

センサネットワークを用いた温湿度制御システムの研究

小林 悠一^{1,a)} 鈴木 雄也¹ 鈴木 良典³ 今原 淳吾² 峰野 博史³

概要 :

本稿では、農作物の品質を向上させるために、高温多湿であるビニールハウス内でも安定して稼働できる環境制御システムを提案し、プロトタイプとしてセンサネットワークを用いた温湿度制御システムを開発した。提案するシステムではセンサネットワークを用いて環境情報を収集して可視化、制御を行う。静岡県農林技術研究所の小型ビニールハウスを用いて開発した温湿度制御システムの稼働及び制御実験を行い、安定した稼働、制御を確認できた。

Study on a Environment Control System with Wireless Sensor Network

Abstract: We propose a control system that can operate in a stable environment even in the hot and humid greenhouses is to improve the quality of the crop, in this paper the development of temperature and humidity control system with sensor network as a prototype. In the proposed system performs visualization, and control to collect the environmental information using the sensor network. We performed in small plastic house of Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry, running experiments and control experiments of temperature and humidity control system was developed, we were able to verify the stable system.

1. はじめに

現在の日本農業において、農業従事者の高齢化と後継者不足を原因とする、農業技術伝承の困難化が問題となっている [1]。日本農業従事者のうち若年層の割合は年々減少しており [2]、世界的に見ても高いレベルにある日本の農業技術が失われることが懸念されている [3]。近年、この課題を解決するための取り組みとして、情報技術を用いた農業支援が研究されている [4]。これは、農業技術の形式知化を行い、これまでに行われてきた農業に関する技術のノウハウなどをマニュアル化することで、農業従事者や農業新規参入者の支援を目的としている。情報技術によって、温度や湿度などの環境条件が農作物の生育や品質に影響を与えることが明らかにされつつあり、情報技術を用いた農業支

援が農作物の品質向上にもつながると考えられている。

これまで、データの可視化、分析を目的としたモニタリングシステムが情報技術を用いた農業支援として取り組まれてきた。モニタリングシステムは、農作物を栽培している施設の環境条件や農作物の状態をデータとして収集し、可視化することで生育変化や環境変化、エネルギー消費の変遷を人に分かりやすい形式で提供するを目的としている。農業技術の伝承という観点からの取り組みとして、海外では大規模な農場でセンサネットワークを用いたモニタリングシステムが数多く検討されている [5][6]。中でも、UMAC-model[7]では測定対象が大規模であることに加え、多くの人間が参加する農業に関する農業に関したコミュニティを作るという特徴を持っている。多数の農家や技術者が協力しあうことでより良い精密農業の技法を生み出している。

しかし、モニタリングシステムは農業に関するデータを見せるだけであり、データに基づいた農作物の管理や農業をおこなわない。人が農作物の管理を24時間行うのは困難であり、さけることができる労力は限られている。農業支援するシステムは、データを提示するだけでなく、機

¹ 静岡大学情報学部

Faculty of Infomatics, Shizuoka University

² 静岡県農林技術研究所

Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry

³ 静岡大学大学院情報学研究科

Graduate School of Infomatics, Shizuoka University

a) kobayashi@minelab.jp

械を用いて自動的に農作物にとって適切な管理を行うことが求められる。機械を用いて農作物の管理を24時間自動で行うためには、制御システムは農作物が栽培されている物環境下で365日24時間安定して稼働する必要がある。今後、農業技術の伝承と農作物の品質向上のためには、安定して稼働する環境情報に基づいた農作物に適切な環境作りを行う環境制御システムが必要である。

本研究は、高温多湿であるビニールハウス内でも安定して稼働できる環境制御システムの実現を目的とする。データの収集と可視化、温湿度制御システムの開発を行い、本研究の目的を達成する。また、実環境にてシステムの稼働実験を行った。

2. 関連研究

情報技術を用いた農業支援の取り組みとして植物工場が挙げられる[8]。植物工場は主に閉鎖的な空間内で植物を計画的に生産するシステムである。一般に養液栽培を利用し、太陽光利用型と完全人工型の2種類ある。太陽光利用型は温室等で太陽光の利用を基本とし、人工光による補光や夏季の高温抑制技術等を用いて栽培を行うのに対し、完全人工光型は閉鎖環境で太陽光を用いずに栽培を行う。作物の栽培に影響があると考えられる農地の情報を人工的に管理し、農作業をマニュアル化することで作物栽培における各要素の一定化を目指している。しかし、現在植物工場で栽培できる品目は少なく、特別な施設を建設する必要がある。

屋外の圃場を対象にした研究にフィールドサーバがある[9]。フィールドサーバは、Webサーバ、気温・湿度・日射量などの複数のセンサ、ネットワークカメラ、無線LAN通信モジュール、超高輝度LED照明など様々な電子機器を搭載し、圃場に長期間設置して、環境の計測、動植物のモニタリング、農園の監視等を行う超分散モニタリングデバイスである。フィールドサーバがあれば、他に大掛かりな装置を必要とせずに農園管理や環境モニタリング等の、センサネットワークを構築できる。しかし、フィールドサーバは環境情報の計測とモデル化を目的としており、制御は行っていない。

センサネットワークを用いた研究として無線センサネットワークを用いた施設園芸環境向け制御システム(以降、施設園芸環境制御システムと表記)がある[10]。施設園芸環境制御システムはビニールハウス内に設置することを想定しており、センサネットワークを用いて環境情報を収集し、収集したデータに基づいて空調機器の制御を行うことでビニールハウス内の環境を農作物にとって適切な環境作りを行う。しかし、高負荷な処理を行う精密機械を高温多湿なビニールハウス内に設置するため、安定したデータ収集と制御を行うことができなかった。

農業支援の制御システムを消費電力削減による生産コス

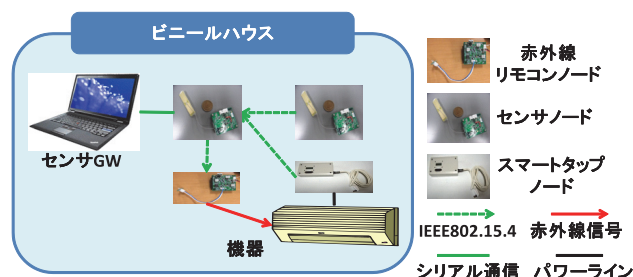


図1 施設園芸環境制御システムのシステムアーキテクチャ

トの削減を目的とした研究として根域制御システムがある[11]。根域制御とは、根域温度(根のある土の温度)を制御することである。農作物が配置されているビニールハウス全体を制御するよりも、農作物の局所を制御することで、農作物の成長を調節できると共に、冷暖房コストを削減することができる。この方法は、根域温度が重要な農作物には適しているが、農作物全体の温度が重要な農作物にはあまり適した制御システムではない。

3. 提案システム

3.1 システム概要

本研究で開発を行う環境制御システムは、ビニールハウス内に設置することを想定し、高温多湿な環境下での安定した稼働を目的とする。

施設園芸環境制御システムのシステムアーキテクチャを図1に示す。施設園芸環境制御システム[10]では、ビニールハウス内にセンサノードやセンサGW(Gateway)を設置し、ビニールハウス内の環境情報を収集して、機器の制御を行う。しかし、高温多湿なビニールハウス内に高負荷な処理を実行するセンサGWを設置したため、システムが熱暴走や不定期な一時停止をしてしまうことが多々発生していた。制御システムにとって安定性は重要であるため、システムの不安定さを改善する必要がある。不安定の要因は、高温多湿なビニールハウス内にセンサGWを設置するシステムの物理構成にある。安定したシステムを実現するためには、高温多湿なビニールハウス内に高負荷な処理を実行する精密機械を設置していない物理構成にすることが必要である。本研究は、ビニールハウス内にセンサGWを設置しない物理構成に改善し、無線通信でセンサネットワークとセンサGWが通信できるシステムアーキテクチャを提案する。

3.2 システムアーキテクチャ

目的とコンポーネントの関係図を図2に示す。本稿では、安定して稼働する環境情報に基づいた環境制御システムの開発のため、データの収集、可視化、温湿度制御システムの実装、構築を行った。システムの実装、構築を行うために必要なコンポーネントは、センサネットワーク、セ

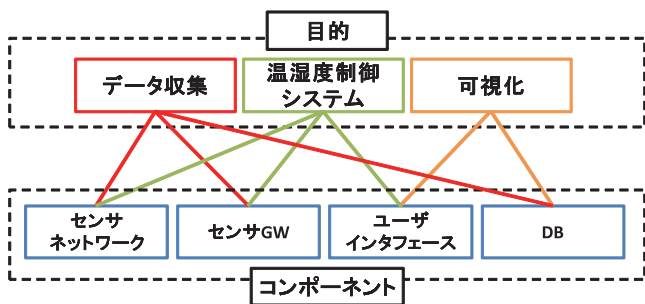


図 2 目的とコンポーネントの関係図

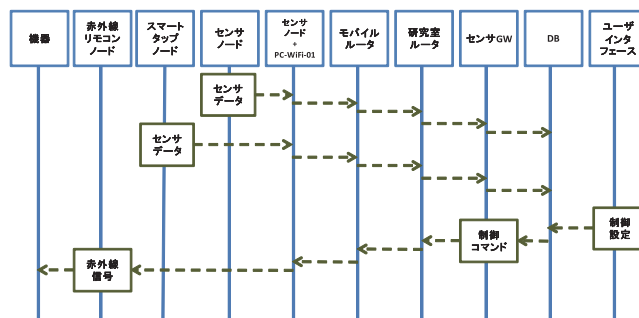


図 4 デバイス間のデータストリーム

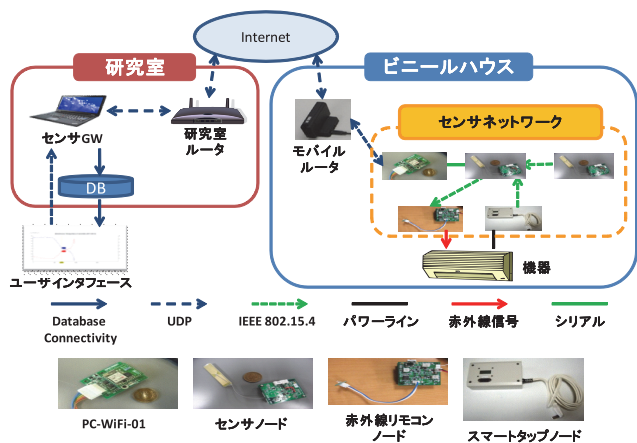


図 3 システムアーキテクチャ

ンサ GW, DB(Data Base), ユーザインタフェースの 4 つである。

システムアーキテクチャを図 3 に示す。温湿度制御を行うビニールハウス内にセンサネットワークを設置する。データの収集先、格納先であるセンサ GW と DB はビニールハウスから離れた研究室に設置した。ビニールハウス内と研究室に設置しているルータを用いてセンサ GW とセンサネットワークは無線で通信する。ユーザインタフェースは DB に格納しているデータを Web から閲覧できる。

デバイス間のデータストリームを図 4 に示す。本システムのデバイス間で送受信されるデータは、センサネットワークから収集するデータ (以後、センサデータと表記) と、制御を行うために必要な設定及びコマンドである。センサデータは、センサノードとスマートタップノードから送信されて DB へ格納される。制御の設定はユーザインタフェースから行い、設定内容をセンサ GW に送信する。センサ GW では、受信した制御設定に従い制御コマンドを赤外線リモコンノードへ送信する。赤外線リモコンノードは受信した制御コマンドに従って機器へ赤外線信号を送信する。

4. データ収集

データの収集には、センサネットワークを用いており、通信規格は IEEE 802.15.4 である。温度や湿度などのセンサデータの収集や制御の用途としてセンサネットワークは

表 1 無線モジュール仕様

項目	仕様
通信方式	IEEE 802.15.4 準拠
通信距離	200m
消費電力	動作時 24mA 待機時 1uA 以下
重さ	約 6g
寸法	25mm x 38mm
動作温度	-10 ~ +60

表 2 センサノード仕様

項目	仕様
温度センサ	LM20 (NS)
温湿度センサ	SHT21 (センシリオン)
基板寸法	40 x 45mm
電源	DC2.7V ~ 3.3V 電池駆動対応 (CR2)
動作環境	動作温度 -10 ~ +55 湿度 0 ~ 95% 防湿加工 保存温度 -20 ~ +60

多肢にわたって用いられており、本研究で開発するシステムにも適用できると判断した。センサネットワークは、センサノード、スマートタップノード、赤外線リモコンノードと、無線 LAN アダプタの PC-WiFi-01[12] によって構成される。本システムで使用したセンサノード等の無線基板には、地域イノベーション戦略支援プログラムで当研究プロジェクトにて開発され、株式会社エンベデッド・システムから販売されている ED 基板 (CPU(R8C)IEEE 802.15.4 無線通信モジュール (UM200)) を用いた。無線基板に住環境測定モジュールや赤外線リモコンモジュールや消費電力測定モジュールを組み合わせたものをそれぞれセンサノード、赤外線リモコンノード、スマートタップノードとして使用した。無線モジュールと、センサデータを送信するセンサノードとスマートタップノードの詳細を表 1, 表 2., 表 3, 表 4 に示す。

センサノードとセンサ GW の通信方式を図 5 に示す。施設園芸環境制御システムは、センサノードとデータの収集先であるセンサ GW とはシリアル通信を用いてデータの送受信を行った。しかし、センサ GW は他のセンサに比べ、部品点数が多く高負荷な処理を実行しているため多湿高温な環境で故障する可能性が高い。システムの安定性を考慮

表 3 赤外線リモコンノード仕様

項目	仕様
赤外線受光部	GPIUD281YK (SHARP) 赤外線キャリア方式 波長: 940nm キャリア周波数: 38KHz ~ 39KHz
赤外線送信部	LN69(松下) 赤外線キャリア方式 波長: 940nm キャリア周波数: 38KHz~39KHz
EEPROM	学習機能用 1Mbit EEPROM 25LC1024 MicroChip
基板寸法	40 × 45mm
電源	DC2.7V ~ 3.3V 電池駆動対応 (CR2)
動作環境	動作温度 -10 ~ +55 湿度 0 ~ 95% 防湿加工 保存温度 -20 ~ +60

表 4 スマートタップノード仕様

項目	仕様
電力測定部	ADE7753 (アナデバ) 入力電圧: AC100V 測定レンジ: 有効電力 0 ~ 3 KW 無効電力 0 ~ 3 KVar 皮相電力 0 ~ 3 KVA 力率 0 ~ 100% 消費電力 0 ~ 30% 測定精度: ± 2% 測定精度: ± 1%
電力制御部	ソリッドステートリレー 1 系統 AQA611VL 松下 40A AC100V 対応
電力センサ	CT センサ CTL-10-CLS (80Amax) U-RD
基板寸法	55 × 110mm
電源	AC100V 内部 3.3V/5V
動作環境	動作温度 0 ~ +55 湿度 0 ~ 95% 結露なきこと 保存温度 -20 ~ +60

すると、農場にセンサ GW を設置することは避ける必要がある。そこで、センサノードに PC-WiFi-01 を接続することで、IEEE 802.11b/g/n が通信可能となり、センサノードは同様の通信規格を搭載したルータと通信できるようになる。インターネットを介してセンサノードとセンサ GW が通信できることで、センサ GW をビニールハウス内に設置する必要がなくなる。PC-WiFi-01 はセンサ GW と比べて部品点数や負荷が非常に少ないので、PC-WiFi-01 を用いてセンサ GW をビニールハウス内から取り除くことによって、システムの熱暴走や不定期な一時停止が発生する可能性を下げることができたと考える。

5. 可視化

ユーザインタフェースを図 6 に示す。データの可視化は、DB に格納されているセンサデータをグラフ表示することにより、システム利用者に見やすいデータを提供し、管理者のシステム運用管理を容易にすることを目的とする。センサデータは Web ブラウザを用いてグラフで閲覧

	センサGWとの通信デバイス	センサノードとセンサGWの通信方式	センサGWの設置場所
施設園芸環境制御システム	センサノード	シリアル通信 (有線)	ビニールハウス
提案システム	センサノード+ PC-WiFi-01	Wi-Fi通信 (無線)	研究室

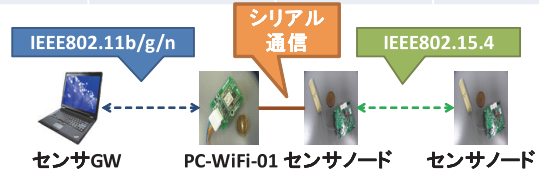


図 5 センサノードとセンサ GW の通信方式

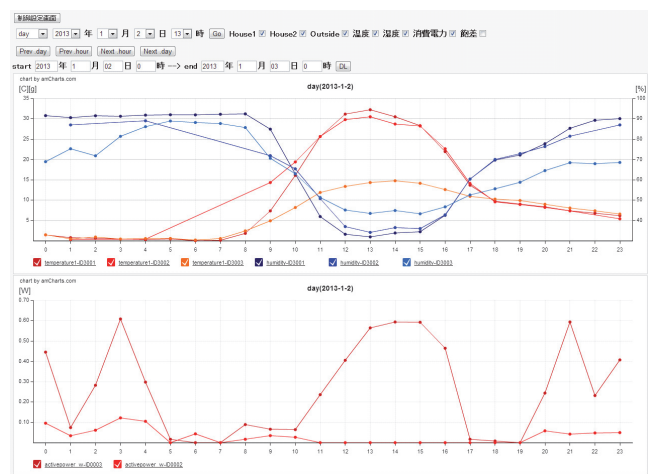


図 6 ユーザインタフェース

できるようにする。データの比較がしやすいように x 軸を時間軸として、y 軸のセンサデータの値を折れ線グラフとして表示することとした。

表示期間別グラフ表示を図 7 に示す。センサデータを生データだけではなく平均値をあらかじめ算出しておくことで、表示期間の変更にあわせ、プロット数の粒度を調整することができる。プロット数が多いと、計算量が増えてグラフ表示に時間がかかってしまうため、表示期間に合わせたプロット数の粒度調整は必要となる。

ユーザインタフェースの実現には、Flash でグラフを生成できる amCharts[13] を利用する。ユーザインタフェースは、グラフ表示の他に制御設定の機能を持ち、機器の制御内容はユーザインタフェースから設定を行う。

6. 温湿度制御システム

温湿度制御システムは、赤外線信号を用いて行う。赤外線信号は赤外線リモコンノードより送信され、赤外線リモコンノードはセンサ GW より送信される制御コマンドより操作する。

センサ GW での処理を図 8 に示す。センサ GW の役割はデータの収集と制御コマンドの決定、送信である。制御

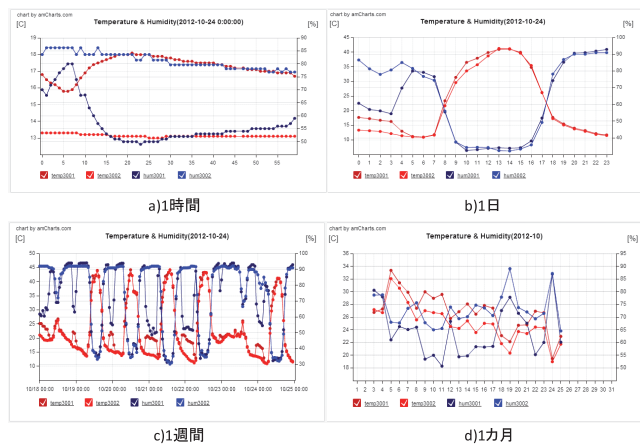


図 7 表示期間別グラフ表示

コマンドは、赤外線リモコンノードが赤外線信号を送信するために必要なコマンドである。制御コマンドで赤外線リモコンノードを操作することにより、機器の制御を実現している。センサ GW は、受信部、解析部、制御部、送信部、格納部の 5 つのモジュールから構成される。

● 受信部

受信部は、ユーザインタフェースから制御設定、センサネットワークからセンサデータを受信する。通信プロトコルは UDP(User Datagram Protocol) を用いている。UDP は明確なハンドシェイクを省いたコネクションレスであり、信頼性・順序性・データ完全性を保証しない。本システムのセンサデータの収集時間間隔は、センサノードが 1 分毎、スマートタップノードが 30 秒毎に行っている。農業においてセンサデータはデータの粒度が細かくなくても問題はない。収集時間間隔が短ければ、確実性ではなく、1 個当たりのデータ量が軽く、センサ GW で不具合が発生してもデータ収集が途絶えることのないコネクションレスなプロトコルの方がシステムにとって適切であると考えた。

● 解析部

解析部は、受信したデータを解析して役割毎に分類を行う。データの種類は、制御設定値、センサノード、スマートタップノード、ACK、その他の 5 種類に分類される。欠損してしまったデータなどはその他に分類し、制御プログラムに支障がないようにする。

● 制御部

制御部は、分類されたデータを基に制御コマンドを決定する。温湿度制御システムは、機器の ON/OFF を制御する。制御コマンドは ON と OFF の 2 種類であり、センサ GW は制御の設定内容に一致していれば ON、一致していなければ OFF の制御コマンドをセンサネットワークに送信する。ON/OFF は、制御の実行、対象、期間、閾値の条件分岐から判断する。制御は行わない場合は、制御コマンドを送信しない。

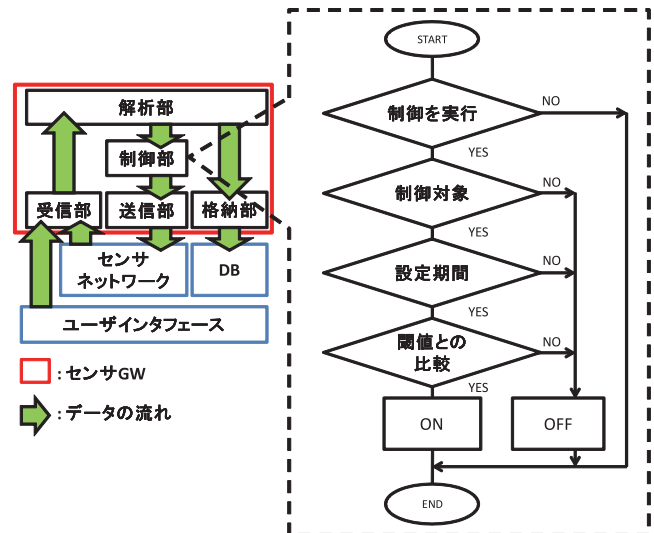


図 8 センサ GW での処理

● 格納部

格納部は、分類されたデータをそれぞれ DB のグループに格納する。格納するデータはセンサノード、スマートタップノード、制御設定値の 3 つである。グラフを出力するのにデータ量が多すぎると計算量が多くなってしまい、グラフを表示するまでの時間がかかってしまう。Web からデータを見やすく閲覧するため、センサデータは生データだけでなく、1 時間の平均値を算出し、別のテーブルに格納することで、グラフの表示期間に合わせてデータ量を調節することができる。

● 送信部

送信部は、決定した制御コマンドを赤外線リモコンノードへ送信する。制御コマンドはセンサ GW、研究室ルータ、ビニールハウス内のモバイルルータ、センサノード、赤外線リモコンノードの順で送信される。しかし、モバイルルータには固定されたグローバル IP がなくこちらから通信することは困難である。そこで、センサネットワークから受信した際に送信元の IP を取得し、取得した IP に制御コマンドを送信するようにした。センサネットワークからデータを受信しなければ送信することはできないが、温湿度制御システムは、受信したデータに基づいて制御コマンドを決定し送信するので、制御コマンドを送信するタイミングに問題はない。送信にエラーが発生した場合、制御コマンドを再送するように実装した。

7. 実験

7.1 実験内容

本実験では、ビニールハウス内に本システムを設置し、システムの稼働実験及び制御実験を行った。また、センサノードから送信されるセンサデータがセンサ GW に到達する率 (以降、データ到達率と表記) を安定性の指標として



図 9 小型ビニールハウス外観

用いた。温湿度制御システムは、通信方法の問題からデータ到達率そのまま温湿度制御システムの稼働率に直結するので、データ到達率が低い値だと安定した制御は行えない。よって、データ到達率は制御の安定性にとって重要な指標であると考えた。

データ到達率は、センサ GW が受信したセンサノードの正常なデータ数を、センサノードが送信したであろうセンサデータ数で割ったものである。センサノードは、1分毎にデータを送信しているので、1時間で60、1日で1440のデータをセンサ GW へ送信している。よって、センサ GW が受信した正常なデータ数 N を用いて、1時間当たりのデータ到達率 Dh と1日当たりのデータ到達率 Dd はそれぞれ式 1、式 2 で求めた。正常なデータとは、センサ GW で認識しているデータフォーマットに一致したデータのことを示す。

$$Dh = N/60 \quad (1)$$

$$Dd = N/1440 \quad (2)$$

7.2 実験環境

小型ビニールハウスの外観を図 9 に示す。システム構築には、静岡県磐田市にある静岡県農林技術研究所内の小型ビニールハウス、制御対象の機器にヒートポンプを用いた。ヒートポンプには除湿機能と加温機能が備わっている。小型ビニールハウス内にセンサノード、赤外線リモコンノード、ヒートポンプを設置した実際の様子を図 10 に示す。センサノードは小型ビニールハウス内上部に1台設置し、赤外線リモコンノードはヒートポンプの受光部に直接取り付け付けた。直射日光からノードを守るため、センサノードと赤外線リモコンノードにはラジエーションシールドをかぶせた。ヒートポンプには、消費電力の計測を行うスマートタップノードを接続した。スマートタップノードが計測する消費電力のデータで、ヒートポンプの ON/OFF を判断することができる。ヒートポンプの横に設置してある台にはセンサノードを含む様々なデバイスが設置してある。台上にはヒートポンプに接続したスマートタップノード、センサノード、PC-WiFi-01、モバイルルータ、タイマー回路が設置してある。

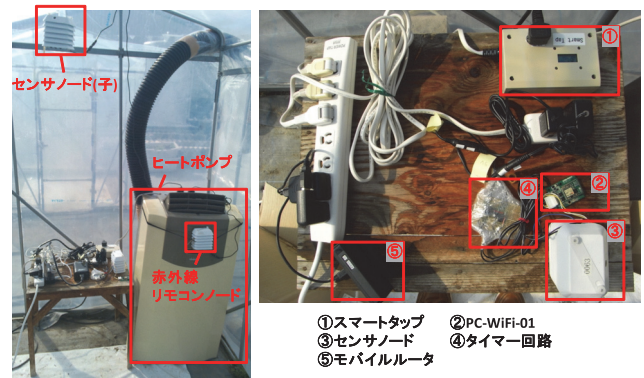


図 10 小型ビニールハウス内設置状況

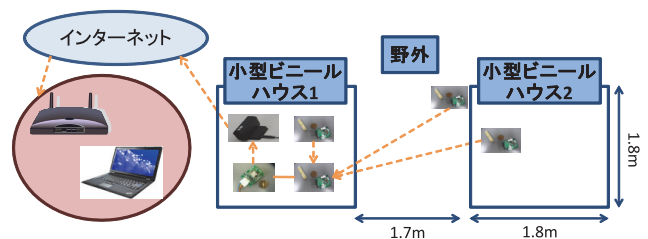


図 11 センサノードの位置関係

PC-WiFi-01 はオートポーレート設定を行う必要があるため、電源 ON にしてから約 18 秒遅らせてセンサノードの電源を ON にしなくてはならない。システムの起動を簡潔にするために、センサノードと PC-WiFi-01 の間にタイマー回路を入れた。タイマー回路は、オンディレイタイマー回路であり、PC-WiFi-01 の電源が入ってから時間を遅らせてセンサノードに電源を入れる回路である。遅延時間は回路に使用する抵抗とコンデンサーの値により決定することができる。遅延時間は約 18 秒以上であればよい。本研究では余裕をもって遅延時間を約 40 秒にした。タイマー回路は湿気を防ぐためにラップで包んでいる。

センサノードの位置関係を図 11 に示す。本実験には小型ビニールハウスを 2 つ使用する。それぞれにデバイスを設置し、データの収集と制御を行う。ただし、モバイルルータ、PC-WiFi-01 とシリアル通信で接続しているセンサノードは片方のみに設置し、設置した小型ビニールハウスを 1、設置していない小型ビニールハウスを 2 とした。

7.3 実験結果

システム稼働実験結果を図 12 に示す。1 ヶ月分のデータ到達率 (Dd) を算出し、施設園芸環境制御システムを既存システムとして、提案したシステムと比較を行った。既存システムのデータ到達率は日によって疎らで、データ到達率 0% の日が続くこともあり、とても不安定なシステムであることが確認できた。提案システムのデータ到達率は常にはほぼ 100% とまではいかないまでも、1 ヶ月間高いデータ到達率を維持し続けた。図 12 から提案システムは、既存システムに比べて長期間安定したデータ到達率を維持で

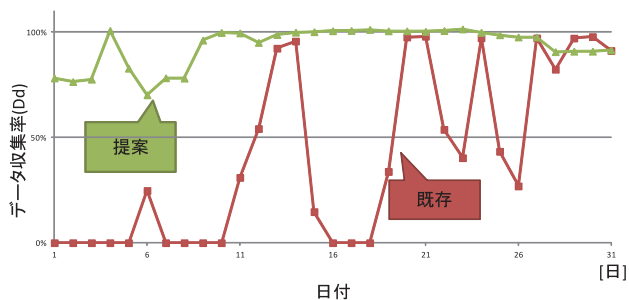


図 12 システム稼働実験結果

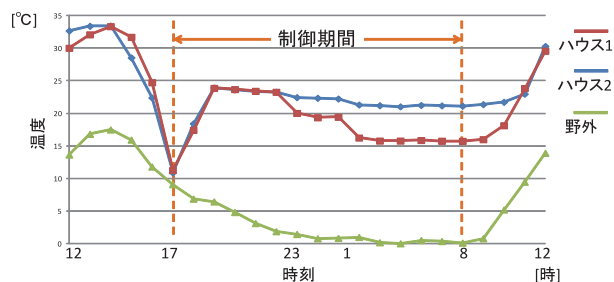


図 13 温度制御実験結果

表 5 温度制御設定内容

制御期間	ハウス 1	ハウス 2
17 時～23 時	24 °C	24 °C
23 時～01 時	22 °C	20 °C
01 時～08 時	21 °C	16 °C

きることが確認できた。よって、既存システムよりも安定したシステムになったと考えられる。

温度制御実験結果を図 13 に示す。ヒートポンプを用いて自動的に小型ビニールハウス内の温度を設定どおりに制御できるかどうかの検証を行った。制御する時間帯と温度の値を 2 つの小型ビニールハウスそれぞれに設定した。温度制御設定内容の詳細を表 5 に示す。

図 13 は、制御を行った時間帯を中心に、1 日分の計測した温度を 1 時間毎にプロットしたグラフである。野外の温度は制御期間に入っても下降し続けているのに対し、小型ビニールハウスの温度は制御期間に入ると上昇し、ある程度上昇した後は制御期間を過ぎるまで落ち着いている。これは、設定温度に達したため、制御が行われ一定の温度になったと思われる。

図 13 の詳細を図 14 に示す。図 14 は、図 13 の制御期間外と制御期間内の設定温度が異なる時間帯からそれぞれ 1 時間分切り取り、計測温度を 1 分毎にプロットしたグラフである。制御期間外では、野外もビニールハウスも関係なく温度がゆるやかに降下していることが確認できる。制御期間内では、表 5 の設定温度付近で各小型ビニールハウス内の温度が降下、上昇を繰り返していることが確認できる。温湿度制御システムは、ヒートポンプの加温機能を ON/OFF することで設定された温度するので、設定温度

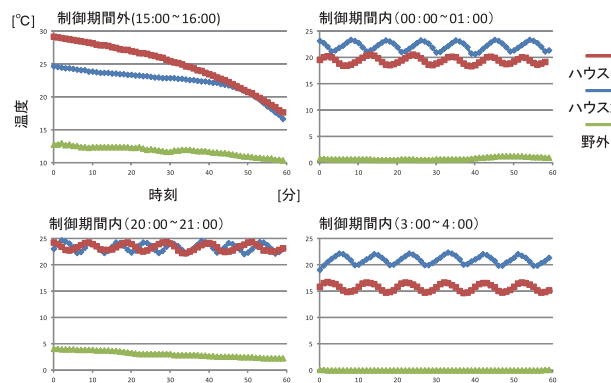


図 14 システム稼働実験結果の詳細

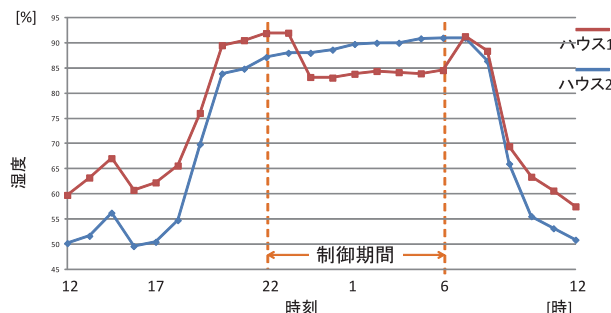


図 15 湿度制御実験結果

表 6 湿度制御設定内容

制御期間	ハウス 1	ハウス 2
22 時～06 時	70%	None

付近で小型ビニールハウス内の温度が降下、上昇を繰り返す。以上のことから、温湿度制御システムがヒートポンプを用いて小型ビニールハウス内の温度を制御できていると判断できる。

湿度制御実験結果を図 15 に示す。温度制御と同様にヒートポンプを用いてビニールハウス内の湿度制御し検証する。制御設定内容の詳細を表 6 に示す。湿度制御は、小型ビニールハウス 1 だけ制御を行い、小型ビニールハウス 2 には何も制御を行わなかった。

図 15 は各小型ビニールハウスの湿度データをグラフとして表示した図である。昼間低かった湿度が、夜になるにつれて上昇し、90%を超えているのが分かる。制御期間では、小型ビニールハウス 1 が小型ビニールハウス 2 に比べ湿度が少し低いことが確認できる。しかし、設定値である 70%とは大きく異なった値となった。

図 15 の詳細を図 16 に示す。図 16 は、図 15 の制御期間外と制御期間内の設定からそれぞれ 1 時間分切り取り、計測温度を 1 分毎にプロットしたグラフと、同時刻に計測したヒートポンプの商品電力のグラフである。制御期間内の湿度は激しく値が変動し、同時刻にヒートポンプの消費電力が 1000w 近く計測しているのがヒートポンプによる制御が稼働していると考えられる。消費電力のグラフを見ると

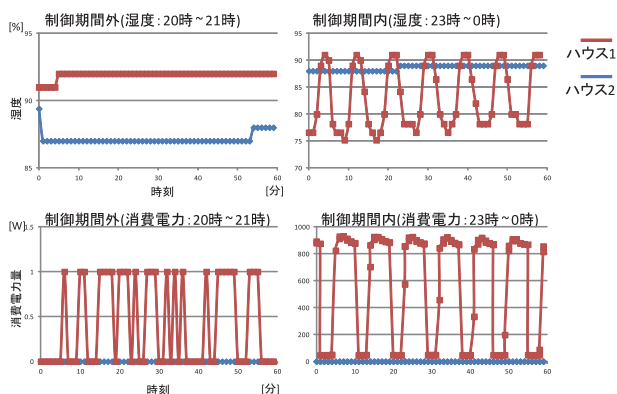


図 16 湿度制御実験結果の詳細

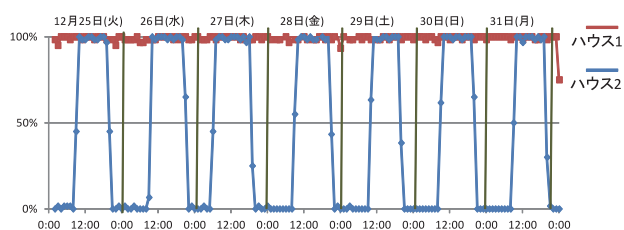


図 17 小型ビニールハウス別データ到達率 (Dh)

途中で出力が下がっていることが分かる。湿度の値もヒートポンプの消費電力が下がるのと同時に上がっている。以上より、湿度制御ではヒートポンプの出力不足、もしくは簡潔動作が問題で大きく湿度を下げることは難しく、設定された湿度まで達することができなかったと考える

小型ビニールハウス別データ到達率 (Dh) を図 17 に示す。図 17 から小型ビニールハウス 1 はデータ到達率が常にほぼ 100%であるのに対し、小型ビニールハウス 2 は夜間になるとデータ到達率が急激に低下していることが確認できる。原因の 1 つとして、センサノードの位置関係が考えられる。図 11 から小型ビニールハウス 2 の環境情報を収集しているセンサノードは小型ビニールハウス 1 と違い、収集先との間にビニールハウスがある。夜間になると温湿度制御を行っている小型ビニールハウス内と野外で温度差が顕著になる。温度差によってビニールハウスに結露が生じ、結露が無線通信を不安定にしているのではないかと考えた。

8. まとめと今後の展開

本稿では、高温多湿なビニールハウス内でも安定稼働できるセンサネットワークを用いた制御システムの実現を目的とし、プロトタイプとして温湿度制御システムを開発し、ヒートポンプを用いた温湿度制御について実験を行った。高温多湿な環境の小型ビニールハウスに設置してシステムを稼働させたところ、施設園芸環境制御システムと比較したところ安定したデータ収集を行うことができた。温湿度制御実験は、温度制御は設定されたようにビニールハウス内の温度を制御することができた。湿度制御はヒートポン

プの性能と制御の設定値がうまくみ合わず、設定された制御を行えたという結果を得られることができなかった。機器の変更や追加、もしくは機器の性能も踏まえた制御設定を行い、制御システムの稼働実験を再び行うことが必要である。

ビニールハウス別データ収集率では、夜間になると小型ビニールハウス 2 に設置されているセンサノードのデータ収集率が急激に低下していたことが確認できた。無線通信だと環境状況やセンサノード位置によって不安定になってしまうので、無線通信で不安定になるセンサノード間を有線で代用する無線と有線を併用センサネットワークを構成することを検討している。今後も、制御システムの安定性向上を目指し研究を進めていく。

参考文献

- [1] Mineno, H., Obata, K., Masui, T., Abe, K. and Mizuno, T.: "Development of a wireless sensor network for visualizing agricultural knowledge," *Intelligent Decision Technologies 4 (2010) IOS Press*, Vol. 4, No. 4, pp.277-284, 2010.
- [2] 農林水産省: "業構造動態調査報告書," (2009).
- [3] 農林水産省: "農業・農村の潜在力を活かした新たな挑戦," (2009).
- [4] 神成淳司: "特集 新しい○○情報学 1. 農業情報学," 会誌「情報処理」, Vol. 51, No. 6, pp.635-641, (2010).
- [5] A. Matese, et al.: "A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 69, pp.51-58, (2009).
- [6] F.J. Pierce, T.V. Elliott: "Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 61, pp.32-43, (2008).
- [7] Santhosh K. Seelan et al: "Remote sensing applications for precision agriculture," *Remote Sensing of Environment* 88, Vol. 61, pp.157-169, (2003).
- [8] 高辻 正基: "完全制御型植物工場," 会誌「情報処理」, Vol. 51, No. 6, pp.635-641, (2010).
- [9] 平藤 雅之: "フィールドサーバ 畑を計測し見張る," 農林水産省委託 IT 研究プロジェクト「データベース・モデル協調システムの開発」成果発表会, (2005).
- [10] 串岡 聡, 他.: "無線センサネットワークを用いた施設園芸環境向け制御システムの開発と評価," 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 74, No. 3, pp.169-170, (2012).
- [11] 窪田 聡, 他.: "根域環境制御システムにおける多孔質鉢の利用と機能," 園学研, Vol. 10, No. 4, pp.461-466, (2011).
- [12] ALPHAPROJECT: PC-WiFi-01(online), 入手先 (<http://www.apnet.co.jp/product/superh/pc-wifi-01.html>), (2013.02.08)
- [13] amCharts(online), 入手先 (<http://www.amcharts.com/>), (2013.02.08)