

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04280

研究課題名（和文）エレクトレットAEセンサを用いた植物の活動モニタリング技術の開発

研究課題名（英文）Development of activity monitoring of living plants using electret AE sensor

研究代表者

蔭山 健介（Kageyama, Kensuke）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30272280

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,600,000円

研究成果の概要（和文）：複雑な形状の幹においても密着可能で、植物AEを検出可能なAEセンサを開発し、取り付ける茎の大きさや硬さに関係なく植物AEを検出可能であることを実証した。ソーラーセルやバッテリーと組み合わせた自立駆動型AE装置を製作し、いつでもどこでも植物AE測定が可能なIoTデバイスを開発し、無電源で長期間の植物AE測定が可能であることを実証した。さらに、植物AEの発生挙動と環境変動を可視化することで植物の活動モニタリングを行い、植物の環境影響を数値化することで、植物AEを用いた活動モニタリングの有用性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、植物のさまざまな部位にAEセンサ(ECS)を取り付けられ、いつでもどこでも活動モニタリングの根幹となるAEデータが常時計測（植物の活動モニタリング）できるようになるAE発生数の挙動は、植物の活動状態を視覚的に理解しやすいデータであり、様々な場所における活動モニタリング情報を共有し、環境との関連を探ることで、環境影響評価としての利用を促進できる。

研究成果の概要（英文）：AE sensor that can adhere even to a complex shaped stem and can detect plant AE was developed and demonstrated that it can detect plant AE regardless of the size and hardness of the stem to which it is attached. Stand-alone AE device combined with solar cells and batteries was developed. Then, IoT device that can measure plant AE anytime and anywhere demonstrated that plant AE can be measured for a long period of time without power supply. Furthermore, by visualizing plant AE occurrence behavior and environmental changes, we monitored plant activity and quantified the environmental impact of plants, thereby clarifying the usefulness of activity monitoring using plant AE.

研究分野：非破壊評価

キーワード：植物の生育診断 アコースティック・エミッション エレクトレット IoTデバイス 活動モニタリング

## 1. 研究開始当初の背景

生活環境の緑化や環境保全型農業などの植物に関する環境保全の取り組みを加速させるためには、対象となる植物の環境影響評価を的確に行うことが重要である。一方、植物に取り付けたセンサにより生体情報を計測する技術として、アコースティック・エミッション (AE) 法がある。これは、維管束植物の木部内部で気泡が急激に膨張する現象 (キャビテーション) に伴い発生する植物 AE を検出する手法である。キャビテーションは恒常的に発生しており、植物はその活動状態に応じてキャビテーションを生じた木部を修復するため、植物 AE は植物生体情報としてとらえることができる。これまで工業製品の検査用途に使用されている測定機器を用いて AE 測定を行っていたため注目されていなかった。しかし、エレクトレットを用いた超音波センサに関する研究が行われており、エレクトレットセンサ (ECS) を用いて低コストで植物 AE を検出可能であることを見出した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の通りである。

### (1) 植物AE検出に適したエレクトレットセンサの開発

エレクトレットコンデンサセンサ(ECS)について、マイクロギャップ部の構造を改善することで、長期安定性を向上させる。そして、軟質材料と組みあわせることで形状自由度が高く、音響インピーダンスの制御も可能なエレクトレットコンデンサセンサ(ECS)を製作する。そして、茎のような複雑な形状の部位においても容易に取り付け可能で多様な植物において植物 AE を検出可能なセンサの実現を目指す。

### (2) 植物AE測定に適したIoTデバイスの開発

AE 信号波形の詳細な解析などは実装せず AE の検出のみに特化することで小型化と消費電力の削減を行い、ソーラーセルやバッテリーと組み合わせ、いつでもどこでも植物 AE 測定が可能な IoP (Internet of Plants) デバイスを開発する。

### (3) 植物の活動モニタリング技術の創出と有用性の検討

ECS を用いた植物 AE センサと IoP デバイスを用いて、各種植物 AE の長期測定を行い、従来技術の環境モニタリングとともにデータをクラウドサーバに集約する植物の活動モニタリング技術を創出する。そして、環境変動が植物の活動状態に及ぼす影響を数値として示し、植物 AE を用いた活動モニタリングの有用性を検討する。

本研究の成果により、植物のさまざまな部位に AE センサ(ECS)を取り付けられ、いつでもどこでも活動モニタリングの根幹となる AE データが常時計測できるようになり (IoP)、革新的な植物の活動モニタリング技術が確立されることが期待される。AE 発生数の挙動は、植物の活動状態を視覚的に理解しやすいデータであり、様々な場所における活動モニタリング情報を共有し、環境との関連を探ることで、環境影響評価としての利用を飛躍的に促進できる。

## 3. 研究の方法

### (1) 多様な植物の AE 検出に適した ECS の開発

シリカ凝集体をスペーサー兼エレクトレットとしたエレクトレットセンサ(ECS)素子を製作し、微粉末シリカを用いることで ECS のマイクロギャップのさらなる微細化を行う。そして、微細構造を制御した ECS 素子を高温化で加速試験を行い、超音波の送受信感度の劣化を調べることで長期安定性の向上を検証する。次に、ECS 素子に防水処理を施し、柔軟に変形可能なシリコーン樹脂をカップリング層として ECS に組み込むことで、複雑な形状の幹においても密着可能で、植物 AE を検出可能な AE センサを開発する。次に、ハウス栽培トマト (埼玉大学) のトマトの茎部とハウス栽培イチゴ (埼玉県増川農園) のイチゴの葉柄に ECS を取り付けて AE 測定を行う。そして、植物 AE の検出数や検出された AE 波形の周波数特性を調べることで ECS の性能評価を行い、取り付ける茎の大きさや硬さに関係なく植物 AE を検出可能であることを検証する。

### (2) ECS を用いて植物 AE 測定が可能な IoT デバイスの開発

図 1 に示すように、プログラマブルロジックデバイス (FPGA) をベースに、植物の AE の周波数成分として一般的な 50 k~500 kHz での ECS の特性に合わせた信号処理回路を設計して植物 AE 検出に最適な装置を開発する。そして、IoT 向けの通信規格 (900MHz 帯) を実装して、クラウドに AE データ (発生時刻, 信号強度など) を集約する IoP (Internet of Plants) デバイスとする。同時に、AE 装置の小型化、低消費電力化を図り、ソーラーセルやバッテリーと組み合わせた自立駆動型 AE 装置を製作し、いつでもどこでも植物 AE 測定が可能な IoP デバイスを開発する。そして、IoP デバイスを用いて茶園 (京都府福岡久園) において無電源で長期間の植物 AE 測定が可能であることを実証する。

### (3) IoP を用いた植物の活動モニタリング技術の創出

ECS を用いた植物 AE センサと IoP デバイスを用いて、イチゴ (埼玉県増川農園)、みかん (愛媛県山内農園)、茶の樹 (京都福岡久園) で植物 AE の長期測定を行う。同時に従来技術により環境モニタリング (温度, 湿度, 照度, 気圧, CO<sub>2</sub> 濃度, 土壌水分) も行い、これらのデータをクラウドに集約して、植物 AE の発生挙動と環境変動を可視化することで植物の活動モニタリン

グを行う。同時に環境変動と AE 発生挙動の相関係数により、環境変動が植物の活動状態に及ぼす影響を定量化する。そして AE 測定により植物の環境影響を数値化することで、植物 AE を用いた活動モニタリングの有用性を検討する。

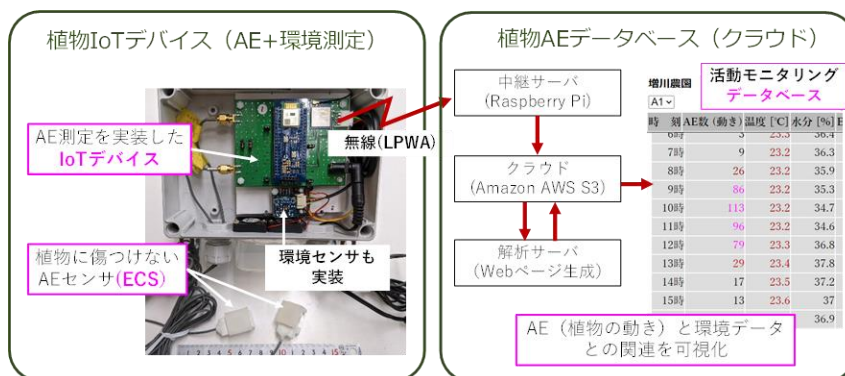


図 1. 植物 IoT (IoP) デバイスの外観と、AE および環境データの可視化例

#### 4. 研究成果

##### (1) 多様な植物の AE 検出に適した ECS の開発

##### ① 微粉末シリカを用いたシリカ凝集体エレクトレットを用いた ECS の超音波の送受信特性

シリカ凝集体をエレクトレットおよびスパーサーとした ECS について、シリカ微粉末を用いることで ECS の長期安定性を向上させることを試みた。まず、エレクトレット電極として PTFE 層のみの電極、先行研究の手法 (スプレー塗布) によりシリカ凝集体を形成した電極 (SP)、微粉末シリカをスピコートしてシリカ凝集体を形成した電極 (SS3) について比較した。そして、これらをエレクトレット電極として、ECS を製作し、空中超音波の送受信測定を行った。FET (2SK3666) と 10 MΩ のチップ抵抗を実装した PCB に絶縁電極 P1 を取り付け、次に、絶縁電極を折り曲げて背面にシリコンゲルを接着して PCB 裏面に取り付けた。その後、エレクトレット電極を PCB に巻き付けて ECS とした。SP および SS3 を用いて製作した ECS をそれぞれ ESP, ESS とする。

そして、同条件の ECS を 2 個製作し、片方を送信子、もう片方を受信子とした。次に、送受信距離 56 mm で送受信子を対向させて設置し、両振幅 10 ~ 150 V のバースト波 (sin 波を 5 波) を送信子に入力して超音波を発生させた。そして、入力波形と出力波形の周波数スペクトルの強度比から送受信感度  $TR$  を算出した。送受信測定は各 ECS 製作後、18-22°C の室温で保管して、1 週間経過してから測定した。次に、長期安定性を調べるために、室温保持後の各 ECS をさらに 60°C の恒温炉で 1 週間保持してから、再び送受信測定を行った。

製作した ECS について室温で 1 週間保持した後 (以下、常温保持) とさらに 60°C で 1 週間保持した後 (以下、60°C アニール) に測定した送受信感度  $TR$  とした。室温保持の場合、ESP と ESS を比較すると、常温保持後では両者の  $TR$  は類似の周波数特性を示しており明確な差異は認められなかった。しかし、常温保持後と 60°C アニール後の  $TR$  の周波数特性を比較すると、いずれのサンプルも 60°C アニールにより ESP は、 $TR$  がわずかに低下し  $TR$  の周波数特性が大きく低周波側にシフトしていた。それに対して ESS は 60°C アニール後の  $TR$  の劣化は明らかに抑えられていた。これらの結果から、微粉末シリカを用いることで ECS の送受信感度と周波数帯域の長期安定性が向上したことが分かった。しかし、送受信特性に優れる ECS に最適な分散液における微粉末シリカの質量比は明らかではないので、今後調べる必要がある。また、本研究で製作した微粉末シリカのスピコートを用いた ECS は、空中超音波の送受信感度は、スプレー塗布を用いた ECS と同程度であったことから圧電型の空中超音波センサより送受信感度は劣っていた。しかし、周波数帯域が大幅に向上していることから、広帯域の空中超音波センサとしての応用が期待できる。そして、60°C アニール後でも 200 kHz 以上の幅広い周波数帯域で同程度の S/N 比で空中超音波を送受信可能であることが分かった。例えば、広い周波数範囲で生じるアコースティック・エミッション (AE) を非接触で測定する場合、従来のセンサより検出感度の高いセンサを開発できる可能性があると思われる。

##### ② 植物 AE 測定に適した ECS の製作と特性評価

① で開発した長期安定性に優れる ECS 素子を用いて、ECS の受感部にカップリング層を取り付けることで、イチゴの葉柄のような柔らかい部位から、樹木の幹のような硬い部位まで多様な植物の茎部で植物 AE の検出が可能な ECS の開発を行った。

まず ECS 素子を 3D プリンターで製作したケースにはめ込み、エポキシ樹脂で固定した。次に、シリコン樹脂で防水処理を行うとともに、カップリング層と保護層をかねて受感部に厚さ 3mm のシリコン樹脂を接着した。そして、ゴムバンドを用いて、図 2, 3 に示すようにトマトの茎やイチゴの葉柄に ECS を取り付けた。製作した ECS と比較のために、圧電素子である市販の AE センサ (AE144A, 富士セラミックス) を用意し (PS), ECS と同様に 3D プリンターでケースを製作して、ケースに組み込み、カップリング層を取付、防水処理を行った。そして、ECS と PS をそれぞれ 2 個用いて、植物 AE 測定を行った。



図2. トマトの茎部への ECS の取付

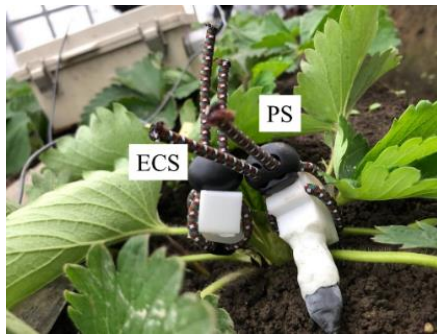


図3. イチゴの葉柄への ECS の取付

植物 AE 測定は、PC に USB を介して接続可能な 4ch のオシロスコープ (PicoScope4424, Pico Technology) を用いた。ECS と PS は、植物茎部に取付後、プリアンプ (増幅率 58dB, 30-400 kHz) を介して、オシロスコープに接続して、PC で測定を行った。AE 測定は、サンプリング周波数 10MHz で行い、4 つのセンサの信号の S/N 比を算出し、いずれか 1 のチャンネルの S/N 比のみが 6 dB 以上あり、他チャンネルの S/N 比が 3 dB 以下の場合、AE を検出したと判定し、波形を記録した。AE 測定は、ハウス栽培トマト (埼玉大学に設置したビニールハウス) ハウス栽培イチゴ (埼玉県, 増川農園) それぞれ 1 週間行い、測定された AE 数と周波数ピークについて比較を行った。

ECS は PS よりも AE 検出数に劣るものの、1 日 30 イベント以上の多数の AE を検出できた。また、ECS と PS とともに大半の AE は昼間に検出された。これは、蒸散によりキャピテーションが誘起したことが AE 発生の原因と考えられ、いずれのセンサも同一の現象に起因する AE を検出していると思われる。次に、PS で検出された AE のピーク周波数は、50 および 150 kHz 付近に多い傾向であったが、ECS は、50 kHz 付近のみ検出された。そのため、100 kHz 以上の植物 AE については、ECS では検出が難しいという問題点も明らかとなった。一方で、PS は、140 kHz に共振周波数を有しているため、150 kHz 付近にピーク周波数を有する AE が多数検出されたと考えられる。ECS のウェーブレットスペクトルからは、100 kHz 以下の成分の方が強いものの、200 kHz 以上にピークが生じている AE がいくつか認められた。このことから、PS は共振により高周波成分が強調されていると考えられる。

次に、ハウス栽培イチゴにおいて、ECS, PS とともに 1 日当たり 600 イベント以上の非常に多くの AE が検出された。また、ハウス栽培トマトでの AE 測定と同様に、大半の AE は昼間に生じており、いずれのセンサも同一の現象に起因する AE を捉えていると考えられる。ハウス栽培トマトでの AE 測定とは異なり、PS においても大半の AE が 100 kHz 以下の周波数ピークを有していた。そのため、高周波成分の減衰が強められ、100 kHz 以上の AE が検出されなかったと思われる。そして、トマトの茎部と比較すると ECS の AE 検出数は PS と同等程度に向上した。これは、イチゴの葉柄ではトマトの茎部より音響インピーダンスが低下し、PS の圧電素子のとのインピーダンスの整合性が弱まる一方で、空気ギャップを有する ECS とのインピーダンスの整合性が高まったと考えられる。

これらの結果から ECS は、PS と比較すると検出感度に劣るものの、時刻による AE 発生挙動を捉えていることから植物 AE 測定を用いた活動モニタリングに利用可能であると考えられる。また、PS は ECS と比較するとより強固に固定する必要があるため、植物にダメージを与えやすい。さらに、圧電セラミックスは脆く難加工材であり、焼付による電極形成も困難なため、製造コストが高く、長期測定の信頼性にも劣る。そのため、低コストで長期信頼性の高い植物 AE 測定には、ECS をセンサとして使用することが適していると思われる。

## (2) ECS を用いて植物 AE 測定が可能な IoT デバイス (IoP) の開発

開発した ECS を植物 AE 測定に用いるために、小電力で小型の IoT デバイスを製作した。マイクログリッドコンピュータ (PSoc6, Cypress), プリアンプ, 無線送信モジュールを実装したデバイス基板を設計・製作した。2 個の ECS が接続可能で、これらの信号はプリアンプで増幅後、サンプリング周波数 500 kHz で A/D 変換される。そして、リアルタイムで ECS からの信号強度をモニタリングし、片方のチャンネルで S/N 比が 6dB, もう片方のチャンネルで S/N 比が 3 dB のとき植物 AE を検出したと判定し、その時刻を記録した。そして、定期的に AE 発生時刻データを LPWAN の無線モジュール (Lora) で中継器 (ルーター) である Raspberry Pi に送信した。また、このデバイスは、RS485 と I2C を介して温湿度センサ, CO<sub>2</sub> センサ, 土壌水分センサも接続可能であり、これらのセンサを用いた場合は、定期的に各環境因子を測定して中継器にデータを送信した。そして、中継器は、定期的にクラウドデータベースにデータを転送することで、クラウドデータベースにデータを集約した。一方、研究室に設置された解析サーバにより、クラウドデータベースのデータを解析し、時刻別の AE 数および各環境因子を可視化するウェブページを作成した。

次に、無電源で IoP デバイスを運用するために、5W のソーラパネル, リチウムイオン電池, チャージコントローラを搭載した自立駆動型 IoP デバイスを製作した。そして、IoP デバイスとは別に電源のある場所に設置した中継器により各デバイスからのデータを収集した。この IoP デバイスを用いて茶畑 (京都府, 福岡久園) において植物 AE 測定を行った。このとき、4 台の IoP デバイスを設置して、どちらも茶の木の枝に取り付けた ECS を接続して植物 AE 測定を行うと

もに、2台は土壌水分センサも接続して土壌水分測定も行った。測定は11月上旬から翌年4月下旬までおよそ160日の長期間に渡って行った。

土壌水分率は上側の方が少なく、いずれも降雨により急増したことが分かった。また、下側の一部区間を除き、測定結果が得られていた。開発したIoPデバイスは日照の少ない冬期であってもAEと土壌水分を測定しながら長期間自立駆動が可能であることが明らかとなった。この結果とAE測定結果を比較すると、降雨時に多数のAEが検出された。これは、雨滴がセンサに衝突したことから植物AEと誤検出されたと考えられる。そこで対象時刻の前後5h以内で土壌水分が上昇した場合、降雨があったとしてその際に検出されたAEは除去した。降雨の影響を除いた場合でも、AE発生数は長期的には大きく変動しているが、測定期間中にAE測定が行われていたことが分かり、開発した自立駆動IoPデバイスにより無電源でも長期間植物AE測定が可能であることが実証された。また、大半のAEは昼間に発生しており、トマトやイチゴと同様に蒸散によるキャビテーションに起因したAEが検出されていると考えられる。

### (3) IoPを用いた植物の活動モニタリング技術の創出

開発したIoPデバイスを用いてハウス栽培（埼玉県，増川農園）イチゴの長期AE測定を行った。ハウス（45x6 m）2棟（A，B）において土耕イチゴを対象とした。AおよびB棟において栽培したイチゴの品種は異なるが（それぞれ”とちおとめ”，”紅ほっぺ”），栽培期間は同じであり2020年9月下旬に定植した。AEデバイスは各棟につき、1つの畝に沿って5mの間隔で4か所設置し、それぞれA1-A4，B1-B4区とした。また、各棟につき、1か所で照度の測定と、2か所で土壌温度と土壌水分の測定も行った。また、1つのデバイスにつき2つのAEセンサを接続して、同じ株の葉柄に取り付けた。取り付けにはゴムバンドを用いて葉柄が折れない程度に密着させた。AE測定は10月上旬から翌年5月下旬まで235日間行い、1月から5月までは、月に2回各区（測定している株から半径1m以内）で3個ずつ完熟前のイチゴを採取して、重量と糖度を測定した。さらに、自立駆動型IoPデバイスを用いて茶畑（京都府，福岡久園）長期AE測定を行った。実験条件は、前節と同じである。

各区の1時間ごとのAE発生数は日により大きく変動していた。一方、A1区における照度と土壌温度の1日の平均値をそれぞれ $DL$ および $DST$ とすると、照度と土壌温度はいずれも測定開始から徐々に低下し、1月を過ぎると上昇に転じている。そこで、時刻別のAE発生挙動の変動に注目した。時刻別AE発生数の1ヵ月ごとの平均値は、AE数が最大になるピーク時刻は12時である場合が多いが、2月以降は12時以前にピーク時刻が移動していた。このようなピーク時刻の変動をより明確にするため、1日のAE数が10以上の日について、AE数の重心時刻 $WH$ を算出した。そして、1ヵ月の $WH$ の平均値 $AWH$ を算出した。11月以降はいずれの区も $AWH$ が増加し、2月をピークに減少に転じていた。すなわち、区によりAE発生数は大きくばらついていても、AE発生数のピーク時刻は一致しており、イチゴが受けているストレスを反映しているのではないかと推察される。

一方、収穫した果実の平均糖度 $ASC$ と平均重量 $AWF$ については、A棟とB棟ではイチゴの品種が異なるが、 $ASC$ はB3以外の全ての区において2月が最も高くなり、さらに $AWF$ は大半の区において2月が最も低くなった。すなわち、AE発生数のピーク時刻は果実の糖度や重量と関連していると思われる。そして、各区の1ヵ月ごとの平均糖度 $ASC$ と平均重量 $AWF$ に対する $AWH$ との関係を調べた結果、 $AWH$ は $AWF$ とは相関が認められなかったが、 $ASC$ との相関係数 $R$ は0.73であり強い相関が認められた。これは、AEが多数発生する時刻が遅くなるほど果実の糖度が上昇する傾向を示している。一般的に、乾燥などのストレスを強く受けると果実の糖度が上昇することが知られているが、強いストレスを受けると蒸散の開始が遅延して $AWH$ が増加する傾向を示したのではないかと考えられる。これらの結果から、ECSを用いたハウス栽培イチゴのAE測定においては、AE数はセンサの取り付け状態などの影響を受け大きくばらつくものの、AE数のピーク時刻の変動は、イチゴのストレスを反映しており、AE測定を用いたハウス栽培での植物の活動モニタリングの可能性を示せたと考える。

露地栽培茶においては、降雨の影響を考慮してAEを選別し、全センサのAE数の合計を用いて、AE発生挙動を調べた。そして、上記条件でAE判定を行った場合、1日のAE発生数は、ハウス栽培イチゴと同様に日により大きく変動していたが、 $AWH$ はいずれの月も11時から13時の範囲内で変動していた。しかし、今回は茶の木のストレスを評価することは行っておらず、イチゴは草本植物であるのに対して茶の木は木本植物であることからキャビテーションに対する脆弱性も異なるため、 $AWH$ を用いてストレス評価を行えるかどうかは不明である。

そこで、1日のAE発生数の7日間の移動平均を $ADN$ としたところ、 $ADN$ はゆるやかに減少していた。一方、 $DL$ と $DSL$ の挙動は、 $DL$ は冬至を過ぎると増加していく傾向があるが、 $DST$ は減少したままほとんど増加しておらず、 $ADN$ と類似の傾向を示した。そして、 $ADN$ は $DL$ とは相関が認められなかったが、 $DST$ との相関係数 $R$ は0.80であり強い相関が認められた。これは土壌温度が低いと蒸散が抑制された結果AE発生数が減少したと考えられる。従って、露地においては降雨などの気候変動によるAEを検出してしまいが、土壌水分などの環境因子の測定と併用することで、AE測定は植物の活動状態をモニタリングできる可能性があると思われる。

これらの結果から、ハウス栽培や、露地栽培などの屋外環境において、ECSとIoTデバイスを用いると、AE数のピーク時刻の変動や、AE発生数の移動平均などを用いることで、低コストで長期間かつリアルタイムで測定対象の植物の活動をモニタリングできる可能性が示された。

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 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 蔭山健介, 小林駆, 川田良暁, 坂井建宣	4. 巻 142
2. 論文標題 シリカ微粉末を用いたエレクトレットとそれを用いた超音波センサの特性評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 110-116
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 蔭山健介	4. 巻 46
2. 論文標題 エレクトレットAEセンサを用いた植物の活動モニタリング	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 60-64
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7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 五股 大貴
2. 発表標題 多点AE測定による茎部の高さに応じた植物AE発生挙動の比較
3. 学会等名 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 畑 孝輔
2. 発表標題 極薄PTFE複合エレクトレットの帯電条件が電荷保持特性に及ぼす影響
3. 学会等名 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kensuke Kageyama
2. 発表標題 AE Measurement of Greenhouse Strawberry Using Electret Sensor for Activity Monitoring
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊岡 諭
2. 発表標題 エレクトレットセンサを用いた植物AE 測定における接触条件が感度に及ぼす影響
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 琴美
2. 発表標題 シリカ/PTFE 混合コロイド溶液を用いた極薄エレクトレットの作製と電荷保持特性の評価
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川井健
2. 発表標題 極薄PTFE層を有するワイヤ電極の電荷保持特性とエレクトレットセンサへの応用
3. 学会等名 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蔭山健介
2. 発表標題 シリカ微粉末を用いたエレクトレットとそれを用いた超音波センサの特性評価
3. 学会等名 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>「トマトの音」ってどんな音？  <a href="https://yumenavi.info/lecture.aspx?GNKCD=g010337">https://yumenavi.info/lecture.aspx?GNKCD=g010337</a>  植物の音を捉えるセンサ  <a href="https://www.campuscreate.com/expo/%e8%94%ad%e5%b1%b1%e3%80%80%e5%81%a5%e4%bb%8b/">https://www.campuscreate.com/expo/%e8%94%ad%e5%b1%b1%e3%80%80%e5%81%a5%e4%bb%8b/</a>  エレクトレットを用いた音響・超音波センサの開発  <a href="http://mehp.mech.saitama-u.ac.jp/activities/kageyama-2.html">http://mehp.mech.saitama-u.ac.jp/activities/kageyama-2.html</a></p>
--

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	小島 一恭  (Kojima Kazuyuki)  (60361391)	湘南工科大学・工学部・准教授    (32706)	

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