

土壌リアルタイム分析のための EC、温度、pH センサを集積化したマルチモーダルセンサの開発

Development of a Multimodal Sensor Integrated with EC, Temperature and pH Sensors for Soil Real-Time Analysis

二川雅登¹・村田光明²・石田誠²・澤田和明²

¹豊橋技術科学大学テラーメイド・バトンゾーン教育推進本部

²豊橋技術科学大学電子情報工学専攻

要旨(Abstract) ;

土壌中のオンサイトモニタリングを目指し、EC、温度、pH センサを集積化したマルチモーダルセンサを製作した。5 mm 角の Si チップ上に半導体集積回路技術を用いて形成しており、各センサが同時・リアルタイムに計測できることが特徴となっている。このセンサを用い、ロックウールでの EC、温度、pH リアルタイム計測と、土壌での EC、温度の長期計測を行い、センサの有効性を確認することができた。

テーマ：土壌物理研究の最前線 Trend in Soil Physics

キーワード：EC センサ、pH センサ、温度センサ、半導体集積回路、リアルタイム測定

Key words: EC sensor, pH sensor, Temperature sensor, Semiconductor integrated circuit, Real-time measurement

1. はじめに

土壌は複雑な様態を示し、数 cm 観察ポイントを変えただけで計測結果は異なってくる。土壌の振る舞いを知るため様々な種類のセンサが用いられているが、各センサ間の相関を取るためには同一ポイントを計測する必要が出てくる。しかしながら、別々の計測器を用いて観察したのでは、前述のとおり完全に同一箇所を観察しているとはいえず、データの比較が困難である。また、根の近傍など、特定箇所に挿入し時系列変化を長期間とるためには、センシング部の小型化が必要となる。

我々のグループでは、半導体集積回路技術を用いた様々なセンサの研究を行っている。半導体集積回路技術はマイクロメートル、ナノメートルオーダーの微細な加工が可能であり、物理現象を電気信号として取り出すことができる特徴をもつ。そして、5 mm 角の Si チップ上

に EC・温度・pH センサを集積化し、同一ポイントを 3 種類のセンサが同時・リアルタイムに観測できるマルチモーダル(多機能型)センサの製作を行ったので報告する。

2. センサ製作方法及び計測システム

製作したマルチモーダルセンサチップを図 1 に示す。5 mm 角の Si チップの中に EC センサ、温度センサ、pH センサを集積化しており、小さなエリアの同一箇所を多角的に計測できる構造となっている。EC センサは土壌に直接電極を接触させるため、腐食などに強いプラチナ電極を用いている。温度センサはセンサ表面を防水膜(窒化ケイ素: SiN_x)で覆っており、土壌中の水分の浸食を防ぐ構造となっている。pH センサは半導体集積回路技術を応用した Ion-sensitive field-effect transistor (ISFET) を用いて形成している。EC センサは 2 枚の対となる電極間に交流電圧 10 kHz を印加し、流

れる電流変化を読み取る方式を用いている。これは、金属電極と水との間に電気二重層が発生するため、直流電圧ではなく交流電圧を印加し水の抵抗のみを計測する必要があるためである。pn 接合ダイオードの順方向電流を一定(今回は 1 mA) にした場合、ダイオード端にかかる電圧は温度に比例することを利用した。pH センサは、直流成分の信号として水素イオン濃度を計測している。ここで、同時に pH センサと EC センサを動作させた場合、信号の干渉があり正しく計測することができないことが判明した。そこで、周波数分離のためのバンドパスフィルターを用い、それぞれ独立した情報の計測を可能にした。

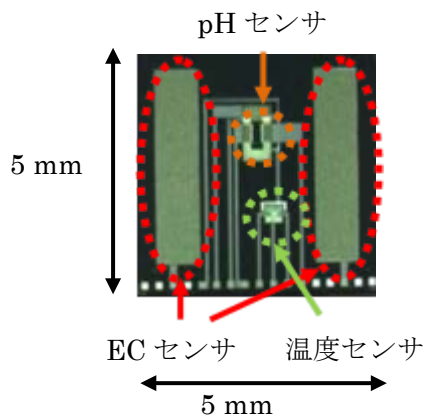


図1 EC、pH、温度センサー一体型マルチモーダルセンサ

3. EC、pH、温度同時計測

センサの動作を確認するため、図2にロックウールを使った計測結果を示す。希釈トマト培養液を含ませたロックウールに pH 7 標準液を 22% に希釈した溶液を 2 度滴下したところ、即時に EC 及び pH センサ出力が増加した。また、同じ希釈標準液を 35 ° C に加熱して滴下し、温度センサ出力の上昇を確認した。その後、pH 4 標準液を滴下し EC の上昇(すなわちイオン濃度の上昇)と pH の低下を確認した。センサが正しく反応しており、培地内の直接・リアルタイム計測に成功することができた[1]。

また、土壌培地内においても EC、温度の同時計測を行い、約 1 年 7 ヶ月以上の耐久性が

あることを確認できた。[2]。

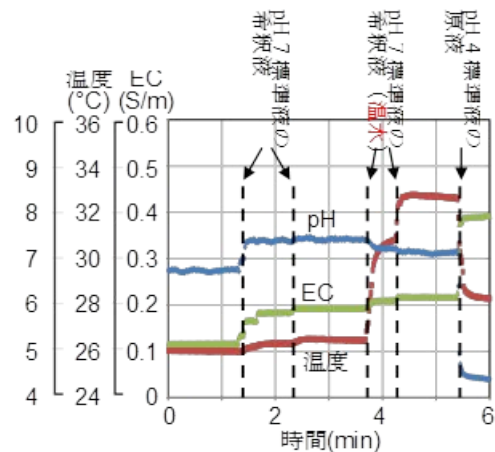


図2 EC、pH、温度のリアルタイム・同時計測結果(初期: 養液希釈液を充填、各液を 25 ml ずつ滴下)

4. まとめ

微小空間の EC、pH、温度同時計測を目指し、マルチモーダルセンサの製作を行った。培地内に挿入し直接・リアルタイム計測に成功した。

謝辞

本研究の一部は文部科学省 科学研究費助成事業若手研究(B)(課題番号 24760277)、愛知県 農工連携研究促進事業「施設園芸分野におけるインテリジェントハウスの開発と実証」、中部経済産業局・地域イノベーション創出研究開発事業「マルチモーダルセンサによる施設園芸生産安定支援システムの開発」、豊橋市イノベーション創出等支援事業「培地多点計測用小型センサプローブ開発」の支援を受けて行われました。

参考文献等

- [1] M. Futagawa, T. Iwasaki, H. Murata, M. Ishida, K. Sawada, Sensors, "A Miniature Integrated Multimodal Sensor for Measuring pH, EC and Temperature for Precision Agriculture" Vol. 12, pp. 8338-8354, 2012
- [2] 川嶋和子, 二川雅登, 番喜宏, 浅野義行, 澤田和明, "挿入型農業用センサを利用したトマト培地の EC 測定", 電気学会論文誌E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol. 131, No. 6, pp. 211-217, 2011