

## 低価格土壌水分センサーと LPWA を用いた土壌水分監視システムの構築 Construction of a monitoring system using a low-cost soil moisture sensor and LPWA

○加藤 沙耶香, 坂井 勝, 伊藤 良栄

KATO Sayaka, SAKAI Masaru, ITO Ryoei

### 1. はじめに

三重県東紀州地域では柑橘栽培が盛んで、高品質ミカン栽培のためマルドリ栽培方式が普及してきた。戸上ら(2011)は熊野市のミカン園に農業 IoT システムを導入し一定の成果を上げたが、実用化までには至らなかった。市販の土壌水分センサーは安くても 10,000 円程であり、農業者自身が投資するには価格面でハードルが高かったためである。そんな折に商品化されたのが、DFROBOT 社の土壌水分センサー Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2 (以下, CSMS) で、類似品は 1 本 200 円程度で入手できる。

またデータ転送に関して、みかん園地ではモバイル通信も使えない場所が多い。近年, Sigfox をはじめとする低消費電力で長距離のデータ通信を可能とする LPWA (Low Power Wide Area) が情報インフラの整っていない農村地域で注目されている。

### 2. 目的

ESP32 に CSMS と Sigfox を繋げた土壌水分モニタリングシステムを試作した。ESP32 は A/D ポートで CSMS の出力値を取得し, Sigfox でデータを送信する。送られたデータは, LPWA 回線を経由し, IoT データ可視化サービスである Ambient のクラウド上に蓄積される。

本研究の目的は, Sigfox 中継基地が整備される三重県御浜町を対象地として想定し, 試作したシステムの特性を把握し, 運用の可能性や問題点の抽出することである。

### 3. コストの比較

今回のシステムと市販の土壌水分センサーシステムのコストを比較した(Table 1)。CSMS は一般的に使われているセンサー TERO-12 と比べて約 37 分の 1 の予算に収まることが分かる。規格上 ESP32, ZL6 とともに, 最大 6 台のセンサーが接続できるので, その場合を比較すると, 約 68 倍となる。このように, 複数台設置してもコストがほとんど変わらない点も CSMS の利点である。

Table 1 コスト比較  
Cost comparison

	作成したセンサー		一般的なセンサー	
本体 (CSMS)	¥	200	(TEROS-12)	¥ 54,000
ロガー (ESP32)	¥	1,250	(ZL6)	¥ 189,000
通信 (Sigfox)	¥	5,000		
合計	¥	6,450		¥ 243,000

### 4. センサーの検定

CSMS の測定能力を検証するために以下の実験を行った。藤巻ら(2021)は, 10 本に 1 本の割合で CSMS の不良があったと指摘している。今回も 48 本中 5 本が不良という結果になり先行研究と概ね一致した。

#### 4. 1 検量式の作成

CSMS のばらつきと測定精度を調べた。体積含水率  $\theta=0,0.03,0.05,0.15,0.30,0.42$  になるように, 鳥取砂丘砂(乾燥密度  $1.5\text{g/cm}^3$ )と蒸留水を使い調整した資料に, CSMS をさし出力値を計測した(Fig 1)。ここから, 鳥取砂丘砂での CSMS の出力値と体積含水率との関係式を導出した。

$$\theta = -0.0609x + 0.1269 \quad (1) \quad 0 \leq \theta \leq 0.05$$

$$\theta = -0.7767x + 1.0668 \quad (2) \quad 0.05 \leq \theta$$

$x$ はセンサーの出力値であり、2式の交点から  $x = 1.308(\text{V})$ を境界として使い分けることにした。

#### 4. 2 耐久性・測定精度を測る実験

作成したシステムの動作確認、屋外設置を視野に入れた一般的なセンサーとの同時測定、耐久性を見るために CSMS を土中に設置する実験を行った。

底に排水用の穴があり、高さが同じ円筒を 4 つ用意し、鳥取砂丘砂(乾燥密度  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ )を詰め、4つの筒はそれぞれ、そのまま、TEROS-12, CSMS(CSMS 上部), CSMS をコーティングし土中に埋めたもの(CSMS 土中)とした。4つの円筒を水に浸け飽和状態にし、水から取出し時間を掛けて自然蒸発で風乾するまで 20 日間ほど放置した。このとき、何も設置しなかった円筒は電子天秤に乗せ 1 時間毎に質量を計測し、円筒中の体積含水率を計算した。センサーが入った3つの円筒はそれぞれ 30 分毎に出力値を記録し、体積含水率を算出した (Fig 2)。

体積含水率を、質量測定によって求めた体積含水率と比較し測定精度を調べた。

#### 6. 考察およびまとめ

試作した LPWA を用いたシステムは 20 日間一度も途切れることなく計測を行うことが出来た。しかし、CSMS 上部は風乾状態で  $2.0(\text{V})$ を記録したが、CSMS 土中は  $1.5(\text{V})$ 前後で止まってしまった。おそらく 12 日経過あたりで漏水による故障があったと考えられる。また、CSMS から求めた体積含水率と質量測定によって求めた体積含水率の平均誤差は  $0.024$ 、最大誤差は  $0.058$ であった。カタログ上の TEROS-12 の誤差が  $0.03$ であることを考慮すると、CSMS の測定精度は通常のセンサーとして遜色ないレベルと考えられる。

以上より、本研究によって CSMS の出力値を、ESP32 を介して Sigfox で送信することで、連続計測可能な非常に安価な土壌水分センサーを作成することが出来た。また、CSMS は、低価格にもかかわらず、一般のセンサーと遜色ない精度を持っていることが分かった。しかし、耐久性に問題があり、故障を防ぐためのコーティング方法などを考える事が急務であると考えられる。

#### 参考文献

戸上崇・伊藤良栄・橋本篤・亀岡孝治 (2011), 高品質ミカン生産を目的とするセンサーネットワークを利用した圃場環境計測戸上, 農業情報研究 20(3),110-121

藤巻晴行・齋藤忠臣 (2021), 低価格静電容量式土壌水分センサーの出力値の塩分依存性とその補正法, 土壌の物理性 No.148

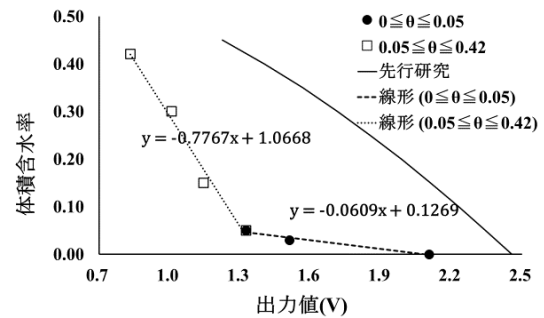


Fig 1 CSMS出力値と体積含水率の関係  
Relationship between CSMS output values and volumetric moisture content

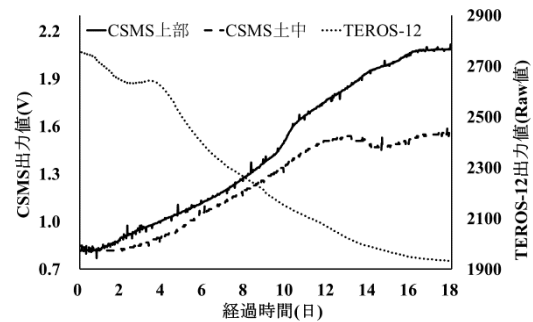


Fig 2 3つのセンサーの出力値  
Output values of 3 sensors