

土壌センサを用いた無線WiFiに基づくセンシングシステムの開発

常三島技術部門
情報システムグループ

辻 明典 (Akinori Tsuji)

1. はじめに

IoTの活用により、省力化・高品質な生産を実現するスマート農業が注目されている。圃場の状態や環境データをIoTにより可視化することによって、より詳細なデータに基づく精密な農業の実現が期待される。

本稿では、温湿度、地中温度、水分量、pH、EC等、土壌の状態を計測するセンサを搭載したIoT端末を開発したので報告する。開発したIoT端末は無線WiFi機能を搭載しており、リアルタイムで複数端末のデータをクラウドサーバ上にデータ共有し、可視化を行える。さらに、太陽電池で自律的に動作させることができるため、商用電源による電源供給が難しい環境においても活用できる。

2. システム構成

開発したセンシングシステムの全体構成を図1に示す。システムを大別すると、無線WiFi機能及び土壌のセンシング機能を有するIoT端末、WiFiルーター、クラウドサーバ、およびクライアント端末より構成される。システム全体のデータの流れは、まず土壌の状態をIoT端末に接続されたセンサで検出し、その結果を無線WiFiルーター経由でクラウドサーバへ送信する。クラウドサーバには、データをリアルタイムで可視化するフロントエンドが動作しており、受信した計測データをグラフとして可視化を行う。クラウドサーバ上のデータはウェブ上に共有され、スマート

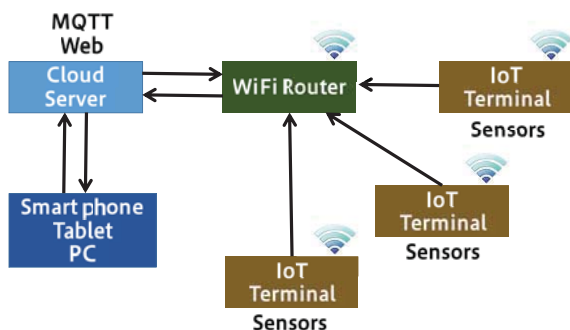


図1 システムの全体構成

フォンやタブレット、パソコンなどからいつでも閲覧できる。また同時に、各IoT端末において計測した結果をデータベースに蓄積することで、過去の土壌変化の解析に使用できる。無線WiFi環境をセンシングシステムの基盤としたのは、市販の無線WiFiルーターやAPを用いることができ、IoTの導入コストを抑制できるためである^[1]。

3. 無線WiFiに対応したIoT端末

開発した無線WiFiに対応したIoT端末の仕様を表1に、外観を図2に示す。IoT端末は、無線WiFi機能を搭載したマイコン(ESP32)を中心に構成される^[2]。土壌センサとして、次のセンサが使用できる。

- ・高精度温湿度センサ(SENSIRION社, SHT31)
IoT端末設置箇所周辺の環境温度・湿度の計測ができる。温度: -40度~125度, 湿度: 0%RH~100%RH, 応答時間: 温度・湿度ともに8秒で計測できる。
- ・防水温度センサ(Maxim社, DS18B20)
土壌の温度を計測できる。計測値は、ステンレス管にセンサが収納された防水仕様であり、温度範囲-50度~125度の計測ができる。
- ・土壌水分量センサ(DFRobot社, SEN0193)
静電容量方式の土壌の水分量を計測できる。計測値は、アナログ値で0~3.0Vの範囲で出力されるため、マイコンへはAD変換器で取得する。使用前に、空気中で計測し最

表1 無線WiFi搭載IoT端末の仕様

名称	仕様
マイコン	Espressif, ESP32
無線機能	WiFi (IEEE802.11 b/g/n)
センサ	高精度温湿度センサ(SHT31) 土壌温度センサ(DS18B01) 土壌水分量センサ(SEN0193) 照度センサ(TSL2561) 土壌pH/ECセンサ(MJ1011)
太陽電池	4W(9V/440mA)
充電コントローラ	6V/3A

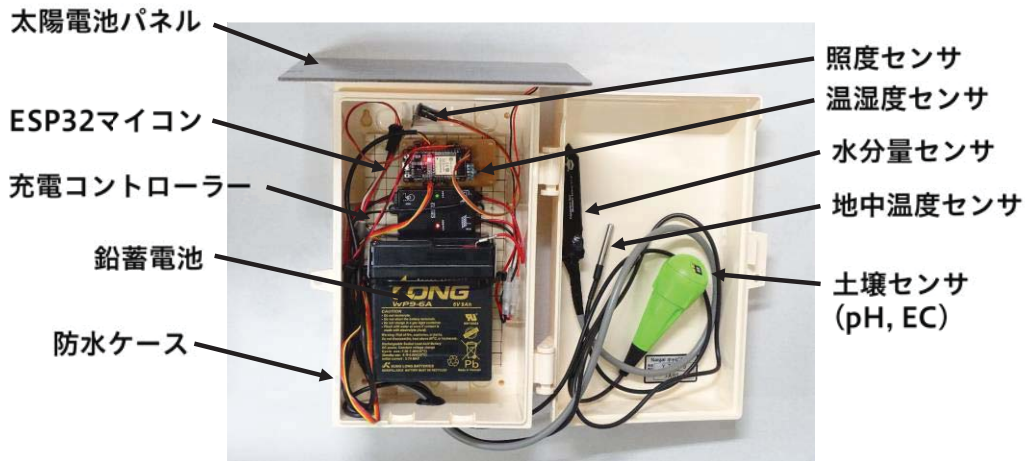


図2 土壌センサを搭載した無線 WiFi 機能を有する IoT 端末の外観

小値を確認，水中で計測し最大値を確認して校正を行う。

- 照度センサ(Adafruit社, TSL2561)
IoT端末設置箇所周辺の照度の計測ができる。照度は、0.1 lux～40,000 luxの範囲で計測でき、日照の計測等に利用できる。
- 土壌pH,ECセンサ(ラピスセミコンダクタ社, MJ1011)
土壌のpH, EC(電気伝導度)をリアルタイムで計測できる。pH：2～9, EC：0.001～50mS/cm, 温度：-10～55度。シリアル通信により計測データを取得でき、計測時以外は、スリープモードにより消費電力を低減できる^[3]。

3. 1 太陽電池による電源供給

開発したIoT端末は太陽電池による電源供給によって動作する。図3は、太陽電池による電源供給動作の概略を示したものである。太陽電池パネル、充電コントローラ、鉛蓄電池、負荷となるIoT端末より構成される。充電コントローラによって、鉛蓄電池への充電とIoT端末への電源供給が自動制御される。日中、充電コントローラで太陽電池パネルの発電状態を感知して鉛蓄電池へ充電を行う。日没後

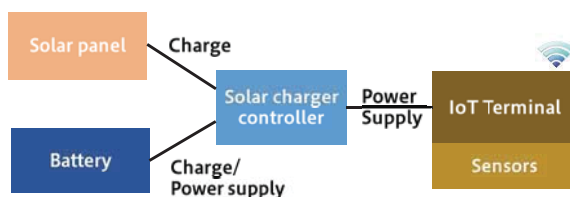


図3 太陽電池による IoT 端末への電源供給

は、太陽電池パネルによる発電ができないため、鉛蓄電池から負荷へ直接電源供給を行う。日照が不足する冬期を想定して、太陽電池と鉛蓄電池の容量を選択した。

3. 2 低消費電力動作プログラム

太陽電池により自律的に動作させるには、低消費電力でセンサの情報を読み取り、クラウドサーバへデータ送信を行う必要がある。そこで、マイコンのディープスリープ機能を使用して、30秒または1分毎にマイコンを起床し、データ送信を行った後、スリープ状態に戻るようプログラムを作成した。これにより、単位時間あたりの消費電力を大幅に削減でき、長期運用も可能となる。具体的には、次の手順で実装した。

```

Setup(){
  センサの初期化
  WiFiのディスコネクト
  WiFiルーターへの接続(SSID, Password)
  MQTTクライアントの開始
  ディープスリープの設定
}
Loop() {
  土壌センサによるセンシング
  MQTTサーバへのメッセージ送信
  ディープスリープモードの開始
}

```

ここで、Setup関数はマイコン起動時に一度だけ実行される関数である。マイコンが起床するとまずSetupが実行される。センサの初期化、WiFiルーターとの接続を行った後、MQTT

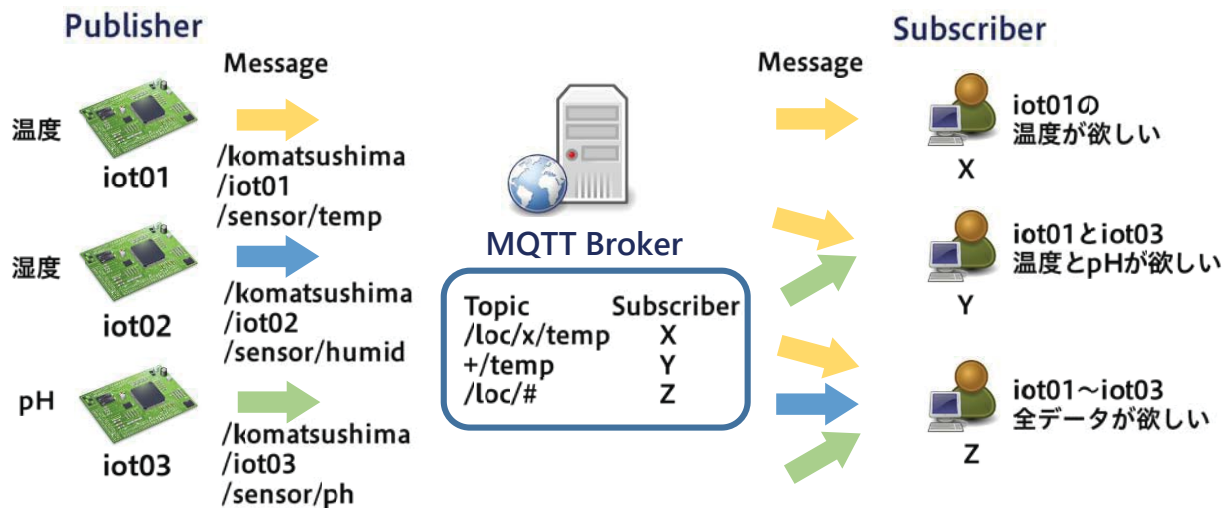


図4 MQTTブローカーによる Publish / Subscribe 型非同期通信

セッションを開始，ディープスリープモードのレジスタ設定を行う。Loop関数はマイコンの通常タスクのプログラムを実行する関数である。ここでは，マイコン起床後に，一度だけ土壌センサによる計測を行い，続けて，センシングした結果をMQTTサーバへ送信する。その後，ディープスリープモードに遷移する。ディープスリープは，一定の条件（内部タイマー設定，外部割り込み等）により，スリープの時間を変更できる。

4. MQTTによるセンシングシステムの構築

IoT 端末より取得した土壌センサの情報は，無線ルーターを介してクラウドサーバに送信される。このとき，MQTT (Message Queue Telemetry Transport)通信プロトコルに従ってデータの送受信を行う。MQTT は，Publish / Subscribe 型モデルに基づく軽量なメッセージプロトコルで，IoT に対応した組み込み機器に多く採用されている^[4]。

図4に，MQTTブローカーによる Pub/Sub型メッセージ送受信の仕組みを示す。MQTTでは，メッセージ送信を行う Publisher，メッセージ受信を行う Subscriber，メッセージ仲介を行うブローカーが存在し，3者間でメッセージの送受信が行われる。ここで，Publisherは，各IoT端末(iot01～iot03)であり，Publisherよりトピック名を付けてブローカーにメッセージを送信する。トピック名は，あらかじめ決められた形式に従ってデータの送受信を行

う。トピック名は，階層化して記述でき，
 /komatsushima/iot01/sensor/temp
 のように，/設置場所/機器名/センサ情報/センサ種類として定義できる。ブローカーは送られてきたトピック名を判別して，接続中のSubscriberに要求するメッセージを配送する。

4. 1 トピック名による配送制御

トピック名を指定して，Publisher，Subscriber間のメッセージの配送制御に利用する。IoT 端末3台(iot01, iot02, iot03)からのメッセージの配送制御を行うとき，Subscriber X, Y, Z がトピック名を指定してブローカーに購読依頼すると仮定する。このとき，Subscriber Xが，トピック「/komatsushima/iot01/sensor/temp」を購読した場合，トピックと合致するセンサ端末 iot01 のメッセージのみを受信する。次に，Subscriber Yが，トピック「+/temp」「+/ph」を購読した場合，部分一致記号(+)により，iot01とiot03からのメッセージのみを受信する。Subscriber Zが，トピック「/komatsushima/#」を購読した場合，すべてのIoT 端末(iot01, iot02, iot03)からのメッセージを受信する。

このように，トピック名の指定方法を変更することによって，各IoT 端末から必要なセンサの情報を効率的に取得できる。MQTT方式では，センサの情報を絞り込めるため，IoT 端末の数が増えても通信に係るトラフィックを減らせる利点がある。

4. 2 クラウドサーバの実装

クラウドサーバはインターネット上に構築することとし、ウェブサーバーとして Apache, MQTT ブローカーとしてオープンソースの Mosquitto^[5]を実装した。セキュリティの観点から、IoT 端末は無線 WiFi ルーター内のプライベートネットワーク内に設置する。これに対して、クラウドサーバはインターネット上に存在するため、セキュリティ対策が必要である。ここでは、SSL による通信路の暗号化と各 IoT 端末のユーザ認証を実装した。IoT 端末からサーバへのメッセージには、軽量の JSON 形式^[6]を採用した。各端末のメッセージは、計測データにトピック名(/komatsushima/iot[nn]/sensor/*)を付加した。ここでは、計測データとして IoT 端末に接続された土壌センサ(温度・湿度、土壌温度、土壌水分量、pH、EC、照度、電池レベル)の計測結果を送信した。また、MQTT のメッセージを作成するために、ESP32 上で動作する MQTT クライアントライブラリ(PubSub Client)を使用した。

4. 3 freeboardによるデータの可視化

センシングシステムのIoT対応には、ネットワークインフラとクラウドサーバの構築とともに、センサ情報に容易にアクセス可能なユーザインタフェースの構築も必要である。そこで、サーバ上に蓄積されたセンサ情報を可視化するために freeboard^[7]をフロントエンドとして使用した。freeboardを用いると、図5に示すように計測データを数値やデータとともにグラフとしてウェブサイト上に表示できる。また、GPSなどの位置情報、気象情報、現在日付やカレンダー等も同時に情報パネルとして追加できる。開発したIoT端末は太陽電池による動作のため、ここで出力されるIoT端末の電源電圧をモニタすれば、電池の消耗を知ることができる。スマートフォンや携帯端末、クライアントPCをはじめ、インターネットに接続できる環境であれば、何処からでもサイトにアクセスできて閲覧できる。freeboardは、ブラウザ上の操作で簡単にグラフやゲージ等を作成できる。また、paho-mqtt



図5 クラウドサーバ上のデータの可視化

という MQTT クライアントが実装されており、JSON形式のデータに対して、次の設定を行えば、

```
datasource["data"][["msg"]][["<sensor data>"]]
```

各 IoT 端末からのセンサ情報の受信と同時に自動的に字句解析されて、数値やゲージ、グラフとしてリアルタイム表示できる。

5. まとめ

本稿では、土壌センサを用いた無線 WiFi に基づくセンシングシステムの開発について述べた。無線 WiFi を IoT 端末に実装することで、圃場内のケーブル配線が不要になり、設置コストを削減できる。さらに、電源を太陽電池により供給することでメンテナンスフリーでの動作が可能となる。今後は、特に屋外での運用のため、防水性能などの試験を行い実際の現場での動作検証を行う予定である。

参考文献

- [1] 辻 明典, "IoT 対応 ZigBee 無線センサネットワーク端末の開発", 徳島大学大学院理工学研究部技術報告第 18 号, pp. 11-14,
- [2] Espressif Inc., ESP8266EX Datasheet (2017).
- [3] ラピスセミコンダクタ, 土壌センサユニット I/F 仕様 (2018).
- [4] MQTT V3.1 Protocol Spec., <http://mqtt.org/>
- [5] Mosquitto v3.1.1, <https://mosquitto.org/>
- [6] JSON, <http://www.json.org/>
- [7] freeboard, <https://freeboard.io/>