

論文

# ワイヤレスセンサネットワークにおける 画像伝送技術に関する研究

田中 公祐 佐藤 裕樹 諏訪 敬祐

近年、ワイヤレスセンサネットワークに関する研究が盛んである。これらの研究は無線通信ネットワークを動的に構築するものや環境中のデータを収集することを目的としている。本研究では、フィールドサーバとよばれる植物などの自然生態系の監視を主な目的とする環境モニタリングシステムにおいて新たなデータ収集デバイス及びデータ収集方法を提案する。提案した機器は電池駆動で省電力であり、温度、湿度などの数種類の環境データ収集センサと近接の静止画像を撮影できる CMOS カメラを備える。実際にワイヤレスセンサネットワークを構築し、上記データの取得と同時にデータ伝送出来ることを検証した。

キーワード：ワイヤレスセンサネットワーク、環境モニタリングシステム、フィールドサーバ

## 1 はじめに

ワイヤレスセンサネットワークは無線を用いて任意の場所で環境情報をリアルタイムに収集し、きめ細かな情報を一元的に取得、管理できるためネットワーク構成法やプロトコルを中心に様々な研究が行われている。

また、多様なアプリケーション開発を目的とした研究も行われ、集められたセンサ情報であるコンテキストの利用に関する研究も行われている。

上記コンテキストは、温度・湿度・照度・水分量・振動など無線伝送帯域が限られたワイヤレスセンサネットワークに適したデータとして扱うことが一般的である。しかし、ワイヤレスセンサネットワークは限られた無線伝送帯域でデータ伝送を行うので、リッチな画像データを扱うことは一般的ではない。現状では、画像を扱うワイヤレスセンサネットワークの例としては農業目的でフィールドサーバとよぶモニタリングサーバが存在している[1]。フィールドサーバは農業生産活動において重要となる植物生長観察の時系列的な変化を容易に判断できるように定点で観測した静止画像が付加されている。図1に、フィールドサーバの外観を示す。



図1 フィールドサーバの外観

温度・振動に関しては観察されたコンテキストの間には時間順序や意味的包含関係が存在する[2]。このことは、画像情報も同一であると考えられる。

しかし、フィールドサーバは図2のように無線区間に Wi-Fi とよばれる一般的なワイヤレス・イーサネット、すなわち無線 LAN を利用している。

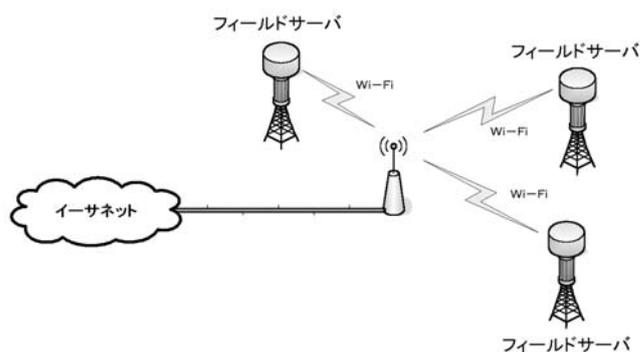


図2 フィールドサーバのネットワーク構成図

TANAKA Kosaku

武蔵工業大学環境情報学研究所博士前期課程 2006 年度修了生

SATO Yuki

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科 4 年生

SUWA Keisuke

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科教授

汎用的な無線伝送手段を選択することは国外においてフィールドサーバを設置するうえで重要な条件である[1]。プロトコルにはTCP/IP、撮影を行うカメラ部分は一般的なHTTPサーバ内蔵であるWEBカメラを用いて構成されている。構成の容易さに関して利点はあるが、非常にリッチな構成となっており電源供給や小型化という観点からは問題が多い。

本研究では、既存のフィールドサーバでは困難な植物成長などの自然生態系の詳細な観察において求められるより微小できめ細かな視点での情報収集が可能なワイヤレスデバイスの構成法を明らかにする。

また、既存フィールドサーバの電源供給の課題を解決することが可能な電池駆動による小型のワイヤレスデバイスを提案試作し、画像データ及び計測データなどの多様な環境情報を統合的に収集する方法について明らかにする。

## 2 フィールドサーバとの比較

本研究では、画像というリッチなコンテキストを扱うことのできる省電力かつ小型軽量のワイヤレスセンサノードの構成法について検討する。従来のワイヤレスセンサネットワークでは、無線伝送帯域の制限によりリッチコンテンツの伝送は困難であったが、最近では、BluetoothやZigBeeのように高速な伝送手段の出現によりリッチなコンテキストの扱いが可能となっている。

既存のフィールドサーバは大容量通信が可能なWi-Fiを利用したワイヤレスセンサネットワークであるが、消費電力低減や電源供給方法に関する課題の解決が困難という面があった。例えば、既存フィールドサーバは、汎用部品の使用やその構成方法に起因していると考えられるが、常時給電状態でシステムの消費電力は9Wとなっている。

また、専用ハードウェア・ソフトウェアを用いずにWi-Fiの一般的な有線イーサネット～無線イーサネットコンバータを利用しているためにマルチホップ通信の実装が難しいという問題も抱えている。

最近、前述のZigBee等限られた電力リソースにおいても画像伝送が行える広帯域通信が可能な無線デバイスの出現により数多くの地点の観察対象の画像を扱うセンサネットワークを実現できる見通しが得られている。また、ZigBeeは国際規格であり、海外においてワイヤレスセンサネットワークを比較的容易に構築できるメリットがある。

本研究では、従来のフィールドサーバでは困難なマイクロな視点での情報収集や、電池駆動での情報収集を目的としている。具体的には、最低限のプロトコルと画像センサやその他のコンテキスト収集センサを実装したセン

サノードの要求条件を検討し、具体的な構成法を明らかにする。また、データ収集法を明らかにする。既存の温度・土壌水分センサ等のみでのコンテキストでは、情報の種類としては不足であることが指摘されているため、本研究により詳細な画像との併用に対する要求が高まるものと想定される[3]。

## 3 統合型ワイヤレスセンサネットワークノード

従来のフィールドサーバの課題を解決することが可能なワイヤレスセンサネットワークノードを統合型ワイヤレスセンサネットワークノード（以下、センサノード）と呼ぶことにする[4]。センサノードに要求される条件は以下のとおりである。

- ・電池駆動が可能であること（消費電力0.5W以下）
- ・小型、軽量であること（750cc以下）
- ・FSと同程度の解像度をもつ画像取得（VGAサイズ）
- ・画像の近接撮影ができること（10cmでの近接撮影）
- ・温度以外の様々なデータ取得ができること（センサ拡張用バスの装備）
- ・無線ネットワークの拡張性があること（スター型ネットワーク構成）
- ・必要十分なデータ伝送能力（1時間あたり100枚）であること
- ・イーサネット環境での使用（TCP/IPへのプロトコル変換）

図3に試作した統合型ワイヤレスセンサネットワークノード（ワイヤレスセンサノード）を示す。

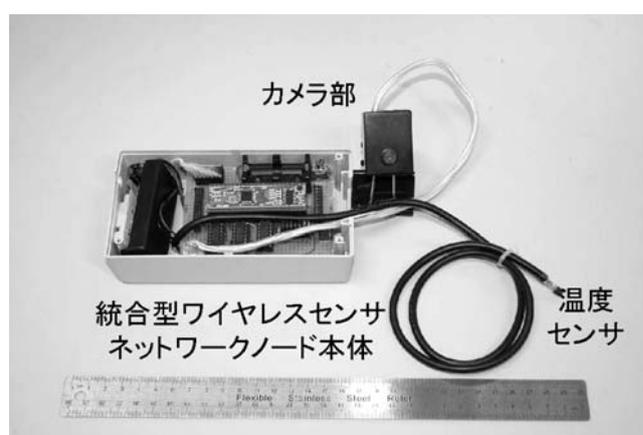


図3 統合型ワイヤレスセンサネットワークノード

従来のフィールドサーバは図4の構成図に示すようにそれぞれのユニットが独立した形で構成されており、消費電力・小型化等が大きな課題である。

また、フィールドサーバでの画像収集は搭載される

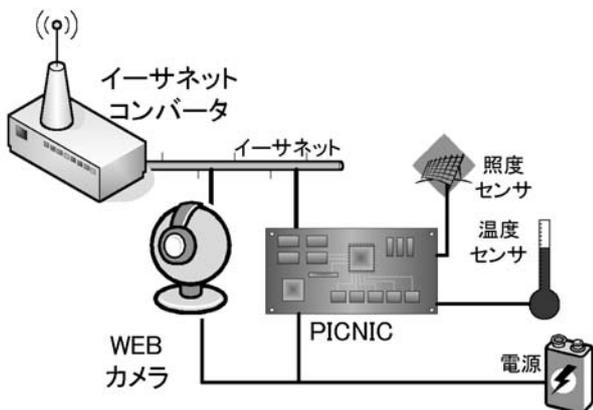


図4 フィールドサーバの構成

WEBカメラのHTTPサーバ、画像以外の各種コンテキストはマイコンボード上のHTTPサーバに存在するHTMLデータの中からコンテキストを抽出することにより行われ、無駄の多いシステムとなっている。

図5は既存フィールドサーバのデータ伝送手順である。このように、既存フィールドサーバは小さなサーバコンピュータとして常時稼動することにより成立しているといえる。

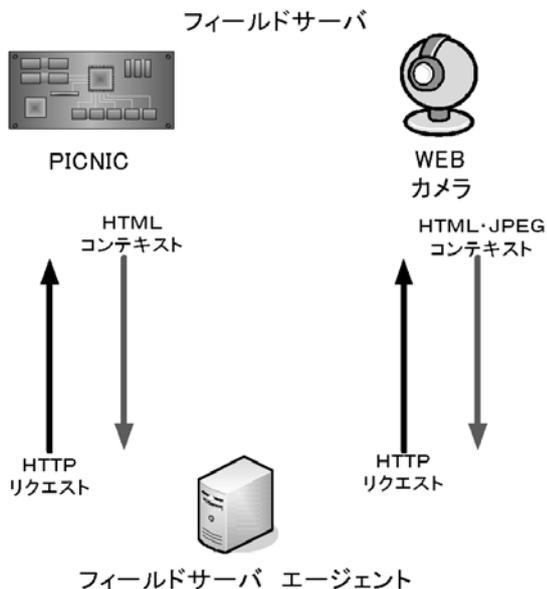


図5 フィールドサーバのデータ伝送手順

そこで、本研究で提案するワイヤレスセンサノードは必要最低限の演算機能を持つマイコンに静止画撮影カメラを追加し、低消費電力かつ安定性の高い通信が可能な無線通信ユニットで構成した。

図6はワイヤレスセンサノードの構成図である。表1にフィールドサーバと本提案のセンサノードとの比較を

示す。静止画撮影を行うカメラユニットは30万画素のVGA(640×480×24bit)のグラフィックシステムを利用し、観察対象物を識別できる性能を持たせた。レンズの調整を行うことによりマクロ撮影も可能であり、植物の詳細な画像を映し出すことも可能である。

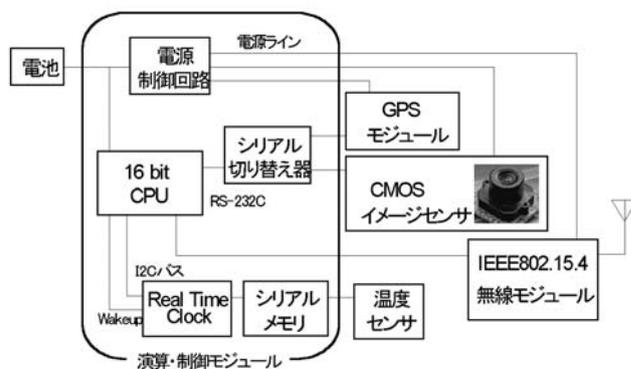


図6 ワイヤレスセンサネットワークノードの構成

表1 フィールドサーバとの比較

	フィールドサーバ	ワイヤレスセンサノード
長所	遠距離無線通信 イーサネット対応機器	小型 低消費電力 I2C拡張可能 マルチホップ通信実装 マクロ撮影
短所	大型 消費電力 マルチホップ通信実装 システムの煩雑性	電波到達範囲小

温度センサについては、温度の変化を電圧変化として値を返すものを利用することとし、高い精度を保持できるようにした。ワイヤレスセンサノードの動作はRTC(リアルタイムクロック)と言われるコンピュータ上で扱える時計を装備することにより指定時間ごとの間欠動作が可能となるように考慮した。

また、蓄積用のメモリを搭載し、アドホック通信対応への拡張が行われた際に他のノードからのデータを転送のために取り出せるようにしている。

また、多数のワイヤレスセンサノードが散布、設置された際にノード自身の位置情報を取得する目的としてGPS受信機を付加できるようにマイコンから制御可能なシリアルポートの切替器を実装した。ワイヤレスセンサノードの構成の一覧を表2に示す。

表2 ワイヤレスセンサノードの仕様

CPU	ルネサス M16 / 26 20MHz 駆動
無線	NEC ZB24FM-E2022-01 (IEEE802.15.4)
カメラ	OmniVision C328-7640
温度	National Semiconductors
RTC	SEIKO EPSON RX-8564CF
シリアルメモリ	ATMEL 24C1024
動作時 電流	121mA MAX @ 3V

ワイヤレスセンサノードの情報を収集するためのゲートウェイとして、ノード用のアクセスポイントを製作した。図7に試作例を示す。このアクセスポイントはワイヤレスセンサノードに搭載される無線ユニットと同一のユニットにネットワークプロトコル変換機能を有するXportを組み合わせたものである。

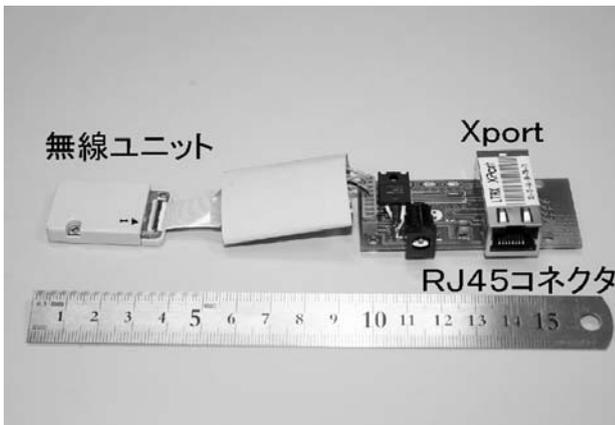


図7 Xport を用いたワイヤレスセンサノード用アクセスポイント

このアクセスポイントはイーサネットコンバータを用いて構成されるフィールドサーバに内蔵する。このことにより表1のフィールドサーバと本研究で提案したワイヤレスセンサノードそれぞれの利点を持つシステムとなる。アクセスポイントはフィールドサーバから電源の供給を受け、フィールドサーバはワイヤレスセンサノード

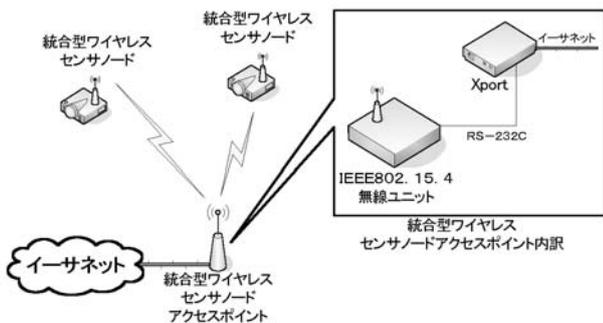


図8 ワイヤレスセンサノードを用いたネットワーク構成

からの近接画像をネットワーク経由で収集できる。図8にXportを利用したアクセスポイントの構成とネットワーク構成を示す。

図9にフィールドサーバに内蔵した状態を示す。

#### 4 ワイヤレスセンサノードの動作結果



図9 フィールドサーバに内蔵したワイヤレスセンサノードのアクセスポイント

前章で述べたワイヤレスセンサノードは、ホスト側から行われる送信先指定され、静止画・温度情報取得伝送を実行できる組み込みマイコン用のソフトウェアが書込まれている。

ノードは指定間隔ごとに画像・温度情報を送信し、ホスト側で受信したデータはJPEG画像ファイル・CSV形式温度情報ファイルとしてPCのローカルハードディスクドライブに蓄積が可能となっている。

図10はワイヤレスセンサノードとフィールドサーバによる画像を同時に表示した例である。

ワイヤレスセンサノード自体は電圧3Vで動作可能であり、消費電力は、最小60mA、最大120mA、単位時間あたりの平均消費電流は100mA程度である。

また、本提案のノードの伝送性能として、リッチコンテンツとなる撮影画像は伝送量削減を目的とし、JPEG非可逆圧縮を行っている。撮影対象によりデータ伝送量は異なるため1時間あたり100枚から180枚ほど撮影が可能となる。一例として1時間あたりに120枚伝送が出来た例を図11に示す。試験開始時刻と一時間後の終了時刻での撮影番号の差より求めた。

また、撮影された画像は時系列的にサーバコンピュータ内の物理ドライブに温度データと共に保存できることが確認できた。

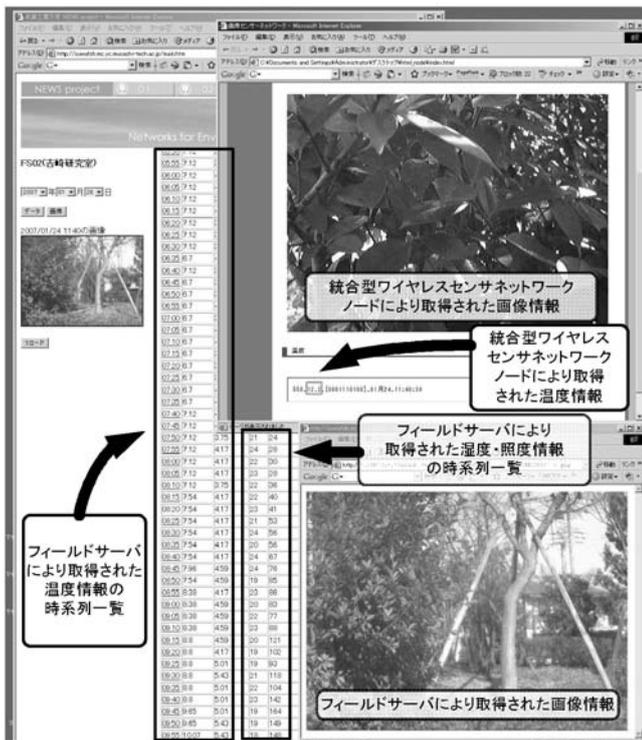


図10 画像の同時表示の例

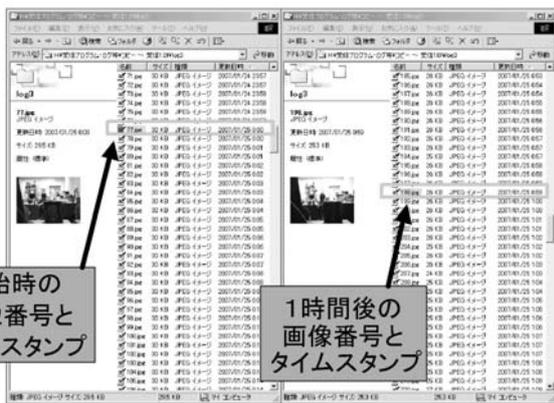


図11 1時間当たりの撮影可能枚数

## 5 評価及び考察

実験用システムを連続稼働させた場合、ワイヤレスセンサノードは0.3W程度で動作可能である。常時9Wもの電力を消費するフィールドサーバに比較して、図12に示すように消費電力を30分の1に低減できることがわかる。

従って、ワイヤレスセンサノードは電池での動作が可能であり、実際の試験において、動作が可能であることを確認した。また、電池容量をすべて利用するべく降圧型シリーズレギュレータと昇圧型チョッパを組み合わせたDCDCコンバータを利用することによりさらなる動作時間の延長を実現した。

FSと統合型ワイヤレスノード 消費電力差

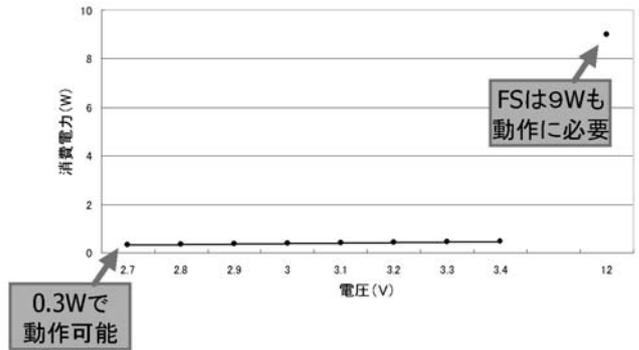


図12 電源電圧に対する消費電力

ワイヤレスセンサノードにて撮影された画像はVGAサイズで観察対象を容易に認識することが可能な解像度であることが確認でき、また、10cm以下の距離での近接撮影も可能である。搭載された温度センサの情報には、±0.5℃の精度であり、既存フィールドサーバと遜色がないことも確認できた。

本提案のワイヤレスセンサノードを用いた環境モニタリングシステムは、フィールドサーバの代替も可能であるが、既存フィールドサーバと組み合わせることで同時稼働できることも要求条件として挙げている。

従って、本提案のワイヤレスセンサノードのアクセスポイントを既存フィールドサーバに内蔵してデータ伝送可能であることを確認した。表3は、既存フィールドサーバの通信に影響を及ぼすダミーパケットを使用するスループット試験である。この結果からフィールドサーバにワイヤレスセンサノードのアクセスポイントを内蔵し本提案システムとフィールドサーバを同時に稼働させても動作上問題ないことが確認できた。

表3 データ転送スループット試験結果

	ダミーパケットなし	ダミーパケット 2.5Mbit/s
開始時刻	15:15:36	15:33:38
終了時刻	15:24:04	15:42:05
所要時間 (分:秒)	0:08:28	0:08:27

## 6 おわりに

本論文では、ワイヤレスセンサノードの構成法、画像データ及び気象データの取得方法を明らかにした。開発したワイヤレスセンサノードを植物成長の観察が要求さ

れる場所に設置することにより、農作物をはじめとする植生の状況が時系列に可視化できることを明らかにした。

今後は、長時間のセンシングに耐えうるノードとして RTC の実装を行い構成ユニット毎に最適化した間欠動作をはじめデータ伝送の高速化を検討する予定である。

さらに、フィールドサーバエージェント[6]との統合も視野に入れて研究を進める。

## 謝辞

本研究において、方向性・必要な事項について御指導いただいた武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科山田豊通教授、奥平雅士教授、ならびに、本提案ハードウェア・ソフトウェアに関して具体的な指導、助言をいただいた小倉信彦准教授に深く感謝する。

## 参考文献

- [1] “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,”  
<http://model.job.affrc.go.jp/FieldServer/documents/KaruizawaWS.pdf>
- [2] 平松薫, 服部正嗣, 山田辰美, 岡留剛, “センサーネットワークの観測事象の特徴量に関する考察,”  
<http://www.kecl.ntt.co.jp/csl/sirg/people/hiramatu/fulllist.html>
- [3] 内尾文隆, 平藤雅之, “農場ネットワーク構築のための無線アドホックノードの開発,” 電気通信普及財団研究調査報告書第20号, pp. 399-405, 2005年
- [4] 田中公祐, 佐藤祐樹, 諏訪敬祐, “ワイヤレスセンサネットワークにおける画像及びデータ計測センサの統合化とデータ収集法に関する研究,” 情報処理学会 研究報告, 2006-MBL-39, pp. 67-74, 2006年11月
- [5] “アルカリ乾電池・マンガン乾電池 Extra Heavy Duty の放電特性,”  
<http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf/AAC4000/AAC4000PJ2.pdf>
- [6] 内藤 康二, 諏訪 敬祐, “柔軟な構築が可能な環境モニタリングシステム,” 武蔵工業大学 環境情報学部 情報メディアセンタージャーナル 2006. 4 第7号, pp. 52-59, 2006年
- [7] 志方正樹, 富岡雅樹, 藤崎祐生, 諏訪敬祐, “日中環境モニタリングシステムの構築と効率的運用・保守方法,” 武蔵工業大学 環境情報学部 情報メディアセンタージャーナル 2007. 4 第8号, pp. 47-53