaci | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proc. 2018 ESA, ESC, and ESBC Joint Annual Meeting | 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 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20件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐藤広隆, 中林大樹, 水谷孝一, 若槻尚斗, 久保田健嗣, 石井雅久, 宇賀博之 |
| 2. 発表標題 深層学習に基づくコナジラミ類の微小発生音を用いた種・バイオタイプの識別 |
| 3. 学会等名 2020年農業施設学会秋季学生・若手研究発表会, P-08 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐藤広隆, 中林大樹, 水谷孝一, 若槻尚斗, 久保田健嗣, 石井雅久, 宇賀博之 |
| 2. 発表標題 深層学習を用いたコナジラミ類の種およびバイオタイプ識別における最適条件の探索 |
| 3. 学会等名 2021年農業施設学会学生・若手研究発表会, P-07 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西島也寸彦, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 石井雅久, 久保田健嗣, 宇賀博之 |
| 2. 発表標題 キュウリとシソ葉上のコナジラミ類の交尾抑制に要する放射音場の推定 |
| 3. 学会等名 2021年農業施設学会学生・若手研究発表会, P-42 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 安藤颯花, 於保拓高, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗 |
| 2. 発表標題 コナジラミ類の音響交信に伴う葉身振動の非接触計測 |
| 3. 学会等名 2021年農業施設学会学生・若手研究発表会, P-43 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 於保拓高, 安藤颯花, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 前田祐佳 |
| 2. 発表標題 マルチチャンネルセンサを用いる微小昆虫の発音位置推定 |
| 3. 学会等名 2021年農業施設学会学生・若手研究発表会, P-45 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroataka Sato, Hiroki Nakabayashi, Tadashi Ebihara, Koichi Mizutani, and Naoto Wakatsuki |
| 2. 発表標題 Design of detection and identification system of whiteflies in a greenhouse environment by acoustical method |
| 3. 学会等名 2019 EFITA-HAICTA-WCCA congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hiroataka Obo, Koichi Mizutani, Tadashi Ebihara, and Naoto Wakatsuki |
| 2. 発表標題 Simultaneous video and multi-channel sound acquisition system for behavior monitoring of whiteflies |
| 3. 学会等名 2019 EFITA-HAICTA-WCCA congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yasuhiko Nishijima, Koichi Mizutani, Tadashi Ebihara, Naoto Wakatsuki, Kenji Kubota, Hiroyuki Uga and Masahisa Ishii |
| 2. 発表標題 Amplitude of vibration inducing vibrational sensitivity reduction in whiteflies |
| 3. 学会等名 The 16th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroataka Obo, Koichi Mizutani, Tadashi Ebihara, and Naoto Wakatsuki |
| 2. 発表標題 Glance at a small insect courtship behavior -observe whitefly using sound- |
| 3. 学会等名 The 16th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 於保拓高, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗 |
| 2. 発表標題 発音するコナジラミが葉体へ及ぼす振動の伝搬特性計測 |
| 3. 学会等名 2020年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐藤広隆, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗, 久保田健嗣 |
| 2. 発表標題 深層学習を用いた雑音環境下におけるコナジラミ類の発生音の検出 |
| 3. 学会等名 2020年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西島也寸彦, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 久保田健嗣, 宇賀博之 |
| 2. 発表標題 コナジラミ類の交信阻害に要する周波数成分 |
| 3. 学会等名 2020年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hirotaka Sato, Tadashi Ebihara, Koichi Mizutani and Naoto Wakatsuki: |
| 2. 発表標題 Pest Mic - Listen to the Whispering of Whitefly in Agricultural Greenhouse - |
| 3. 学会等名 IEEE Seoul Section Student Paper Contest (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐藤広隆, 中林大樹, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗, 久保田健嗣 |
| 2. 発表標題 音響的手法を用いるコナジラミ類のバイオタイプ識別法における雑音の影響評価 |
| 3. 学会等名 2019年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中林大樹, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 宇賀博之, 久保田健嗣, 石井雅久 |
| 2. 発表標題 音声特徴量を用いるコナジラミ類の種・バイオタイプの高精度識別の試み |
| 3. 学会等名 2019年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西島也寸彦, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 久保田健嗣, 宇賀博之, 石井雅久 |
| 2. 発表標題 コナジラミ類の振動感受性の検証, 2019年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 3. 学会等名 2019年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 於保拓高, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗 |
| 2. 発表標題 マイクロフォンアレイを用いるコナジラミ群中の音源個体位置推定に関する検討 |
| 3. 学会等名 2019年農業施設学会学生・若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐藤広隆, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗 |
| 2. 発表標題 害虫マイク-農業用温室に跋扈するコナジラミのヒソヒソ話を聴く- |
| 3. 学会等名 The 15th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐藤広隆, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗, 久保田健嗣 |
| 2. 発表標題 屋外におけるコナジラミ類の微小発生音の収録に関する基礎的検討 |
| 3. 学会等名 農業環境工学関連学会2018年合同大会講演要旨集 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中林大樹, 水谷孝一, 海老原格, 若槻尚斗, 宇賀博之, 久保田健嗣, 石井雅久 |
| 2. 発表標題 コナジラミ類の発生音を利用した種およびバイオタイプの識別 |
| 3. 学会等名 農業環境工学関連学会2018年合同大会講演要旨集 |
| 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 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 海老原 格 (EBIHARA Tadashi) (80581602) | 筑波大学・システム情報系・准教授 (12102) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 久保田 健嗣 (KUBOTA Kenji) (80414796) | 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業研究センター・上級研究員 (82111) | |
| 研究分担者 | 石井 雅久 (ISHII Masahisa) (10343766) | 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・グループ長補佐 (82111) | |

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 |
|---------|---------|
| | |