

[研究助成 (A)]

日常生活の中で植物バイオセンサーを利用して 生活習慣病を早期に発見する技術の開発

2251012

研究代表者
(助成金受領者)

共同研究者

筑波大学 生命環境系

京都大学 工学研究科

Temasek Lifesciences
Laboratory

助教

准教授

Senior Investigator
(Emeritus)

木 下 奈都子

山 本 俊 介

Nam-Hai Chua

[研究の目的]

本研究では、植物とエレクトロニクスを融合した新規バイオセンシング技術の基盤構築を目的とした。特に、日常生活空間に存在する植物を利用し、人の健康状態に関連する環境情報を非侵襲的に取得する技術の開発を目指した。植物を単なる観賞用途ではなく、生体由来情報を取得可能なインターフェースとして利用することで、人と機械が共存する新しいセンシング技術への展開を見据えた。

生活習慣病は早期発見と継続的なモニタリングが重要である一方で、既存の医療機器やウェアラブル機器には、装着性や継続使用に対する心理的負担、日常生活への制約などの課題が存在する。観葉植物のように生活空間へ自然に配置可能な植物を利用することで、従来型センサーとは異なる低侵襲かつ持続的な健康モニタリング技術の実現を試みた。また、人が機器を強く意識することなく情報取得を行うことで、日常生活へ無理なく導入可能な新しいバイオインターフェースの構築を目指した。さらに、植物を利用することで、機械的な計測機器とは異なる柔軟性や親和性を持つ情報取得技術として発展させることを目指した。

また、植物は周囲の環境変化に対して高感度に応答する特徴を持つことから、生体由来情報を検知する新たな生体インターフェースとして

利用できる可能性がある。植物特有の応答性に着目し、植物由来シグナルと電子デバイスを組み合わせた次世代型センシング技術の構築を進めることで、従来型センサーとは異なる情報取得技術の創出を図った。さらに、生活習慣病の早期検知や日常的な健康管理への応用を見据え、生活空間の中で継続的に利用可能なセンシング基盤技術の創出を目的とした。植物と電子デバイスを融合した新しい生体情報取得技術として発展させることで、人と機械が調和した新たな健康モニタリング技術への展開を目指した。

[研究の内容、成果]

内容

本研究では、植物が外部環境の変化に応答して示す生体反応に着目し、植物と電子デバイスを融合した非侵襲的センシング技術の基盤構築を進めた。特に、植物表面から生体信号を取得するための薄膜型電極および周辺計測系を開発し、従来の計測手法よりも植物への負担を抑えながら長時間にわたり安定した情報取得を可能にする技術体系の構築を目的とした。

また、植物表面から取得される生体信号を高感度に解析するため、増幅系を含む計測回路とイメージング技術を組み合わせた解析系の構築を進めた。これにより、植物由来シグナルを多

面的に取得し、外部刺激に対する植物応答を継続的かつ低侵襲的に解析可能な技術基盤として発展させることを目指した。さらに、柔軟性を有する電極材料や小型化した計測系を利用することで、多様な植物種や測定条件へ適用可能なセンシング技術として展開することを目的とした。

さらに、植物が周囲環境の変化に対して高感度に応答する特徴を利用し、植物由来シグナルを環境情報として取得可能な新しいバイオインターフェース技術への応用を進めた。加えて、生活空間や生産環境へ自然に導入可能なセンシング技術として発展させることで、人と機械が共存する次世代型センシング基盤技術への展開を目的とした。

成果

本研究では、植物が外部環境の変化に応答して示す生体反応に着目し、植物と電子デバイスを融合した非侵襲的センシング技術の基盤構築を進めた。特に、植物表面から生体信号を取得するための電極および周辺計測系を開発し、従来の計測手法よりも植物への負担を抑えながら長時間にわたり安定した情報取得を可能にする技術体系の構築を目的とした。

また、植物由来シグナルを高感度に取得するため、柔軟性を有する薄膜型電極や増幅器を組み合わせた計測系の構築を進めた。これにより、植物由来シグナルを継続的かつ低侵襲的に取得し、外部環境変化に対する植物応答を多面的に解析可能な技術基盤として発展させることを目指した。さらに、生体信号計測とイメージング技術を組み合わせることで、植物応答を統合的に解析するための基盤技術の開発を進めた。加えて、植物由来シグナルを利用した新しいバイオインターフェース技術として、生体情報取得や環境応答解析への応用可能性について検討を行った。

まず既存のゲル電極を用いた電位測定結果を示した。従来型のゲル電極を利用し、植物表面

から取得される生体信号の継続的な計測を行った。本条件では、既存の計測系を基準として、植物由来シグナルを安定的に取得可能な計測条件について検討を進めた。また、後述する薄膜型電極を利用した新規計測系との比較を行うための基礎データとして利用した。

次に新規の薄膜電極を用いて物理的な補強を施して電位測定を行った。柔軟性を有する薄膜型電極を植物表面へ適用することで、従来型電極よりも植物への負担を抑えながら生体信号を取得する技術の構築を進めた。さらに、薄膜型電極を利用することで、多様な植物種や測定条件へ適用可能な非侵襲的計測技術として展開することを目的とした。

さらに、新規薄膜電極に化学的な補強剤を加え、図2と同様に物理的な安定装置もそのまま設置した状態で電位測定を行った。既存の方法よりも安定し、感度が高い手法であることがわかった。補強剤とサポートを組み合わせることで、植物由来シグナルをより高感度に取得可能な計測系の構築を進めた。また、長時間にわた

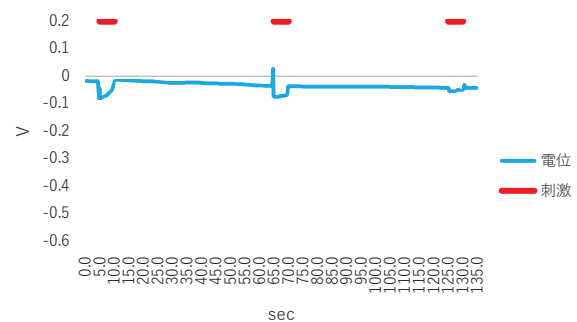


図 1

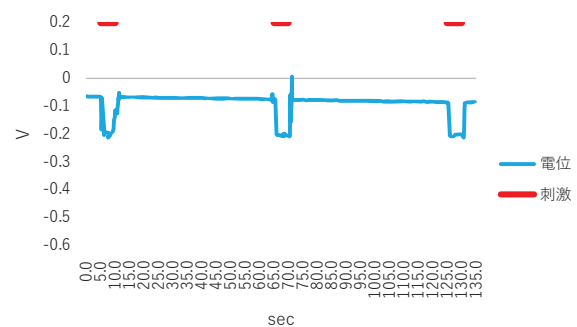


図 2

り安定して生体信号を取得するため、周辺回路構成を含めた計測条件の最適化について検討を行った。本手法では、シグナル変化をより明瞭に取得できる傾向が認められ、高感度な計測系として利用可能であることが示唆された。

図4には、新規な薄膜電極に補強剤を入れたままでサポート装置を省いた条件を試した。柔軟性を有する薄膜型電極と化学的な補強剤を組み合わせることで、植物への負担を抑えながら高感度に生体信号を取得する非侵襲的計測技術の構築を進めた。また、電極材料や増幅条件を含めた計測系全体の構成について検討を行い、植物由来シグナルを継続的に取得可能なセンシング技術として発展させることを目的とした。特に、組み合わせた条件次第では、微小なシグナル変化も取得可能であり、植物由来情報を高感度に解析可能な計測技術としての応用が期待された。

次に生体関連マーカーに対する応答変化を経時的に解析した結果を示した。バイオマーカー

を含まない条件（青線）では、時間経過とともに応答性が低下する傾向が認められた。一方、バイオマーカーを含む条件（オレンジ）では、初期段階において高い応答性が観察され、その後時間経過に伴い徐々に応答変化は減少したものの、バイオマーカーを含まない条件と比較して高い応答性を維持する傾向が認められた。

本結果から、バイオマーカーを含む条件では、生体関連シグナルに対する応答感度が向上している可能性が示唆された。また、時間経過に伴う応答変化の推移にも条件間で差異が認められたことから、周辺材料や計測条件がシグナル取得特性へ影響を与える可能性が考えられた。さらに、植物由来シグナルを利用したセンシング技術において、計測条件や周辺構成の最適化が重要であることが示唆された。

さらに、図6には、切断した植物組織に対してバイオマーカー処理を行った際の蛍光シグナル変化を示した。左図はバイオマーカー処理前(0時間)、右図は処理後4時間の状態を示して

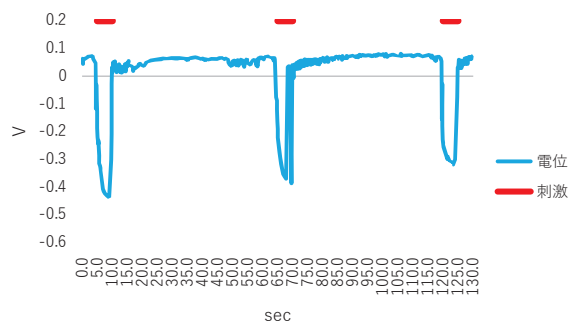


図3

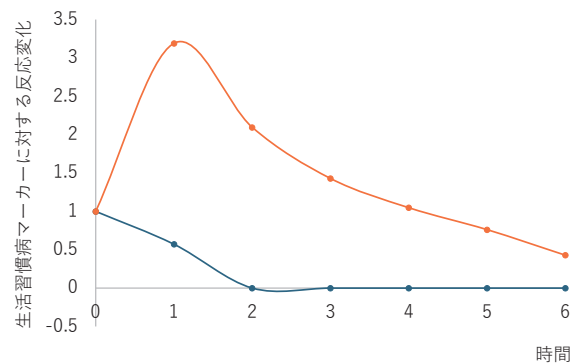


図5

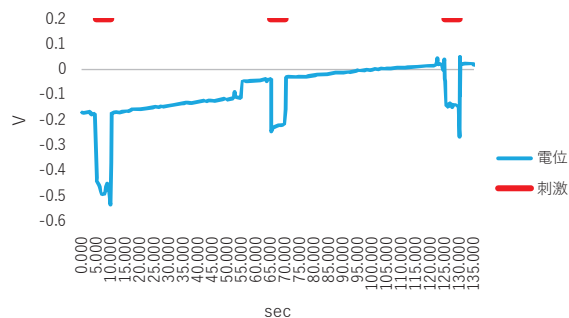


図4

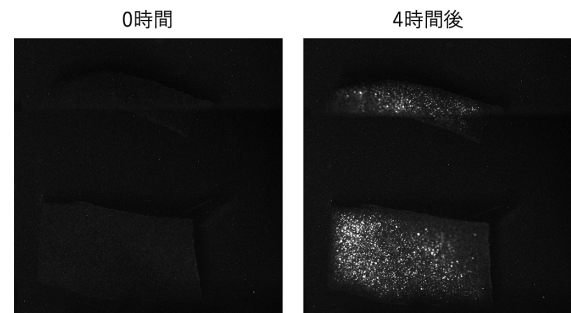


図6

いる。処理前では明瞭な蛍光シグナルはほとんど観察されなかった一方で、処理後には組織内部において顕著な蛍光シグナルが観察された。

本実験では、切断後の植物組織においても外部刺激や処理条件に対する応答性が維持されていることを確認することを目的とした。その結果、切断組織においても時間経過に伴う蛍光シグナル変化が観察され、植物由来応答を検出可能であることが示唆された。また、シグナルは組織全体へ広がるように観察されており、局所的な変化だけでなく、組織レベルで応答が生じている可能性が考えられた。

さらに、本結果から、切断組織を利用した場合においても、生体関連シグナルを利用した解析が可能である可能性が示された。これにより、従来の個体全体を利用した測定系に加え、切断組織を利用した簡便な評価系として応用できる可能性が期待された。

近年、糖尿病、高血圧、脂質異常症などの生活習慣病患者数は国内外で増加を続けており、現在、健康モニタリング技術としては、血液検査やウェアラブル機器を用いた生体情報取得技術が広く利用されている。しかし、定期的な通院や検査には時間的・経済的負担が存在し、多忙な生活環境の中で継続的な健康管理を実施できないケースも多い。また、ウェアラブル機器に関しても、装着に対する心理的負担や長時間利用時の不快感、継続利用率の低下などが課題として指摘されている。海外においても、日常生活空間に自然に組み込むことが可能な非侵襲的センシング技術や環境調和型バイオセンシング技術への関心が高まりつつある。このような背景の中、本研究では植物が外部環境変化に対して高感度に応答する特徴に着目し、植物と電子デバイスを融合した新しい非侵襲的センシング技術の基盤構築を進めた。特に、柔軟性を有する薄膜型電極、補強材料、増幅器、およびイメージング技術を組み合わせることで、植物への負担を抑えながら長時間にわたり植物由来シグナルを高感度に取得可能な技術体系の構築を

目指した。

本研究では、既存のゲル電極、新規薄膜電極、補強条件、および周辺実験系の違いによる植物由来シグナル取得特性を比較した。既存のゲル電極を用いた条件では、生体信号を継続的に取得可能であることが確認され、基準となる計測系として利用した。一方、新規薄膜電極を用いた条件では、柔軟性を有する電極材料を植物表面へ適用することで、従来型電極よりも植物への負担を抑えながらシグナル取得を行うことを試みた。

さらに、物理的サポートや化学的補強剤を組み合わせた条件では、シグナル取得の安定性や感度が向上する傾向が認められた。特に、補強剤とサポートを併用した条件では、既存条件と比較してシグナル変化をより明瞭に取得できる傾向が認められ、高感度な計測系として利用可能であることが示唆された。また、サポート条件や補強条件を変化させた場合にもシグナル取得が可能であったことから、電極材料だけでなく、周辺材料や固定条件を含めた計測系全体の最適化が重要であることが示唆された。

また、生体関連マーカー存在下における応答変化を経時的に解析した。その結果、バイオマーカーを含む条件では、含まない条件と比較して高い応答性を維持する傾向が認められた。本結果は、周辺材料や化学的条件が植物由来シグナル取得特性へ影響を与える可能性を示唆しており、植物応答を利用したセンシング技術において、計測環境全体の設計が重要であることを示している。

さらに、切断した植物組織に対してバイオマーカー処理を行った際の蛍光シグナル変化を解析した。処理後には組織内部において顕著な蛍光シグナルが観察され、切断組織においても植物由来応答を検出可能であることが示唆された。この結果から、個体全体を利用した計測だけでなく、切断組織を利用した簡便な評価系としても応用可能であることが考えられた。

本研究を通じて、植物由来シグナルを利用し

た非侵襲的センシング技術の基盤構築を進めることができた。特に、薄膜型電極、補強材料、増幅系、およびイメージング技術を統合することで、植物への負担を抑えながら高感度かつ継続的に生体情報を取得可能な技術として発展できる可能性が示唆された。今後は、さらなる小型化や長期安定化、実環境下での適用性向上を進めることで、生活空間に自然に導入可能な健康モニタリング技術としての発展が期待される。また、人が機器を強く意識することなく継続的に健康状態を把握できる新しいバイオインターフェース技術として、生活習慣病の早期検知や日常的健康管理への応用可能性が期待される。

最後になりましたが、本研究を進めるにあたって貴重な助成を賜りました立石科学技術振興財団に深くお礼申し上げます。

[成果の発表, 論文など]

招待講演

Plant responses to biological stress: wide-field bioimaging and beyond

Zarco Group / Rockefeller University/2026-03-02

Wide-field bioimaging and its usage to interorganismal communication

Freie Universität Berlin / Botanischer Garten Berlin/2025-05-05

Chemical Ecology and Wide-Field Bioimaging

James Blande Laboratory / University of East Finland/2025-04-28

持続的かつ非侵襲的な方法で貯蔵穀物を害虫から守る

飯島記念財団 学術講演会 /2025-11-14

植物の会話：危険信号はどう伝わるのか？

キャノン財団第4回講演会 「生物たちの驚きのサバイバル戦略」～いのちを守る感覚機能の科学に触れてみよう！～/2025-09-06

論文

Revisiting Volatile Organic Compounds' Role in Plant Communication Using Real-Time Bioimaging

KINOSHITA Natsuko

Frontiers in Plant Science, 2026-04

Accepted