

環境に配慮した製品・サービス

# 無線センサネットワークシステムの開発と環境モニタリングへの応用展開

Development of Novel Wireless Sensor-Network System and Its Application for Environmental Monitoring

豊田 新\*  
Arata Toyoda

大熊 孝裕\*  
Takahiro Ohkuma

川崎 大輔\*  
Daisuke Kawasaki

岡山 高明\*\*  
Takaaki Okayama

保木本武宏\*  
Takehiro Hokimoto

新井 正伸\*  
Masanobu Arai

## 要 旨

超低消費電力の無線通信端末を用いた、新規なセンサネットワークシステムを開発し、環境モニタリング用途への適用を実施しました。

本システムを構成する無線通信端末は名刺サイズの太陽電池で十分動作し、人が立ち入れない場所からでもメンテナンスフリーでデータ収集が可能です。また観測エリア内に配置された個々の端末は、基地局からの制御信号に基づきネットワークを構築し、データを中継して遠隔地の管理センターまで転送する独自の「アドホック・マルチホップネットワークシステム」により、きめ細かな広域環境モニタリングを実現しています。

NECでは、本システムを活用した広域環境モニタリング事業として、2003年11月より霞ヶ浦流域の自然再生を目的とした環境監視システムへの適用を開始しています。今後も本システムを活用し、自然環境、都市環境のモニタリング、防災、設備管理などのソリューション開発をしていく予定です。

Novel "Sensor Network System" using ultra low power wireless nodes was developed, and applied to the environmental monitoring use.

Each wireless node that composes this network system works sufficiently by a business-card-size of solar cell, therefore it can transmit the data without usual maintenance. Furthermore, every wireless node that placed in the observation area constructs the unique "Ad-hoc Multi-hop network" each other autonomously, and relays collected data to the distant base station, so this system realizes a detailed wide-area environmental monitoring system.

NEC has applied the environment observation system

to the environment monitoring project at around Lake Kasumigaura, since November 2003. And after this, NEC will utilize this system, and develop many solutions such as natural or city environmental monitoring, disaster prevention system, and facilities administration system.

## 1. まえがき

多数のセンサ搭載無線通信機器を用いた「センサネットワーク」は、測定対象エリア内に配置された、各センサが取得した情報を無線通信によって収集し、処理、制御、管理を行うシステムであり、様々な用途に利用することができるシステムとして注目され始めています<sup>1)</sup>。

このセンサネットワークを現実利用可能なシステムとするための最大の技術的なポイントとして、超低消費電力で動作し、マルチホップ通信機能を持つ無線通信端末の開発が挙げられます。たとえば、環境モニタリングシステムとしてセンサネットワークを利用する場合、メンテナンスがほとんど必要なく、自立的に動作する無線通信端末があれば、より広範囲、高密度、そしてきめ細かいモニタリングが可能となり、従来の観測システムのように単に定期的な観測データを蓄積するだけのシステムとは異なる、まったく新しい高度な活用形態が生まれます。

本稿では、NECが新規開発した超低消費電力の無線通信モジュールを用いたセンサネットワークシステムと、その利用例について紹介します。

## 2. 無線センサネットワークシステム

NECはこのたび、新規開発した「省電力無線センサモジュール」を用い、自律的にネットワークを構築して収集したセンシング情報を互いに中継しながら遠隔地まで送信する、独自の「アドホック・マルチホップ通信方式」によるセンサネットワークシステムを実現しました。観測エリア内に、個々の無線センサモジュールを数百m間隔でツリー

\* システムプラットフォーム研究所  
System Platforms Research Laboratories

\*\* ビジネス開発本部  
Business Development Division

状に配置することにより、広域にわたってきめ細かいモニタリングが実現できます。

## 2.1 無線センサモジュール

今回開発した無線センサモジュールの外観と主なスペックを写真および表1に示します。この無線センサモジュールの特長は以下のとおりです。

### (1) 超低消費電力動作を実現

無線センサモジュールは、非通信時の消費電力などを徹底的に削減するための動作制御技術や回路技術を採用しており、きわめて低消費電力での動作を実現しています<sup>2)</sup>。たとえば31個のモジュールで構成したネットワークの場合、各端末の1日当たりの平均消費電力は、毎日30回測定を行うとして、わずか3mW程度となっています。

### (2) 電力メンテナンスフリーで運用可能

上述したとおり、無線センサモジュールはきわめて低消費電力であり、名刺サイズ程度の太陽電池（単結晶タイプで一般に定格出力は450~500mW程度）によって十分動作が可能です。また二次電池を搭載することにより、夜間や

梅雨どきなどでも利用可能としており、電力供給その他のメンテナンスが不要な電力自立型の端末となっています。

したがって、電力や通信設備がなく、通常では人が立ち入ることも困難で従来の測定装置では運用が難しかった広大な森林や河川、山岳地帯といった場所でも、無線センサモジュールを設置することにより、その場所からのデータを収集することができます。

### (3) ニーズに応じた多様なセンサを接続可能

無線センサモジュールには、温度・湿度・日照などの気象データを始め、測定対象や用途に応じて多様なセンサを複数接続することができます。なおセンサによっては、センサの動作自体に大きな電力を消費する方式のもの（一般的なガスセンサなど）もあり、システム運用上、センサ用として別電源が必要になる場合もあり得ます。

### (4) 広域モニタリングが可能

無線方式として特定小電力無線を採用している無線センサモジュールは、きわめて低消費電力での動作を実現している一方で、個々のモジュール間の通信距離は数百m以上におよび、広域にわたって配置された無線センサモジュールのネットワークが構成可能です。

## 2.2 ネットワークシステム

観測エリア内に配置された個々の端末（無線センサモジュール）は、新規に開発した独自の「アドホック・マルチホップネットワークシステム<sup>3)</sup>」により、自立的にネットワークを構築し、収集データを中継していくことにより遠隔地の基地局まで転送します。このネットワーク制御方式の特長は以下のとおりです。

### (1) 低消費電力のデータ転送方式

図1に示すように、個々の端末は他の端末の中継機としての機能を兼ねているため、通信データは遠隔地の基地局まで直接送信しなくても、近隣の端末まで送ればマルチホ



写真 無線センサモジュールの外観

Photo External view of wireless sensor module.

表1 無線センサモジュールの主な仕様

Table 1 Main specifications of wireless sensor module.

項目	仕様
サイズ	本体部 10(W)×6.5(D)×2(H)cm 電源部 10(W)×6.5(D)×2(H)cm
無線方式	ARIB STD-T67 (特定小電力無線, 429.8625MHz)
端末間通信距離	数百メートル以上
駆動方式	基地局からの指示により、各種の駆動実施 (a) アドホック・マルチホップルーティング構築 (b) 特定のノードに測定指示→データ収集
消費電力	1日当たり平均 約3mW (ノード数31個で、1日に30回測定の場合)
センサインタフェース	I <sup>2</sup> C および RS232C
高信頼性技術	タイムアウト再送信 アドホック・マルチホップルーティングによる複数ルート化 ビットエラー再送信
防水仕様	JIS規格IP64

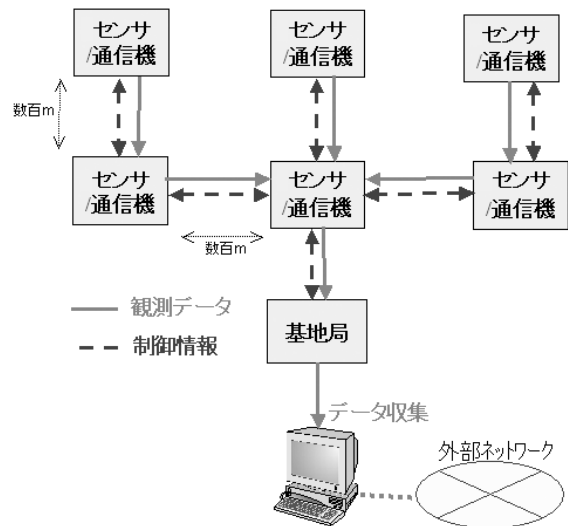


図1 マルチホップによるデータ収集方式

Fig.1 Multi-hop data collecting system.

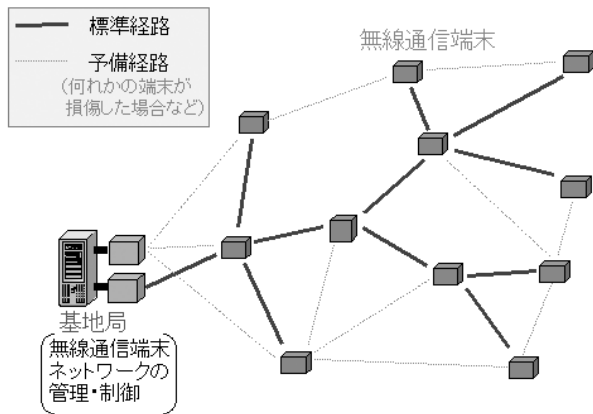


図2 最適データ転送経路の自動構築システム

Fig.2 Auto construction system of optimum data route .

ップにより基地局までデータを転送することができます。無線通信は通信距離が長くなると指数的に消費電力が増加しますが、本システムは近距離通信でデータをリレーしていく構成になっており、小さな送信出力でも広域にわたる観測エリアをきめ細かくカバーします。

(2) 最適のデータ転送経路を自動で構築

システムの実際の運用においては、通信環境の変動に加えて、中継機の不具合や障害物の出現など、データ転送に障害を与える要因発生の対策が必要です。本システムでは図2に示すように、ある端末が故障した場合、あるいは転送経路を遮る障害物が出現した場合などに、問題の端末をスキップする、あるいは迂回する予備のデータ転送経路を自動的に再構築し、データ通信の信頼性の高いネットワークシステムを実現しています。

3. 無線センサネットワークシステムの利用形態

現在センサネットワークの利用分野として期待されているのは、主なものだけでも表2に示すように多様な形態が考えられていますが<sup>1)</sup>、本システムに関しては、特徴として

表2 センサネットワークシステムの主な利用形態

Table 2 Main uses of sensor network system.

応用例	内容
環境モニタリング	様々な環境データを収集し、環境保全や防災などに利用
工場などの機器遠隔監視	無線による自動検針システムで、高度な監視を行う
ビルなどの設備管理	空調や照明の動作管理、最適化。また設備機器の調子を検知する。
農業利用	農場内や周辺の気象データにより農場の管理に利用
アミューズメント	園内案内、迷子情報、来場者の購買動向把握など
セキュリティ	防犯用センサや防災センサなどによるセキュリティ管理

これまで述べたように、

- ・ 太陽電池で自立的に動作
- ・ 通信・電力ケーブルなどの設置工事が不要
- ・ ノード間の通信距離が比較的長く、ネットワーク全体としてきわめて広範囲にわたった観測が可能
- ・ 人が容易に立ち入れない場所からでも自動的にデータ収集が可能
- ・ 多様なセンサの接続が可能
- ・ 小型、軽量で設置した環境の景観を損なわない

といった独特の性能・機能があることから、本システムにとって特に「環境モニタリング」への適用は、有効性を発揮できる分野の1つと考えられます。

図3は、モニタリング対象として様々な環境を想定した、本システムの利用形態のイメージを示したものです。いずれも広範囲にわたってきめ細かい観測を必要な時に行い、得られた大量のデータを遠隔地で高度な処理を行うことによって、様々な用途に利用するものです。

4. 実際の環境モニタリングシステムへの適用例

NECでは、霞ヶ浦水域の環境保全と自然再生を目的として活動しているNPO法人「アサザ基金」と共同で、本システムを活用した広域環境モニタリングを行うモデル事業を2003年11月から開始しています。アサザ基金は、これまで霞ヶ浦水域の110に及ぶ小学校内に、環境保全や自然再生の仕組みを間近で観察するための人工池「ビオトープ」を設営し、実践を通じた環境教育に取り組んでいますが、今回のNECとの共同事業は、このビオトープの水温や周辺の気温、湿度などのデータを無線センサネットワークにより収集し、地域の生態系の分析や環境教育に活用しようというものです。

図4は小学校の教室などでパソコンで操作できる、ビオトープ周辺の環境モニタリング用画面の例です。センサが設置された場所を地図上でクリックすると、その場所で測定された各データを表示することができます。

この事業はまず、ビオトープを設置した小学校のうちの3校から開始し、相互にデータを共有することにより、異なる環境の生態系の分析に役立っています。今後はこのプロジェクトへの参加校を順次増やし、ネットワークを拡大することによって、より重要な情報が得られるようになっていくものと期待されます。なおこのような活動は、企業とNPOとが連携して進めるこれまでにないタイプの自然再生事業であり、企業とNPOとの関係においても、単なる企業の社会貢献とは異なる、新しいあり方として注目されています<sup>4)</sup>。

5. むすび

センサネットワークシステムは、上述したように多様な利用分野と巨大な市場が見込まれており、またこれらに加えて従来思いも寄らなかった用途も次々に提案されていま

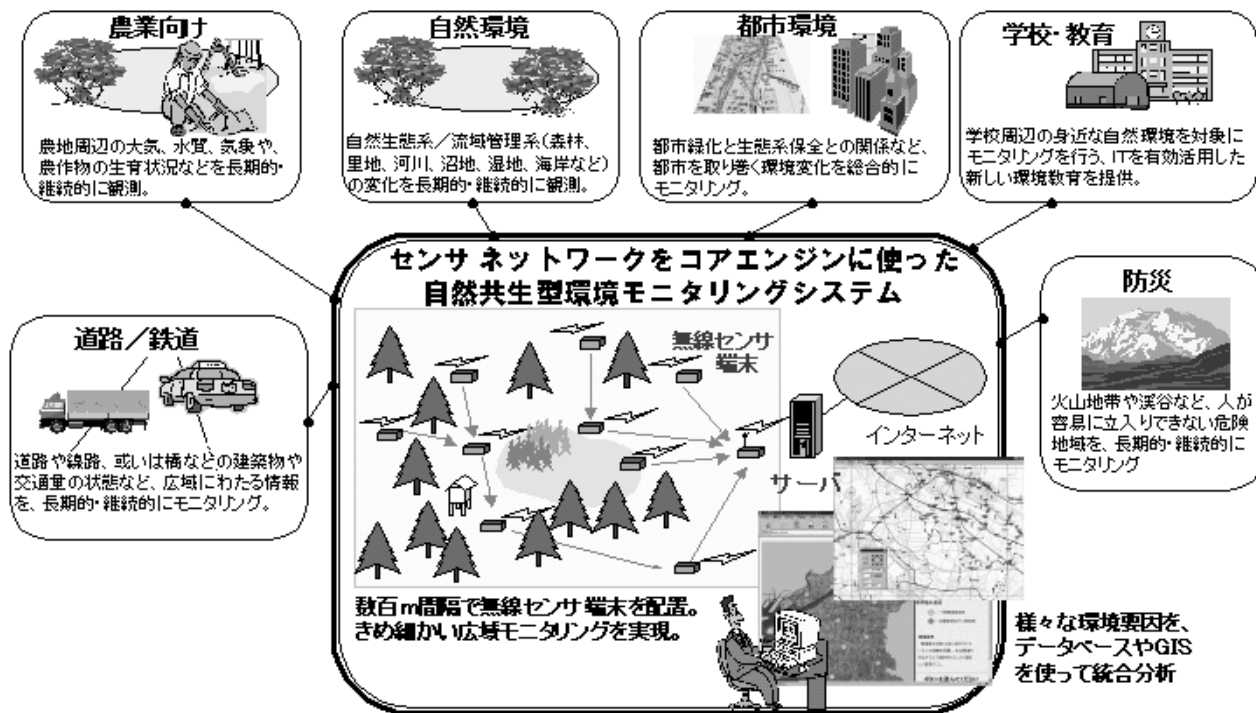
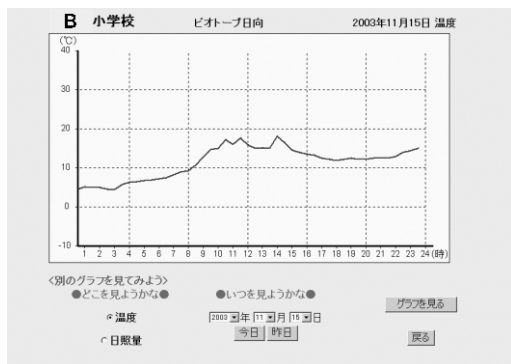


図3 本システムによる、様々な環境を対象としたモニタリング用途への活用イメージ  
 Fig.3 Application images for various environmental monitoring uses by our system .



(a) ピオトープ環境モニター操作画面



(b) 温度測定データの出力例

図4 ピオトープ環境モニタリングシステムの画面例

Fig.4 Picture examples of biotope environment monitoring system.

す。さらに無線センサモジュールのいっそうの高機能化、低消費電力化、小型化、低価格化などにより、社会生活全体を変えるような、センサネットワークのまったく新しい利用形態が生まれることも期待でき、きわめて大きなポテンシャルを持ったシステムであるといえます。

今後ともNECは、センサネットワークシステムを活用した様々なソリューションの開発、さらに同システムに求められる特性を実現するための新技術の開発を推進していきます。

参考文献

- 1) D.Estrin, et al.; "Next century challenges : Scalable coordination in sensor networks," in Proceedings of the Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks, 1999.8.
- 2) 川崎ほか; 「超低消費電力無線センサネットワークの開発」, 2003年電子情報通信学会ソサエティ大会 予稿B-5-202, 2003.9
- 3) 大熊ほか; 「呼出しIDによる省電力マルチホップルーティング機能の実現」, 信学技報NS003-232, OCS2003-116, pp.39-42, 2004.1
- 4) 田中太郎; 「Report 自然再生事業」, 日経エコロジー, 2004.1, pp. 46-48, 2004.1

## 筆者紹介



Arata Toyoda

とよた あらた

**豊田 新** 1984年，NEC入社。現在，システムプラットフォーム研究所マネージャー。



Daisuke Kawasaki

かわさき だいすけ

**川崎 大輔** 2001年，NEC入社。現在，システムプラットフォーム研究所勤務。電子情報通信学会，応用物理学会会員。



Takehiro Hokimoto

ほき もとたけひろ

**保木本武宏** 1980年，NEC入社。現在，システムプラットフォーム研究所エキスパート。応用物理学会会員。



Takahiro Ohkuma

おおくま たかひろ

**大熊 孝裕** 1999年，NEC入社。現在，システムプラットフォーム研究所勤務。



Takaaki Okayama

おokayama たかあき

**岡山 高明** 1983年，NEC入社。現在，ブロードバンドソリューション事業本部ビジネス開発本部エキスパート。



Masanobu Arai

あらい まさのぶ

**新井 正伸** 1981年，NEC入社。現在，システムプラットフォーム研究所エグゼクティブエキスパート。電子情報通信学会会員。