

研究成果報告書

研 究 題 目		局所加温ステンレス箔テープヒータの管理運用に適したセンサネットワークの実証試験	実 施 年 度 27年度
代 表 研 究 者	所 属	独立行政法人国立高等専門学校機構 徳山工業高等専門学校 情報電子工学科	
	氏 名	山田 健仁 印	

1. 研究の目的・背景

研究の背景：

温室栽培などの施設園芸におけるモニタリングは、農作業の効率化、農産物の品質向上・安全確保に重要な技術となってきた。しかし、人手に頼る測定手法では、温室の巨大化に対応できず、コスト的にも合わない。モニタリングを効率的に運用するには、ネットワーク上で利用できるセンサネットワーク技術が不可欠である。

特色：

開発するセンサネットワークは、局所加温ステンレス箔テープヒータ（以下テープヒータ）を活用した温室栽培用に特化したもので、小形、低コストを目標としている。これにより従来の栽培環境モニタリングシステムと異なり、植物体近傍を栽培圃場全体にわたって細かくモニタリングすることが可能となる。

研究の目的：

テープヒータによる温室栽培の高機能化を目指して、テープヒータ使用時の栽培温度測定に特化した、小形・低消費電力・低コストのセンサネットワークの構築を目標とする。特に、テープヒータ普及を目指した対象作物としているイチゴの株元加温システム用のセンサネットワークシステムの構築と実証試験を本試験研究の目的とする。

写真1は、イチゴ株元にテープヒータを敷設した例である。テープヒータは、イチゴの株元を局所的に加温するために株元に沿うように約30mから50m長の棚にわたって設置される。テープヒータの温度制御では、一棚の代表株元の温度を検出して、テープヒータの通電量（発熱量）をフィードバック制御する方式を採っている。大規模な温室では、このような棚が数十設置されており、温室の環境管理は、温室の一部に設置されたモニタリングシステムで行われている。本研究の方式によれば、植物体近傍を栽培圃場全体にわたって、より詳細にモニタリングできる。

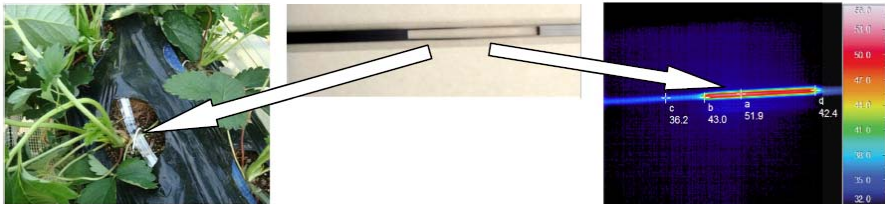
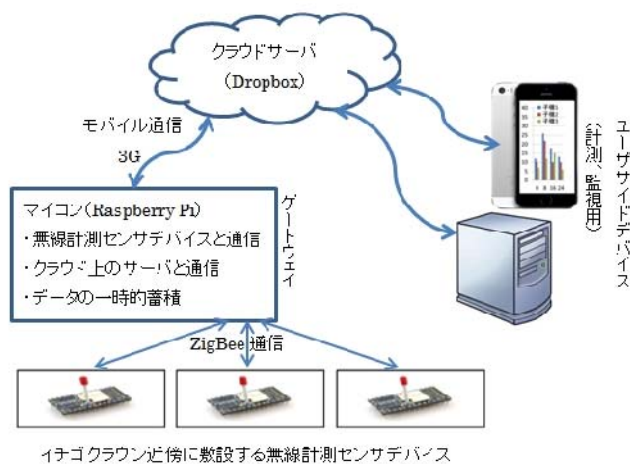


写真1：イチゴ株元へのテープヒータの敷設例

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

（1）試験研究成果

図1に本研究で試作したセンサネットワークの全体構成図を示す。無線計測センサデバイスのモジュールには、TWE-Lite(MONO WIRELES 製)を使用した。このモジュールの A/D 変換部に温度計測センサ S-8120C（SII 製）を接続し、電圧信号に変換された温度を計測する。A/D 変換された温度データは、ZigBee 通信により、30 秒間隔で各デバイスから低コストのマイコンボード（Raspberry Pi）で構成したゲートウェイに向けて送信される。ゲートウェイは、多数のセンサデバイスからの温度データ、電源電圧等の情報を受信し、NTP（Network Time Protocol）で管理されたタイムスタンプを付加し、CSV 形式のファイルとして一時的に蓄積する。この CSV ファイルは、5 分間隔でクラウドサーバ上のサービスである Dropbox に書き込まれる。この時の通信では、マイコンボード上に設置した拡張ボードの 3G モデムを使用し、インターネットへ直接アクセスする構成とした。クラウド上の Dropbox のデータにアクセスするユーザサイドの端末としては、PC やスマートフォンを想定しており、温度データ、センサデバイスの電源電圧データ、及び受信電波強度データをグラフ表示するアプリを実装した。また、Dropbox 上に保存したファイルは CSV ファイルであるため、表計算ソフトの Excel 等に読み込むことで、詳細な分析が可能である。



イチゴクラウン近傍に敷設する無線計測センサデバイス



写真2：実証試験圃場

図1：センサネットワーク全体構成

以上の装置一式（センサデバイス 15 個、ゲートウェイ 1 台、AC アダプター）を試作し、山口県農林総合技術センター内のイチゴ栽培ビニールハウスの圃場（写真2）において、平成28年2月3日から4月20日の期間で、圃場環境での稼働実証試験を行った。

センサデバイスは、写真3に示す外観で TWE-Lite、ボタン電池（CR2032）、温度センサという非常に簡単な構成となっており、圃場の広範囲に敷設することを目指して低コストで実現している。デバイス全体は、プラスチック容器に封入されており、容器の外部底面には樹脂と接着剤で封止された温度センサが設置されている。また、プラスチック容器周囲には、培土に固定するための U 型固定ピン（赤い部分）が接着配置されている。



写真3：イチゴ株元部近傍に敷設した
センサデバイス

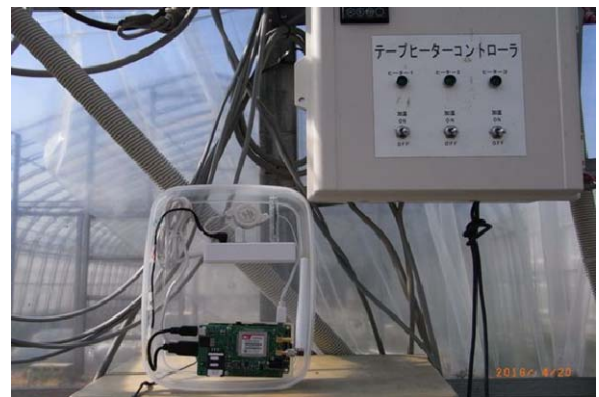


写真4：ゲートウェイ部（左下）と
テープヒータ加温制御器（右上）

ビニールハウス内に設置したゲートウェイ部（写真4）は、マイコンボード、ZigBee受信モジュール、3G モデム拡張ボードより構成されており、Raspbian（Linux ベース OS）の管理下で Python プログラムにより、①複数のセンサデバイスからのデータ受信、②NTP による時刻管理、③温度データ等にタイムスタンプを付加した CSV ファイルの生成、④3G 通信による Dropbox への CSV ファイル送信、の処理を行う。

図1と図2は、Dropboxに蓄積されたCSVファイルをExcelに読み込み、イチゴ株元の温度データ時系列とセンサデバイスの電源電圧変動の時系列をグラフ化した例である。イチゴの株元には、テープヒータが敷設されており、写真4に示す加温制御器によりON/OFF制御されている。これにより、観測した温度データの時系列には、温室内の気温変動とヒータ発熱のON/OFFによる温度変動の状況が表れている。電源電圧変動に関しては、TWE-Liteの仕様から予測される値以上に変動することが分かった。これは、センサデバイスがテープヒータ上にあるためその発熱による影響を受けやすいためと考えられ、さらに詳細な検討が必要である。

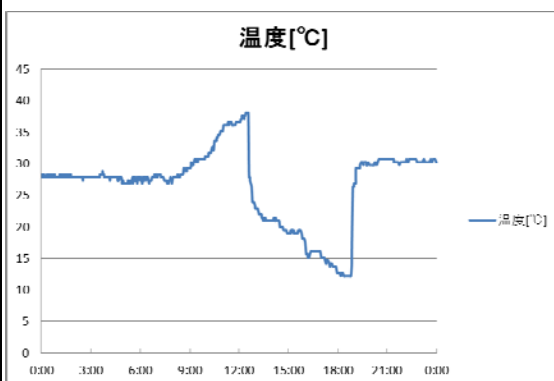


図1：イチゴ株元温度データの時系列

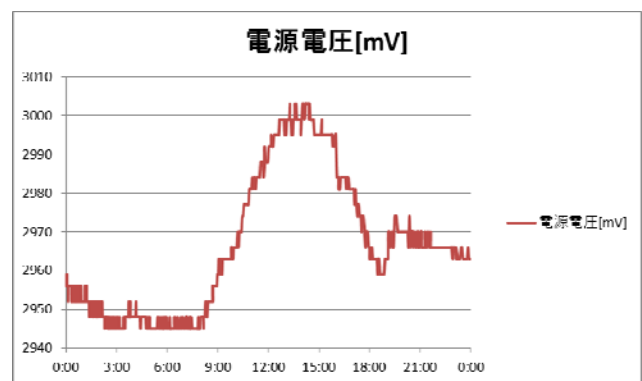


図2：センサデバイス電源電圧変動の時系列

なお、ビニールハウスの圃場は高温多湿なため、センサデバイスの多くで容器内結露が観察された。2ヶ月程度では、センサデバイスの動作には影響は見られなかったが、電子部品（特に電池）の腐食などが想定されるため、より密閉度の高い防湿容器が必要である。

(2) 考察

本試験研究成果報告では、小規模農家を想定してサーバに **Dropbox** サービスを利用した例について説明したが、大規模農場のビッグデータを管理する場合を想定し、**Linux** ベースのサーバにデータベース (**MySQL**) を構築し、温度データを蓄積管理する方式についても検討し、その実用性について確認した。

以下、本試験研究の申請時に対する達成度に関してまとめる。

- ① 温度センサ付き無線モジュール (送信側) について、実用的なモジュールを低コストで製作可能であることについては実証できたが、1 シーズン (約 5 ヶ月) にわたって、ボタン電池 1 個でデータ送信できる性能に関しては達成できなかった。実験から、今回の構成では 2 ヶ月程度が実用的と考えられる。無線モジュールの仕様からは 5 ヶ月以上は可能と考えられたが、外部温度の変動による影響や地面への設置に伴う通信時消費電力の増加の影響が大きいことが分かった。なお、今回はデータ送信を 30 秒間隔としたが、温度時系列データから通信間隔は 1 分以上に設定しても問題ないと考えられるため、無線モジュールのスリープ状態を長くすることで、ボタン電池 1 個でモジュールの稼働寿命を今回の実験の 2 倍以上にはできると想定している。
- ② ゲートウェイの構成に関しては、**Android** スマートフォンの活用を考え、試作・実験を開始したが、**ZigBee** 通信用に必要なモデムを接続する **USB** 端子が電源供給用端子と共通であるため、電源確保のためスマートフォンの改造が必要となった。このことからゲートウェイをより構造が簡単で低コストのマイコンボード (**Raspberry Pi**) に変更した。圃場実験によりこの構成であっても耐環境性の問題はないことが確認できたが、ボードサイズや **3G** モデムボードの特殊性などの問題が残った。汎用性があり **OS** の安定性・信頼性の高いマイコンボード、及び **OS** の選定を検討する必要がある。

本試験研究により、局所加温ステンレス箔テープヒータの管理運用に適したセンサネットワークの基本構成とその通信やデータ管理面での妥当性はほぼ確認できたが、実用化に向けては、センサデバイスの電源、防湿構造、通信到達距離などに問題が残った。また、ゲートウェイでは、汎用性、信頼性の確保など改善が必要である。今後、圃場での試験を継続し、実用化に向けた開発を進める予定である。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時の計画通り、経費のほとんどを実験用センサデバイス部品、及びゲートウェイ製作用電子部品等の消耗品として執行した。会計報告書に各部品の詳細を記載している。

なお、計画時の旅費は、圃場試験場への交通費、及び学会参加費・旅費として執行した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本試験研究の結果より、以下の検討項目について継続的な開発が必要であることが明らかになった。

1) センサデバイスの電波の到達距離は、路地栽培では 20m程度に制限される。従って、1 棚につき 2 か所程度センサデバイスのモードを中継モードとして敷設する必要がある。なお、高設栽培では、センサ位置が高くなるため電波の到達距離は長くなると考えられる。

2) センサデバイスの電源の長寿命化に関しては、外部温度変化、電波の送信到達距離、デバイスの設置条件などを考慮して、スリープモード時間などを検討する必要がある。

3) センサデバイスの封入に関しては、高温多湿の温室を想定し、防湿対応した密閉性の高い容器構造に改良する必要がある。

4) センサデバイスの固定ピンは、作業者が農業従事者であることを想定し、より扱いやすい構造を考える必要がある。今回は、テープヒータの固定ピンと同等の物を採用したが、センサシステムの容器の大きさなども考慮し、固定治具を工夫する必要がある。

5) ゲートウェイは、汎用性、信頼性の確保などの面から改善が必要である。

これらの開発項目をクリアすることで、実用化が可能と考えており、今回の成果を基に関連企業との共同開発を進めていく予定である。

なお、現在、1、2、5 項目を中心にシステムの改良を進めており、28 年度の冬季に実験圃場（山口県農林総合技術センター）で、再度実証試験を実施する予定である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

1) 山田健仁，新田貴之，岡林拓矢，近藤賢治，御旗寛：「局所加温ステンレス箔テープヒータの管理運用に適したセンサネットワークの検討」，平成 28 年度（第 67 回）電気・情報関連学会中国支部連合大会，（10 月 22 日：発表予定）

2) 山田健仁，新田貴之，岡林拓矢，近藤賢治，御旗寛：「イチゴク라운用局所加温ステンレス箔テープヒータに適したセンサネットワークの試験運用」，徳山高専 研究紀要第 40 号（9 月 5 日：投稿予定）

その他、農業情報学会誌への投稿を計画している。