

北海道におけるセンサネットワーク用無線技術に関する基礎研究

宮崎 俊之, 高橋 裕之, 奥田 篤, 橋場 参生

Basic Research on Low Power Wireless Technologies for Sensor Network Using in Hokkaido

Toshiyuki MIYAZAKI, Hiroyuki TAKAHASHI, Atsushi OKUDA, Mitsuo HASHIBA

抄 録

センサネットワークは省エネルギー化・生活利便性向上の課題解決にあたり、重要な要素技術である。センサネットワークで使用する省電力無線モジュールは、性能向上により伝送距離が飛躍的に伸びており、広大な北海道での活用が期待されているが、雨・雪などによる電波の減衰が著しいことから、安定した通信ネットワークを設計・構築するためには、降雨・降雪時の電波減衰のデータ蓄積、および北海道の環境でも安定した通信を行うための技術開発が必要である。本研究では悪天候時や着雪時でも安定したセンサネットワークを構築するために必要な電波減衰量データを蓄積し、省電力無線ネットワークの設計・構築のための基本技術の開発を行った。

キーワード：センサネットワーク, 省電力無線, 電磁波応用, ZigBee

1. はじめに

温度・電力などのセンサと電池、無線機を組み合わせる自律稼働とし、それらを結びつけることで広範囲の情報を取得・活用するセンサネットワークは、センシング技術の発達と電池の高容量化、また無線技術の発達により、スマートグリッドなどの用途において急速な発展を遂げている。特に無線モジュールの発達は目覚ましいものがあり、小型軽量・見通し通信距離10km・電池寿命数カ月～数年といった製品が、比較的安価に入手可能となっている（図1）。

北海道におけるセンサネットワークの活用を考えた場合、電力監視用スマートグリッド、農業用や土木用のテレメータ、医療用ボディアエリアネットワーク（BAN）など幅広い分野での使用が予想される。センサネットワークでは「通信の安定性」が重要な要素となるが、1年の約3分の1が雪に覆われる北海道においては、降雪時における屋外での通信途絶が大きな問題となる。

通信途絶の要因としては、「システム設置時には通信が行えていた」ものが、気象の変化や着雪により電波の減衰が生じ、当初の想定よりも通信距離が短くなることがあげられる。

そのため本研究では、センサネットワークで使用可能な周波数帯において、①降雪や着雪による電波減衰量を明らかにし、②実環境下における無線モジュールの評価方法を検討した上で、③安定したセンサネットワークを構築するための基礎技術の開発を行った。

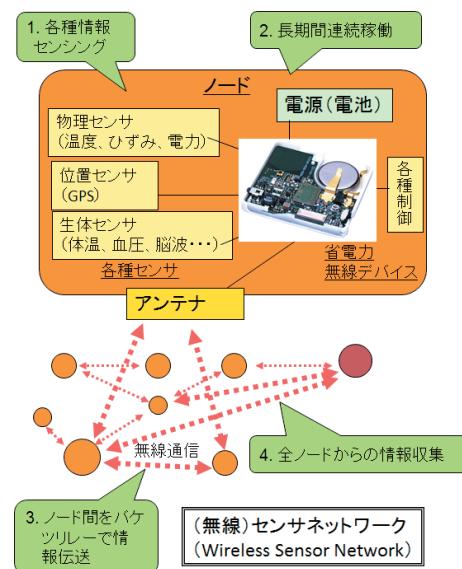


図1 センサネットワーク（概念図）

事業名：経常研究

課題名：北海道におけるセンサネットワーク用無線利用に関する基礎研究（平成24～25年度）

2. 無線伝搬への影響

2.1 天候影響の定点観測

センサネットワークによるデータ伝送手段には、設置時のネットワーク設計が容易で、設置後は長期間にわたりメンテナンスフリーで稼働することが求められる。このため、自律的なネットワーク構築能力を持った省電力無線が使われることが多い。

2012年に電波法が改正され、920MHz帯が使用可能となった。省電力無線で主に使用されるのはこの920MHz帯と2.4GHz帯の二つの周波数帯である。これらはともにUHF (Ultra High Frequency : 極超短波) 帯の電波であるが、2.4GHzには水分子による大きな電波吸収があるため、気象による影響は二つの周波数帯で大きな差があることが予想される。本研究では二つの電波帯の吸収特性の違いを明らかにするため、屋外にアンテナを設置し、晴天時・降雨時・降雪時(含む着雪時)の電波減衰量を計測した。

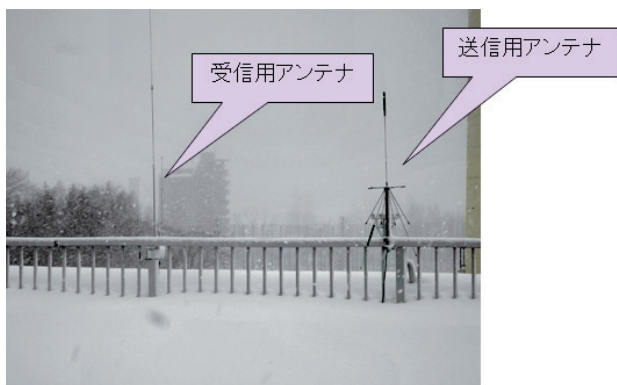


図2 電波減衰量定点計測用アンテナ

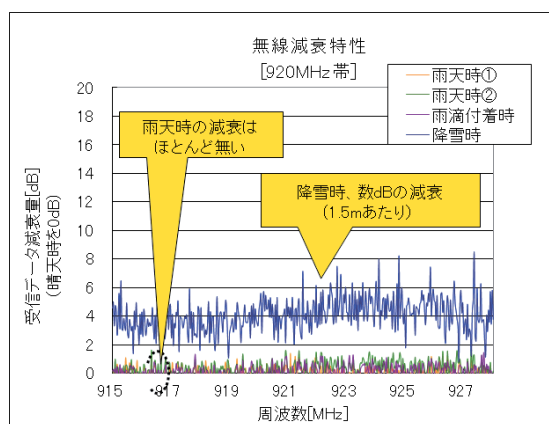


図3 TG機能付きスペクトラムアナライザ

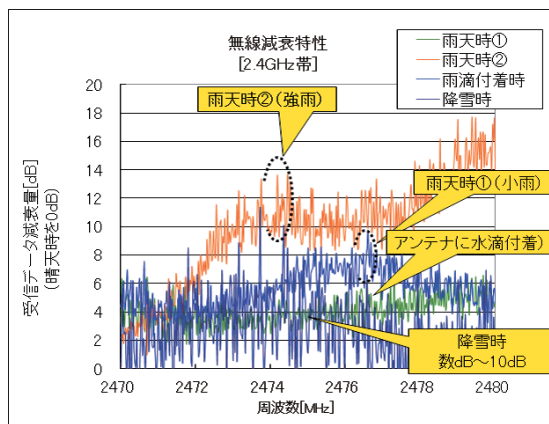
工業試験場の屋上に920MHz帯、2.4GHz帯の送受信が可能な一対のアンテナを設置し(図2)、これに接続したトラッキングジェネレータ(TG)機能付きスペクトラムアナライザ(図3)を用いて、送信・受信アンテナ間の電界強度を計測した。晴天時、降雨時および降雪時のデータを比較するこ

とで、天候による減衰量を求めた。なお計測に当たっては、電波法に定められた微弱無線の範囲内で行った。

雨天時、アンテナへの雨滴付着時および降雪時における電波減衰量の測定結果を図4に示す。両周波数帯ともに降雪による減衰が確認され、920MHz帯では数dB程度、2.4GHz帯では数dB~10dB程度の減衰があることが分かった。また2.4GHz帯では降雨による減衰が非常に大きい、920MHz帯ではほとんど影響が出ないことが確認された。以上の実験から天候の変動に対して、2.4GHz帯に対する920MHz帯の優位性が明らかとなった。



(a) 920MHz帯



(b) 2.4GHz帯

図4 920MHz帯、2.4GHz帯における電波減衰量

2.2 電界マップの作成

デジタル無線通信では、信号を変調することで電波に情報を載せる。たとえば携帯電話では位相偏移変調が、無線LANではスペクトラム拡散などの変調方式が使用されている。省電力無線では業界団体が変調方式を統括しており、周波数帯と用途に応じて、製品ごとに様々な変調方式が使用されている。電波によるデジタルデータ通信では、変調された電波を復調し、「1」、「0」の判別を行う。アナログ通信とは異なり、電波強度がある程度以上ではノイズが無い通信が行える

が、ある限界の電波強度（スレッシュホールド）を下回ると復調時の雑音が急激に増加し、通信不能となる。このスレッシュホールドは変調方式やエラー訂正方式により異なるため、無線モジュールごとに評価・確認する必要がある。また送信機からの電波強度だけでなく、受信機側のアンテナ特性や高周波回路の性能、設置場所周辺の建築物などを考慮し、通信品質を総合的に評価する必要がある。

本研究では実使用環境において、天候変化時の通信品質への影響を調べるため、GPSと無線モジュールを搭載した可搬型の電界モニタを開発し、任意の地点におけるRSSI（Received Signal Strength Indication：無線モジュールにおいて計測した相対的な受信電界強度値）を表した電界マップを作成し、受信アンテナや設置環境の影響も含めた総合的な評価を可能とした（図5）。

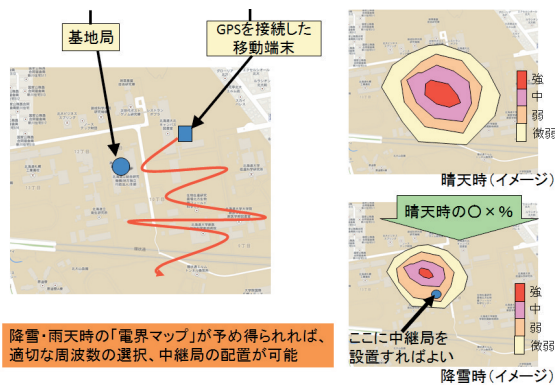


図5 電界モニタを用いた電界マップ取得（概念図）

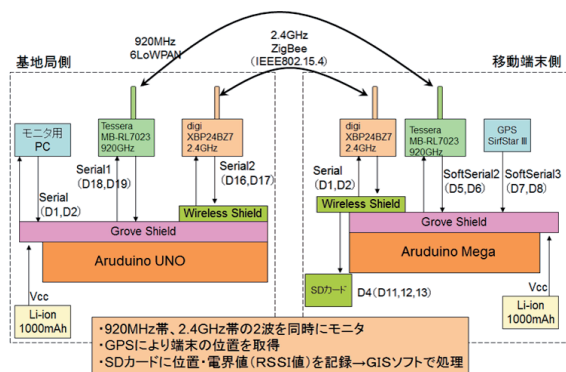
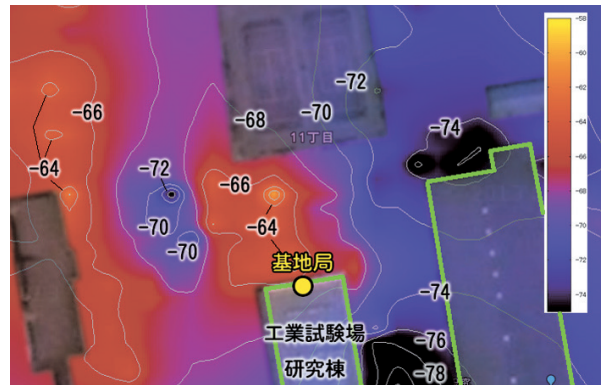


図6 開発した電界モニタの構成

図6に開発した電界モニタの構成を示す。920MHz帯の評価には家電制御通信規格の6LoWPAN無線モジュール、2.4GHz帯の評価にはZigBee無線モジュールを使用した。移動端末側（子機）にはGPSを搭載し、920MHz帯と2.4GHz帯のRSSIとともに位置情報を取得し、これらの情報を子機側ではSDカードに保存し、同時に基地局（親機）側へ無線伝

送することでモニタPC内に同時保存する構成とした。



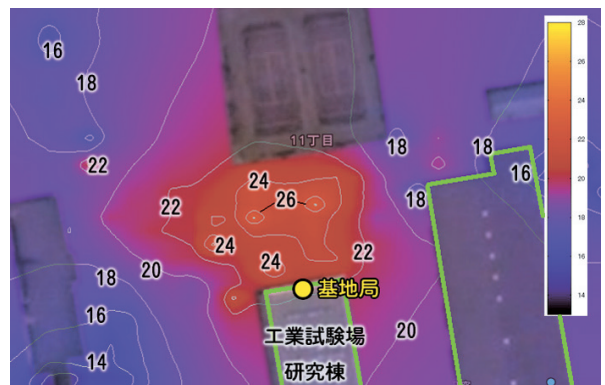
(a) 2.4GHz 晴天時



(b) 2.4GHz 降雪時



(c) 920MHz 晴天時



(d) 920MHz 降雪時

図7 電界マップの取得例（基地局は研究棟3階に設置）

電界モニタを用いて取得した電界マップ例を図7に示す。基地局は工業試験場の研究棟3階に設置し、子機は研究棟北側の周辺(屋外)を移動し、計測を行った。計測は同一日に実施し、降雪時の視程は1.5km、1時間当たりの降雪量は2cmであった。なお取得したRSSI(デシベル値)は数値が大きいほど電界強度が強いことを表す(RSSIは機種依存のため、両モジュールの数値を直接比較することはできない)。

図7の電界マップより、以下のことが分かった。

- ① 降雪による影響は、明らかに920MHz帯の方が少ない。
- ② 降雪時のRSSI減衰量は場所により異なる(雪による散乱、反射等の影響がでていると考えられる)。
- ③ 降雪の直接的な影響ではないが、建物の背後などの電界強度は920MHz帯の方が落ち込みが少なく、2.4GHz帯の方が電波の直進性が強い。

これらの知見をまとめた無線モジュールの選定ポイントを表1に示す。

表1 無線モジュールの選定ポイント

	920MHz帯モジュール	2.4GHz帯モジュール
主なプロトコル	独自プロトコル、6LoWPAN	ZigBee、Wi-Fi
1台当たりの価格	1万円以上	数千円程度
見通し通信距離(カタログ値 晴天時)	～数100m前後	～数10m、～10kmなど多数
降雪影響	あり	あり(920MHzより大)
降雨影響	(ほとんど無し)	あり(降雪と同程度以上)
製品入手性	難あり	良好
想定される使用形態	常時通信・間欠通信	間欠通信
建物背後への通信	状況により可能	難しい
周辺無線LANの影響	なし	混信による通信断の可能性あり
開発環境等	開発事例が少ない	開発事例多数
その他	国により使用周波数が異なる	世界共通の周波数帯

2.3 センサネットワーク設計への活用

電界マップを用いることで、天候による影響をあらかじめ予測することが可能となり、センサネットワークの安定性向上に活用することができる。また電界マップを多数取得し、解析することで、将来的には晴天時の電界マップから降雪時の減衰量を予想することができると思われる。

電界マップを活用したセンサーネットワークの設計ポイントを下記に示す。

- ① 屋外での通信を行う場合、降雨降雪により必ず電波減衰が発生する。通年で安定した通信を行うためには、通信モジュールの間隔に十分な余裕(マージン)をもたせる必要がある。
- ② 通信可能距離は、無線モジュールの性能以外にも、気象状況、無線モジュールの設置場所、周囲の建築物などの影響を受ける。晴天時および降雨・降雪時の電界マップを作成し、電界強度状況を地図上で表示・確認し、送信器、受信器、中継器を適切に配置する。
- ③ 省電力無線モジュールに使用できる電波は、周波数帯に

より天候に対する影響が異なる。より高い通信安定性を得るためには、複数の周波数帯の併用(周波数ダイバーシチ化)や、常に複数の伝搬経路を確保する(空間ダイバーシチ化)を行うなど、冗長性をもたせた設計を行う。

3. 無線モジュール特性評価

センサネットワークの重要な応用先として、身体にセンサを取り付け、生体情報のセンシングをネットワーク化し、健康増進や医療に活用するBAN構想が(独)情報通信研究機構などで検討されており¹⁾、無線技術の仕様がIEEE802.15.6として国際標準化されている。また牛などの家畜に体温センサを取り付け、繁殖や健康管理などに活用することも道内外の研究機関で実用研究が進んでいる²⁾。このような生体に無線モジュールを取り付ける場合、無線モジュールの姿勢(アンテナの向き)が予期できないため、固定間通信とは異なる観点から無線モジュール選定を行う必要がある。

2.4GHz帯無線モジュールから放射される電波の指向性パターンを図8に示す。このモジュールは(a)ダイポールアンテナ、(b)組込み型アンテナの2種類のアンテナを選択できる。電波の指向性は利得によって表現され、この値が大きいほど指向性が鋭いことを示す。

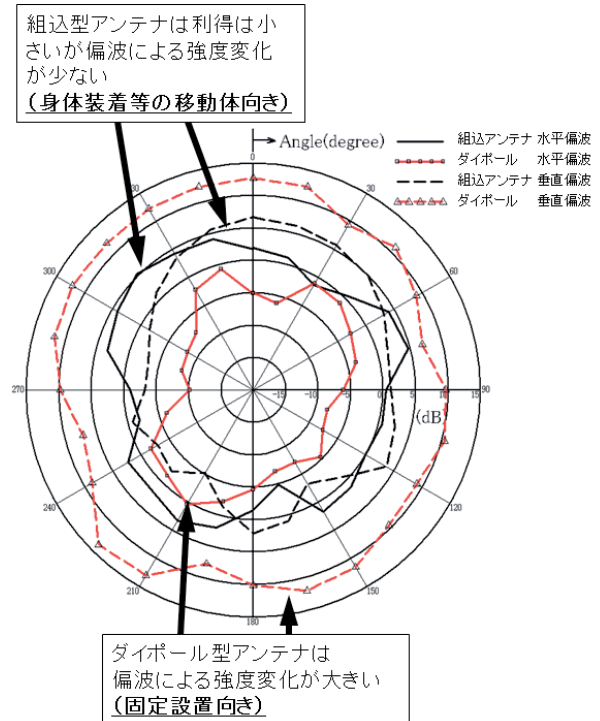


図8 省電力無線モジュールのアンテナ特性

図8の指向性パターンからは以下のことがわかる。

- ① 最も放射強度が大きいのは、ダイポールアンテナの垂直偏波成分であり、送信機を中心に等方向に放射される。

- ② 一方、ダイポールアンテナからの水平偏波成分の放射は小さく、偏波による電界強度の差が大きい。
- ③ 組み込み型アンテナは放射電界強度は小さいが、垂直・水平の両成分の差異は小さく、アンテナ姿勢や照射方向による差異が小さい。

固定設置の場合は、無線モジュールから放射する電波の最大放射方向を通信相手先に向けることができるため、ダイポール型の様に指向性を持つアンテナを用いることができる。しかし、生体に装着する場合は通信相手先との位置関係（相対角度）は常時変わることが予想されるため、等方向に電波を放射・受信する組み込み型アンテナを選択することが望ましい。

4. まとめ

無線によるデータ通信の安定性は設置環境に大きく依存し、使用目的、要求仕様、コストの面から適切なネットワーク設計を行う必要がある。本研究では、北海道においてセンサネットワークを安定的に使用するために必要となる、電波減衰量のデータを取得し、実環境における通信距離評価方法の開発を行った。

開発した評価手法はセンサネットワーク構築時に汎用的に活用することが可能である。今後は北海道内のシステム製造業や、センサネットワークを使用するユーザに対して技術移転を行う予定である。

謝辞

本研究で使用したミリ波ネットワークアナライザは経済産業省北海道地域イノベーション創出共同体形成事業研究開発環境支援事業により整備されました。また本研究で使用したEMIレシーバは財団法人JKA機械振興補助事業により整備されました。記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 李還幫：医療ヘルスケアのためのボディエリアネットワーク標準規格の策定と開発事例一，特技懇誌No.271，pp.53-60，特許庁技術懇話会（2013）
- 2) 後藤貴文：人に優しくスマートな放牧管理を実現する無線生体管理システムの研究開発，ICTイノベーションフォーラム2013 予稿集，総務省（2013）