

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656235

研究課題名（和文）植物内への pH 制御デバイス挿入による新規成長促進システムの開発

研究課題名（英文）Development of growth control device by interposing pH control system

研究代表者 河合 晃 (Kawai Akira)

長岡技術科学大学 工学部 准教授

研究者番号：00251851

研究成果の概要（和文）：本研究では、①植物細胞の適合材料の決定、②植物電位計測による育成促進のモニタリングを達成した。特に、デバイス挿入による細胞腐食を防止するため、ノボラック樹脂を主体としたレジスト材料を選定した。また、数 100mV の植物システムにおける電位モニターによって、切断や枯渇などの場合に生じるカリウムなどの可動イオンの検出を確認した。以上により、植物育成における電子デバイス制御の妥当性を確認し、耐環境性の品種育成への足がかりを構築できた。

研究成果の概要（英文）：In this study, a biocompatible material and bio-potential for a plant are clarified. As a biocompatible material, a photoresist composed by a novolac resin is selected. By monitoring a bio-potential around 300mV during preparation process of a plant, a movable ion such as K^+ can be detected. The possibility of plant growth control by electronic devices is confirmed. On the point of environmental durability, development of plant seeds can be discussed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：バイオデバイス、植物成長促進

1. 研究開始当初の背景

現在、LED制御を用いた光合成促進による植物工場などの安定した農業政策が加速されている。(農林水産省、経済産業省、「植物工場の事例集」p1 (2009)) これらは、CO₂削減へ効果があるほか気候変動や災害に強い植物の育成技術に貢献できる。このように、農業をエレクトロニクス制御する分野が急速に発展しつつある。植物電位の研究も進み、エレクトロニクスとしてのバイオ制御が進んでいる。本研究では、これまでに、間接的なアプローチではなく、植物電位を直接コントロールし、植物表皮からの pH 値制御を施すことにより、植物内代謝の促進を試み、根からの給水は無い状態で1カ月間の植物の成

長促進を行うことに成功した実績を有している。この際、植物成長の促進のため、栄養分(ショ糖)の細胞内への吸収が促進されるような pH 値を電気分解により制御し、常時、溶液の pH をコントロールすることが可能であった。本研究では、植物内部へ電子デバイスを直接挿入し植物代謝をコントロールする。

2. 研究の目的

近年、植物工場のように、天候や季節変動に左右されない育成方法が注目されている。現在の日本の食料自給率はカロリーベースで 41%と、主要先進国の中でも最低水準である。本研究は、植物内部に代謝制御用の電

電子デバイスを挿入し、植物電位をコントロールするとともに、親和性の良い pH 値をもった溶液を供給することで、植物成長や水分吸収の補助による成長促進を実証する。さらに、植物内部の成長代謝を直接制御できる新たな電子デバイスシステムの構築を目指し、植物の人工育成技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

これまでの表皮付着システムを、茎および葉脈内で作用するデバイスへと発展させ、植物内部から pH 値および組織液の内圧を制御する。特に、①植物細胞の適合材料の選定、②植物電位のモニタリングによる育成促進の判定を行う。ノボラック樹脂により、植物内部挿入時のハニカム構造の電極を作製し、植物内部の電位を測定し、制御可能な電位プロフィールを見出す。また、高分子膜によるダイヤフラム型マイクロポンプを接続し、植物中心部の維管束の流速および内圧を精密に制御する。育成試験対象の植物は、食料用の大豆、観賞用ポトスなどを選定する。研究期間を通じて植物の成長を観察しながら、電子デバイス制御による植物の成長促進を実証する。

4. 研究成果

一般に高分子材料は、無機金属材料に比べて生体との適合性が高いとされている。ノボラック樹脂の植物表皮への適合性は確認済みである。ノボラック樹脂はレジスト材料の主成分であるが、微細加工ができるため、構造上での適合効果も期待できる。実際に植物内部への挿入に対する適合性を最初に解析した。リソグラフィ技術を用いて、ノボラック樹脂膜をハニカム構造に加工し、内部細胞に適合させた。この開口部を有するハニカム構造により、組織液が十分に循環し、かつ強度も確保できると期待できる。茎内部への装着には、まず表皮を取り除き、ハニカム構造のノボラック樹脂で被覆する。また、維管束内にデバイスを挿入後にもノボラック樹脂で密封する。実際には一部切り込みを形成し、そこへレジストによる構造体を挿入した。その結果、腐食による変色も生じず、拒絶反応は生じていないことを確認した。しかし、金属固体を挿入した場合は、接触部が黒く変色し細胞の壊死が確認できた。

一方、リソグラフィ技術を用いて、pH 値コントロール部とダイヤフラム型送液ポンプ部を作製した。pH は植物にとって、栄養分などの物質輸送にかかわる重要な要素である。pH 値のコントロールは、電気分解方式により実施した。作製する電子デバイスは、マイクロチャネル群を有し、アノードとカソードの 2 電極構造で構成されている。また、組織液は微弱流量制御可能なダイヤフラム型ポン

プへ接続し、長期間の成長制御を行った。ダイヤフラムポンプの性能は、気流制御によって確認済みである。しかしながら、液体の流入によって、気泡の巻き込みとラプラス力による歪が加わり、素子構造の一部が破壊した。この問題については、今後、強度設計を見直して改良する予定である。

植物電位は高精度なインピーダンスメータを用いて、回路定数を決定しながら測定した。数 100mV の安定な電位が検出された。この電位は植物の部位や電極間距離に敏感に対応していた。また、切断や加熱などの外部刺激にも感度高く変化を示した。本研究では安定な植物電位計測方法を構築できた。これにより、植物の育成状態を電子デバイスにより抽出することが可能になる。

その後、様々な食用および観葉植物および種子について、デバイス挿入実験を実施し、植物電位の測定や生体反応の基礎データを蓄積した。今後は、人為的な刺激による育成実績により、種子を取りだし、新品種の確保を狙えるよう進めていく。また、植物の成長モニタリングには、既存設備であるガスクロマトグラフィを用いた成長に伴うガス分析による手法と、赤外線カメラによる植物表面の温度変化を測定する手法を導入していく。研究期間の最後には、本研究の総括を行った。そして、さらなる実用化への発展を積極的に推進する所存である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ①Yuta Noguchi, Akira Kawai, Surface Stability of SU-8 for Accurate Biopotential Detection, J. Photopolymer Science and Technology, 査読有、25, 719-722 (2012).
- ②Yosuke Sakurai, Akira Kawai, Mechanical Stress on Ionic Conductivity of Perfluorosulfonic Acid (PFSA) Film by Photolithography, J. Photopolymer Science and Technology, 査読有、25, 723-726 (2012).
- ③Takashi Aiba, Akira Kawai, Micro Cantilever Motion in Micro Pattern Peeling by DPAT Method, J. Photopolymer Science and Technology, 査読有、25, 727-731 (2012).
- ④Satoru Mori, Akira Kawai, Enhanced Adhesive Strength of a Double-layer Cu Film Consisting of an Under-layer Deposited in 10 vol% O₂ in Ar and an Upper-layer Deposited in Pure Ar J. Adhesion Soc. Japan, 査読有、48(1) 10-16 (2012).
- ⑤河合 晃、接着の物理 XIV 原子間力顕微鏡

力顕微鏡 (AFM) を用いた微小構造体の付着凝集性解析、日本接着学会誌、査読無、vol. 48, No. 1, p36-46 (2012)

⑥Akira Kawai, Fluid Control MEMS constructed with Polymer Materials, J. Photopolymer Science and Technology, 査読有、24,(5), 573-598 (2011).

⑦Masayoshi Yamada, Akira Kawai, Micro Polymer Capsule Constructed with Micro Pillars Formed by Multi Laminating Method, J. Photopolymer Science and Technology, 査読有、24, 647-650 (2011).

⑧河合 晃、塗工液の液物性コントロールとトラブル対策、塗装工学、査読無、vol. 46, No. 7, p 225-237 (2011)

〔学会発表〕 (計 16 件)

①Yuta Noguchi, Akira Kawai, Monitoring and Modeling for Response Time of Biopotential in Plant Cells, The Electrochemical Society, Abstract #69, Honolulu PRiME 2012.

②Takashi Aiba, Akira Kawai, Peeling Force of Polymer Micro Pattern by Direct Peeling by using AFM Tip (DPAT), The Electrochemical Society, Abstract #68, Honolulu PRiME 2012.

③Yosuke Sakurai, Akira Kawai, Stress Durability of Electrolyte Structure in Flexible Sheet type Direct Methanol Fuel Cell (FS-DMFC), The Electrochemical Society, Abstract #59, Honolulu PRiME 2012.

④Akira Kawai, "Condensation control of Nanoscale Polymer Aggregates by using atomic force microscope tip, 1st International GIGAKU Conference in Nagaoka (IGCN2012), Feb. 3-5, 2012, Nagaoka, Japan, Transaction on GIGAKU,1, (2012) 01018/1-6.

⑤Akira Kawai, "Nano- Porous Structure in Polymer Micro Pattern Analyzed by Atomic Force Microscopy(AFM) Nano S&T 2011, Oct. 23-26, 2011, Dalian, China. Invited

⑥Akira Kawai, "Fluid Control MEMS constructed with Polymer Materials, International symposium on materials & processes for advanced giga-bit-scale lithography 2011, June. 24, 2011, Chiba, Japan. invited.

⑦Akira Kawai, "Nanoscale Topography of Polymer Film Surface in Dry/Wet Conditions" Nano S&T 2011, Oct. 23-26, 2011, Dalian, China.

⑧大塚和俊、河合 晃、SU-8 フォトリソグロウの人工皮膚材料としての検討、I-02, 平成 24 年度電気学会東京支部新潟支所研究発表会、予稿集 P4, (2012).

⑨大谷翔梧、河合 晃、植物電位と表面温度の多点測定による緑葉植物の育成観察、II-13, 平成 24 年度電気学会東京支部新潟

支所研究発表会、予稿集 P30, (2012).

⑩窪田直也、河合 晃、摩擦蓄電エネルギーの民生機器の実用化の検討、P-14, 平成 24 年度電気学会東京支部新潟支所研究発表会、予稿集 P78, (2012).

⑪野口悠太、河合 晃、植物の細胞間電位の測定とモニタリング、電気学会 C 部門大会講演、2011. 9. 7-9, PS2-1, (富山大) 2011

⑫相場 崇、河合 晃、X 線光電子分光法 (XPS) による Si 基板上のシランカップリング処理層の再生評価と制御、電気学会 C 部門大会講演、2011. 9. 7-9, GS10-3, (富山大) 2011

⑬森永和也、河合 晃、メタノール水溶液中でのワイヤー電極の電位検出、電気学会 C 部門大会講演、2011. 9. 7-9, GS10-5, 富山大学

⑭桜井 洋輔、河合 晃、シート型直接メタノール燃料電池 (DMFC) の外部荷重による発電基礎特性、電気学会 A 部門大会講演、2011. 9. 21-22, 東京工業大学

⑮大谷 翔吾、河合 晃、緑葉植物の 0~700mV の局所電位測定と解析、電気学会 A 部門大会講演、P28, 2011. 9. 21-22 (東工大) 2011

⑯森田 直也、河合 晃、メタノール水溶液中での高分子膜内の微小電流解析、電気学会 A 部門大会講演、2011. 9. 21-22, P27, 東京工業大学

〔図書〕 (計 7 件)

①河合 晃、塗膜・レジスト膜の乾燥・付着技術とトラブル対策、単著、情報機構、2011 年、(総ページ P196)

②河合 晃他、粒子分散系塗布膜を中心とした高粘度スラリーの調液・塗布・乾燥技術、第 5 節 各種乾燥プロセスにおける装置選定技術、技術情報協会、分担執筆、P79~89、P134~P161、2011 年、(総ページ P336)

③河合 晃他、バインダー (結着剤) の失敗しない選び方・使い方事例集、第 6 節 乾燥時のバインダー使用の留意点と条件設定、第 7 節 バインダー乾燥・焼成装置の機構と条件設定、第 8 節 バインダー乾燥・焼成後のトラブル事例および対策、技術情報協会、分担執筆、p149~182、2011 年 (総ページ P262)

④河合 晃他、レジストプロセスの最適化テクニック、~微細化・トラブル解消のための工程別対策および材料技術~、情報機構、分担執筆、第 1 節第 4-8 項、P294~333、第 2 節第 1 項 P334~P351、2011 年、(総ページ P557)

⑤河合 晃、一発必中シリーズ、「欠陥を出さない! 良い塗布膜を得るためのコントロール技術」、単著、サイエンス&テクノロジー、2012 年、(総ページ P197)

⑥河合 晃他、シランカップリング剤の効果と使用法、S&T 出版、分担執筆、第 7 章第 6 節 レジストにおけるシランカップリング

剤の効果と使用方法および処理装置、
p256-258, 2012年(総ページ395)

⑦河合 晃、現場で応用できるコーティング
の理論と現象—トラブルをメカニズムから
考える—、加工技術研究会、単著、総ページ
p184、2012年

[その他]

<http://kawai.nagaokaut.ac.jp>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 河合 晃 (Kawai Akira)
長岡技術科学大学 工学部 准教授
研究者番号：00251851