

施設内センサネットワーク構築に関する研究

高橋 裕之, 飯島 俊匡, 間瀬 秀樹*, 柳原 博志**, 吉田 知明***

A Study on Communication Technology for Agriculture Facilities using a Wireless Sensor Network.

Hiroyuki TAKAHASHI, Toshimasa IJIMA, Hideki MASE*
Hiroshi YANAGIHARA**, Tomoaki YOSHIDA***

抄 録

情報通信インフラが整備されていない園芸施設や家畜舎などの農業用施設において、センサ情報を取得して施設内管理・制御を行うことが求められている。そこで本研究では、農業用施設に設置してセンサネットワークを構築することを目的にセンサノードを開発した。さらに、応用システムを開発して、動作試験を行い、システムの有効性を確認した。

キーワード：センサネットワーク，農業用施設

Abstract

There are lots of needs to manage agricultural facilities by using information from some sensors, but those facilities are not equipped some information communication infrastructure.

In this study, we developed a wireless sensor network system that can be need in those facilities, and evaluate the feasibility.

KEY-WORDS : Wireless Sensor Network, Agriculture Facilities

* (財)釧路根室圏産業技術振興センター * Kushiro Nemuro area Advancement Center for Industrial and Technology

** トーワ計装(株) ** Towa Keiso Co.Ltd

*** (財)北海道農業企業化研究所 *** Hokkaido Agricultural Laboratory for Business Development

事業名：一般試験研究

課題名：次世代近距離無線通信を用いた施設内センサネットワーク構築に関する研究

1. はじめに

農業用施設などでは、生産性の向上やより付加価値の高い農作物を生産するため、情報技術を活用して施設内の情報を取得し、緻密な管理や制御を行うことで農作物に最適な環境を与える取り組みが行われている。しかしながら、農業用施設には、簡易な建造物が多く、情報通信手段が設備されていないため、必要に応じて配線を行わざるを得ない状況である。

一方、情報通信技術を活用して、「いつでも、どこでも」情報の収集や管理を行うことができるユビキタスネットワークに対する要求が高まっている。この実現のために、近距離無線通信機能を持つセンサノードが相互に通信し、バッテリー方式で情報伝達を行うセンサネットワーク技術が注目されており、情報通信手段がない環境において、情報通信網を構築することができる。

そこで本研究では、センサネットワーク技術を用い、情報通信インフラが整備されていない園芸施設や家畜舎などの農業用施設において、センサ情報を取得して施設内管理・制御を行うことを目的とした情報通信網の構築を行った。具体的な内容としては、センサノードの開発を行い、このセンサノードを用いてセンサネットワークを構築し、畜産業において放牧牛を見つけるためのシステムおよび温室内での灌水制御システムなどを開発し、フィールド動作試験を行い、システムの有効性を確認した。

2. センサネットワークシステムの構築

2.1 センサノードの開発

センサネットワークとして、ZigBee など標準化されたシステムがあるが、小規模なネットワークを構築する場合には、単純化したシステムの方が低コストで必要な機能の実現が行える場合が多くある。このため、限定的な小規模農業用施設などを対象としたネットワークシステムの実現を目標にシステム開発を行った。

試作したシステムは、センサノード、ホストサーバーからなり、必要に応じてリピータ（中継器）を追加することでネットワークを構成する。各ノードは無線モジュール（微弱無線などのアクティブRFID、ZigBee モジュールなど）とマイコ

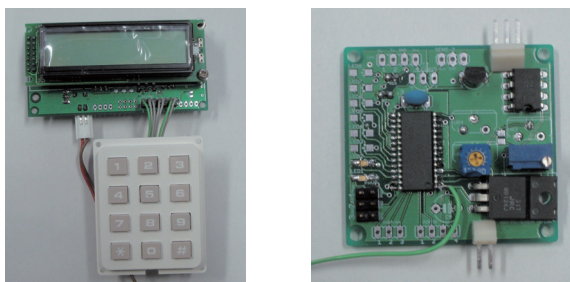


図1 試作開発したセンサネット基板

ンを有しており、センサノードはアナログ入力とデジタル入出力を装備し、ホストサーバーは外部入力のためのキーパッドと液晶表示装置、シリアル通信機能を搭載した。

2.2 センサネットワークシミュレータの検討

通信機能の検討、評価などを行い、ネットワーク構築を支援するためにシミュレータソフトウェアの検討を行った。シミュレータの主な機能は、通信経路の生成および通信動作を行うために必要な機能の確認を行うことである。

2.2.1 通信経路の生成

通信経路生成の動作フローの検討を行った。前提条件として、ノードは固有の ID を持ち、アドホックな無線通信機能を有する。経路生成時では、ノードは通信を検知すると、ID に基づく待機時間後に、固有 ID (w) と送信元ノード ID (x)、検知したノード（隣接ノード）ID (y)、その先のノード（先方ノード）ID (z) からなるデータ $[IDw:Px:Cy_1, \dots, Cy_n, :Dz_1, \dots, Dz_m]$ を送信する。これにより、これらのノード間の経路を確定する。最初にデータを送信するノード（サーバー）から、全てのノード間の経路が確定するまで、この動作を繰り返すことでネットワークが形成できる。

図2に経路生成概念図と、その具体的な動作フローを以下に示す。

- (1) N0（サーバー）が情報発信
- (2) N0の通信エリア内のN1, N3が待機状態
- (3) N1 $[ID1:P0]$ が情報発信
- (4) N0はN1を送信先に追加（N0 $[ID0:C1]$ ）
- (5) N1の通信エリアのN4が待機状態
- (6) N3 $[ID3:P0]$ が情報発信
- (7) N0はN3を送信先に追加（N0 $[ID0:C1:C3]$ ）
- (8) N4 $[ID4:P1]$ が情報発信、N1, N2が待機状態
- (9) N1の送信先にN4を追加（N1 $[ID1:P0:C4]$ ）
- (10) N1 $[ID1:P0:C4]$ が情報発信
- (11) N0の先方にN4を追加（N0 $[ID0:C1,C3:D4]$ ）
- (12) N2 $[ID2:P4]$ が情報発信
- (13) N4の送信先にN2を追加（N4 $[ID4:P1:C2]$ ）

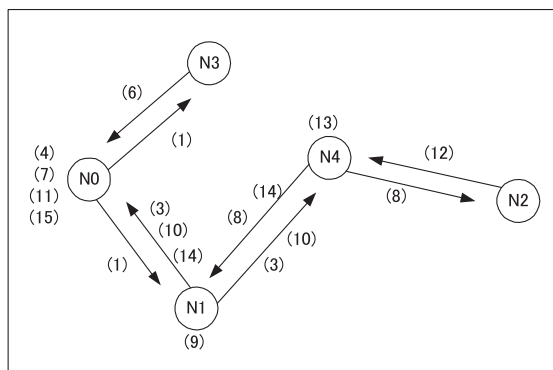


図2 経路生成概念図

- (14) N4, N1が情報発信
 (15) N0の先方にN2を追加 (N0 [ID0: C1, C3:D2, D4])

サーバー以外の各ノードは、情報を受ける（送信元）ノードを必ず1個持ち、送信先は0～複数である。送信先がないノードは中継機能を持つ必要がないセンサノードとして動作する。

2.2.2 通信動作の確認

通信経路を生成したとき、ノードは、送信元ノード、隣接ノード、先方ノードに関する経路データ [IDw:Px:Cy₁, ..., Cy_n:Dz₁, ..., Dz_m] が得られており、この経路データに基づいて情報伝送を行う。サーバーからセンサノードへの伝送は、送信元ノードからの情報である場合に、隣接、先方ノードに送信先ノードがあれば、送信を行う。センサノードからサーバーへは、隣接ノードからの情報を送信元ノードへ送信することで、伝送することができる。さらに、移動体との通信を行うための移動ノードを定義した。移動ノードからの通信は、最初に移動ノードから情報発信を行い、その通信エリア内で最初にアクティブになったノードを介して、その経路により通信を行うことができる。移動して通信領域が変わったときには、これを繰り返すことで経路を変えながら通信を行うことができる。

2.2.3 シミュレータソフトウェアの作成

上述した動作フローに基づき、シミュレータソフトウェアを Visual BASIC (Microsoft 製) により作成した。

図3に実行結果の一例を示す。

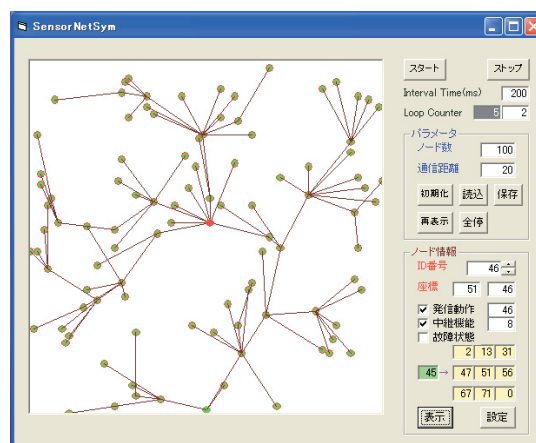
ノード数、通信エリア（円の半径）で設定値を入力すると、乱数によりノードを配置する。ノードの内部パラメータとして、ID、座標値、故障、経路データなどを有し、座標値は変更可能であり、故障をチェックすると、ノードは通信動作を停止し、経路再生成処理を行う。

経路生成では、最初にアクティブにするノードを決めてスタートさせると、インターバルタイム間隔でノードがアクティブになり経路を生成する（図3-a）。また、施設エリア内でマウスをクリックすると、移動ノードとして認識し、移動ノードの通信エリア内で最初にアクティブになったノードを介した通信経路を表示（図3-b）することが確認できた。

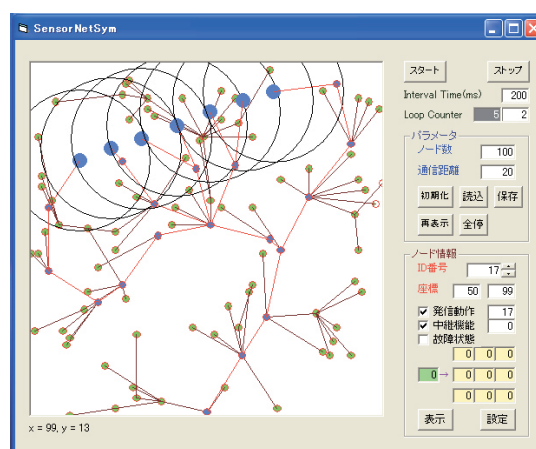
2.2.4 センサネットワークの構築

シミュレータソフトウェアで、通信経路や伝搬方法の検討を行い、ノードに必要な機能を確認した上で、通信動作フローをノード用ボードに実装し、センサネットワークシステムの構築を行った。

サーバー、中継器1台、センサノード3台を用いて通信試験を行った。ノード数は少ないが、情報通信が行えることが確認できた。通信モジュール単体での通信距離は、約20～30mであったが、中継器を介することで約50mまで通信が行えることが確認できた。



a) 経路生成



b) 移動ノード通信

図3 シミュレータ実行例（ノード数100）

3. 応用システムの開発

試作したシステムを農業用施設に適用して、評価試験を行った。本報では、応用例として放牧牛発見システム並びにトマト温室向け灌水制御システムの開発を行い、フィールドでの動作試験を行った内容に関して記載する。

3.1 放牧牛発見システム

3.1.1 システム開発の背景

北海道の酪農経営の中で、広大な敷地を背景に各地から子牛を預かる育成牧場がある。この育成牧場では子牛の一回目の種付けから受精まで行っており、誕生からの日数で発情を管理している。図4に示すとおり、一箇所（牧区）に集められた150～250頭の中から、発情検査、種付け、妊娠鑑定検査の対象となる子牛を首に付けられた番号札から探すため、大変な労力を要している。

このため、牛群の中から特定の牛を識別するシステムの実現を目指し、近距離無線ネットワーク技術を用いて育成牧場などで牛発見支援を行うシステムの試作開発を行った。



図4 牧区内探索作業

3.1.2 システム開発の概要

本システムは、端末器、牛装着器、中継器から成る。各装置は微弱無線機とマイコンを有し、端末器にはキーパッドと液晶表示装置、牛装着器にはLEDとブザーを搭載した。動作フローは、端末器に入力したID番号を付加した動作コマンドを発信し、牛装着器では、発信されたID番号と同じ番号を持つ場合にLEDの発光およびブザー動作を行うことで牛の居場所を知らせる。

本システムで採用した微弱無線機は、牛の探索エリア（牧区）全域を網羅することができないため、以下の2つの通信方式の検討を行った。

(1) 複数中継器による情報ネットワーク通信方式

牧区内に複数の中継器を設置し、中継器間で情報伝送を行うことで全エリアでの通信を行う。

(2) 近傍通信方式

牧区内に入ってくる牛に対してゲート付近で通信、または、牧区内を探索するときに通信を行う。

3.1.3 動作試験および考察

それぞれの方式の有効性を確認するためのプログラムを作成し、通信試験を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 探索エリア内の3カ所以上に中継器を設置することで、全域での通信が可能であった。探索中、再送が可能のため、確実な動作が行える。しかし、牧草がなくなると牧区を移動するため、中継器を設置し直す必要がある。
- (2) ゲート付近で通信を行う場合、数頭ずつ歩行状態で行くときに通信を行えば良いため、通信距離が短く、システム構成がシンプルとなり、装置化が容易と考えられる。しかしながら、通信エリアが限られているため、探索する牛の数が増えると短時間で確実な通信を行う必要がある。

システム開発では、運用の容易さ、低コスト化は重要であることから、近傍通信方式によるシステム開発に絞り、フィー

ルドでの動作試験を行い、発見支援システムとして良好な結果が得られた（図5）。

今後は、放牧場での実証試験を更に重ね、実用化システムの開発を進める。



a) 端末機



b) 牛搭載器



c) 牛での装着動作試験

図5 牛発見システム動作試験

3.2 灌水制御システム

3.2.1 システム開発の背景

トマトなどの作物では、養液の過不足により糖度に影響が生じる。しかし、水分が不足しすぎると枯れてしまう。このため、トマトの糖度が最高となるような水分管理を行うため、土壌の湿気を最適に制御する必要がある。そこで、温室で使用することを前提にセンサネットワークによる灌水制御システムの開発を行った。

3.2.2 システムの試作開発

水分センサとして、土壌誘電率から体積含水率を計測するセンサ（ECHOプローブ decagon製）を用いた。この水分センサは、2.5～5Vの励起電圧を与えると体積含水率に応じて励起電圧の10～40%の電圧を出力するものであり、センサノード回路構成は、励起電圧発生回路、センサ出力増幅回路、無線モジュール、コントローラ（PICマイコン）から構成した。試作した灌水制御システムを図6に示す。

水分センサを用いて灌水制御に利用可能な土壌水分計測が可能であるかを調べるため計測試験を行った。

試験方法は、不織布ポットにココピート、ピートの等量混

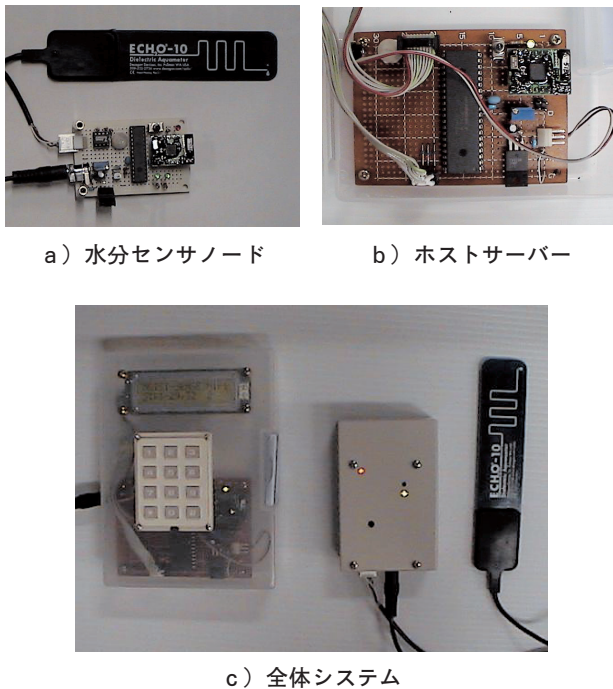


図6 灌水制御システム

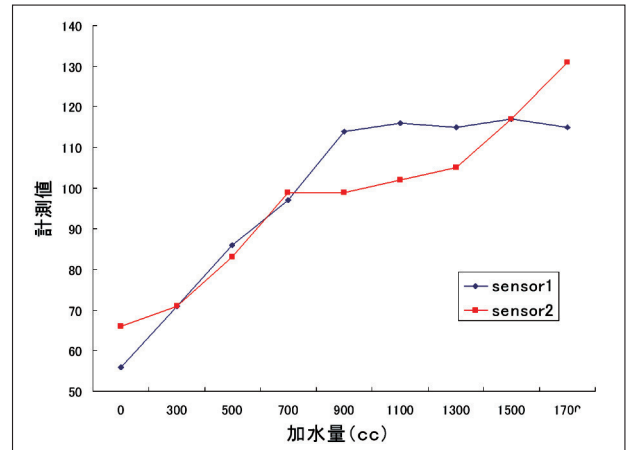
合培地を5L詰め培地に水を200~1800ccまで添加し、十分に攪拌を行ったポットにセンサを挿入して軽く回りの培土を固めた時のコントローラ出力値を測定した。加水量と培地の状況を表1, 結果を図7に示す。図7-a)は水分センサをポットに対し縦方向, 図7-b)は横方向に挿入した計測結果である。

計測値は、コントローラの電源電圧から3.0vの励起電圧を与えて、得られた出力を2倍に増幅し、A/D変換した値であり、空気中50, 水中146の値が得られた。水分センサノードは2個用い、計測値を比較した。

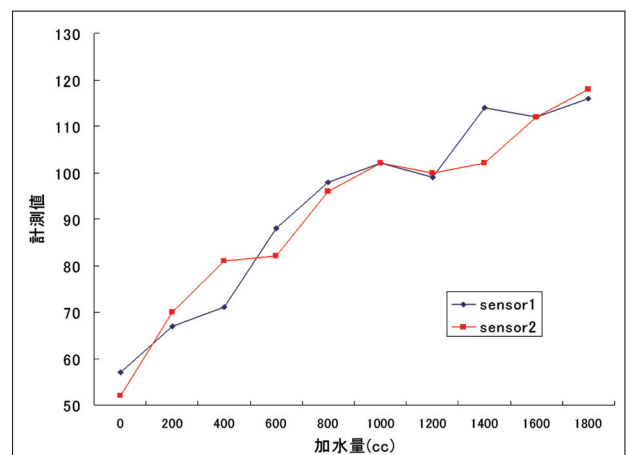
試験結果から、計測値は培地5Lに対して1,000ccの水を添加するまで相対的に増加するが、それ以上の水添加に対して反応は鈍くなるように見られる。灌水制御を行うには、乾燥から適度な湿り気の状態までを判断することが重要であることから、300~1000ccの範囲でほぼニアな挙動を示しており、十分に使用可能である。センサ1と2で傾向が異なるのは、培地の粒度が粗いため、センサとの接触状態の影響が大きいと考えられる。実際の設置では培地の状態の影響を受

表1 加水量と培地の状況

水分 (cc)	培地の水分状況
~ 400	乾燥状態
400	乾燥しているが、栽培は可能
600	強く握ると水がにじむ。栽培状態
800	適湿度
1000	やや湿度多い
1200	過湿状態
1700 ~	団子状態



a) センサを縦方向に挿入



b) センサを横方向に挿入

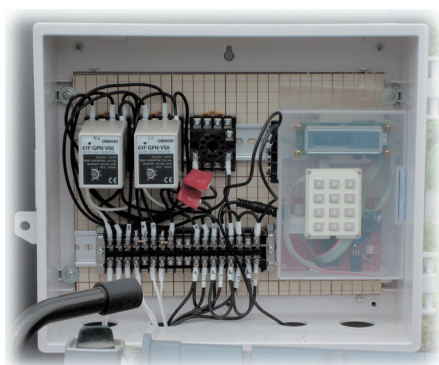
図7 水分センサ計測結果

けないよう十分に配慮する必要がある。

2.2.3 温室における灌水制御システムの動作試験

温室での灌水制御を行う場合、ホストサーバー1台に対して、水分センサノードは複数台設置されることが想定される。このため、各水分センサノードにID番号を設定し、ホストサーバーは、水分センサノードに対して、ID情報を送付する。水分センサノードでは、送られたIDと同じIDを有する場合に、水分計測を開始して、計測結果を返信する。計測情報は、ID情報、評価値、計測データ、基準データにより構成した。基準データは、各センサ毎にキャリブレーションを行い、灌水が必要となるしきい値として設定する。しきい値と計測データを比較して、評価値を算出する。ホストサーバーでは、この評価値を採用する場合と、計測データから判断して灌水を行う場合が選択できる。本動作試験では、ホストサーバーで灌水が必要かを判断し制御する方法で行った。これにより、土壌水分に応じた灌水ができることが確認できた。

無線通信可能距離は、温室内で約20~30mであった。配置によっては、中継器を使わずにスター型ネットワークで通信



a) ホストサーバー (制御盤)



b) 水分センサ設置



c) 水分センサノード設置例

図8 灌水制御システム動作試験

可能であるが、作物が生育し、ホストサーバーとセンサノードの間が作物で遮蔽されると、通信品質が落ちる場合があった。このため、上部位置に中継器を設置することで、通信品質の向上が図れると考えられる。

4. まとめ

本研究では、センサノード用ボードの試作開発を行い、セ

ンサネットワークを構築した。さらに、応用システムを開発してフィールドにおいて動作試験を行い、実用化の可能性が確認できた。

今後は、応用システムの実用化開発を進めるとともに、様々な施設での適用を図ることで、より容易にセンサネットワーク構築が行えるシステムの開発を進める予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、システム開発に関する情報交換をさせていただいた(株)三ッ輪商會の志賀 功課長、畜産業に関する貴重な意見と試験環境を提供いただきました浜中町農業協同組合の佐々木 栄課長並びに育成牧場での試験にご協力いただきました農場管理の皆様へ深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 高橋裕之・飯島俊匡・宮崎俊之他：近距離無線を用いた施設内センサネットワーク，北海道立工業試験場成果発表会プログラム・発表要旨2008，pp.12, (2008)
- 2) 高橋裕之・山本 寧・宮崎俊之他：近距離無線ネットワークを用いた放牧牛発見システム，北海道立工業試験場成果発表会プログラム・発表要旨2007，pp.33, (2007)