

農業用無線センサネットワークシステムの開発

松生秀正*¹

Development of Agricultural Network System by Use of Sensors and Wireless Modules

Hidemasa MATSUO*¹

Industrial Technology Division, AITEC*¹

農作業の効率化の促進と温室の巨大化に対応するため、温度センサと情報収集機器との間のデータ転送を無線化し、低コストな農業用センサネットワークシステムを開発した。このシステムは、温度センサ、無線モジュール、ワンチップマイコンから成り、開発費も含めて低コスト、センサの追加・変更にも柔軟に対応可能、メンテナンスが容易、屋外での使用も可能などの特徴がある。温室内の温度を約 150m 離れた地点で観測できることを確認した。

1. はじめに

農業分野では、すでに温度、湿度をはじめとするセンサ技術が現場で活用され、農作業の効率化、農産物の品質向上・安全にも貢献している。しかし、農業の生産性向上のため温室の巨大化が進み、それとともにセンサの数・種類が増えた場合、今までの人手に頼る測定手法では対応できなくなる恐れもあり、センサ技術を効率的に運用するため、ネットワーク上で利用することが急務である。

そこで本研究では、センサ技術とネットワークを用いて、農業分野で活用できるセンサと無線システムを利用することにより、小型、低コスト、低消費電力、かつセンサの数・種類の変更にも容易に対応でき、メンテナンスが容易なセンサネットワークを利用した計測システムの開発を目標とした。

2. 実験方法

2.1 無線センサネットワーク

最終的な目標は、無線を利用した温室内の多点計測・制御システムであるが、今年度はまず一方の無線センサネットワークシステムを試作した。図1に本研究で試作したシステムを示す。前年度の研究¹⁾で製作したシステムが基本となっている。システムは、温度センサ(サーミスタ)センサ信号処理回路、PICマイコン(PIC16F876)、無線モジュール(送信用、受信用、中継器用)、シリアルインターフェース変換回路、データ記録用パソコンから成る。センサからの信号をワンチップマイコン(PICマイコン)を用いてシリアルデータに変換し、その信号を送信用無線モジュールで特定小電力無線により伝送する。これを中継器を介して受信用無線モジュールで受信した後、RS232Cのデータに変換してパソコンに入力することによりセンサからの情報を表示、記録するシステムで

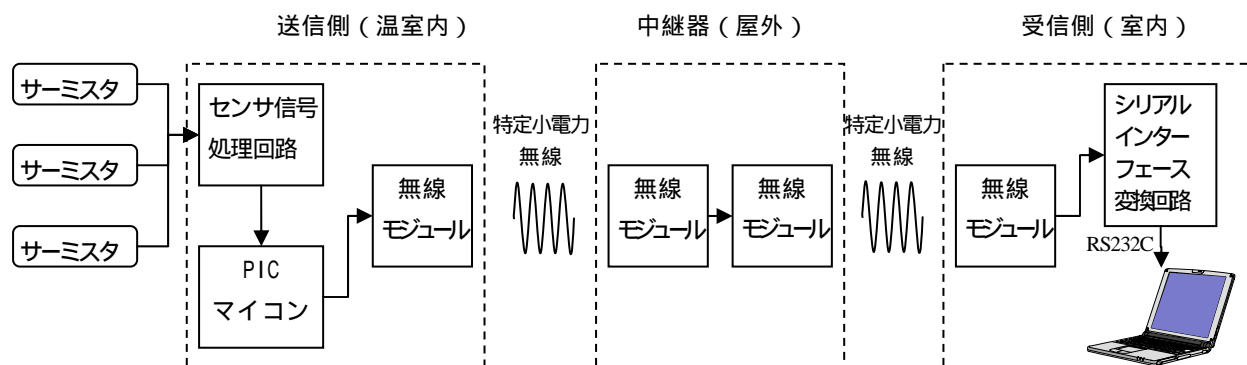


図1 無線センサネットワークシステム

*1 工業技術部 機械電子室

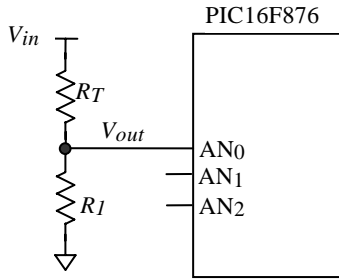


図2 簡略化したサーミスタの信号処理回路

ある。図1ではセンサからの信号を受け取るだけの一方方向の伝送を示しているが、システムの簡易な変更により双方向伝送も可能である。

2.2 センサ回路

本システムではほとんどのセンサが利用できるが、温室内の温度（およそ5～50の範囲）測定のニーズが強いことから、温度センサとして3個のサーミスタを使用することにした。温度センサとして熱電対もよく使われるが、熱電対は温度範囲は広いものの精度の点ではサーミスタより劣り、信号処理回路が複雑になるなど、今回のセンサシステムには不向きであると判断した。使用したサーミスタは、いずれも同じ特性で、抵抗値10kΩ（25℃）、B定数は3435(K)である。図2に簡略化したサーミスタの信号処理回路を示す。サーミスタは通常1つの測定点に対しリニアライズした回路が必要で、その出力電圧から温度を求める。したがって、測定点の数、すなわちサーミスタの数が多くなれば、それだけリニアライズ回路も用意する必要があり、ハードウェアに負担をかけることになる。当然消費電力も増加するため、低消費電力でコンパクトなシステムをつくるためには好ましい方法とはいえない。そこで図2に示すように回路は極めて簡単にし、マイコンのソフトウェアで温度を求める方法を用いた。 R_T はサーミスタ、 R_1 は直列抵抗、PIC16F876はワンチップマイコン（PICマイコン）3個のサーミスタ回路は全て同じで、それぞれPICマイコンのA/D変換入力端子（AN0～AN2）に接続した。

サーミスタの基準温度 T_0 ()における抵抗値を R_0 ()、B定数を B (K)とすると、サーミスタの温度 T ()における抵抗値 R_T ()は、次の式で求められる²⁾。

$$R_T = R_0 \cdot \exp B \left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{T_0+273} \right) \quad (1)$$

(1)式からサーミスタの温度 T ()は次の(2)式のようになる。

$$T = \frac{1}{\frac{1}{B} \log \frac{R_T}{R_0} + \frac{1}{T_0 + 273}} - 273 \quad (2)$$

また、 R_T は図2より

$$R_T = R_1 \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1 \right) \quad (3)$$

となるので、供給電圧 V_{in} が決まれば(2)(3)式より温度 T が求められる。今回の試作条件では、 $V_{in} = 2$ (V)、 $R_1 = 4.3$ kΩとした。

サーミスタの温度はPICマイコンにより算出した。まず、サーミスタ信号処理回路からの出力電圧 V_{out} をPICマイコンでA/D変換し、その値を(3)式に代入して R_T を求め、さらに(2)式より温度 T を求めるC言語プログラムを作成し、その温度データを無線モジュールにより送信した。

2.3 無線モジュール

無線モジュールは、前年度の研究¹⁾と同じ特定小電力無線を利用したモジュールを使用した。予備実験で見通しのよいところでは150m程度の距離でも通信可能であったが、温室の内部から約150m離れた建物内の一室への直接の通信では問題が生じたため、中継器を用いることとした。

2.4 受信側ソフトウェア

前年度の研究では、日本酒の醸造工場の内部の通信を行い、見通しのきかない数10m離れた場所で温度のモニタを可能とした。本研究では、温室内の温度データを継続的に記録することが重要なので、Excel VBAでExcelのブックにデータを直接取り込み、長期間のデータを記録できるようにした。

2.5 ケース

温室内は温度・湿度条件が厳しい上、水が散布されることが多く、屋外に近い環境条件である。また、屋外に中継器を設置するため、回路基板を収納するケースは、防水・防塵対策を施した透明なケースを使用した。

3. 実験結果及び考察

3.1 無線センサネットワークシステム

表1に今回試作した無線センサネットワークシステムの仕様を示す。当初、電源は小型化のためニッケル・水素電池を使用した。3日間程度の寿命でしかなかったため、送信側と中継器の電源は6Vの鉛蓄電池に変更した。受信側は室内で受信するので、AC100V電源にした。消費電力は送信側は比較的強く抑えられたが、中継器は無線モジュールを2個使用しているため、送信側を上回る消費電力となった。ただし、中継器の消費電力を低下させる必要がある場合は、無線モジュールを1個にしてマイコンで通信をコントロールすることも可能である。伝送距離は、中継器を用いて、150m程度を可能とした。しかし、複数の温室からの情報を収集する場合は通信状態

表 1 無線センサネットワークシステムの仕様

項目	仕様
電源	鉛蓄電池 DC6V (送信側、中継器) AC100V (受信側)
消費電力	DC3.3V,50mA 以下 (送信側、センサ 3CH) DC3.3V,80mA 以下 (中継器)
伝送距離	150m (中継器使用の場合)
接続可能なセンサの数	アナログ出力タイプ：最大 5CH デジタル出力タイプ：最大 22CH
通信形態	1 : 1 (1 : N にすることは可能)

が変化することも考えられ、今後、性能の限界を確認する必要がある。

接続可能なセンサは、前年度の研究と同じである。湿度センサなど他のセンサに変更する場合は、アナログ出力タイプ、デジタル出力タイプとも出力の仕様（電圧など）がわかれば変換回路を介して容易に PIC マイコンに接続ができる。センサの数を増やす場合は、PIC マイコンを PIC16F877 に変更することにより、アナログ出力タイプのセンサで最大 7CH、デジタル出力タイプのセンサで最大 33CH まで増加が可能である。また、現在の通信形態は 1 : 1 であるが、さらにセンサの数を増やす場合あるいは複数の温室内のモニタをする場合は、通信形態を 1 : 255 (最大) にして対応することができる。製作費用は部品代として 7~8 万円程度で済み、低コストの無線センサシステムが実現できた。

3.2 実証試験

図 3 は、実証試験を行った愛知県農業総合試験場園芸研究部の全景である。左側に並んでいるのがトマト栽培の温室、右側奥が園芸研究部の建物である。温室と園芸研究部の建物とは直線距離で約 150m であるが、直接の通信では問題が生じたため、温室から約 100m、園芸研



図 3 園芸研究部全景



図 4 無線送信機



図 5 中継器

究部建物から約 50m の場所に中継器を設置して通信を可能にした。

図 4 は温室に設置した温度センサのリード線と無線送信機、図 5 は木の上に設置した中継器である。温度センサは、図 4 の無線送信機のケース左側から引き出して、おおよそ 1m、2m 及び 3m の高さに設置した。中継器は完全に雨ざらしとなったが、一週間連続の実験では問題なく動作した。



図 6 無線受信機とデータ記録用パソコン

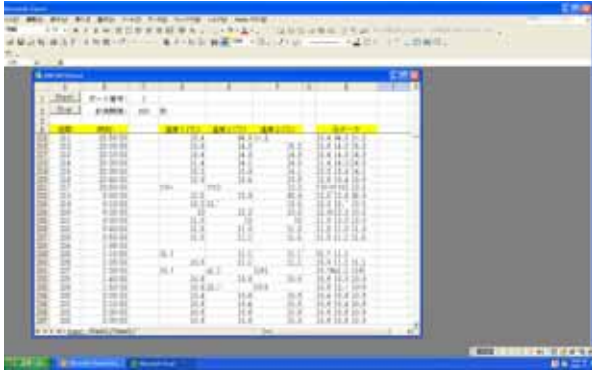


図7 Excel のデータ記録画面

図6は、園芸研究部建物内の一室でデータを受信している無線受信機とデータ記録用のパソコンである。前年度の研究では、受信したデータをシリアルデータに変換してそれをパソコン側のハイパーターミナルなどのソフトウェアで処理をしていた。今年度はデータの記録をExcelに直接取り込めるようにし、リアルタイムでモニタできるとともに長期間にわたるデータも記録できるようにした。図7は、データを記録中のExcelの画面である。温度データは10分間隔で取り込めるようにした。ところどころデータ落ちあるいは文字化け等異常なデータもあったが、通信データ自体は一週間連続して計測できた。データが正常に送られなかった理由としては、無線モジュール自体の通信条件の設定の不具合、パソコン側ソフトウェア（Excel VBA）の不具合、送信側、中継器の回路へのノイズの混入など、ハードウェア、ソフトウェア両面で考えられ、まずは正常なデータ通信ができるよう改善する。今回の実験では中継器の電池寿命（電圧の低下）の関係で一週間の連続試験で終了したが、中継器の消費電力を小さくすることができれば、さらに稼働時間を延ばせると思われる、その対策にも取り組む予定である。現システムでは改良により2～3週間程度の連

続運転は可能であると思われる。使用したセンサは温度センサ（サーミスタ）だけであったが、湿度センサなどほかのセンサでも同様にデータ無線通信は可能である。また、本研究では温度センサの数は3個であったが、最大5個に増設することも容易である。メンテナンスの点では、基本的に電池の交換だけで済み、送信機、中継器は屋外の使用も可能である。また、温室内で使用する場合、近くに交流電源があれば、直流に変換して本システムに利用することもできる。

4. 結び

以上のシステムで実証試験を行った結果、1週間連続して無線通信が可能であることを確認した。ただし、時々データ落ちや異常値を示すことがあり、ハードウェア、ソフトウェア両面から原因を検討する必要がある。

平成18年度は、一方向の無線ネットワークシステムの開発を行ったが、平成19年度はそのシステムを完成させるとともに、双方向の無線ネットワークシステムを開発し、より完成度の高い実用的なシステムにする予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、協力いただいた愛知県農業総合試験場園芸研究部矢部副部長、伊藤主任研究員（現西三河農林水産事務所農業改良普及専門員）に感謝いたします。

文献

- 1) 松生：愛知県産業技術研究所研究報告，5，70（2006）
- 2) 松井邦彦：センサ活用 141 の実践ノウハウ，P67（2001），CQ出版社