研究論文

農業用センサネットワークシステムの開発

松生秀正[＊1]、浅井　徹[＊1]

Development of a Sensor Network System for Agriculture

Hidemasa MATSUO[＊1] and Tohru ASAI[＊1]

Industrial Technology Division, AITEC [*1]

農作業の効率化の促進と温室の大型化に対応するため、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て行う農業用簡易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、湿度センサ、照度センサ、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などの特徴がある。温室内の温度、湿度、照度の測定データを約 150m 離れた地点で観測、保存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・安全に貢献している。しかし、農業の生産性向上のため温室の大型化が進み、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。センサ技術を効率的に運用するためには、ネットワーク上で利用することが必要である。

そこで本研究では、農業分野で活用できるセンサを選択し、簡易な無線システムを利用することにより、小型、低コストで、センサの数・種類の変更にも容易に対応でき、かつメンテナンスが容易なセンサネットワークシステムの開発を行った。

2．実験方法

2.1 無線センサネットワーク

図１に、本研究で開発したセンサネットワークシステムを示す。これは前年度の研究1)で製作したシステムが基

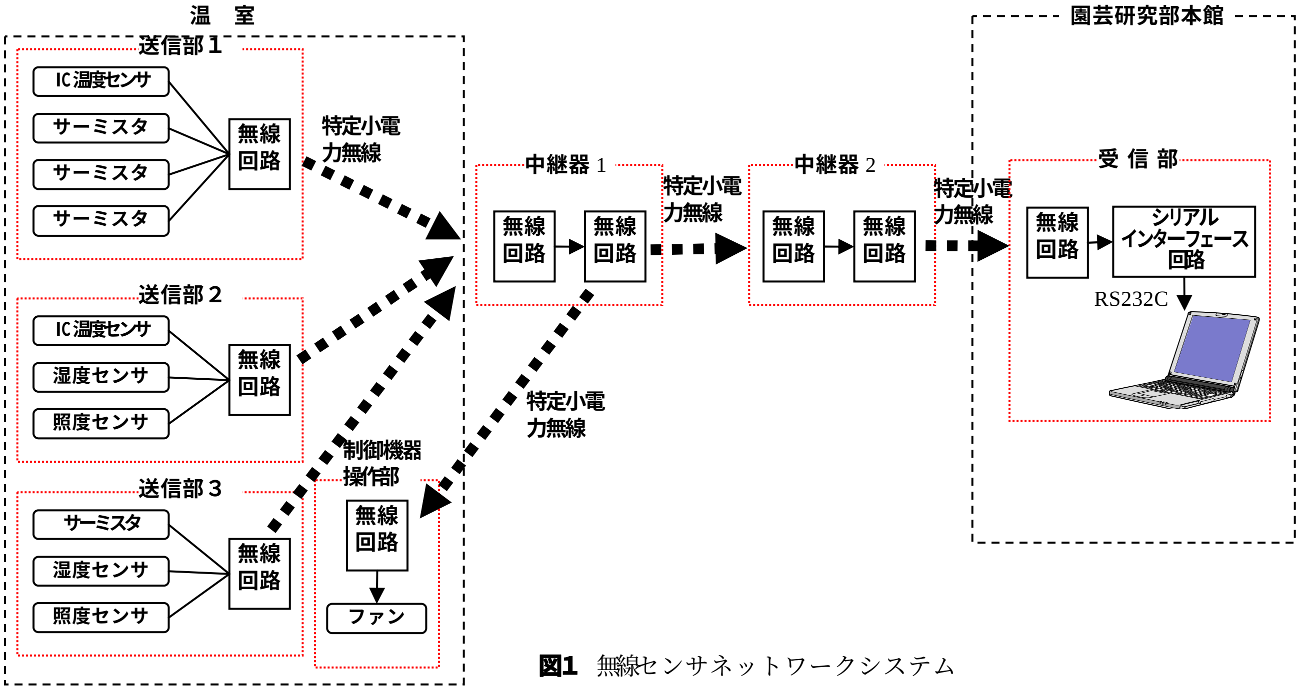

図1　無線センサネットワークシステム

＊1 工業技術部　機械電子室

本となっており、前年度のシステムは愛知県農業総合試験場園芸研究部の温室と園芸研究部本館で実証実験を行い、よい成果を得ている。今年度は、送信部（温室）と受信部（園芸研究部本館）との距離が約 150m あるので通信を安定させるため中継器を２個に増設している。また、送信部は３個として１：３の無線通信ができるようにした。送信部のセンサは温度センサ（サーミスタ）のほか、湿度センサ、照度センサを使用した。IC 温度センサは送信部ケース内の温度をモニタするために取り付けた。中継器１は温度、湿度の条件により温室内のファンを駆動させるよう一部双方向のシステムにした。

2.2 センサ回路

図２に、今回使用した温度センサ（サーミスタ）、湿度センサ、照度センサを示す。

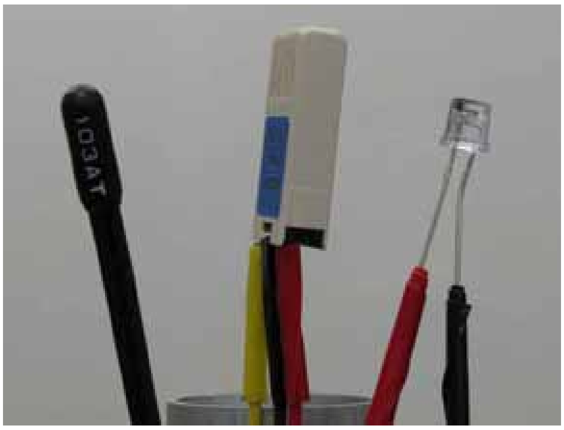

図２　サーミスタ（左）、湿度センサ（中央）、照度センサ（右）

現在工業的に利用されている温度センサには、サーミスタ、熱電対、白金測温抵抗体、IC 温度センサなどがある。熱電対は熱応答性がよい、耐衝撃性に優れる、測定温度範囲が広いなどの特徴があり、広範囲に使用されている。しかし、信号処理回路が複雑で、一般的には専用の温度ロガーあるいはマルチメータを用いるため、温室内で数多くの地点の温度を測定するには適していない。白金測温抵抗体は精度が高く物性的に安定しているが、熱電対と同様に信号処理回路が複雑になる。IC 温度センサは信号処理回路が簡単で低コストであるが、測定温度

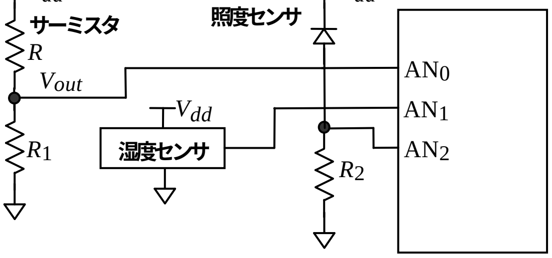

図３　簡略化したセンサの信号処理回路

範囲が狭く、測定誤差も大きいので、温室内の広範囲に変動する温度には対応できない。一方、サーミスタは低コスト、室温付近の温度が高精度に測定可能、信号処理回路が簡単などの特徴があるため、温室内で数多くの地点の温度を測定する場合には最も適している。ただし、温度と電圧出力とは比例関係にないので、一般的にはリニアライズ回路で信号処理する必要がある。しかし、前報[1)]で行ったようにサーミスタの基本公式[2)]を使ってリニアライズ回路を使わずマイコンのソフトウエアで処理してハードウエアを極力簡単にする方法が可能なため、本研究でもこの方法を採用した。**図３**に簡略化した各センサの信号処理回路を示す。サーミスタの回路は直列抵抗 R_1 を付けただけの簡易なもので､出力電圧 V_{out} から(1)式でサーミスタの抵抗 R が算出できる。

$$R = R_1\left(\frac{V_{dd}}{V_{out}} - 1\right) \tag{1}$$

V_{dd} は電源電圧である。前報 [1)]からサーミスタの温度 T (℃)は(2)式で与えられる。

$$T = \frac{1}{\frac{1}{B}\ln\frac{R}{R_0} + \frac{1}{T_0 + 273}} - 273 \tag{2}$$

R_0 はサーミスタの基準温度 T_0(℃)のときの抵抗値(Ω)（T_0=25℃のとき R_0=10kΩ)、B はサーミスタによって決まる定数（B 定数）である。

したがって、ワンチップマイコン PIC16F876 の A/D 変換入力端子 AN0 に V_{out} からのアナログ電圧を入力し、ソフトウエアにより(1)、(2)式の計算を行えば、図３のサーミスタの温度が求められる。マイコンの A/D 変換が 10 ビット、入力電圧範囲が 0V～5V であることから、温度測定の分解能は 0.3℃である。ただし、温室栽培の温度測定では 0.1℃の分解能は必要なので特性としてはやや不十分である。しかし、通常はリニアライズ回路を製作して温度を求めるので、以上の手法によりハードウエアは大幅に簡易化でき、低コスト化を図ることができる。分解能については、マイコンチップの変更とソフトウエアにより改善できるので、この手法を温室栽培の温度測定に用いることは妥当であると考えられる。

湿度センサには種々の方式があるが、図２に示す湿度センサは高分子湿度センサと信号処理回路が一体化されたものである。図３に示すように、外付け回路不要で湿度に比例したアナログ電圧が出力されるため、上記のサーミスタと同様に、PIC16F876 の A/D 変換入力端子 AN_1 に接続することにより容易に湿度が測定できる。湿度センサの出力電圧は 0V～1V、測定範囲は 5%RH～95%RH、精度は±3%RH である。

温室内の野菜などの生育状況を判断する一つの要素に太陽光エネルギーがある。例えば、トマトの生育では可視光領域の一部の光が大きく影響していると言われている。通常可視光を含めた太陽光エネルギーを測定する場合は、可視光から近赤外線の波長領域を測定できる日射計を用いるが、価格が高いのが難点である。そこで、本研究では人間の視感度に合わせた図２の照度センサを用いることにした。この照度センサは低コストで、照度に応じた光電流が流れる、図３の抵抗 R_2 により電流を電圧に変換してマイコンの A/D 変換により照度が測定できる。

以上のセンサと簡略化した信号処理回路を導入することにより、システム全体の低コスト化が可能となった。また、センサ自体も小形で場所を取らず、コンパクトでメンテナンスも容易なシステムとなった。

2.3 実証実験

実証実験では、温度、湿度、照度センサとも同時に測定を行い、何れの地点でも５分ごとにそれらのデータを取得、保存し、5 日間継続した。なお、実証実験は２月に行ったが、この時期は夜間に温水を利用した温湯暖房が行われ、昼間はとくに環境制御は行われていない。

温度は、図１の送信部１のサーミスタを高さ 0.5m、1m、2m の位置に設置して垂直分布を測定した。湿度は、送信部２の湿度センサを高さ 1m の位置に設置して測定した。照度は、送信部２の照度センサを高さ 1m の位置に受光部を天井方向に設置して測定した。

３．実験結果及び考察

3.1 温度測定

図４は、高さ 0.5m、1m、2m の地点における温度変化を５日間連続して測定した結果である。いずれの地点も夜間の温度が 10℃～15℃の範囲に保たれており、温湯暖房の効果が確認できる。なお、5 日目の昼間に温度が上がってないのは雨天による影響である。図４の５日間連続の測定結果の１日目の昼間の詳細を**図５**に、夜間の

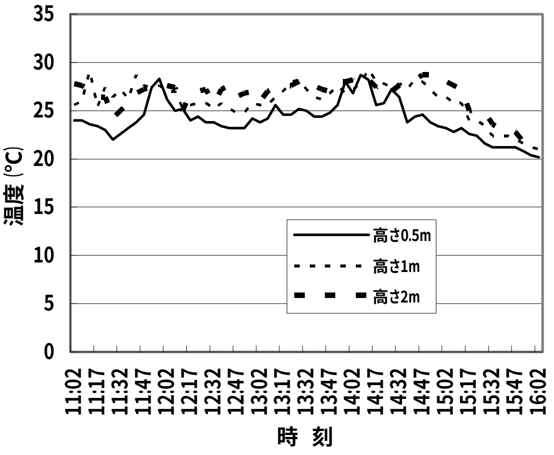

図５　温度分布測定結果（昼間、11:00－16:00）

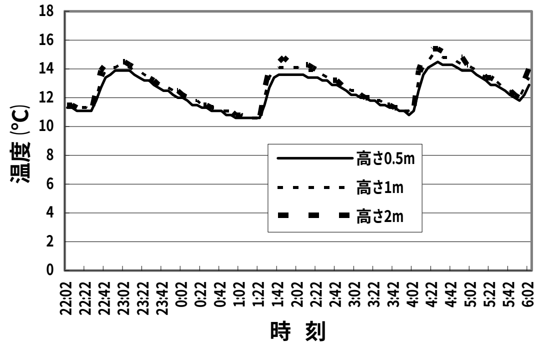

図６　温度分布測定結果（夜間、22:00－6:00）

詳細を**図６**に示す。昼間は高さ 0.5m と 2m の温度に５℃程度の差があるのに対して、夜間は高さ方向であまり温度差がないのが確認できる。すなわち昼間の温室内の高さ方向の温度差は夜間に比べて大きいといえる。また、図６では 10℃～15℃の範囲で周期的に変化しており、温室内の冬場の温湯暖房が正常にコントロールされていることが分かる。

3.2 湿度測定

図７は５日間連続の湿度測定結果である。温度測定結果に比べると温室内の湿度の変化が非常に激しいことが分かる。2 日目と 4 日目に湿度が急激に低くなり、0%RH

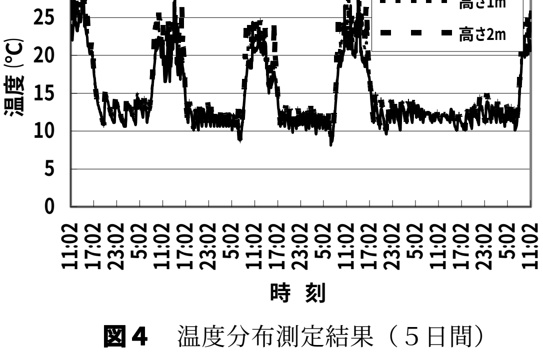

図４　温度分布測定結果（５日間）

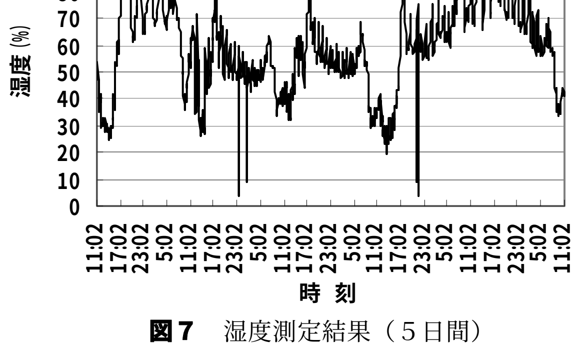

図７　湿度測定結果（５日間）

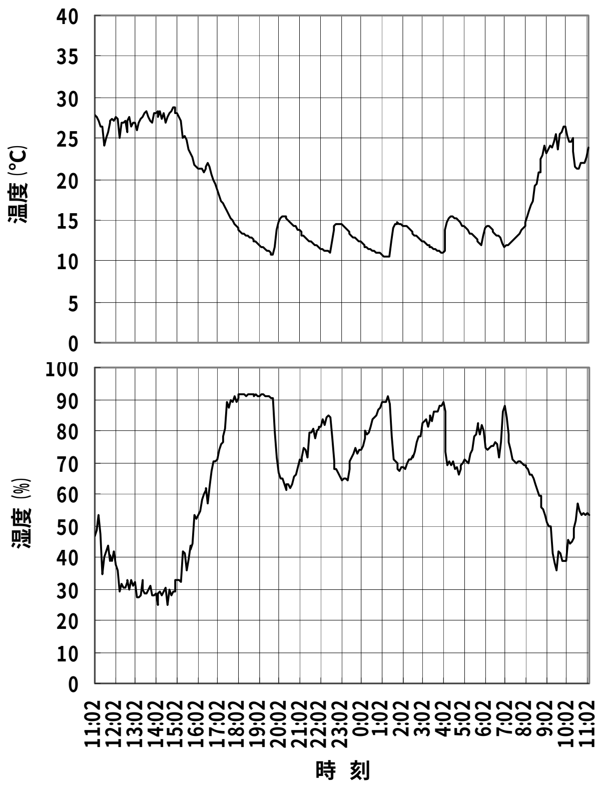

図８　温度、湿度測定結果の比較（24 時間）

に近い値になっているのは、温室内の電磁弁、ファンなどによるノイズの影響と思われる。**図８**は図７の湿度測定結果と図４の温度測定結果（高さ 2m）の１日目を示したものである。上が温度、下が湿度である。11:00 から 16:00 にかけて湿度が低くなっているのは、晴天で天窓を開けていた影響と思われる。夜間に湿度が 60%～90%RH の範囲で上下しているのは、温湯暖房により温度が 10℃～15℃の範囲で変動し､それに連動して湿度が変化したためと思われる。また 17:30～19:30 にかけて湿度の値が 90%RH で一定になっているのは、湿度センサの測定限界と思われる。ただし、仕様上は 95%RH まで測定できることになっている。

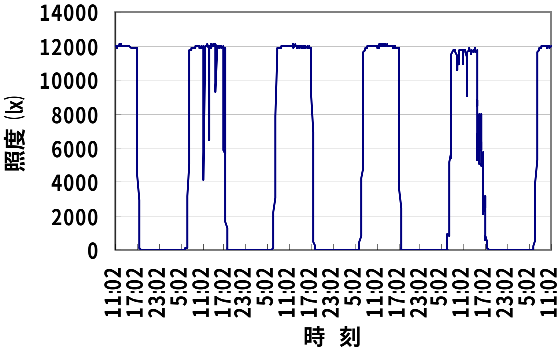

図９　照度測定結果（５日間）

3.3 照度測定

図９は、温室内の照度を５日間連続して測定した結果である。当然のことながら、昼間の照度は高く、夜間の照度は 0(lx)となっている。また、5 日目の昼間は雨天にもかかわらず温室内の照度が高いことが分かる。昼間の照度が 12,000(lx)で一定になっているのは照度センサの測定限界のためである。したがって、昼間の高い照度を詳細に測定する場合は、他の光センサを選択する必要がある。

４．結び

温度、湿度、照度センサと簡略化した信号処理回路を導入したネットワークシステムを試作して５日間連続の実証実験を行い、測定データの受信、観測、保存の可能性を調べた。サーミスタによる温度測定は、分解能、精度についてはまだ不十分な点はあったが、多点測定については十分有効であることを確認した。湿度及び照度測定は、環境条件の厳しい温室内でも安定して行えることが分かった。なお、照度についてはさらに高い照度まで測定できるように改善する必要があった。以上のように簡易なシステムでも容易にデータの収集、比較が可能であり、今後温室内の温湿度などの環境制御にシステムを拡張する場合に有効であることが明らかになった。

平成 20 年度以降は、本システムを基本にインターネットを利用したセンサネットワークシステムの開発を行い、Web 上で測定データの観測を可能にして、より広範囲に利用できるセンサネットワーク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(現東三河農業研究所長)、愛知県農業総合試験場園芸研究部野菜Ｇ川嶋主任研究員、志知主任研究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，6，58(2007)
2）松井邦彦：センサ活用 141 の実践ノウハウ，P67 (2001),CQ 出版社