

# 無線センサネットワークによる環境観測

## —農地への適用—

Environmental Monitoring with a Wireless Sensor Network System

- Application to Farmland -

杉井 学\*

SUGII Manabu

**【要旨】** 限定された狭い範囲の環境情報を詳細に把握することを目的に、各種センサで気温、湿度、気圧、照度等を取得し、無線センサネットワークデバイスを用いてリアルタイムに把握できる無線センサネットワークシステムを開発した。また、農地での適用に着目し、構成する部品に民生機を多用することで製造コストを抑え、ある程度の知識と技術で農家が自作できるデバイス設計を行った。開発コストを抑えることで、低予算でセンサデバイスの設置場所を増やすことができ、狭い範囲の圃場内やビニールハウス内、倉庫内などの詳細な環境をリアルタイムに計測し、記録し、確認することが可能になった。

**【キーワード】** 無線センサネットワーク、環境測定、スマート農機

### 1. はじめに

地球環境の変動が著しい昨今、気温や湿度等の環境情報のリアルタイムな把握は、様々な分野で求められている。中でも、作物栽培において、農地の環境把握は欠かせない。その土地にあった作物の選択や作物の生育条件にあった栽培施設の環境制御に役立てることができるからだ。これまでも、同様のシステム開発は行われてきたが [1] [2]、デバイス単体の価格が高く、実用的に圃場全体の環境をきめ細かく測定している例はほとんどない。

そこで本研究開発では、まず安価で構造が単純な無線センサネットワークデバイスを作製し、圃場内に複数配置することで、圃場内の環境のばらつきを測定することを目的とした。製造コストをはじめ、設置・運用コストも抑えるために、無線センサデバイスに組み込むセンサ、マイコン、無線通信機などは、民生部品を多用し、初期設定も自動化する方策を検討した。

これによって、栽培作物に適した環境条件かどうかの判断をしたり、栽培施設内の環境改善を行ったりすることができる。また、圃場内の部分的な育成不良、病害虫被害などの環境条件の関連を調査することができるようになり、それら環境情報を先読みすることで、不具合発生の予防に役立てることもできるようになる。

さらに、環境条件と農作業との関連を未熟な農業者と熟練者で比較することで、特定の環境条件に必要

---

\* 山口大学国際総合科学部 manabu@yamaguchi-u.ac.jp

な農作業を機械学システムなどで抽出することができる可能性がある。これまで、熟練農作業者の経験と勘に頼ってきた“ノウハウ”を“見える化”し、新規就農者に伝えることができる可能性もある。

## 2. 無線センサネットワークデバイスの開発

開発する無線センサネットワークシステムは、環境情報を取得する各種センサを搭載した無線で情報を転送するデバイス（図1、センサノード）と送信された情報を蓄積して保存・公開するサーバシステムからなる（図2、情報集約ノード）。センサノードの仕様は下記のような機能を持たせるように設計した。

- 温度、湿度、気圧、照度を測定する機能
- 取得した環境情報を無線通信で、他ノードに送信・蓄積できる機能
- 無線通信に関するノードごとの設定を必要とせず、自立的にデータの送受信および収集を行う機能
- 太陽光発電により蓄電し、24時間稼働し続けることができる機能
- 圃場等に設置した場合にも内部に水が浸入しない防水構造

小型・安価で、一般的な知識・技術で製作できる構造  
無線センサネットワークを構成するデバイスは可能な限り安価で、電子回路に関する多少の知識と技術を持っていれば、製作が可能な簡単な構造を目指した。そのためノードは、すべて一般で市販され、センサノードは誰でも安価に購入できる部材からなる。センサからのデータ取得や無線でのデータ送受信等の制御は、昨今プログラミング教育等でよく利用される micro:bit (v2.0) が行っている。

図3, 4 にセンサノードの外観および内部構造を示す。micro:bit に接続される環境情報の取得センサは、防水ケースの外側に配置し、さらに直射日光の影響が小さくなるように、スリット入りのカバーを取り付けた。

太陽光発電による電力で24時間稼働しつつ、天候不順の場合でも数日間は稼働する設計とするため、単三型ニッケル水素二次電池を搭載した。また、開発途中で二次電池の過充電および過放電対策と電圧低下時の micro:bit の電源 on/off の繰り返しを抑制しなければ、長時間運用が困難であることがわかったため、電源制御回路を挿入した。また、太陽光発電の効率を高める目的と降雨によるパネル上部への水たまりおよび積雪を軽減させるために、30°の傾斜をつけて支柱に取り付けた。

図2に示すように、センサノードは少なくとも別のセンサノード1つ以上と相互に通信できる距離（無線装置の違いにより、見通し距離で最大50mまたは300m）に配置する。センサノードに接続されたセンサか

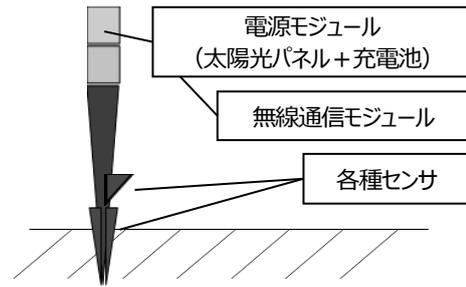


図1 センサノード

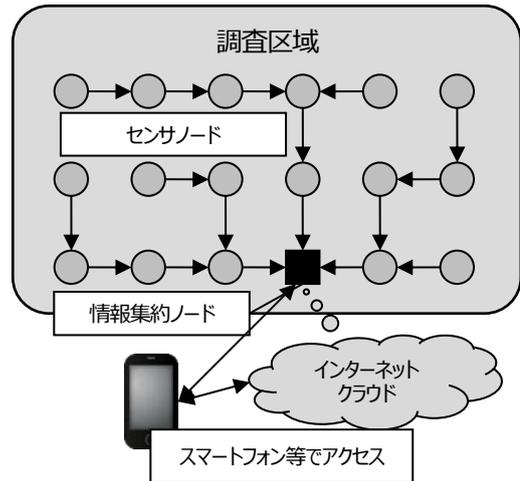


図2 無線センサネットワーク全体概要



図3 センサノード外観

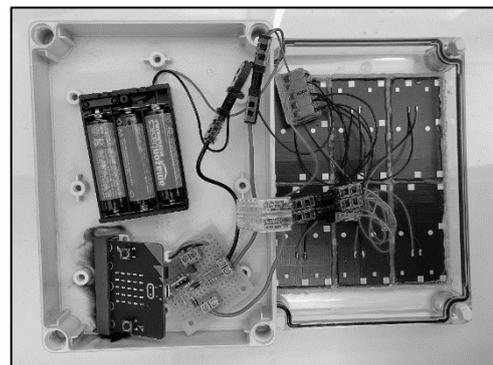


図4 センサノード内観

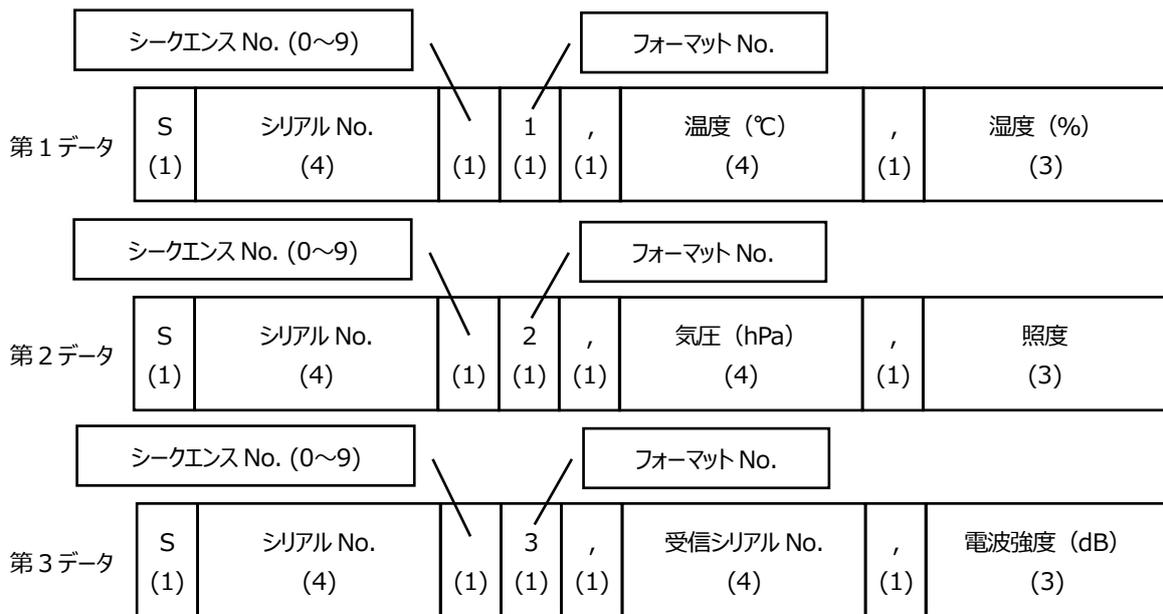


図5 送信データフレーム構造

※ カッコ内の数字はデータサイズ (半角文字数)

ら取得した環境情報にノード固有のシリアル番号とシークエンス番号などを付加した後 (図 5)、他ノードに送信する。センサノード間の無線通信はブロードキャストとし、いくつかのセンサノードが機能を停止していても、迂回して通信することで継続してデータ転送ができ、データの損失が起こり難い設計とした。また、他ノードから受信した環境情報は、受け取り信号を返信した後、周囲のセンサノードに転送するが、各ノードは、一度受信した環境情報パケットに含まれるシリアル番号とシークエンス番号などを一定時間記憶しておくことで、同一パケットの再転送が起こらないようにしている。最終的に、各センサノードから収集された環境情報は、センサノード間のブロードキャスト通信によって情報集約ノードまで送信される。

センサノードのソフトウェアについては、micro:bit の標準開発環境の一つである microsoft make code を使用した。太陽光発電による二次電池の充電制御以外のセンサノード間の通信制御や micro:bit に接続されたセンサによる環境情報の取得など、ほとんどの動作をソフトウェアで制御している。データ送信間隔は、デバイスの 24 時間稼働を最優先とし、電池の消耗を抑えるため、3分に1回の設定とした。Micro:bit の1回あたりのデータの最大送信量は、半角 20 文字に制限されていることから、図 5 のようなデータフレームを定義し、全データ (温度、湿度、気圧、照度、受信シリアル No.、受信電波強度) が9分間で揃うように設計した。

環境データは、温度 (°C)、湿度 (%)、気圧 (hPa)、照度 (micro:bit 搭載のセンサ値)、受信電波強度 (dB) から構成される。照度は micro:bit 搭載のセンサ値で、0~255 の範囲の値をグラフ表示を見やすくするために 0~100 に変換して記録した。電波強度は送信シグナルに対する、他ノードでの受け取り信号の受信電波強度を表す。Micro:bit 搭載のセンサ値で、-128~128dB をデータを扱いやすくするために実測値に 128 を加算し、0~256 に変換して記録した。受信シリアル No.は、受け取り信号を送信したセンサノードのシリアル No.を表す。

情報集約ノードは、圃場ではなく屋内に設置することを前提としたため、小型シングルビットコンピュータ raspberry pi zero を 5V 電源で稼働させた。センサノード間の通信には、通信距離を優先して micro:bit 間独自の通信プロトコルを採用したため、情報集約ノードでの環境情報取得は micro:bit で受信したデータを USB ケーブルでシリアル接続された raspberry pi で受け取る仕組みとした (図 6)。

Raspberry pi で受信した環境情報は、ログファイルに書き出すと同時に、munin (グラフ作成ソフト) [3] および apache (Web サーバ) [4]を用いてグラフ化して Web 配信するようにした。また、アンビエントデ

ーター株式会社の提供するクラウドサービス [5]にデータを送信して、リアルタイムにデータのグラフ化を行う機能も付加した。

表 2 は、情報集約ノードで受信した、センサノードからの送信データを示している。先頭の日時は、情報集約ノードでデータを受信した際に付加しているが、図 5 の送信データフレーム構造に従って送信されているのがわかる。表 3 は、センサノードから 3 つに分割して送信した環境データを、シリアル No.、シーケンス No.、フォーマット No.を基に情報集約ノードで結合して保存したデータリストである。表 2 に対応したデータを示しており、各ノードが取得した環境情報が日時と共に記録されているのがわかる。

**表 2 センサノードから送信されるデータ**

2022/01/26-20:36:15,0791,0,0,0
2022/01/26-20:36:20,0792,2,1,78,1021
2022/01/26-20:37:19,8036,9,2,0792,69
2022/01/26-20:37:26,0791,0,1,65,1021
2022/01/26-20:37:30,0791,0,2,4867,74

**表 3 情報集約ノードに保存される環境情報データ**

2022/01/26-20:37:30, Micro:bit:0791,0,0,65,1021,4867,74
2022/01/26-20:39:22, Micro:bit:0792,23.3,27.2,78,1021,0791,82
2022/01/26-20:39:30, Micro:bit:1245,0,0,67,1020,4169,85
2022/01/26-20:43:32, Micro:bit:0791,23.1,30.5,67,1021,8036,71
2022/01/26-20:45:32, Micro:bit:1245,22.9,28.7,69,1020,0792,87

### 3. センサノードの機能拡張

1 年間のテスト運用で明らかになった不具合は、設置場所の日照不足や積雪による太陽光発電パネルの発電量の低下および二次電池の電池残量不足による機能不全、無線通信距離の不足などがある。これらの不具合は、以下の機能拡張によって解消することができた。

#### 3. 1. 太陽光発電パネルと制御回路の追加

当初設計時の太陽光発電パネル（最大出力電力 4.5V, 300mW）の面積は約 200cm<sup>2</sup>であったが、ビニールハウス内部や直射日光がほとんど当たらない場所での設置では、電力不足のため 24 時間稼働が困難であった。そのため、太陽光発電パネル面積を 2 倍に増強した。また電力不足に陥った場合に、micro:bit の電源が on/off を繰り返してフリーズするため、2 次電池の電圧が 3V を下回った場合に通電を遮断する回路を追加した。これらによって、1 年間の常時稼働が可能になることを確認した。また降雪の多い北部地域では、積雪が発電パネルを覆うことがあったため、発電効率も考え 30° の傾斜をつけた設置となるように改良した。

#### 3. 2. 通信距離の延長と効率化

当初は見通し 50m の通信が可能な micro:bit 独自の 2.4GHz 帯無線通信機能を利用した。しかし、圃場の広さや事務所との配置などの条件によって、50m の通信距離では十分ではないことがあり、近距離無線通信規格の ZigBee などを採用した無線通信モジュール（XBee3:Digi International K.K.）を追加で搭載した。図 6 が XBee を搭載した情報集約ノードの内部構造である。XBee の製品カタログ値では、最大 1,200m の通信距離が記載されているが、アンテナが小型であることやケースおよび太陽光発電パネルなどによる遮蔽により、本システムでは概ね 200m 程度の通信距離を実現できた。

XBee は様々な通信プロトコルを利用できるが、本システムでは Digi XBee 3 DigiMesh2.4 を用いて、当初の通信仕様と同様に「取得した環境情報を無線通信で、他ノードに送信・蓄積できる機能」「無線通信に関するノードごとの設定を必要とせず、自立的にデータの送受信および収集を行う機能」を実現した。Micro:bit と XBee3 との直接相互通信はできないため、micro:bit で取得した情報を図 5 で示す送信データフレーム構造にパックし、XBee3 で転送する方法を採用した。つまり、ネットワークの基本的な構成としては、micro:bit による通信を支線ネットワーク、XBee3 による通信を幹線ネットワークとして二つに分け、Micro:bit で取得した圃場内の情報はその無線機能を利用して支線ネットワーク内で転送し、XBee3 を搭載した支線と幹線を連結するノードからは、幹線ネットワークを利用して情報集約ノードまでの転送を行った。これによって、一塊の圃場を 1 単位として、いくつかの離れた圃場から得られる環境情報を効率よく情報集約ノードに転送することが可能となった。また、ノード数が増えることによる輻輳（情報転送

の渋滞)を防ぐことも期待できる。

### 3. 3. レーザー光による水位測定

水田水位の自動制御には、地下への水供給用配管などの圃場整備が必要となるため、容易には実現できない。しかし水位の自動制御はできないまでも、離れた圃場の水位が遠隔地から確認できれば、水位調節までの時間の猶予や巡回順番の最適化などの面での貢献が期待できる。

開発したセンサノードに、距離測定センサを搭載し、ノードデバイスから水面までの距離を測定することで、水位を予測する機能を拡張した。距離測定は超音波の反射や可視光レーザーの反射を見る方式などがあるが、予備実験で超音波モジュールの屋外での耐久性に問題があることが分かったため、今回は安価に入手できる 940nm の可視光領域のレーザー光照射タイプのデバイスモジュールを用いた。太陽光の影響を受ける可能性が高いため、太陽光の侵入を防ぐ覆いを取り付けて対応した。図7は、水位測定機能を付加したセンサノードの外観である。

水位データの転送には、図5送信データフレーム構造で示す、第2データ内の照度データを距離値で置き換えて転送し、水位測定ノードについては照度情報を割愛し、通信データ量を増やさないことにした。

### 3. 4. その他市販のデバイスとの連携

#### (赤外線センサによる害獣検知)

鳥獣検知について検討した。これまでに、鳥獣害対策製品として、イノシシ等の検知・捕獲・逃避などがある。害獣の入った檻を遠隔で閉じる装置やGPSを用いてサルの子の動きを検知したり、強い音や光、匂いで逃避させたりするものなどがある。しかし、これらの対策製品には慣れが生じやすく、一定期間の後に効果が薄れてしまうものが少なくない。根本的な解決には、慣れの生じにくい生物の本能行動に基づく逃避行動の誘因が必要であると考えられるが、その開発は生物学者に譲り、今回の開発では無線センサネットワークシステムを用いた鳥獣の検知機能の拡張を検討した。

図8は、市販のトレイルカメラを開発したデバイスに接続し、トレイルカメラの赤外線センサの反応信号を無線センサネットワークで転送するように機能を付加したセンサノードの外観である。このトレイルカメラは、赤外線センサで環境をモニタし、一定以上の赤外線を検知すると搭載カメラにより静止画や動画の撮影を行う機能を持つ。主に防犯などの目的で監視カメラとして利用されたり、野生生物の生態観察に利用されたりすることが通常であるが、農家の中には圃場にどのような野生生物がどこから出てきて、どのように圃場を荒らすのかを確かめるために利用しているところもある。今回の開発では逃避機能は搭載しないため単に鳥獣の検出に

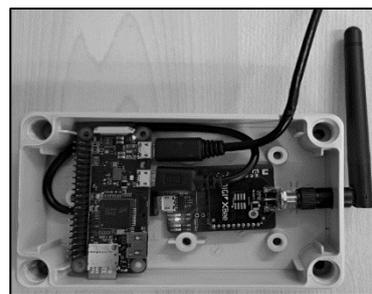


図6 Xbee3を搭載した  
情報集約ノード内観



図7 水位測定用ノード外観

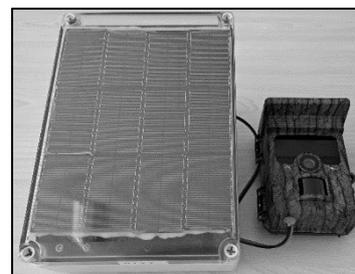
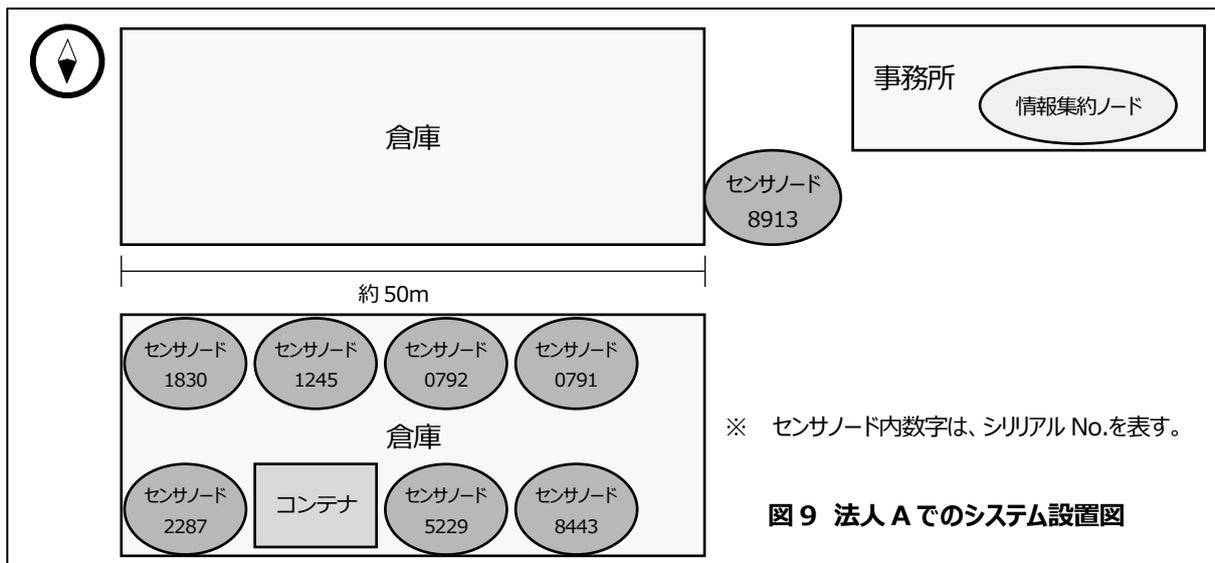


図8 トレイルカメラと連携させた  
センサノード



過ぎないが、農家へのインタビューでは、リアルタイムで鳥獣の出没が検出できれば、場合によってはすぐに現地に赴き追い払うこともできるという事であった。

赤外線検出信号データの転送には、水位データの転送時と同じく、図 5 送信データフレーム構造で示す、第 2 データ内の照度データを赤外線センサ検出値 (0 または 100) で置き換えて転送した。

#### 4. 実証実験の結果

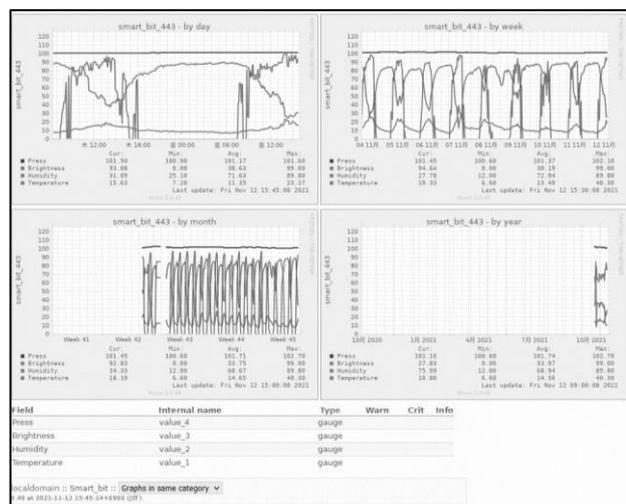
##### 4. 1. 環境モニタ機能

開発した無線センサネットワークシステムの稼働テストを 2022 年 5 月に農業法人の協力のもと行った。図 9 は、実証現場のシステムの構成および配置図を示しており、情報集約ノードとセンサノードの位置関係と数がわかる。この法人では、過去に保管中のタマネギにカビが生え、大きな被害が出たことを教訓に、タマネギ保管中のカビの発生を防ぐ目的で、倉庫内の湿度をモニタしたいとのことだった。図 10 が、開発したシステムによる環境データのモニタ状況出力である。得られたデータは、オープンソースのグラフ作成ソフト munin [3] を用いてリアルタイムでグラフ化して観察できるようになっている。

環境情報の転送が問題なく行われることを確認してノードを設置したが、北側に配置したセンサノードについては、太陽光発電による電力に不足が生じ、夜間にデータ送信ができなくなる場合があった。設置時の現場の状態から、電力不足になる予測はできていたので、センサノードが機能しないことによるネットワーク全体の通信障害などは起きていないが、必要に応じて太陽光発電だけではなく、外部電源の接続を検討しなくてはならないことが分かった。

**表 4 倉庫内環境データ (期間: 2022/5/1-31)**

	1830	1245	0792	0791	8913
温度 (°C)	20.3	19.9	19.8	20.6	19.3
湿度 (%)	65.1	67.0	67.394	64.5	69.5
照度	40.3	39.8	35.7	40.3	44.9
シリアル No.	2287		5229	8443	
温度 (°C)	19.3		18.6	18.6	
湿度 (%)	65.3		74.2	65.3	
照度	36.4		38.4	14.2	



**図 10 倉庫内の環境データ推移**

図10はセンサノードのうちの1つのデータを示しており、左上のグラフが、1日の気温、湿度、気圧、照度の推移を表し、右上が1週間、左下が1ヶ月、右下が1年分のデータを表示している。グラフ表示には、最大値、最小値、平均値も同時に表示されるため、長期間での環境の変化を考察することができる。

表4は、図9の配置で得られたデータの2022/5/1-31までの温度、湿度、照度の情報を抜き出して平均値を表にしたものである。この期間は、倉庫内にタマネギが保管されている時期で、しかも最もカビの生えやすい警戒すべき期間である。「Serial No.」で表す4桁の数字は、図9のセンサノードの番号と一致している。温度については、大きな違いは見られないが、やはり倉庫北側と南側では、若干南側のほうが平均温度が高い傾向にある。照度については、明確な単位を設定していないが、傾向としてやはり北側が若干暗いことが伺える。湿度についても有意な差があるほどの違いは見られなかったが、Serial No.5229のセンサノードの位置については、周囲に比べ湿度が平均にして約10%高いことが分かった。全体を見渡すと、倉庫の中央部分の湿度が高い傾向にあることが明らかになった。

倉庫中央部分の湿度が高い原因として、空気の循環が起こりづらいことが挙げられる。この倉庫の東西側には二か所扉があり空気の循環が起こるが、作業以外の時間は閉じられており、換気は行われていなかった。また、Serial No.2287と5229のセンサノードの間には、コンテナが3m程度の高さまで積み上げられており、これがさらに空気の循環を妨げていると考えられた。

#### 4. 2. 通信距離延長機能

通信距離の延長のために、XBee3無線モジュールを搭載し、単距離通信の支線と長距離通信の幹線に分けたネットワークを構成した。図11は、通信テストを行うために、山口大学農学部附属農場内に約200m間隔でXBee3搭載ノードを敷設し、データの転送を行った時のノード配置図である。大きな円の中心に位置する星型の位置がXBee3搭載ノード、小さな円の中心に位置する星型の位置がmicro:bitのみ搭載のノード、大小それぞれの円はそれぞれXBee3とmicro:bitの電波到達予測範囲を示している。情報集約ノードは図中一番左上の大きな円の中心部分に設置されている。

図12は、XBee3搭載ノードの環境情報の転送結果を情報集約ノードに近いほうから順に上から並んでいる。距離が離れるにしたがって（下のグラフになるにしたがって）、データの転送失敗が起こっていること（グラフの途切れ）が確認できるが、問題になるほどのデータの欠落ではない。原因としては牛舎や柵などの障害物によって見通しが悪く、影響を受けた可能性が高い。今回の配置で、これまでの2倍以上の通信距離を確保することができたことになる。

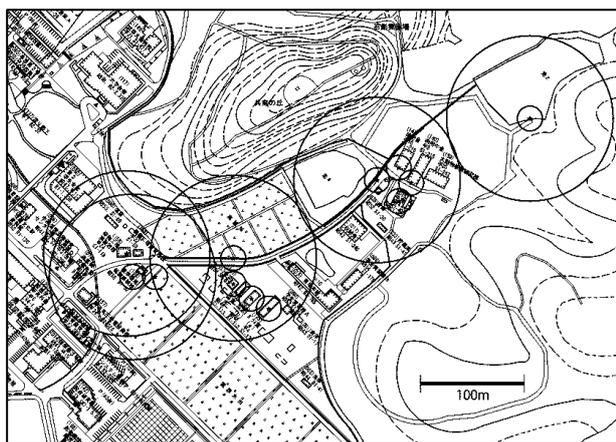


図11 通信距離延長ノードの配置図

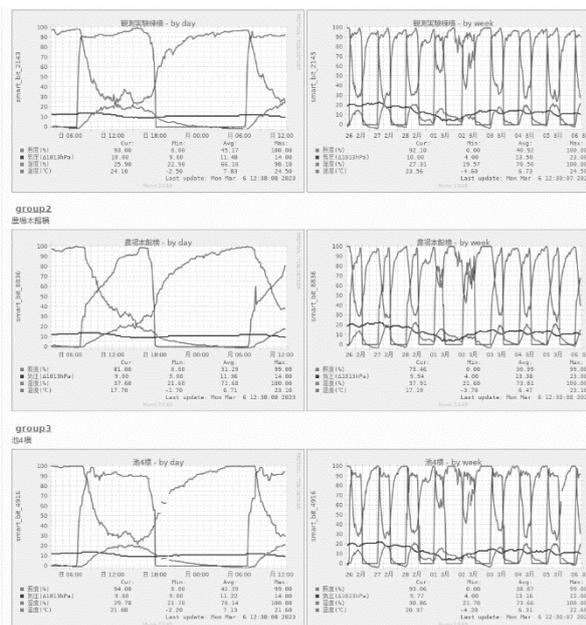


図12 通信距離延長ノードのデータ通信状況

### 4. 3. 水位測定機能

水位測定に用いた距離センサは、カタログ上、ミリ単位での測定が可能である。図 13 の中ほど値 46 付近で推移する折れ線グラフが水位を表すが、レーザー光照射位置から水面までの 6 時間実測値で、最大値 47.20cm、最小値 45.10cm、平均 46.04cm で、概ね誤差±1cm が観察された。このテストでは容器に貯めた水位を測定しているため、この間の蒸発による水位の低下以外の変化はない。

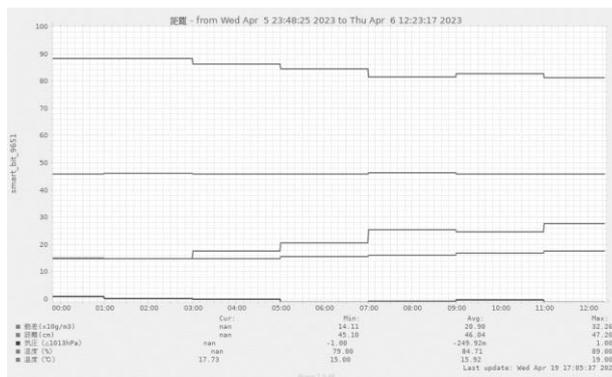


図 13 水位測定ノードのデータ出力結果

図 14 は、法人 B における 2023/7/14～2023/8/12 の間の水田の水位変化を表している。ところどころ 100mm を超える値の上下が観測されているが、ノイズや誤検出値と思われる。6/27-28 にかけての大幅な変動は、装置のぐらつきによる差し直しを行っており、その影響によるものと思われる。水面までの距離は装置の意図的な移動も含めておおむね 100mm～60mm の間に収まっており、時期的な水位の調節（7 月頭の中干と思われる）も、7/5 あたりからの水位低下で見取れる。

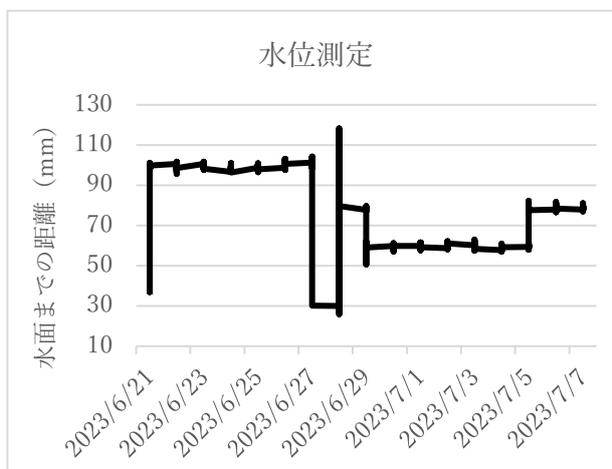


図 14 法人 B における水位測定結果

### 4. 4. その他のデバイスとの連携

#### 4. 4. 1. 赤外線センサによる害獣検知

図 15 は、人の動きをトレイルカメラで検出し、その赤外線検出信号を無線センサネットワークで転送してグラフ化したものである。

トレイルカメラ内に記録された写真の撮影時間と、ところどころスパイク上に値が急上昇している地点の時間は一致しており、トレイルカメラでの人の動きの撮影時刻が、遠隔地からリアルタイムに確認できる機能を付加することができた。実証のために水田の畔に設置（2024/11/18-2024/03/15）したが動物の活動期とずれていたため、現在のところ鳥獣の検出に至っていない。

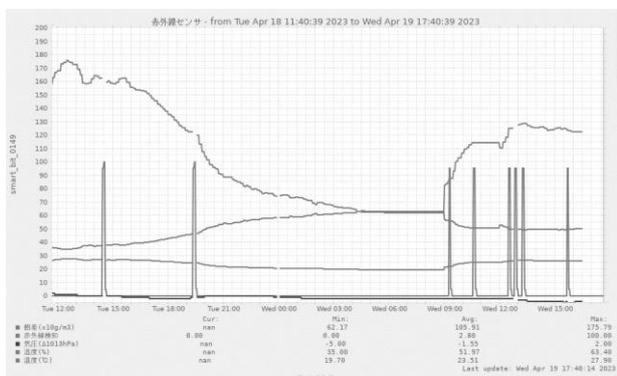


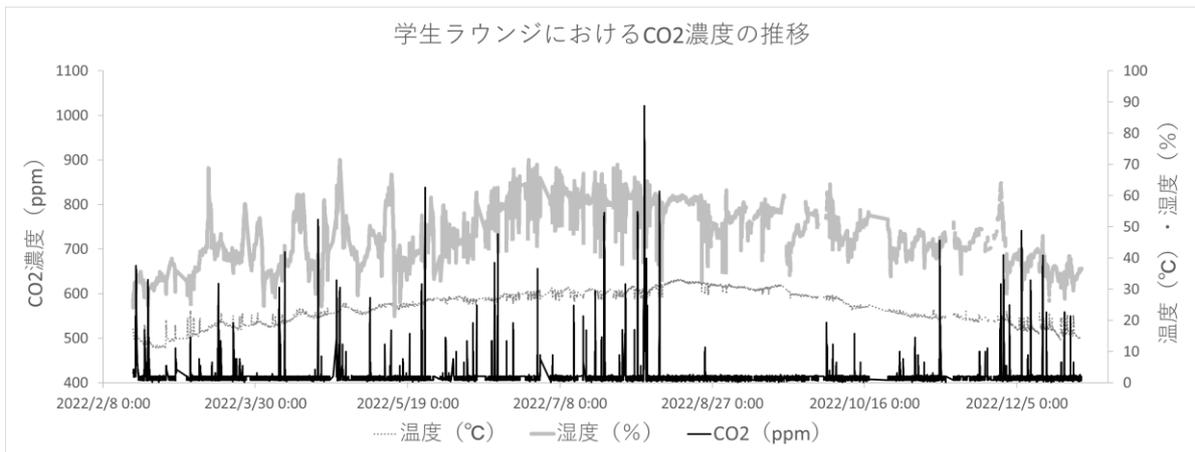
図 15 トレイルカメラ連携ノードのデータ出力結果

#### 4. 4. 2. CO<sub>2</sub>センサによる濃度検知

図 16 は、センサノードに CO<sub>2</sub>センサを搭載し、学生ラウンジ（床面積約 20m<sup>2</sup>）内の濃度を経時的に測定した結果を表している。温度（破線）、湿度（灰色太線）、CO<sub>2</sub>（黒）の推移を長期にわたり観測することができている。学生の利用者が多い場合に CO<sub>2</sub>濃度が上昇すると考えられるが、グラフ上では 7 月下旬～8 月上旬の試験期間に濃度が上昇する機会がたびたび観測され、その後の 10 月までの夏休み期間においては、濃度上昇がほとんど見られなかった。

### 4. 5. 通信電波強度からのノード配置予測

電波は、距離の 2 乗に比例して減衰する。つまり、送信機の送信電力強度および周波数が同じなら、受



信した電波の電力密度が1/4になると送信機からの距離が2倍離れたことになる。この比例関係を用いれば、無線センサネットワーク内のノード間の受信電波強度から、各ノード間の距離を計算することができる。さらに複数のノード間の距離関係を多次元尺度構成法によって解釈すれば、それらの位置関係（配置図）を予測することができる。

図17は、6ノード間のmicro:bitの受信電波強度から、多次元尺度構成法により位置関係を予測したものである。グラフ内の3桁の数字は各ノード固有のID番号を示しており、縦横軸の値はいずれも、それぞれのノード間の受信電波強度から得られた距離を示している。アンテナの利得や送信電波強度などによって距離単位は変化するため、正確な距離単位は割り出していない。また円で示す場所は、ノード間の距離を実測した実際の位置関係を示している。また、黒線で示す長方形は建物の平面構造での壁やドアにより仕切りを表す。情報集約ノード495を基点としたとき、一部のノードで予測位置が実際の位置とはずれているものの、各ノードの受信電波強度から概ね全体ノードの配置が予測可能であると思われる。実際の位置と大きく異なって距離が遠く算出されているノード(ID:069)は、送受信を行っているノードとの間に電波の遮蔽物(壁)があることが原因と考えられた。

## 5. 考察とまとめ

設計時の仕様を満たすデバイスの試作機開発は完了し、太陽光による発電のみの運用で長期にわたる環境情報のリアルタイムモニタおよび記録ができることを確認した。今回の協力法人の倉庫環境の観測から考察できることは、換気が不足していることによって倉庫内での空気の循環が滞り、またコンテナの常駐によって空気の流れが妨げられたことも相まって、カビ発生の原因となる湿度の上昇を招いたと考えられる。今後役に立つ知見として、長さ約50m程度の倉庫であっても内部の環境にはむらがあり、場所によって温度が高かったり湿度が高くなったりする部分があることが明らかにできたことは非常に重要である。

また、当初の設計したデバイス機能を拡充したことでより少ないノード数で遠方の圃場までモニタすることや汎用性を高めることができた。特に、センサ部の追加による水位測定などの機能追加や他の市販品との連携などが容易にできることも実証できた。さらに、通信電波強度からのノード配置の推定機能を用いれば、圃場内に複数のセンサノードを設置する場合に、それらの配置図面作成の手作業をなくすることができる。通信可能な距離で、いわば適当に圃場内にセンサノードを配置していけば、システムが自動的にノードの配置図を出力するので、システムの設置コストを下げ、より効率的に設置作業を進めることができる。

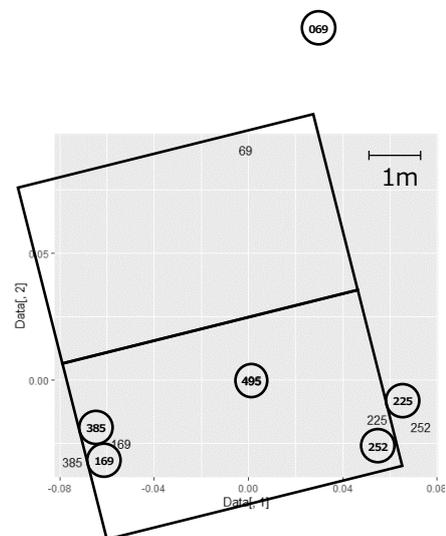


図17 通信電波強度から求めたノード間距離と実際の配置

一方で、いくつかの課題が明らかになった。まず通信ネットワークについて、ランニングコストを抑えるために通信キャリアなどのサービスするモバイル通信ネットワークを利用せず、安価な特定小電力無線デバイスを用いた独自ネットワークを簡便に構築する方法を採用した。しかし、昨今の耕作放棄地の統合などにより、農業法人などの所有する圃場は数キロ離れた場所にあつたりする場合が多い。特定小電力無線通信では通信距離の限界があり、数キロ以上離れた圃場のモニタには、通信キャリアなどのサービスを利用しなければならない場合がある。

また、センサノードについても、コストを削減するために本試験では民生品を多く採用した。しかし、数か月でセンサ値に異常を起こすセンサデバイスが見られた。特に湿度センサについては、部品による個体差が大きかった。屋外での長期利用を想定していないと思われるのでやむを得ないが、部品耐久性のばらつきが大きいことは、民生部品利用の限界だろう。

今後のデバイス普及を考慮した課題を考えると、次のようなものがある。システムを構成するデバイスの量産体制の構築、デバイスの安定稼働につながる部品の改良、保守サービスなどである。中でも、保守サービスについてのウェイトは大きい。システムの構築とその後のケアは欠かせない。さらに環境情報データについては、得られたそれらの情報をどのように利用していくのかを教授するアドバイザーが必要だろう。「スマート機器で得られた情報をどのように利用してよいかわからない」という農家に対する遡及を行わなければ、作物品質の改善や高収量化に結び付くスマート農機の導入は加速していかないとされる。

今後の展開として、今回開発した無線センサネットワークデバイスを用いて取得した環境条件と農作業との関連を未熟な農業者と熟練者で比較することで、特定の環境条件に必要な農作業を機械学システムなどで抽出することができる可能性がある。これまで、熟練農業者の経験と勘に頼ってきた“ノウハウ”を“見える化”することができれば、新規就農者の作業支援に利用したり、農産物の品質改善につなげたりすることができる。

また、開発したシステムの適用場所は農地に限定したものではなく、様々な場所での環境情報測定を目指すものである。今後は、海洋沿岸部での栽培漁業等への適用をはじめ、様々な場所への適用を検討し、引き続き研究開発を続けたい。

#### 【謝辞】

本研究は、山口市農林水産部農業振興課の受託研究【令和3-5年「スマート農業機器・技術導入に関する実態調査」(山口市農林水産部農業振興課)、研究代表者(杉井 学)】として行った。この場を借りて深くお礼申し上げる。

#### 【引用・参考文献】

- [1] X. Lou, L. Zhang, X. Zhang, J. Fan, x. Hu , C. Li, “Design of Intelligent Farmland Environment Monitoring,” Journal of Physics: Conference Series, 2020.
- [2] O. F. Mohd , S. Khairunnisa, “Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System,” Procedia Engineering, 2012.
- [3] “MUNIN,” [オンライン]. Available: <http://munin-monitoring.org/>. [アクセス日: 13 2023].
- [4] “Apache HTTP server project,” The apache Software Foundation, [オンライン]. Available: <https://httpd.apache.org/>. [アクセス日: 30 8 2024].
- [5] アンビエントデータ株式会社, “Ambient,” アンビエントデータ株式会社, [オンライン]. Available: <https://ambidata.io/>. [アクセス日: 23 3 2022].