

平成22年6月8日現在

研究種目：若手研究（B）  
研究期間：2008～2009  
課題番号：20780186  
研究課題名（和文）ハウス水耕栽培におけるMEMS菌濃度センサーの開発  
研究課題名（英文）A Study of Bacteria Monitoring in Hydroponic Solution  
研究代表者  
酒造 正樹（SHUZO MASAKI）  
東京大学・大学院工学系研究科・助教  
研究者番号：10456155

研究成果の概要（和文）：日本の農業従事者の高齢化が深刻化する中、生産管理の省力化を可能にする水耕栽培の重要性が高まっている。しかし水耕栽培には水を循環させるため病害が蔓延しやすいという欠点がある。そこで菌の増殖を早期に検知できる菌濃度センサーが必要とされている。菌濃度センサーへの要求機能は、低濃度の菌を測定可能、菌とそれ以外の微粒子を識別可能、分単位の短時間計測可能な3つである。本研究では、液中微粒子を分類後に菌のみを計数する手法を提案した。本研究では、誘電泳動による微粒子識別に主眼を置き、電極形状を電界のシミュレーションによって提案し、実験によりその有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：Hydroponic culture has recently attracted much attention as a possible alternative to traditional soil-based agriculture because of its potential to labor saving and its stability in crop supply. In this soil-less culture, water mixed with nutrients circulates in plastic gutters where the plants grow under greenhouse conditions. However, the hydroponic configuration renders plant disease outbreaks uncontrollable. Therefore, in-line monitoring of the bacteria concentration in the hydroponic solution is required to prevent plant diseases from spreading. In this report, a bacteria concentration sensor based on dielectrophoresis (DEP) was development. The bacteria sensing mechanism consists of two steps: 1) AC voltage is applied to hydroponic solution in order to separate bacteria from other micro particles by DEP and 2) the sorted bacteria are counted and bacteria concentration is calculated from the counted number and the flow rate in the micro channel.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	2,000,000	600,000	2,600,000
21年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：生物環境情報、MEMS、誘電泳動

## 1. 研究開始当初の背景

近年、輸入野菜の残留農薬が大きな社会問題となっている。2006年には、安心・安全な農作物を求める消費者のニーズにあわせ、ポジティブリスト制度（残留基準の設定されていない農薬が残留する食品の販売等を禁止すること）が導入された。一方で、無農薬で安心・安全といっても、害虫摂食痕のある野菜は、実際の店舗販売においては敬遠されている。このように、安心・安全はもちろんのこと、見栄えの良い野菜が求められているため、安定した品質が維持できかつ生産効率の高いハウス水耕栽培が注目されている。

しかし、水耕栽培においては、病害が水耕液を媒介して短期間で全体に拡散するため、病害が発生してからでは被害が止められないという問題がある。これまでの研究で、水耕液中の菌がある濃度（例えばネギの水耕栽培では $10^5$ 個/ml）を超えると病害が多発することが知られている。また、生食野菜（サラダ）の販売時においては、 $10^6$ 個/g以下という食品衛生上のガイドラインが定められている。

菌濃度は野菜の品質を判断するキーパラメータになっており、実際の水耕栽培環境で利用できるリアルタイム菌濃度センサの開発が必要とされている。また、このような菌濃度センサが開発されれば、水耕栽培のみならず、飲料関係、醸造関係、魚類の養殖場など、液中の菌数管理が必要な様々な分野でも利用されると思われる。

## 2. 研究の目的

本研究では、実際の水耕栽培環境においてもリアルタイム計測できるMEMS菌濃度センサを開発することが目的である。液中に存在する粒子の特性を明らかにした上で、誘電泳動現象を利用した粒子分離手法に注目し、MEMSデバイスを設計・試作し、性能評価を行う。

## 3. 研究の方法

### (1)水耕液に含まれる微粒子の特性分析

まず第1ステップでは、水耕液に含まれる菌やその他の微粒子（砂など）の特性、菌濃度との環境パラメータとの関係を明確にすることにより、MEMS菌濃度センサの設計仕様を決定する。

### (2)MEMS菌濃度センサの方式検討

第2ステップでは、低濃度の菌をリアルタイムで計測できるMEMS菌濃度センサを試作する。水耕液中の微粒子の流れを作り、途中で電界、温度、紫外線などのストレスを与えて、その前後での物理的特性や化学的特性の変化を測定することで微粒子を一つ一つ識別する検出方式について検討し、実験室環

境において原理確認を行う。

## 4. 研究成果

### (1)水耕液に含まれる微粒子の特性分析

水耕液に含まれる粒子として、細菌類のAzospirillum(直径 $0.5\mu\text{m}$ 、長さ $4\mu\text{m}$ )、真菌類の酵母(直径 $2\mu\text{m}$ 、長さ $10\mu\text{m}$ )、砂(平均粒径 $10\mu\text{m}$ )などを取り上げた。これらに交流電界を与え粒子の挙動をビデオで観察し、与える電圧や周波数によってそれぞれ付着、退避、対流などの現象が起こる（誘電泳動）ことを確認した。ここでは、電界を与える際に流路底面に配置した平行電極を用いたが、実際の流れ場の中では電極エッジにトラップされる問題が生じた。これを改善する課題が発生し、次項で検討結果を述べる。

### (2)MEMS菌濃度センサの方式検討

前項により、誘電泳動現象を用いてそれぞれの粒子を分離できる可能性を示した。よって菌濃度センサ概念図を図1のように示すことができる。

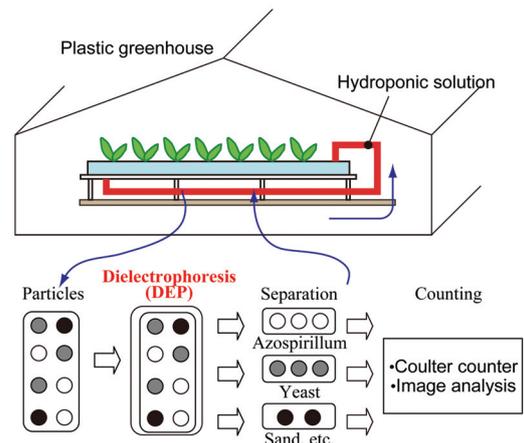


図1 水耕栽培における菌濃度センサのコンセプト図

本項では、最適な流路および電極の設計を行うに当たり、粒子はポリマービーズ( $12\mu\text{m}$ 、 $\epsilon = 3.5 \times 10^{-11} \text{ F/m}$ 、 $\sigma = 10^{-14} \text{ S/m}$ )を用いて評価を行うこととする。

電極設計に際し、有限要素法解析ソフトで流路内に発生する電界を計算した。平行に配置した矩形電極に電圧をかけた場合、流れに対して垂直な方向(y方向)で見ると、両電極のエッジに電界が集中し、電極に微粒子がトラップされる。そこで新しい電極形状として、台形電極を流れ方向にアレイ状に配置する設計を提案した。台形電極(底辺 $120\mu\text{m}$ 、上辺 $30\mu\text{m}$ 、高さ $300\mu\text{m}$ )間に $15\text{V}$ の電圧をかけた場合について電界計算した(図2)。これにより電界強度がy方向に単調に変化することがわかった。微粒子は流路内の任意の

場所にトラップされることなく、電界の勾配方向である y 方向の誘電泳動力を受け続けることがわかる。また、微粒子の電荷による電気泳動力は流れ方向に働くので、誘電泳動力のみを識別に利用することができると考えられる。

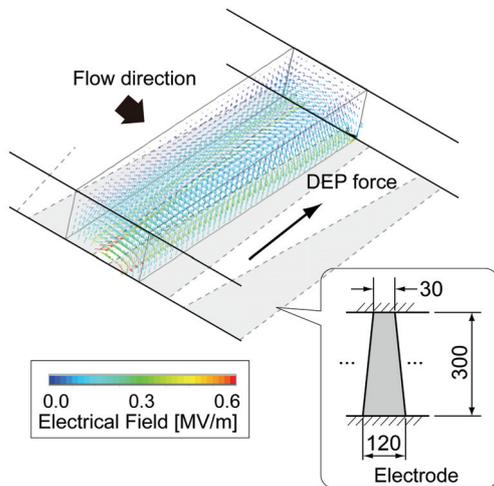


図2 台形電極付近の電界の様子 (シミュレーション結果)

台形電極の性能評価のため、マイクロ流路を流れる高分子マイクロビーズを誘電泳動で操作する実験を行った。まず、電子線描画や深堀反応性イオンエッチングなどの MEMS 技術を用い、マイクロ流路を試作した。アルミでパターンニングした台形電極に幅 300 μm、深さ 50 μm、長さ 20 mm の PDMS 流路を接着しこれを実験試料とした。プロセス図を図 3 に示す。

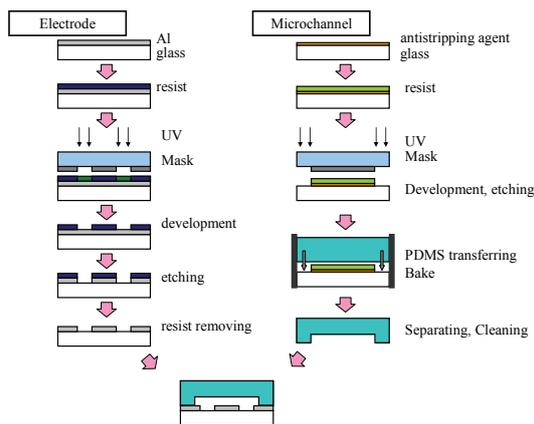


図3 プロセスフロー

次に、実験セットアップを図 4 に示す。実験条件は、流量 2 μL/min、周波数 2 kHz、電圧 15 V とした。実験の結果、誘電泳動によってビーズが強電界領域から反発され、流

路出口付近で y 軸の一方向に寄って流れている様子が観察された (図 5)。

以上により、新しい台形電極形状が誘電泳動を用いた微粒子分離に有効であることが示された。

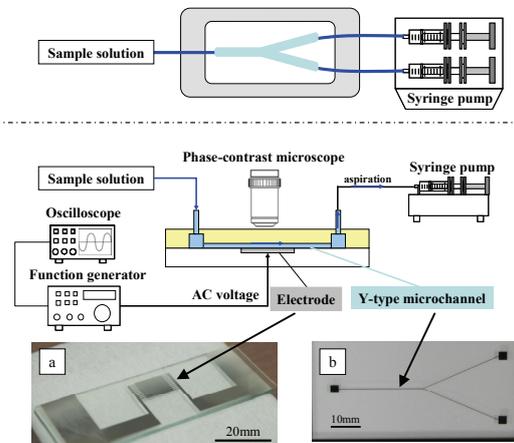


図4 実験セットアップ

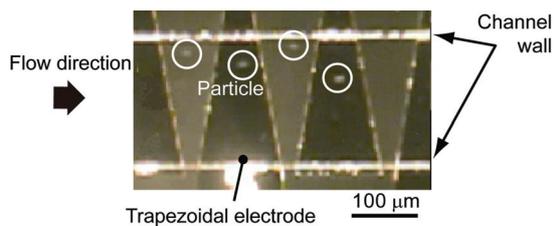


図5 流路出口付近の粒子の挙動

### (3)まとめと今後の展望

本研究では、誘電泳動現象に着目し、MEMS 技術を用いた微小な菌濃度センサを開発した。試作したデバイスで微粒子の分離実験を行い、実験室レベルで機能していることを確認した。今後、長時間使用を想定した安定性、耐腐食性、メンテナンス性を考慮して、実環境での試験を行いたい。

### 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)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 酒造正樹, 原啓樹, ドロネー ジャンジャック, 山田一郎, “誘電泳動を用いた水耕栽培用の菌濃度センサ,” 第 25 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 沖縄コンベンションセンター, 宜野湾市, October 22-24, 2008.
- ② 酒造正樹, “MEMS 技術による高感度においてセンサの開発—食品品質評価への応

用をめざしてー,” 第37回IT農業研究会, 東京大学, 文京区, February 23, 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒造 正樹 (SHUZO MASAKI)

研究者番号: 10456155

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: