

# 農作業最適化に向けたオープンな M2M センサネットワークの開発 - システム概念と基本伝送特性 -

石田隼己<sup>†1</sup> 山崎悟史<sup>†2</sup>

近年、急速に進む社会資本ストックの老朽化対策やスマート社会の実現に向けて、あらゆる機器を無線ネットワークで相互に接続し、人間の介入を最小限に抑えて社会資本ストックの管理、運用を行う M2M システムが注目されている。特に、世界的な食糧不足、国内における農業従事者の高齢化、後継者不足などによる背景から、農産物の国際競争力の推進が期待されている。そこで我々は、オープンソースによる無線センサ端末を開発し、地域就農者が容易に利用できる M2M センサネットワークの構築、運用を目指している。本稿では、提案システムの概念ならびにフィールド実験による基本伝送特性について報告する。

## Development of an M2M Sensor Network for Smart Agriculture - System Concept and Transmission Performance -

TOSHIKI ISHIDA<sup>†1</sup> SATOSHI YAMAZAKI<sup>†2</sup>

Recently, much attention has been paid to M2M (Machine to Machine) systems to combat the rapid deterioration of social capital stock and to realize a smart society. They consist of various devices mutually connected by wireless networks and can keep human action to a minimum. Particularly, due to worldwide foods shortages, aging of agriculture workers and shortage of successors, the international competitiveness of agriculture must be strengthened. So, we are developing a wireless sensor terminal using open source devices to setup M2M sensor networks which can be utilized easily by local agriculture workers.

In this report, we show the proposed scheme and basic transmission performance in field experiments.

### 1. はじめに

近年、急速に進む社会資本ストックの老朽化対策やスマート社会の実現に向けて、あらゆる機器(センサ端末やクラウド)を無線ネットワークで相互接続し、人間の介入を最小限に抑えた管理、運用などを行う M2M (Machine to Machine) があらゆる分野で導入が期待されている[1]。筆者らは、農業の抱える問題(産業自体の衰退化、高齢化、継承者不足、食の安全安心など)に情報通信技術(ICT; Information and Communication Technology)をもって貢献すべく、農業向け M2M センサネットワークに着目している。近年、このように ICT を積極的に活用し農業を新たな産業として確立し、国際競争力を強化する動きが国策としても活発化している[2]-[4]。

2001 年のフィールドサーバ[5]に端を発する農業向けセンサネットワーク研究が過去 10 年間で飛躍的に進展した。2012 年には一般ハウス農園向けの農業 ICT クラウドサービス[6]も利用開始されている。しかし、これらのシステムは、専用のハードウェアデバイスが実装され、大型、高価格なものである。また、LAN/WAN などの敷設、設置が必要であり、主な利用方法として環境モニタリングが挙げられる。また、一般利用者がそれを購入しても、センシング対象の追加など目的に応じて自在にカスタマイズすることは難しい。そこで、我々は近年オープンソースハードウェアとし

て世界的に注目を浴びているマイコン Arduino[7]など一般購入可能で低価格なデバイスのみを利用して M2M センサネットワークを開発、構築し、地域就農者が容易に導入、利用できることを目指している。さらに、収集したビッグデータ(温湿度などの環境情報、糖度などの生体情報、灌水量などの就農者経験情報、生産量などの実績情報)から、機械学習や統計的信号処理を活用し価値情報を生成するアルゴリズムの構築、実装を視野に入れている。本稿では、提案システムの基本概念ならびにフィールド実験による基本伝送特性について報告する。以降、2.にて従来の諸研究、3.にて提案システムについて述べる。4.にてフィールド実験による提案システムの基本伝送特性を示し、5.にて結論と今後の課題を示す。

### 2. 従来システム

世界的にオランダにおいて ICT 農業の導入が進んでいる。オランダは九州と同程度の土地面積、かつ、4 割は干拓により開拓され痩せている土地も多く、また、冬の日照時間は短いなど地理的なハンデが大きい。しかし、ICT 技術を活用し、施設園芸農作物の単位面積当たりの収穫量は  $60\text{kg}/\text{m}^2$  と日本の 3 倍を実現している[11]。一方、国内においても主に大学などの研究機関を中心に、ICT 農業の実現が進められている。例えば、フィールドサーバ[5]は、無線 LAN でメッシュネットワーク回線とホットスポットを構築し、センサとカメラでモニタリングし、LED で照明し、

<sup>†1,2</sup> (独)沼津高専 制御情報工学科

Department of Control & Computer Engineering, Numazu National College of Technology.

さらにサーボや電磁弁などのアクチュエータを遠隔制御する屋外用 Web サーバである。その中身は、PC のマザーボードに相当するフィールドサーバエンジン、ネットワークカメラなどの機器がイーサネットに接続されている。フィールドサーバエンジンは計測制御機能を備えた Web サーバ基板であり、A/D コンバータ、信号発生用 LSI、半導体リレー、リアルタイムクロック等を搭載されている。このようなシステムは、主に大学や研究機関向けであり、高機能デバイスや高性能ハードウェア設計が求められる。その設計仕様は必ずしもオープンにされていない。また一般ハウス農園向けの農業 ICT クラウドサービスとしてネボン社のアグリットがある[6]。これは、ビニルハウス内に計測機器を内蔵した箱を設置し、温度、湿度などをセンシングしてクラウド上に転送して保存、さらにスマートフォンから現在の状況や時間変化のグラフを見ることができる。従来システム[5],[6]の特徴を表 1 に示す。これより、これらの一般就農家への導入は難しいのが現状である。また、これら[5],[6]の運用形態として、通常ハウス内のある一点に設置される(勿論、複数のコントローラを用意可能だが、より高価になりその接続台数は限られる)ため、特性の場所依存性や障害時に対するリカバリなどの懸念が挙げられる。

### 3. 提案システム

#### 3.1 基本処理と基本概念

提案する M2M センサネットワークの基本処理を図 3 に示す。複数のセンサ機器が検知する自然データは、無線ネットワーク経由でクラウドシステムに伝送、蓄積され、ここでは機械学習や統計的信号処理など知的情報処理が施され(情報の解析)、ユーザはこれまで気が付かなかった有益情報の抽出が可能となる。さらには、その情報を次処理にフィードバック活用することで、システム全体としての更なる高度化を目指すものである。本研究は前述したとおり農業分野に焦点を当てているが、センシング対象のみ変更すれば、農業・漁業、防犯・防災、環境・エコ、建設・保全、医療・介護など様々な分野で適用可能といえる。前述したとおり、本報告では、図 3 における(1)情報の検知と(2)情報の伝送が該当する。

図 3 に示した基本処理に基づき、提案する M2M センサネットワークの概念を図 4 に示す。分散配置されたセンサ端末から温湿度などの環境情報、糖度などの生体情報を取得し、それらを無線ネットワーク経由でクラウドデータベースに蓄積される。加えて、灌水などの就農者経験情報、実際の生産量である収穫情報なども蓄積する。次に、機械学習や統計的信号処理などで実装されたアルゴリズムを用いてこれらのビッグデータを分析し、栽培に有用なノウハ



Figure 1 Outline of a field server system [5].



Figure 2 Outline of an agrinet system [6].

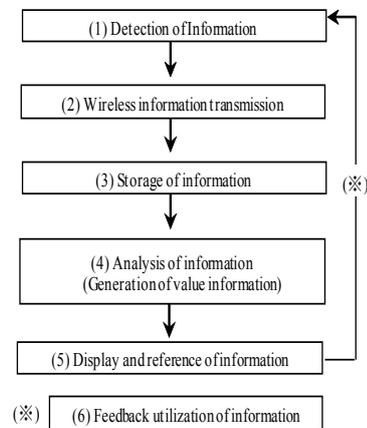


Figure 3 Basic processing of the proposed M2M system.

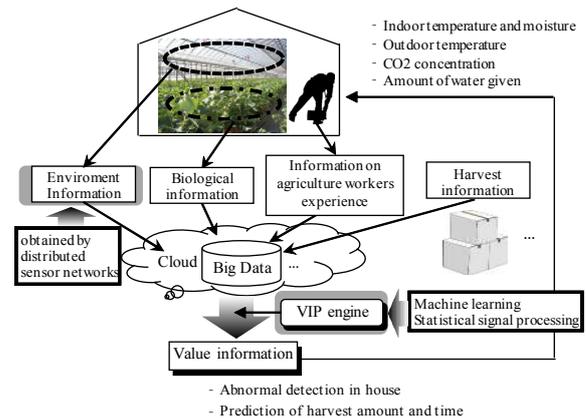


Figure 4 Basic concept of the proposed M2M system.

ウやこれまで気が付かなかった視点(これらを価値情報と総称)を抽出する。このアルゴリズムを VIP (Value Information Processing) エンジンと命名する。獲得した価値情報を参照し、次のアクション、栽培にフィードバックする。例えば、ハウス内の最適な温度制御やセンサ端末内に取り付けられたファン制御などが期待できる。

### 3.2 主な特徴

3.1 で述べた基本概念をふまえ、従来システムと対比した提案 M2M センサネットワークの特徴を表 1 に示す。主な特徴は以下の 2 点である。

#### (1) 園芸作物を対象とした、ビッグデータから価値情報を創出するアルゴリズム構築

就農者がハウス内にいなくても、ハウス内温湿度の急上昇（下降）などの異常検知状態を知ることができれば、被害を最小限に食い止めることが期待できる。また、製造業における生産量同様、農業においても一定品質を満たした収穫量が重要である。特に冷夏や暖冬などの異常気象の年においても、例年通りの品質を維持した生産性、精度の高い収穫量予測が必要となる。ある程度の精度で収穫量が予測できれば、可能な限り早い時点で被害・異常による影響の低減が期待できる。これまで、環境データが作物生育に与える影響に関して、品種改良を主眼とした研究がなされてきた。一方、環境データが収穫量に与える影響に関して、主要作物である水稲などの穀物類に比べて、園芸作物について十分に明らかにされていない。ところで近年、ビッグデータの中から、利用者に有益な知識を抽出するデータマイニング（機械学習）技術が注目されている。その一つに、回帰があり、パラメトリック回帰（一方が他方に対して線形な関係をもつ）とノンパラメトリック回帰（一方が他方に対して滑らかに近似され、非線形な関係をもつ）に分類される。これまで水稲や豆などの主要作物の収穫量を予測するために、パラメトリック回帰が提案されてきた([12]など)。近年、ノンパラメトリック回帰による提案も見られるが([13],[14]など)、多段栽培作物や施設園芸作物に関する適用例が少ないのが現状である。

以上より、園芸作物を対象として収集したビッグデータ（温湿度などの環境情報、糖度などの生体情報、灌水量などの就農者経験情報、生産量などの実績情報）から、機械学習や統計的信号処理を積極的に活用し、価値情報を生成するアルゴリズムの構築、実装を目指す。

#### (2) オープンソースを活用したシステム構築

センサネットワークを構築するに当たり、センシング対象の追加など目的に応じて自在にカスタマイズすることを可能とし、地域就農者が容易に導入、利用できることを目指している。そこで、近年オープンハードウェアとして世界的に注目されているマイコン Arduino[7]やその 3G 通信シールド[8]、近距離無線規格 Zigbee[9]を搭載した Xbee 端末

Table 1. Comparison the previous schemes and proposed scheme.

Item	Previous schemes	Proposed scheme
[1]Hardware to realize	Particular devices made in a research organization.	Open source devices you can get generally.
[2]Size, Cost, Function	Large size, high cost, multi functions	Small size, low cost, determinate function
[3]Environment to use	Setting LAN/WAN and so on is needed.	Setting special facility is not needed to use 3G communication.
[4]Communication form	Peer-to-peer communication in a particular area.	Self-distributed multi-hop communication for wide area.
[5]Utilization	Environmental monitoring is main.	Generation of value information using data mining.
[6]Promotive body	The government, national research organization, Manufacturer	Local agriculture workers, Education research organization.

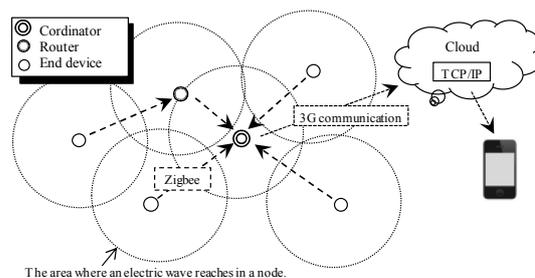
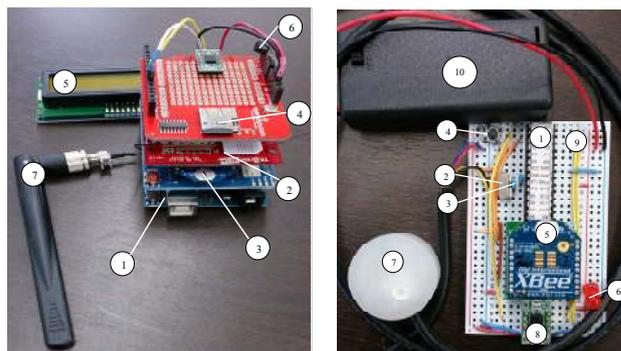


Figure 5 System configuration.



(A) Coordinator (B) End device

Figure 6 Developed Sensor Node.

[10]、市販で購入可能な温湿度センサなどから構成される無線センサ端末を開発し、それらを分散配置させた M2M センサネットワークを構築する。

### 3.3 システム構成と開発したセンサ端末

図 5 にシステム構成を示す。子機（End device）にてセンシングされた温度などの環境情報は、Zigbee 通信により一旦、親機（Coordinator）に送られ、3G 回線を利用してクラウドに送信する。子機と親機の間にはルータ（Router）を設置し、それを経由させることでガバレッジを拡大することも可能である。最終的に、ユーザはクラウドに蓄積された情報を、スマートフォンなどを利用して参照する。ここで、現段階の提案システムでは、オープンなクラウドサービス Xively[15]を利用している。図 6(A), (B) に現段階において開発したセンサ端末（親機と子機）の概観を、表 2 にその構成部品一覧を示す。尚、表 2 に示した部品は全て一般購入可能なものである。ただし、親機の電源だけは、ワールドから供給されることを想定している。

Table 2. List of Components for Developed Sensor nodes.

Item	Coordinator	End device
1	Arduino	AVR micro computer (ATMEGA328P-PU)
2	3G-shield[8]	Crystal resonator (8MHz)
3	XBee[Series2]PCB antenna-type	Capacitor (22pF *2)
4	microSD	Tact switch
5	character LCD (Serial type)	XBee[Series2]PCB antenna-type
6	Temperature Sensor : LM61BIZ	LED with resistance (5V用)
7	3G antenna	Temperature and moisture sensor : SHT11 with filter
8		RTC (RTC-8564ND)
9		Universal board (80*50mm)
10		Voltaic cell : single-three *2

#### 4. 基本伝送特性

3.2 にて、提案システムは園芸作物を対象とすることを述べた。本研究ではその中でも、近隣にハウスが多くシステム設置に有利などの理由から、ハウス栽培のイチゴに着目した。本節では、開発したセンサ端末を用いて構築したセンサネットワークの基本伝送特性をフィールド実験により評価する。

##### 4.1 実験フィールド

実験場所は、静岡県韮山町にてイチゴ栽培を行っている某ハウス農園である。図 7 に実験フィールド（ハウス外）の概観を示す。1 ハウス（2 連棟）が 3 つ連結され、計 6 連棟から構成されている。本実験は、1 ハウス内で実施している。図 8(a) に実験フィールド（ハウス内）の概観を、図 8(b) に取り付けられたセンサ端末を示す。図 9 (a) は 1 ハウスにおける寸法を示す。図 9 (b) に設置したセンサ端末（親機と子機）の配置図であり、実験フィールドを上空から見た図に相当する。子機の配置は、4.5 にて述べる通信距離対受信レベル特性の結果に基づき、さらにマージンをみてこのような配置とした。また、図 9(a) においてもおおよそのセンサ端末（親機と子機）の位置を示しているが、実際は紐で屋根から約 1m 下方に取り付けられている。

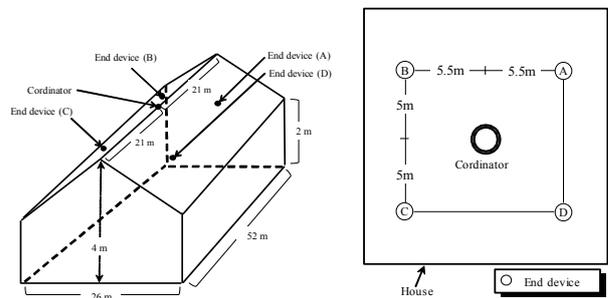


Figure 7 Overview of an experimental field (outside).



(a) In house (b) Sensor node

Figure 8 Overview of an experimental field (inside).

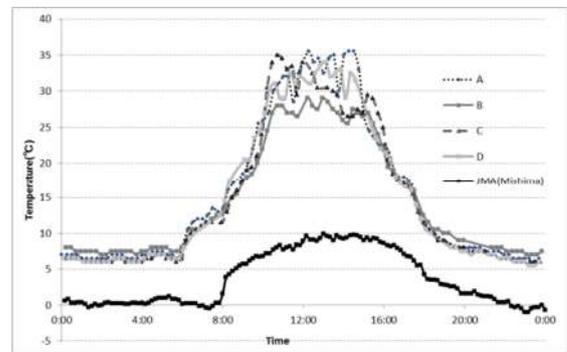


(a) Scale (b) Arrangement of a sensor terminal.

Figure 9 Experimental field (inside).

##### 4.2 温湿度変化特性

提案システムにおける一日のハウス内温度および湿度特性を評価する。経過時間対ハウス内温度の測定結果（2014/1/19 測定）を図 10 (a)に示す。また、参考のため、気象庁 HP[16]より取得した同日の三島市（韮山町に隣接）の温度変化も掲載している。尚、韮山町のデータは公開されていないため、一番近隣の三島市のデータと比較している。図 10 (b)は、クラウドシステムに蓄積されたデータをスマートフォン上で確認した表示例（測定地点 B の温度）である。図 10 (a)より、本システムにてセンシングした値と気象庁データは、測定地域が異なるため完全な一致はしていないが、経過時間に対する温度変化の特性は類似している。また、各経過時刻の温度値において、日中は、B 地点が最も低く次に C 地点が低い。実際にハウス内の体感温度としてハウスの B 地点方向の角は涼しく、温度に関して提案システムの妥当性が示せている。次に、経過時間対ハウス内湿度の測定結果（2014/1/19 測定）を図 11 に示す。図 10 (a)と図 11 より、図 10 (a)で日中の温度が低かった B 地点は、図 11 で他の測定点と比べて湿度が高い結果となった。他の測定点でもおおむね同様のことがいえる。一般に、同じ水分量では気温が低いほうが湿度は高くなるため、湿度に関して提案システムの妥当性が示せている。以上より、提案システム（特に温湿度の物理量検知、伝送、クラウド表示）の妥当性が示せている。



(a) Performance in a day.



(b) Example of display on cloud system.

Figure 10 Relation between passed time and sensed temperature.

### 4.3 スペクトル特性

MetaGeek 社製 USB スペクトルアナライザ Wi-Spy を用いて、親機設置点のスペクトルを測定する。ここではスペクトル特性の確認が目的のため、子機のデータ送信周期は1分に設定した。測定結果を図12に示す。横軸は利用チャンネル番号を示している。図12の縦軸上部は伝送された信号データの振幅スペクトルを、縦軸下部は経過時間を示しており下に行くほど過去に戻ることを意味している。図12の上部(周波数領域)より、一般に ZigBee のスペクトルは 2.4GHz 帯は 11 から 26 チャンネルまで利用されるが[17]。そのうち本伝送では、18チャンネルが使われていることがわかる。そこに狭帯域のスペクトルが観測されているが、これは本システムが小容量のデータを伝送していることに起因する。また、図12の下部(時間領域)よりデータ送信が予め指定した時間間隔(1分間隔)で正常に行われていることが確認された。

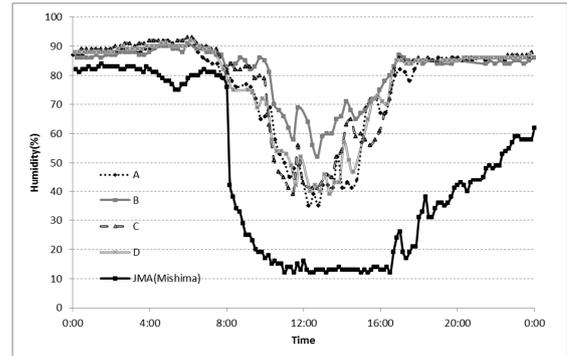


Figure 11 Relation between passed time and sensed humidity.

### 4.4 Node to node における通信速度特性

図13のように XBee 同士で通信する場合、無線部分の伝送速度(理論値)は 250kbps (図13における#1)とされている[17]。しかし、Xbee モジュールにて X-CTU 画面にて予め設定された端末速度(図13における#2)に対して、実際の伝送速度(図13における#3)がどの程度得られるのか明らかにされていない。また、ノード間距離が伝送速度に与える影響なども測定結果が示されていない[17],[18]。そこで、文献[19]の実験方法に従い、Node to node の伝送速度を測定する。測定システムを図13に示す。PC1にて送信側の Xbee, PC2にて受信側の Xbee の端末速度(図13における#2)を設定し、テキストファイル(サイズ: 64kB)を送信し、伝送に要した時間を測定する。本測定を、図CのD地点において(親機とのノード間距離: 7.4m), Xbee 端末に対する設定画面(X-CTU)[19]にて設定可能な端末速度(4.8, 9.6, 19.2, 38.4, 57.6kbps)に対して行う。さらに、比較のため、本実験を屋内(ノード間距離: 1m, 2m)でも行った。測定結果を図14に示す。図14より、伝送速度は端末速度に対して 40kbps 程度までは概ね線形に増加しているが、それ以降においては増加割合が鈍化していることがわかる。これは、無線部分の伝送速度が理論値 250kbps の性能を実現できず、最大でも 40kbps 程度であることを示唆している。また、屋内での測定とハウス内での測定で速度の差は殆ど現れなかった。これは、伝送速度はノード間の通信距離に左右されないことを示している。

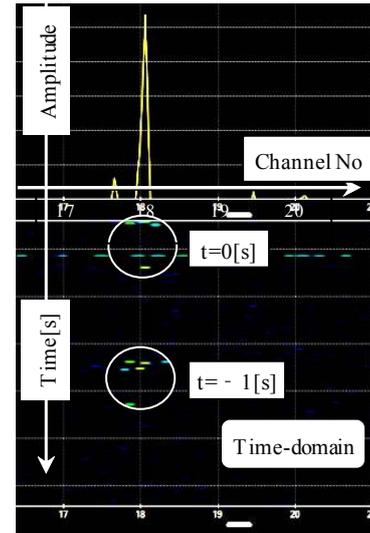


Figure 12 Spectrum Performance.

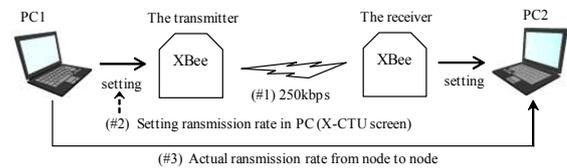


Figure 13 Experiment system in transmission measure.

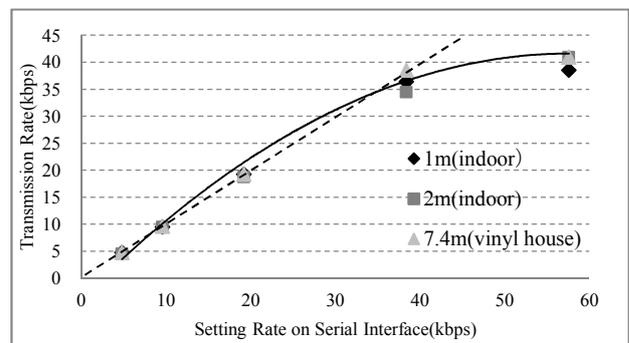


Figure 14 Relation between setting rate and transmission rate.

### 4.5 通信距離 対 受信レベル特性

一般に、無線環境下では通信距離に影響を与えているの

は距離による電波の減衰だけでなく、建物などによる反射（フェージング）、遮蔽（シャドウイング）などの影響が挙げられ、本実験（ハウス内）でも同様のことがいえる。そこで、通信距離に対する受信レベルの変動を測定する。測定結果を図 16 に示す。この時、50 回データを送信したうちで通信が成功したものの平均を採用している。図 16 より、受信レベルは測定点による差異はあるが、どの点においてもおおむね通信距離に比例して低下していることがわかる。比較のため、障害物のない広い環境（筆者らの所属機関におけるグラウンド）での測定結果と受信レベルの理論値 [20] を、図 16 に加えた結果を図 17 に示す。図 17 より、例えば受信レベル -85dBm において、ハウス内は通信距離 10~20m 程度だが、グラウンドは 100m 以上の通信が実現されており、その差は約 80~90m であることがわかった。XBee の仕様 [21] では屋内で 40m、屋外で 120m となっており、グラウンドは理想的な環境に近いが、ハウス内は劣悪な環境であることを裏付けている。

#### 4.6 通信距離 対 通信失敗確率特性

4.5 にて受信レベルを測定する際の 50 回中何回通信に失敗したかを測定する。測定結果を図 18 に示す。図 18 より、通信距離の増加に伴い失敗確率が上昇している。特に、どのノードも通信距離が約 18m 付近において、通信失敗の開始し、約 20m 付近において通信失敗率が約 30% に達することがわかる。ただし、受信レベルとは異なり、通信の失敗はある地点で発生するまでは 0% のまま推移する。

#### 4.7 マルチホップ通信(中継ルータ)の適用効果

本システムは現在シングルホップ状態（親機と子機が直接通信している状態）で稼働している。しかし、ハウス内の通信環境が悪く、広いハウス全域をカバーするに至っていない。また、今後隣接するハウスもセンシングの対象とする場合、親機を新たに設置するのはコストがかかる。そこで、XBee 端末をルータとして機能させ、親機（コーディネータ）と子機（エンドデバイス）間に設置し、マルチホップ通信により通信距離の拡大を狙う。本実験では、ハウス内の全エリアをセンシング可能か確認するために、あえて図 19 (A) に示すように子機をハウス内四隅に配置する（具体的な距離は図 9(a) 参照）。この場合、各子機と親機の距離は、約 22.5m となり、図 18 の結果に示すように、子機と親機の通信が成功していない。そこで、本ハウス内の子機と親機の配置対称性に着目し、図 19 (B) のようなルータ配置を提案する。この時、子機 A に着目すると、子機がセンシングした温度などのデータは、ルータを経由し（図 19 (B) のルート (#1)）、最終的に親機に送信されることにな

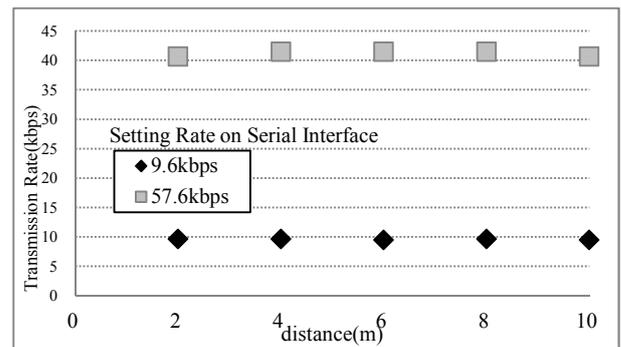


Figure 15 Relation between distance and transmission rate.

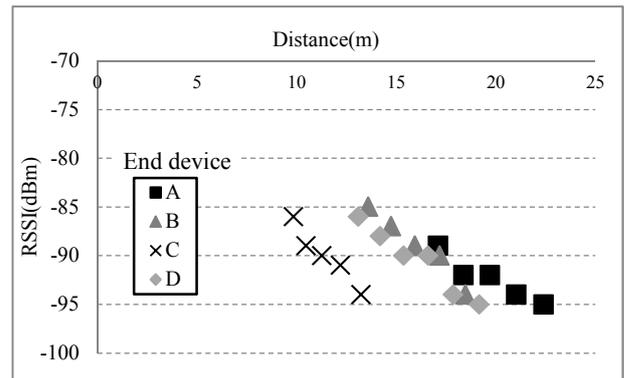


Figure 16 Relation between distance and reception level (1).

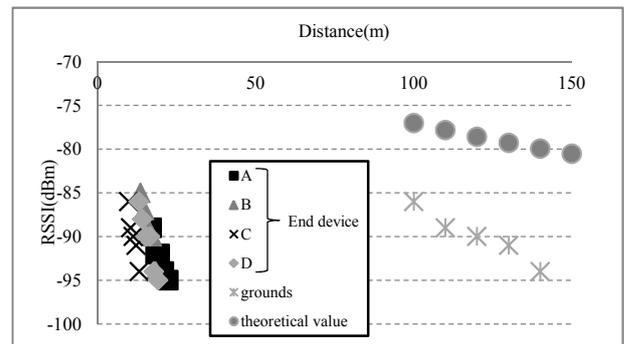


Figure 17 Relation between distance and reception level (2).

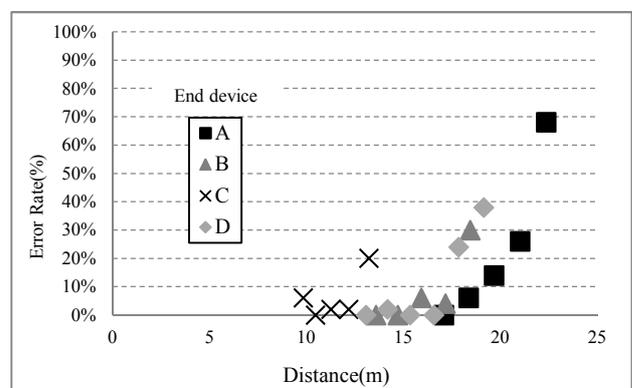


Figure 18 Relation between distance and communication error rate.

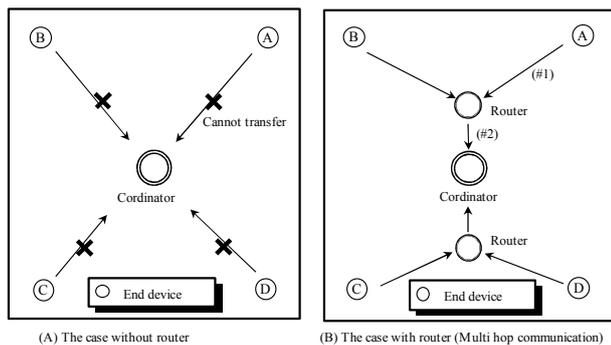


Figure 19 Effect of multi-hop communication.

る (図 19 (B)のルート(#2)). 実験により, 良好な通信が可能なルータの配置を検討した結果, ルータと親機の距離(図 O の#2) を 12m 程度とれば, ハウス内全域のエリアをセンシング可能になることがわかった.

## 5. おわりに

農作業最適化に向けた M2M センサネットワークの提案システムの基本概念を示した. さらに, オープンソースを用いて開発したセンサ端末で構成されたセンサネットワークを構築した. 1 日の温湿度の変化, クラウド表示を確認することにより, 開発した提案システム (特に, 物理量検知, 無線伝送, クラウド表示) の妥当性が示せた. 結果, ハウス内の温湿度情報をいつでもどこでも確認することが可能となった. さらに, フィールド実験により, 構築したセンサネットワークの基本伝送特性を評価した.

以下に, 得られた主な結論を示す.

- Zigbee 通信における伝送速度 (理論値) は 250kbps とされているが, 端末の設定速度を考慮した, 端末間トータルでの伝送速度は約 40kbps 程度である.
- 伝送速度は通信 (ノード間) 距離に依存しない.
- ノード間通信距離が約 18m 付近において通信失敗が開始し, 約 20m 付近において通信失敗率が約 30%に達する.
- 受信レベル - 85dBm において, ハウス内では通信距離が 10~20m 程度だが, グラウンド (屋外) では 100m 以上となる.
- 中継ノードを用意し, 中継ノード - 親機間の距離を 12m 程度にとりマルチホップ通信を行えば, 本実験フィールド(26m×52m)全域のセンシングが可能となる.

## 謝辞

無線センサ端末の開発において, (株)構造計画研究所システム開発部 大黒篤氏に大変有益なご助言を頂いた. フィールド実験においては, 静岡県堀井農園 堀井一雄氏, 静岡県東部農林事務所 前島慎一郎氏, 静岡県韮山酪農センター 伊豆澤秀憲氏に多大なるご配慮を頂いた. また, 本研究の

一部は, 一般財団法人新技術振興渡辺記念会 平成 25 年度科学技術調査研究助成によって実施された. ここに関係各位に深謝致します.

## 参考文献

- [1] 森川博之, 鈴木誠, “M2M が未来を創る”, 電子情報通信学会誌 pp292-297, Vol96 No5, 2013.
- [2] 農林水産省, AI 農業の展開について  
<http://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/kihyo03/pdf/090820-01.pdf>
- [3] 経済産業省, スマートアグリシステムの設計・開発・輸出  
[http://www.meti.go.jp/committee/summary/ipc0002/028\\_05\\_04.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/summary/ipc0002/028_05_04.pdf)
- [4] 総務省, ICT を活用した農業に関する総務省の取組  
[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon\\_bunka/nougyou/dai1/siryou6\\_3.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/nougyou/dai1/siryou6_3.pdf)
- [5] T. Fukatsu and M.Hirafuji, “Field Monitoring Using Sensor-Nodes with a Web Server”, Journal of Robotics and mechatronics, Vol.17 No2, pp.164-172, 2005.
- [6] [http://jpn.nec.com/press/201210/20121001\\_01.html](http://jpn.nec.com/press/201210/20121001_01.html)
- [7] <http://www.arduino.cc/>
- [8] <http://www.tabrain.jp/index.html>
- [9] <http://www.zbsigj.org/>
- [10] <http://www.digi-intl.co.jp/>
- [11] 齊藤章, “施設園芸先進国オランダの現状と技術開発”, 第 3 回 TMS 研究会 講演会資料, 2009.
- [12] 久枝和昇, 仁科弘重, “大規模トマト生産温室における生産性向上に関する研究 - 積算日射量に基づいたトマトの出荷量予測 -”, 植物環境工学 vol.19, No.1, pp11-18, 2007.
- [13] 神田英司, 鳥越洋一, 三輪哲久, 小林隆, “ノンパラメトリック回帰によるイネの障害不稔歩合の推定法”, 日本作物學會紀事 vol.17, No.2, pp.279-287, 2007.
- [14] 石橋英二 [他], “ノンパラメトリック回帰を用いた温度影響評価による水稻の生育期予測”, 日本作物學會紀事 vol.59, No.3, pp.443-449, 1990.
- [15] <https://xively.com/>
- [16] 気象庁(データ検索)  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- [17] 福永茂, “パーソナルエリアネットワークを実現する技術 - ZigBee -”, 電子情報通信学会 通信ソサエティマガジン, pp62-73, No2 秋号, 2007.
- [18] 後藤尚久, 中川正雄, 伊藤精彦, アンテナ・無線ハンドブック, pp727-731, 2006.
- [19] CQ 出版社, “超お手軽無線モジュール”, pp122-124, 2012.
- [20] Zigbee 開発ガイドブック.
- [21] XBee スペックシート  
[http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/files/BR\\_xbeezbmodules.pdf](http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/files/BR_xbeezbmodules.pdf)