

令和元年6月21日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06393

研究課題名(和文) 生体電位応答に連動したSPA・SMAシステム型の植物工場の生育環境制御

研究課題名(英文) Proposal for an Automated Plant and Mushroom Growth (SPA/SMA) System Using the Measured Bioelectric Potential Feedback

研究代表者

平間 淳司 (Junji, Hirama)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：40181185

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：生体電位計測を活用した新SPA型植物(ワサビ工場)およびSMA型茸工場の至適生育環境制御が本研究の目的である。人工栽培が困難とされる植物や茸工場に関して、早くからセンサーネットワークを導入した生育環境制御を実施した。外的刺激環境によって、ワサビ葉や茸子実体から誘発する微弱な生体電位から「植物や茸の健康診断」を行った。従来の生体計測に基づくSPA(Speaking Plant Approach)やSMA(Speaking Mushroom Approach)による生育環境制御の他に、生体電位データも生体計測に加えて健康診断も行うことで、さらなる至適生育環境制御を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球規模で天候不順が問題視される中、農作物類の露地栽培において食物の安定生産が困難となり食糧問題の解決が喫緊の課題となっている。そこで本研究では、天候や気象に影響されず、安全・安心・安定供給できる植物工場や茸工場での人工栽培における至適生育環境制御パラメータの検討を行った。本研究の最大の特徴として、植物体や茸体から誘発する微弱な生体電位を独自開発した測定技術によって、栽培期間中に連続して計測することで「生き物」の気持ちを間接的に推定し、より効果的な生育促進効果を狙うことを目指した。すなわち、「生き物」の健康診断をすることで、高効率な人工栽培技術の確立を目指すことが可能である。

研究成果の概要(英文)：New SPA based (wasabi) and SMA based (mushroom) plant factory with optimally controlled cultivation environment utilizing the bioelectric potential. For plants that are considered difficult to grow in plant and mushroom factories, a controlled cultivation environment that was created with ICT based sensor networks was implemented early on. By analyzing the weak bioelectric potentials from the plant or mushroom when exposed to external environmental stimuli, a "health check" on the plant or mushroom is performed. In addition to growth environmental control based on other biometric SPA (Speaking Plant Approach) or SMA (Speaking Mushroom Approach) measurement techniques, continuous health monitoring of the plant or mushroom using the bioelectric potential data is also obtained in order to further optimize the cultivation environmental control.

研究分野：生体情報工学

キーワード：植物工場 茸工場 生体電位 人工栽培 環境制御

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 茸類は免疫増強作用・臓器疾患改善などの健康食品として最近注目され、茸工場で人工栽培が盛んに行われている。また、植物工場は一般の露地栽培に比べて設備投資やランニングコストが高く普及率が低い、気象変動に依存せず「安心」「安全」「安定供給」が十分可能であり、将来の食物生産危機に備えられる。いずれも採算性の確保が重要な課題として急務である。植物や茸の至適生育条件(生育環境調節)は栽培現場では古くから経験的に確立しているが、科学的側面からの検討は大変遅れている。



図1 葉面や茸に電極を取付け生体電位を計測中

(2) これまで申請者らは、例えば図1に示すように、「植物」(や「舞茸」)の生長の活性化と関係がある生体電位信号(誘発電位は約数 mV)を計測し、その電位変動を指標とすることで至適生育条件に関して工学的側面から検討をしてきた。「生き物」から誘発する生体電位は人間に例えれば心電図や脳波に相当し、その電位波形から健康診断ができる計測技術の確立(いわゆる逆問題)に成功し、多くの業績を残してきた。特に各種外的刺激条件(波長、輝度、照射方法、温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度など)と生育状況(形態形成)や生理活性度の関係を明らかにしてきた。

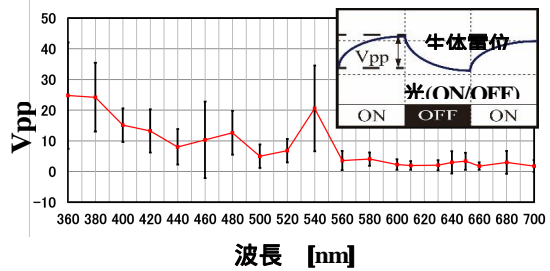


図2 マイタケ生体電位波長依存性

条件(波長、輝度、照射方法、温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度など)と生育状況(形態形成)や生理活性度の関係を明らかにしてきた。

### 2. 研究の目的

(1) 植物工場や茸工場の人工栽培での至適生育環境調節技術において、本研究では栽培種「生き物」から誘発する微弱な生体電位を常時観測する。栽培期間中に「生体電位」の意味解釈をすることで「生き物」の気持ちを知り、至適生育環境を人工的に制御する画期的な技術開発を行う。植物や茸などの「生き物」に外的刺激を与えた場合の生体電位応答特性を数千株のサンプルから収集し、生育と電位変化の因果関係を調査して「生き物」の気持ちを推定可能としてきた。いわゆる「逆問題」としてのアプローチである。本研究では食物類の高効率生産や健康食品として注目されているわさびとマイタケを対象とした、高効率生産と機能性成分増強型を目指した植物・茸工場の環境制御技術の実用化研究である。

(2) 本研究では、これまでの蓄積ノウハウを活かし植物工場や茸工場の栽培環境制御を行う SPA(Speaking Plant Approach) や SMA(Speaking Mushroom Approach) システムの新提案を行っている。現在、わさび栽培環境制御システムに提案型 SPA を研究室内で試験運用し、本格的な植物工場の建設を企画中である。

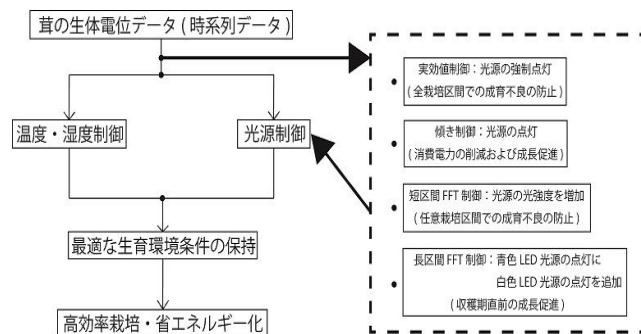


図3 生体電位データからの環境制御環境制御の概念図

(3) SMA(申請者が提案)に関しては国内・国外でも全く取組みが無く、当該研究室と特定企業との連携で開発してきたシステムで有り、「茸の気持ち」を電位信号から推定し環境制御に積極的に応用することで茸工場での栽培にかかるランニングコスト削減や至適生育環境制御において、これまでに大きな成果を残している。

図3に示す様に茸(や植物)の生体電位データから、環境制御パラメータを設定して環境制御信号を生成することで、植物・茸工場の高効率生産を狙う。「生き物」から誘発する自発性のバイオリズムを伴った生体電位信号(例えば、電位変動のエネルギー、短区間のゆらぎ変動成分、概日周変動など)を常時モニタリングすることで、いわゆるバイオセンサとして活用し、特定の茸が周辺の数千株の茸(や植物)への光刺激・温度・湿度・CO<sub>2</sub>などの環境制御信号による栽培技術を開発中とする。

### 3. 研究の方法

(1) インキュベータ(温度・湿度・CO<sub>2</sub>設定など可能な人工気象装置)を用いて、これまでの自作型人工環境装置に替わり高精度の環境制御により、植物・茸の生体電位を精密に再計測する。生体電位信号を指標とし至適生育栽培のより効果的な環境条件を確立する。SPAやSMAシステムにおけるより適切な環境制御パラメータを決定する。

(a)強さ・明暗刺激間隔: 光刺激の強度や規則的な明暗刺激間隔など、種々のパラメータを設定し生体電位に及ぼす影響力を十分検証する。現在、生長制御に最適な条件の決定までには至っていないので、得られたデータを踏まえて光刺激の強度や規則的な明暗刺激間隔など、種々のパラメータを設定し生体電位に及ぼす影響力を十分検証する。

(b)波長(光刺激の色): 光源の波長が生長促進効果へ与える影響を十分検証する。現有の白色光源であるキセノンランプに特定波長のみ通過できる干渉フィルタを利用することで、系統的に単色の発光波長(放電灯のため光照射強度は任意の光波長で一定可能)を照射できるので、植物・茸の生体電位の波長依存性をより詳しく調べて一般性の検証をする。

上記(a)の計測は、現用システムを改造し完全自動化を目指して設計・製作も視野に入れる。膨大なデータ解析なので、当該研究室所属の院生にも協力を願う。

(c)電位変動特性の解析: 生体電位のゆらぎ特性やバイオリズム変動特性を解析して、「生き物」の健康診断指標の再検討をする。

(2) 上記(1)の遂行と並行して、現在稼働中の自作装置をフル活動させてSMAシステムの至適生育制御パラメータ決定の確立を目指す。

(3) 現在稼働中のわさび水耕栽培システムもフル活動させて提案型のSPAシステムの至適制御パラメータや薬効性増強のための制御パラメータの決定も目指す。

(4)菌糸発達変化を本学所有のMRI装置で技術を確立した3D表示を応用して、茸の至適生育条件や培地の塾度診断、さらに子実体形成に至るまで、早期段階から収穫予測可能なレベルかを新しい切り口から検討する

(5) わさび工場の設置に向けた基本システムの設計および設置

これまでに得られた結果を踏まえて、種々の光刺激を与えた場合の生長の比較実験(光形態形成実験)を試験運用中の実験システムで更に複数回実施する。また、生体電位のセンシングを行い植物の生育診断や健康診断への可能性については、電位変動パターンからその期待が持てる基礎資料を得る。生体電位をモニターすることで、バイオセンサ機能を検討した結果、生体電位のバイオリズムに連動した本格的な制御型光源装置の設計ができる可能性も見出せる。従って、時間的ゆとりが有る限り、購入予定のインキュベータ内で十分な検証実験も同時進行で繰り返す。併せて、現有の試作型の提案型SPAシステムにおいて、外的刺激環境(温度・湿度・CO<sub>2</sub>など)に対しても、わさびの葉面電位を長期間計測し、逐次、解析をしながら環境制御信号の最適化を検討する。

#### 4. 研究成果

(1) 2016年度 インキュベータ(温度・湿度・CO<sub>2</sub>設定など可能な人工気象装置)を用いて高精度の環境制御により、植物・茸の生体電位を精密に再計測した。また、現在稼働中の自作装置をフル活動させてSMAシステムの至適生育制御パラメータ決定の確立を目指した。

植物や茸の生体電位反応は、光刺激の他に温度・湿度・CO<sub>2</sub>などの様々な外的環境因子に大きく依存することを突き止めていることから、生体電位信号を指標とし至適生育栽培のより効果的な環境条件を確立することを目指した。SPAやSMAシステムにおけるより適切な環境制御パラメータの決定をした。

(a)強さ・明暗刺激間隔: 光刺激の強度や規則的な明暗刺激間隔など、種々のパラメータを設定し生体電位に及ぼす影響力を検証した。現在、生長制御に最適な条件の決定には至っていなかったため、得られたデータを踏まえて光刺激の強度や規則的な明暗刺激間隔など、種々のパラメータを設定し生体電位に及ぼす影響力を検証した。

(b)波長(光刺激の色): 光源の波長が生長促進効果へ与える影響も検討した。現有の白色光源であるキセノンランプに特定波長のみ通過できる干渉フィルタを利用することで、系統的に単色の発光波長で照射できたので、植物・茸の生体電位の波長依存性をより詳しく調べて一般性を検討した。

(c)電位変動特性の解析：生体電位のゆらぎ特性やバイオリズム変動特性を解析して、「生き物」の健康診断指標の再検討した。

(2)2017 年度 植物工場や茸工場の人工栽培での至適生育環境調節技術において、本研究では栽培種「生き物」から誘発する微弱な生体電位を常時観測した。栽培期間中に「生体電位」の意味解読をすることで「生き物」の気持ちを知り、至適生育環境を人工的に制御する画期的な技術開発を行った。本研究では、これまでの蓄積ノウハウを活かし植物工場や茸工場の栽培環境制御を行う SPA(Speaking Plant Approach) や SMA(Speaking Mushroom Approach) システムの新提案を行った。従って、SPA は従来、植物体の生体計測(生長計測、形態形成、光合成速度、クロロフィル蛍光)に基づき環境調節することが主体で、一定の成果を得て実用化されつつある。そこで本研究では、この他に生体電位計測のパラメータも含め、更に高効率環境制御システムを提案した。地域連携と町おこしを狙った、わさび栽培環境制御システムに提案型 SPA を研究室内で試験運用し基本データを取得した。

この年度では主として、わさび工場の設置に向けた基本システムの設計および設置を行い、至適栽培条件の探求を実施した。また、生体電位をモニタすることで、バイオセンサ機能を検討した。そして、生体電位のバイオリズムに連動した本格的な制御型光源装置の基本設計を実施した。一方、茸工場関連では MRI 装置を用いた培地内部の高画質化の再検討も一部実施した。前年度に引き続き、茸培地の植菌から収穫までの期間の MR 画像を撮影することで、外的刺激環境に対する菌系の発達過程を検証した。

(3)2018 年度 植物や茸工場の人工栽培での至適生育環境調節技術において、本研究では栽培種「生き物」から誘発する微弱な生体電位を常時観測した。生体電位の意味解読で「生き物」の気持ちを知り、至適生育環境を人工的に制御する画期的な技術開発を行った。

植物や茸などの「生き物」に外的刺激を与えた場合の生体電位応答特性をこれまで数千株のサンプルから収集し、生育と電位変化の因果関係を調査して「生き物」の気持ちを推定可能としてきた。いわゆる「逆問題」としてのアップ ローチである。食物類の高効率生産や健康食品として注目されているマイタケとわさびを対象とした機能性成分増強型を目指した植物・茸工場の環境制御技術の実用化研究であった。すなわち、これまでの蓄積ノウハウを活かし、植物工場や茸工場の栽培環境制御を行う SPA(Speaking Plant Approach) や SMA(Speaking Mushroom Approach) システムの新提案を行った。SPA は従来、植物体の生体計測(生長計測、形態形成、光合成速度、クロロフィル蛍光など)に基づき環境調節することが主体で、一定の成果を得て実用化されつつある。本研究では、この他に生体電位計測のパラメータも含め更に高効率環境制御システムを提案した。

地域連携と町おこしを狙った、わさび栽培環境制御システムに提案型 SPA を研究室内で試験運用してきた。最終年度では、提案型 SPA システムでの生育実験を地元企業と連携しながらテストランを繰り返した。ちなみに本システムでは、わさび苗から出荷できる芋(通常は根と呼ばれる)部分は、約6ヶ月で通常の露地栽培に比べて約4倍の成長であった。その期間に生体電位を精度を高めて収集・分析を繰り返した。また、試作した MRI 装置を用いて、食品の成分分析を T1 および T2 緩和時間で評価した。これにより食品の熟度診断方法の基礎の確立もできた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

平間淳司、生体電位の計測技術、植物環境工学、査読有、30 巻(4)、2018、207-214

〔学会発表〕(計 8 件)

湯本理人、出澤智輝、オグントインボ・ボラジ、平間淳司、柳橋秀幸、松井良雄、白舞茸の各種光刺激波長による生体電位応答特性と形態形成との関係、平成 28 年度日本生物環境工学会中部支部総会、2016

田坂洋司、平間淳司、オグントインボ・ボラジ、柳橋秀幸、各種刺激環境下におけるワサビ葉の生体電位応答特性の検討、日本生物環境工学会中部支部大会、2017

山崎太志、平間淳司、オグントインボ・ボラジ、柳橋秀幸、坂 實、IoT 技術と植物葉の葉面電位応答特性を統合した「ワサビ植物工場」の生育環境制御、日本生物環境工学会中部支部大会、2017

長田昂己、平間淳司、オグントインボ・ボラジ、柳橋秀幸、ワサビにおけるクロロフィル蛍光測定、日本生物環境工学会中部支部大会、2017

Bolaji Oguntoyinbo, Junji Hirama, Hideyuki Yanagibashi, Minoru Ska, IoT Based

Optimized Wasabi Plant Cultivation System Using Leaf Bioelectric Potential

Feedback Characteristics、CIGR World Workshop in Matsuyama、2017

出澤智輝、オグントインボ・ボラジ、平間淳司、柳橋秀幸、松井良雄、下田隆史、白マイタケの近紫外・可視光域の生体電位の波長依存特性と形態形成、日本生物環境工学会2017年松山大会、2017

山崎太志、松井洋介、南怜伊、望月紀宏、平間淳司、柳橋秀幸、SPA制御利用によるワサビ葉面電位のバイオリズム変動解析、H30日本生物環境工学会中部支部大会、2018

加藤啓佑、若松大暉、清水溪佑、柳橋秀幸、平間淳司、二酸化炭素濃度変化がマイタケの生体電位と形態形成に及ぼす影響、H30日本生物環境工学会中部支部大会、2018

〔図書〕(計 1件)

平間淳司、北隆館、生き物から発する微弱な電気(生体電位)を計測し「生き物の気持ち」を知る - 害虫防除・キノコ工場・わさび工場 -、Vol.1(1)、2016、52-58

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
特になし

## 6. 研究組織

該当なし

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。