

画像情報とセンサデータを組み合わせた 農業用ハイブリッド環境測定システム*

菊池 貴**、野村 翼**、千田 麗誉**

農業現場における作業省力化のために、安価で多点観測可能な環境測定装置が求められている。そこで筆者らは、安価なセンサノードとさらにそれらを複数組み合わせたものと通信可能なソフトウェアを開発して、センサネットワークを用いた農業向け環境測定装置を試作した。また、ビニルハウス内環境に基づいた温湿度サイクル試験による筐体の評価を行い、筐体内への水蒸気の侵入が無いことを確認した。
キーワード：M2M、センサネットワーク、無線LAN、スマートフォン

Agricultural Hybrid Environmental Measurement System Combining Sensor Data and Image Information

Takashi Kikuchi, Tsubasa Nomura and Yoshitaka Chida

This report describes a prototype of an inexpensive multipoint observable environmental measurement system, which is required to decrease human labor in agricultural fields. The system consists of a low-cost sensor node and software that collects and analyzes the data. To evaluate the sensor node, we use it to measure temperature and humidity cycles in a plastic greenhouse environment. The results confirmed the absence of water vapor ingress into the housing.

key words : machine to machine, sensor network, wireless LAN, smart phone

1 緒言

近年、農業分野における高齢化、労働力不足が問題視されており作業の省力化、効率化を目的とした ICT 技術の導入が進んでいる。農業の ICT 化において第一に求められるのは温度、日照、水分量といった圃場環境の測定であり、従来はフィールドサーバ^{1,2)}と呼ばれる大型の装置が用いられてきたが、近年では小型で安価なセンサネットワーク^{3,4,5,6,7)}が注目されている。

フィールドサーバのメリットは高い耐候性、長い通信

距離、通年稼働が挙げられ、デメリットとしては高価であり、設置工事も必要なことが挙げられる。一方、センサネットワークは耐候性や通信距離、稼働時間は劣るものの、低価格で設置も容易であり、複数点でのデータ取得に適している。

有限会社イグノスと岩手県工業技術センターは、センサネットワークの耐候性の問題を解決した、安価な農業現場向け測定装置の開発を平成 25 年度から共同で行っている。装置の全体像を図 1 に示す。本装置では、設置

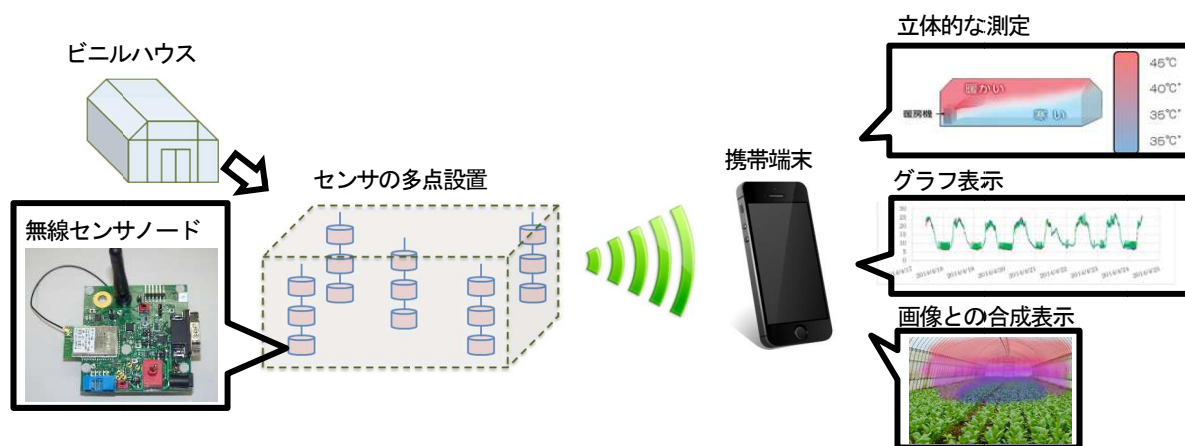


図1 環境測定装置全体像

* 平成 26 年度 共同研究

** 電子情報技術部

が容易な無線センサによる多点観測と、センサデータとカメラ画像を合成した直感的な表示を安価に実現することを目指している。

平成 25 年度は市販ノード、PC および携帯端末を用いた第 1 試作を行った。図 2 に示す第 1 試作では、PC と携帯端末間で通信するためのソフトウェアを試作し、センサ値を携帯端末で取得する基本的な機能を実現した。しかし、市販ノードや PC を用いるため価格が高くノード台数は 1 台であった。

本研究では低価格化とノードの複数台化を目的とした第 2 試作を行った。図 3 に示す第 2 試作では、市販部品を用いた安価なセンサノードの試作、携帯端末向け通



図 2 第 1 試作構成



図 3 第 2 試作構成

信ソフトウェアの改良を行った。また、本装置はビニルハウス内での使用を想定していることから、筐体に必要な耐候性を調査するためビニルハウス内の測定実験およびビニルハウス内環境を模した温湿度サイクル試験を実施した。

2 設 計

図 4 にシステムの全体像を示す。本システムは、複数のセンサノードと携帯端末が無線通信を行い、携帯端末で測定結果を確認する。

試作センサノードは 3 つの異なるセンサを持つ。各センサの出力電圧は増幅器を用いて通信基板の参照電圧にスケールする。通信基板は一定周期でセンサ電圧値を携帯端末へデータを送信する。各センサノードは携帯端末への送信のみを行い、携帯端末からの受信やノード間での送受信は行わない。

携帯端末は各ノードからの送信要求がないかを順に確認（ポーリング）し、通信を行う。データ受信後は、センサ電圧値を検量線に従い温度、湿度、照度に変換する。そして、各測定値の表示、グラフ表示、画像と合成した表示を行う。

3 試 作

3-1 センサノードの試作

図 5 に試作したセンサノードを示す。試作センサノードは、温度センサ、湿度センサ、照度センサの 3 種類のアナログセンサと Wi-Fi モジュール（ディジインターナショナル XBee WiFi S6B）で構成される。各アナログセンサの出力電圧は、オペアンプと抵抗で構成した非反転増幅回路により、Wi-Fi モジュールの参照電圧 2.5V にスケールした。各センサの計測範囲を表 1 に示す。

Wi-Fi モジュールは、一定周期でアナログポートのセ

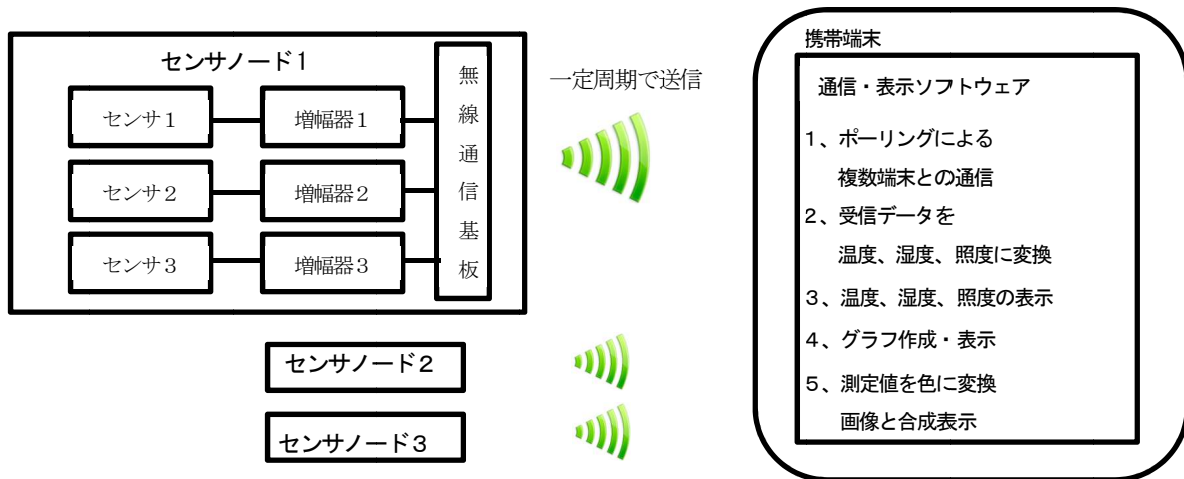


図 4 センサノードと携帯端末の動作

っていた。しかし、本通信ソフトウェアにより、通信基板と直接通信が可能となり、通信用の PC は不要となった。第 1 試作で用いた市販センサノード（GainSpan GS1011MEE）では、1 台あたりの費用が 30,000 円と高価であったため、多点での観測には適していなかった。しかし、本試作センサノードでは、安価な市販部品を組み合わせることで1台あたりの費用を8000円程度に削減で

きたため、多点観測を安価に実現することが可能になった。

3-2 通信ソフトウェアの試作

図 6 に試作した携帯端末向け通信ソフトウェアを示す。通信ソフトウェアは各ノードからの送信要求を順に確認する。送信要求があった場合、送信元の IP アドレスを確認し、予め登録しておいた各ノードの IP アドレスと照合する。その後、受信したデータの保存、電圧値の変換、測定値の表示を行う。

試作センサノードから送られてくるデータはセンサ電圧値であるため、検量線を用いてそれぞれの電圧値を温度、湿度、照度に変換する。温度、湿度、照度の値はメモリ上の記憶領域に保存され、同時に図 6(a) のリアルタイム表示画面上に反映される。グラフ表示ボタンをタッチした際には記憶領域のデータから図 6(b) に示すグラフを作成し表示する。画像とセンサ値の合成表示ボタンをタッチした際には、最新の温度の値を色に変換し半透明画像を作成し、予め登録していた画像と重ねて表示する。表示例を図 6(c) に示す。

本通信ソフトウェアは Android 端末向けに開発した。開発環境については表 2 に示す。

第 1 試作における通信ソフトウェアでは、Windows OS との通信を行うため PC を介して携帯端末との通信を行

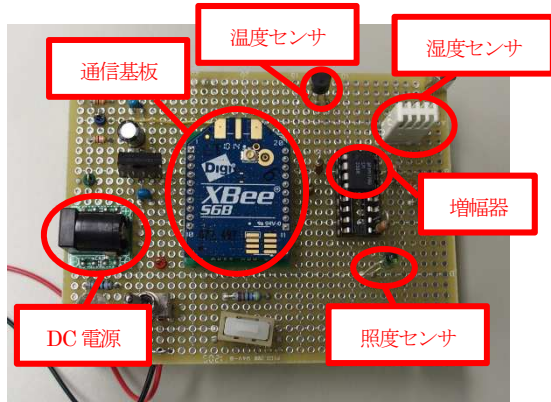


図5 試作センサノード

表1 温度、湿度、照度センサの計測範囲

センサ		温度	湿度	照度
メーカー		National Semiconductor	TDK	新日本無線
型式		LM61B	CHS-GSS	NJL7502L
測定範囲	製品仕様	-25~85°C	5~95%RH	1~100000Lx
	設計仕様 (参照電圧 2.5V)	-25~75°C	5~95%RH	1~10000Lx
増幅値		1.7 倍	2 倍	0.3 倍

表2 通信ソフトウェア開発環境

開発環境	Android Studio 1.1.0
開発言語	Java JRE1.8.0
SDK	Android SDK Tools 24.0.2 Android SDK Platform-tools 21
開発ターゲット	Android 2.2.3

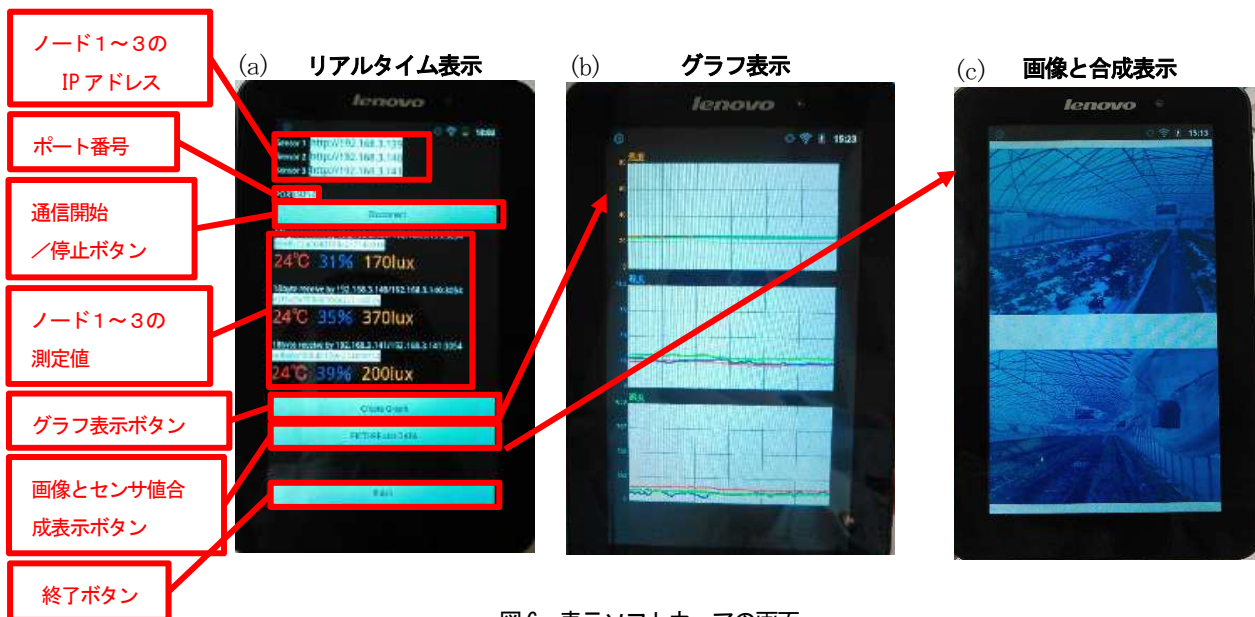


図6 表示ソフトウェアの画面

(a) センサノード3台の測定値をリアルタイム表示 (b) 温度、湿度、照度の測定結果のグラフ表示 (c) 最新の温度情報を色データに変換し、指定した画像ファイルと合成表示

っていた。しかし、本通信ソフトウェアにより、通信基板と直接通信が可能となり、通信用のPCは不要となった。また、複数のセンサノードとの通信を実装したことにより、多点観測を実現した。

4 動作検証

前述の試作センサノードと通信ソフトウェアを用いた動作検証を行った。動作検証に用いた機器を図7に、試験項目を表3に示す。

これらの動作検証により、通信確立、3ノードからのセンサデータ取得、測定データのリアルタイム更新、グラフ表示といった基本的な機能が正常に動作することを確認した。

しかし、試作センサノード3台はセンサ、検量線、環境とも同一の条件で実験を行ったが、得られたセンサ値にはばらつきが見られた。これは使用したアナログセンサの個体差と、センサノードを自作した際に抵抗値が均一ではなくなったことで、センサから取得した電圧値にばらつきが出たと考えられる。センサの個体差を無くするためのキャリブレーション手法の確立が今後の課題である。

また、通信ソフトウェアはノードから送られてきたデータを無作為に取得するため、データの取得回数についてもばらつきが見られた。これについては、ソフトの改良によるデータの順次取得機能の追加や、センサノードのマイコン制御といった対策が考えられる。

今回の実験では、センサノードの電源にバッテリーとAC電源の2種類を用いた。最終製品ではバッテリー駆動を想定しているが、実験ではバッテリーを用いた場合1~2時間程度しか稼働できないことが明らかになった。今後製品化へ向け、バッテリーの改善や小型の太陽光パネル等の活用も検討し長期稼働に向けた取り組みを行う。

5 耐候性試験

本研究で開発している環境測定装置は屋外やビニルハウス内での使用を想定しており高い耐候性が求められる。そこで、実際の圃場における環境を調査するために

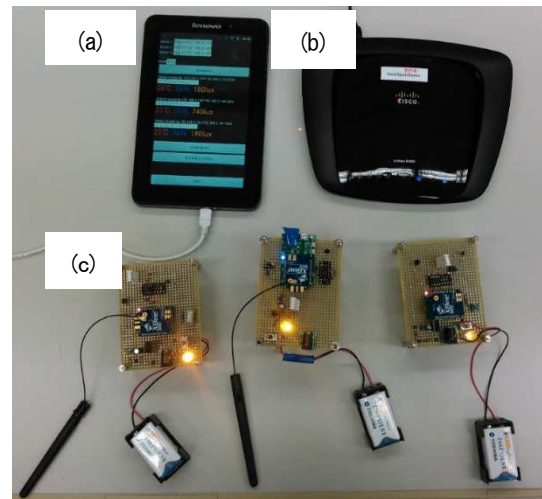


図7 動作検証に用いた機器

(a) タブレット端末 : Lenovo IdeaPad Tablet A1-07 (b) 無線ルータ : Cisco-Linksys E1000 (c) 試作ノード3台 通信基板 : Xbee WiFi S6B

株式会社サラダファームの協力のもと実際の圃場での温湿度計測実験と、そこで得られた温湿度情報をもとにした恒温恒湿槽による温湿度サイクル試験を実施した。

5-1 圃場実験

平成26年4月10日~11月6日まで株式会社サラダファームのビニルハウス2棟で温湿度の計測を行った。計測に用いた装置を表4に示す。

計測では、2棟のビニルハウスにセンサノードを3台ずつの計6台配置した。ビニルハウス内では日中に気温が上昇し湿度は下降する。夜間は逆に気温が下降し湿度が上昇する。夏季は特に温度と湿度の上下が大きくなり電子機器には過酷な環境となる。7~9月における、温度と湿度の測定結果を図8に示す。温度は10~40℃、湿度は40~90%RHの範囲で変化を繰り返していた。この結果から、後述する恒温恒湿槽実験の条件を設定した。

5-2 恒温恒湿槽実験

試作センサノードを圃場で使用する際には耐候性向上のための筐体が必要となる。そこで本研究では、市販の筐体を使用し圃場環境を模した温湿度サイクル試験を実施し、筐体内部への水蒸気の浸入の有無を確認した。実験には図9(a)に示す防水・防塵ボックス(タカチ電機工業 BCAS121210G)を使用した。このボックスの防水・防塵性能はIP65である。

筐体にノードを格納した際に、図9(b)に示すようにセンサ自体は筐体の外に出す必要があるため、筐体に穴を開けてリード線を通し、図9(c)に示すようにシール剤で封止した。この封止が不十分な場合、水蒸気が筐体内部に侵入する恐れがあり、センサノード故障の原因となる。

試験条件は前述の圃場実験から図10に示すような高温(40℃、30%RH)と低温(5℃、90%RH)の上下を1サイ

表3 動作検証項目

	項目	手順
1	ネットワーク設定	センサノード1~3のIPアドレスを入力 ポート番号を入力
2	センサデータの取得	「Connect」ボタンをタッチ
3	グラフの表示	「Create Graph」ボタンをタッチ
4	画像と温度の合成表示	「PICTURE and DATA」ボタンをタッチ
5	ソフトウェア終了	「Finish」ボタンをタッチ

表4 圃場実験で用いた機器

センサノード 6台	
通信基板	クロスボー XM2110
通信規格	ZigBee (無線 2.4GHz 802.15.4)
センサ基板	クロスボー MTS400
温湿度センサ	Sensirion SHT11
電源	単3電池×2
基地局 1台	
PC	ONKYO SK3KX06GA OS : Windows XP CPU : Atom 520 メモリ : 1GByte
通信基板	XM2110
インタフェースボード	MIB520
制御ソフト	Moteview2.0F

入および結露は確認されなかった。これは、筐体自体がIP65対応であり防水性能が高いことと、センサ用に空けた穴が非常に細くシール剤による封止が容易であったと考えられる。今後はさらに長期の試験や、屋外試験などを行いビニルハウスでの長期稼働の実現を目指す。

6 結 言

本研究では、画像情報とセンサデータを組み合わせたハイブリッド環境測定システムの開発に向けた第2試作と使用環境を想定した耐候性試験を行った。

センサノード試作では、安価な市販部品を用い、温度、湿度、照度の3種類のセンサを搭載したセンサノードを実現した。通信ソフトウェア試作では、OS無しのノードとの通信、複数ノードとの通信、検量線による電圧値の

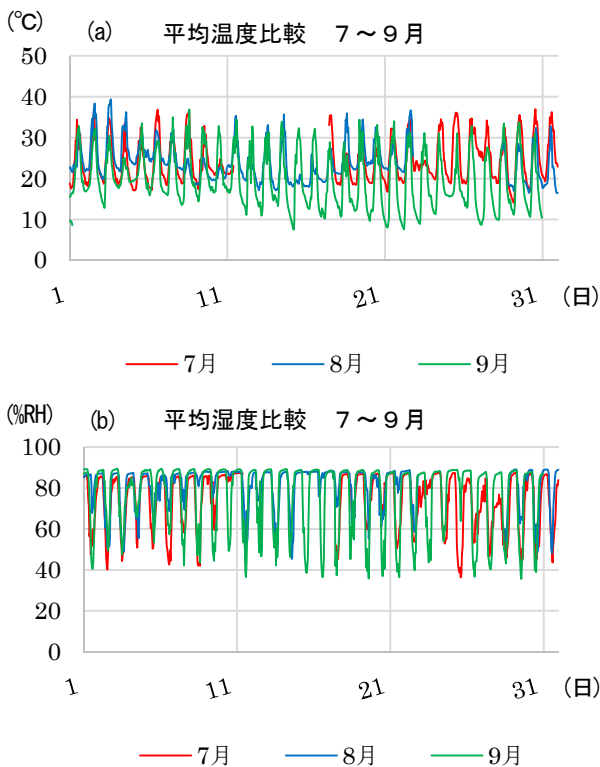


図8 ビニルハウス内の温度・湿度

(a) 7~9月におけるセンサノード6台の平均温度 (b) 7~9月におけるセンサノード6台の平均湿度

クル (3 時間) として 90 回繰り返した。恒温恒湿槽は PL-2KPH (エスペック) を用いた。

筐体内部への水蒸気の進入を確認するためには湿度インジケータースील (as one RH3-70) と水没シール (アセイエ工業 MZ-R) を用いた。湿度インジケータースीलは湿度、70、80、90%それぞれで白から青に変色するため、温度勾配により封止部が呼吸し筐体内部の湿度が上昇したかを確認する。水没シールは濡れることで変色するため筐体内部で結露が発生したかを判定するために用いた。

図 11、12 の実験結果から本実験において水蒸気の進

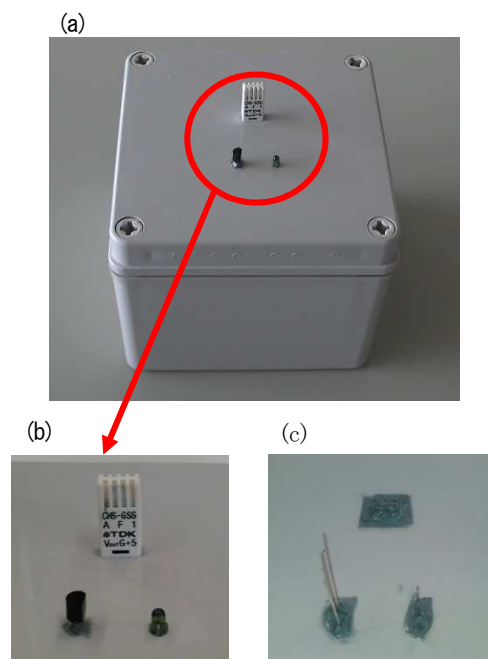


図9 実験に用いた筐体と封止部分

(a) 使用した防水・防塵ボックス BCAS121210G タカチ電機工業 (b) センサ露出部 (c) センサ露出部の裏面、端子用の穴をシール剤によって封止した

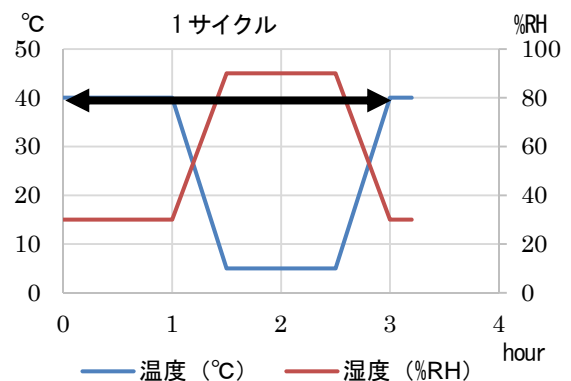


図10 温湿度サイクル試験の設定条件

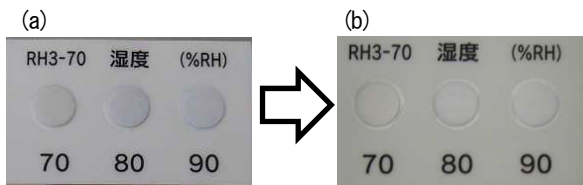


図11 実験前後の湿度インジケータースीलの変化

(a) 実験前の湿度インジケータースील (b) 90 サイクル 270 時間後もシールの変色は無く水蒸気の進入は確認されなかった

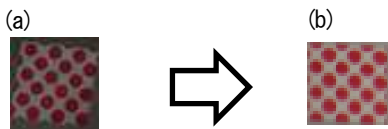


図12 実験前後の水没シールの変化

(a) 実験前の水没シール (b) 90 サイクル 270 時間後もシールの変色は無く結露は確認されなかった

変換処理、グラフ表示、画像と温度データの合成表示を実現した。そして、試作ノードと通信ソフトウェアを用いた動作検証では、通信、データ取得、可視化といった基本的な機能について正常に動作していることを確認した。一方で、センサノード毎の取得値のばらつきや各センサノードからのデータ取得回数のばらつき、バッテリー駆動時間が短いといった課題が明らかになった。

耐候性試験では、ビニルハウスにおける測定実験および、恒温恒湿槽による温湿度サイクル試験を実施した。測定実験では、ビニルハウス内の温度湿度環境を明らかにした。そして、測定結果を元に市販筐体を用いた温湿度サイクル試験を実施し、水蒸気の侵入が無いことを確認した。

今後は、センサノード間のデータのばらつき解消およびセンサノード駆動時間の延長について取り組むとともに、圃場や恒温恒湿槽を用いた耐候性の検証を行い装置の完成度を高め製品化を進めていく。

謝 辞

本研究は第11回リエゾン-I 研究開発事業化育成資金の対象事業に認定され、贈呈された資金により実施されました。また、圃場環境測定実験に当たっては株式会社サラダファーム様にご協力を頂きました。深く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 平藤雅之：フィールドサーバによるユビキタス環境とセンサネットワークの構築、電子情報通信学会、第18回 回路とシステム軽井沢ワークショップ論文集、p175-180 (2004)
- 2) 深津時広、平藤雅之：圃場モニタリングのためのフィールドサーバの開発、農業情報研究、12(1)、p1-12 (2003)
- 3) 浅井徹、松生秀正、志知昭宏：農業用センサネットワーク制御管理システムの開発、愛知県産業技術研究所研究報告、p30-33 (2010)
- 4) 峰野博史：高精度農業を可能とするマルチベンダセンサグリッドの実証的研究、静岡大学科学研究費助成事業(科学研究費補助金) 研究成果報告書 (2012)
- 5) 永原崇範、鹿島拓也、猿渡俊介、川原圭博、南正輝、森川博之、青山友紀、篠田庄司：ユビキタス環境に向けたセンサネットワークアプリケーション構築支援のための開発用モジュール U3 (U-cube) の設計と実装、電子情報通信学会技術研究報告. NS、ネットワークシステム 102(692)、p61-66 (2003)
- 6) Genng Wu, Shilpa Talwar, Kerstin Hohnsson, Nageen Himayat and Kevin D. Johnson : M2M: From Mobile to Embedded Internet, Communications Magazine, IEEE vol. 49. Issue 4, p36-43 (2011)
- 7) 太田義和、菅野正嗣、村田正幸：センサネットワークにおける位置測定のためのデータ収集方式の提案、電子情報通信学会技術研究報告. IN、情報ネットワーク 103(437)、p31-36 (2004)