

特定小電力無線技術

山内尚久* 友江直仁***
 大塚 晃** 工藤 銑***
 藤江良一*

Technologies for Specified Low Power Radio

Takahisa Yamauchi, Akira Otsuka, Ryoichi Fujie, Naohito Tomoe, Sen Kudo

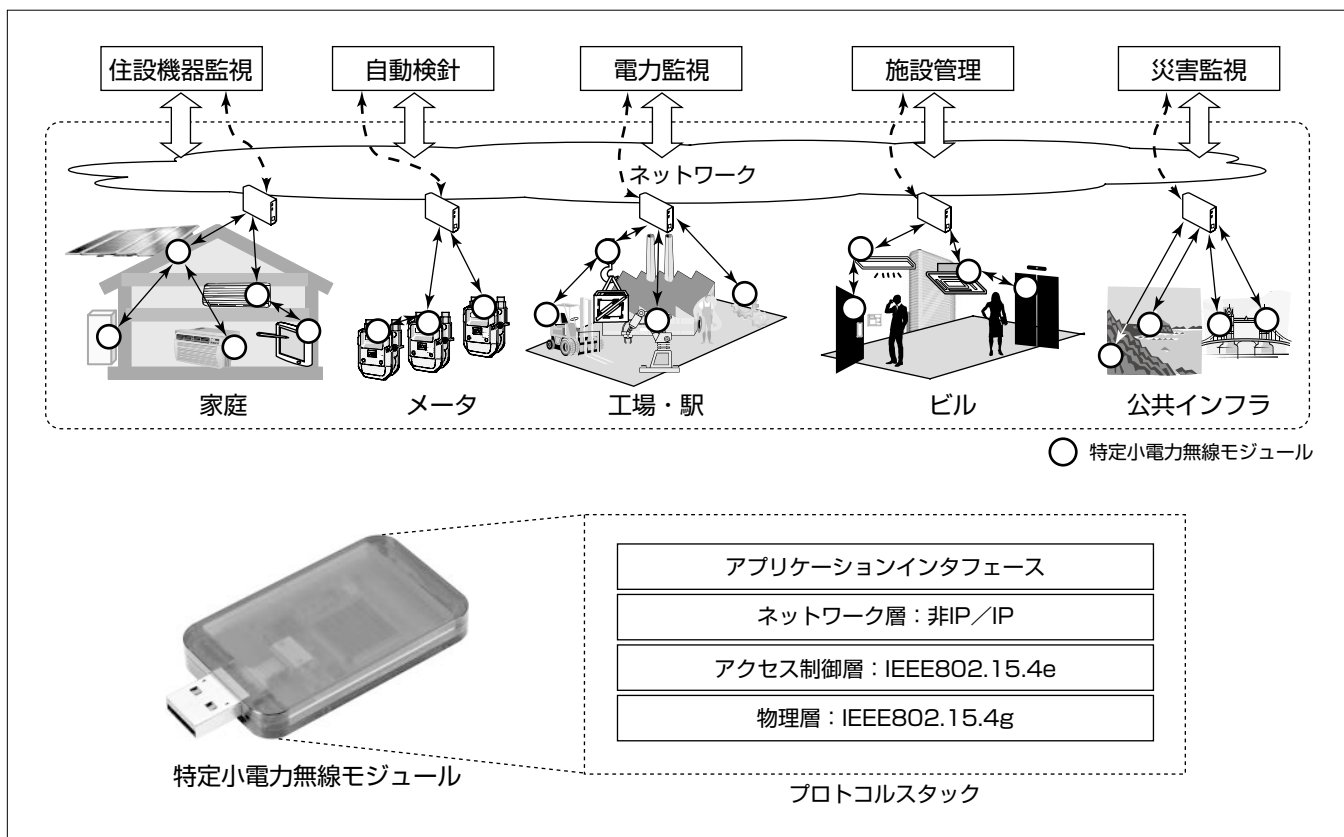
要 旨

テレメータリング、及び機器の監視・制御など、特定小電力無線を用いたネットワークによるデータ伝送に注目が集まっている。これらには無線通信規格IEEE802.15.4が適用され、中でも電波到達性が高い1GHz以下の周波数の利用に期待が高まっている。さらに、ネットワーク層にマルチホップ技術を適用することによって、広範囲な通信エリアの構築と多数の端末収容を実現する大規模ネットワークの構築が可能となる。

特定小電力無線は、国内では国際的に利用可能な920MHz帯への周波数移行と合わせて、帯域幅の拡張、及び送信出力制限の緩和等の法令改正が2012年7月から実施され、スマートメータやセンサネットワーク用の周波数として期待されている。

920MHz帯特定小電力無線は、2.4GHzや5GHz帯を用いる無線LANと比較して、伝送速度は遅いものの、電波到達性が高い、消費電力が小さい、電波干渉が少ないという特長があり、メータの自動検針の他、家庭、工場、ビル、及び公共インフラ等、様々な分野への応用が考えられる。

本稿では、様々な分野への応用を想定した小型・低消費電力な特定小電力無線モジュールの試作開発について述べる。特定小電力無線モジュールは、物理層・アクセス制御層は標準規格であるIEEE802.15.4g/eに準拠しながら、ネットワーク層は、非IP系、IP系のいずれにも対応可能としている。さらに、低消費電力化技術によって電池駆動10年を達成可能とし、広範なアプリケーションに適用されることが期待される。



特定小電力無線の適用システムと特定小電力無線モジュール

特定小電力無線は、電波法による無線局の免許を受けることなく利用することが可能な無線であり、センサネットワークやスマートメータなどへの適用が世界的にも期待されている。IEEE802.15.4で物理層、アクセス制御層が規格化されている。国内では2012年7月、世界的に利用可能な920MHz帯へ移行した。三菱電機は、住設機器監視、自動検針、電力監視、施設管理、災害監視等の幅広いアプリケーションへの適用を想定し、小型・低消費電力な特定小電力無線モジュールと用途に応じたプロトコルスタックの構築が可能な通信ソフトウェアプラットフォームを開発した。

1. ま え が き

テレメータリング、及び機器の監視・制御など、特定小電力無線を用いたネットワークによるデータ伝送に注目が集まっている。これらには無線通信規格IEEE802.15.4⁽¹⁾が適用され、中でも電波到達性が高い1GHz以下の周波数の利用に期待が高まっている。さらに、ネットワーク層にマルチホップを適用することによって、広範囲な通信エリアの構築と多数の端末収容を実現する大規模ネットワークの実現が可能となる。

特定小電力無線は、国内では国際的に利用可能な920MHz帯への周波数移行と合わせて、帯域幅の拡張、及び送信出力制限の緩和等の法令改正が2012年7月に実施され、スマートメータやセンサネットワーク用の周波数として期待されている。

920MHz帯特定小電力無線は、2.4GHzや5GHz帯を用いる無線LANと比較して、伝送速度は劣るものの、電波到達性が高い、消費電力が小さい、及び低コストであるという特長がある。また、無線LANなどと比較して電波干渉が少ないこともあり、メータの自動検針の他、家庭、工場、ビル、及び公共インフラ等、様々な分野への応用が考えられる。

本稿では、様々な分野への応用を想定した小型・低消費電力な特定小電力無線モジュールの試作開発について述べる。

2. 920MHz帯特定小電力無線

2.1 920MHz帯の無線特性

900MHz帯の特定小電力無線は、国内では915.9~929.7MHz、米国では902~928MHzが割り当てられており、862~870MHzが割り当てられている欧州でも920MHz帯への移行が検討されている。920MHz帯を使用する特定小電力無線は、無線LAN、及びBluetooth^(注1)で使用されている2.4GHz帯と比較して、通信速度は劣るが、電波到達性に優れ、透過性や回折性が高いことから、障害物の多い場所、又は屋外での利用に向いている。また、無線LANなどと比較して、電波到達性に優れるため送信出力が低くて済むことから、消費電力を抑えることが可能である(表1)。さらに、無線方式が簡易であることから、低廉な無線デバイス、及びCPUで構成可能であり、今後世界的な普及が進めば、更に低コスト化が期待できる。

国内では、従来の950MHz帯から920MHz帯へ周波数が

表1. 特定小電力無線と無線LANの比較

項目	特定小電力無線	無線LAN
標準規格	IEEE802.15.4	IEEE802.11
通信距離	最大約100m	最大約50m
消費電力	50~150mW	1~2W
通信速度	100kbps	1Mbps以上

移行されたのと同時に、利用可能な無線チャンネル数が増え、送信出力は従来の10mWから変更された最大20mWの免許不要な特定小電力無線局と最大250mWの簡易無線局が利用可能となり、スマートメータだけでなく、様々な分野への応用が期待されている。

(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc. の登録商標である。

2.2 標準化動向

センサネットワーク用の無線マルチホップ通信の無線方式としてはIEEE802.15.4で物理層、及びアクセス制御層が国際標準規格として使われてきたが、パケット長の制限、又はバッテリー駆動に対する課題があった。これらに対して、スマートメータ向けの物理層、及びアクセス制御層の修正規格として、それぞれIEEE802.15.4g⁽²⁾、及びIEEE802.15.4e⁽³⁾が2012年3月に標準化され、920MHz帯を使用する無線方式の普及が期待されている。

ネットワーク層の国際標準規格としては、IETF (Internet Engineering Task Force)が、IEEE802.15.4上でIPv6ネットワークを実現するために必要な技術として、6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)やRPL (Routing Protocol for Low power and Lossy Networks)を標準化している。6LoWPANは、IPv6/TCP/UDPのヘッダの圧縮やパケット分割等を行う技術であり、RPLは、不安定な無線通信環境で、品質の良い通信経路を動的に選択するマルチホップルーティングを実現する技術である。

スマートメータやHEMS (Home Energy Management System) コントローラーの家庭への導入が見込まれる中、経済産業省は、スマートメータから家庭内に設置したHEMSコントローラーをつなぐ通信路“ブルーート”，及びHEMSコントローラーと各種家電機器を接続する通信路“HEMSネットワーク”の通信ミドルウェアに“ECHONET Lite^(注2)”を使用することを推奨している。また、ECHONET Liteのネットワーク層には、IPを使用すること、伝送媒体には、920MHz帯特定小電力無線、無線LAN、及び電力線通信 (Power Line Communications : PLC)を同じく推奨している。ECHONET Liteの下位層に920MHz帯特定小電力無線、及びIPv6を搭載したプロトコルスタック例を図1に示す。

(注2) ECHONET Liteは、エコーネットコンソーシアムの登録商標(申請中)である。



TCP : Transmission Control Protocol
UDP : User Datagram Protocol

図1. ECHONET Liteの下位層のプロトコルスタック例

3. 特定小電力無線モジュールの試作開発

特定小電力無線は、様々な分野への応用が期待されるため、各アプリケーションが要求する性能、及び機能にそれぞれ応えるためのハードウェア、及びソフトウェア構成が必要である。

表 2. 特定小電力無線モジュールの無線諸元

項目	諸元
周波数帯	920MHz帯
変調方式	GFSK
伝送速度	100kbps
送信出力	最大20mW
アクセス方式	CSMA/CA

GFSK : Gaussian Frequency-Shift Keying
 CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance



図 2. 特定小電力無線モジュール

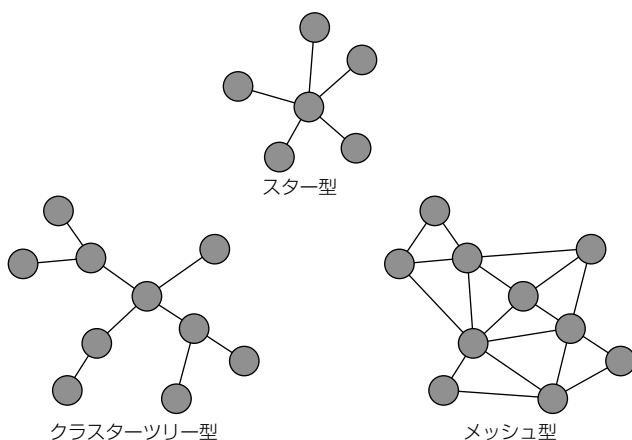


図 3. ネットワークトポロジーの種類

アプリケーションインタフェース		
ルーティングプロトコル (スター, ツリー, メッシュ)	TCP, UDP	
	RPL, IPv6	
非IP	6LoWPAN	
ネットワーク制御		
間欠受信制御	パケットサイズ	ビーコン
IEEE802.15.4e		
無線通信ドライバ		
IEEE802.15.4g		

図 4. 通信ソフトウェアプラットフォームの構成

3.1 特定小電力無線モジュール

開発した特定小電力無線モジュールは、小型・低消費電力を特長としており、30(H)×40(W)(mm)の基板に、IEEE 802.15.4g、及びARIB STD-T108⁽⁴⁾に準拠した無線デバイス、CPU、並びにアンテナを実装している。表 2 に特定小電力無線モジュールの無線諸元、図 2 に、開発したUSB(Universal Serial Bus) Dongleタイプの特小電力無線モジュールの外観を示す(72(W)×36(H)×13(D)(mm))。なお、USB Dongleタイプでは、USBインタフェースによる給電が可能のため、間欠受信制御は必ずしも必要ではないが、CPUに実装した通信ソフトウェアによる間欠受信制御によって、電池駆動で10年の動作も可能である。

3.2 通信ソフトウェアプラットフォーム

CPUに実装する通信ソフトウェアを機能ごとにモジュール分割することで、各種アプリケーションに応じたプロトコルスタック構築を可能とする通信ソフトウェアプラットフォームを開発した。

例えば、同じ自動検針でも、電力メータの自動検針は電源確保が可能だが、ガスメータの自動検針は電源確保が不可能なため、電池駆動が必要である。また、宅内のHEMSネットワークでは、マルチホップ通信は必要としないが、BEMS(Building Energy Management System)、又はFEMS(Factory Energy Management System)ネットワークでは、広範囲にノードを設置するため、マルチホップ通信は不可欠となる。さらに、マルチホップ通信でも、許容される伝送遅延が短く、また通信環境が安定しており通信経路の冗長性が不要な場合は、メッシュ型ではなく、クラスターツリー型が望ましい(図 3)。

このようにアプリケーションによって、通信距離、許容伝送遅延、通信経路の冗長性、通信環境、及び電源確保可否が異なるため、アプリケーション要求に従い、通信ソフトウェアの機能、及びパラメータを組合わせて、適切なプロトコルスタックを構築可能とした。ただし、無線デバイスとインタフェースする無線通信ドライバ、及びアプリケーションとのインタフェースAPI(Application Program Interface)は共通とした。APIを共通化することで、通信ソフトウェアを意識せずに各種アプリケーションの実装を容易にした。通信ソフトウェアプラットフォームの構成を図 4 に示す。

4. 低消費電力化技術

マルチホップ通信を適用した特定小電力無線は、自動検針、及び公共インフラ等への応用が期待されている。特定小電力無線モジュールを接続する機器、又は設置環境によっては電源供給が困難な場合がある。このような環境で特定小電力無線モジュールを使用する場合には、長期間の電池駆動が可能な低消費電力化技術が要求される。特定小電力無線モジュールの消費電力を抑えるには、通信中だけアク

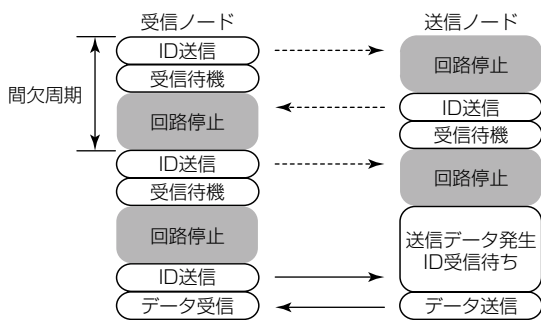


図5. 非同同期型間欠受信制御の基本動作

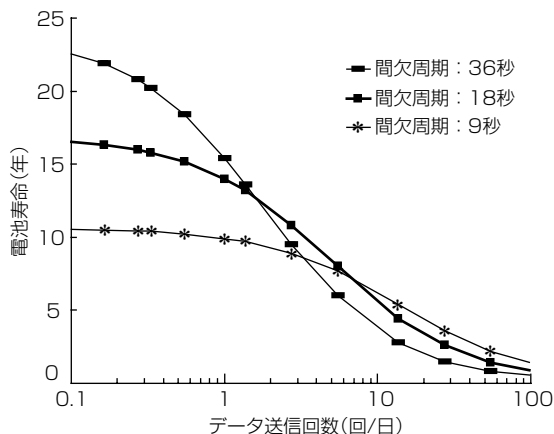


図6. データ送信回数と電池寿命の関係

ティブ状態とし、非通信中は無線デバイス、及びCPUをスリープ状態に移行する間欠受信制御が有効な手段である。

従来のマルチホップを適用した通信方式に対する間欠受信制御には、同期型と非同同期型がある。同期型ではS-MAC (Medium Access Control)⁽⁵⁾、非同同期型ではB-MAC⁽⁶⁾、X-MAC⁽⁷⁾と呼ばれる方式が知られている。複数ノードを設置するマルチホップ通信では、非同同期型の間欠受信制御の方が、ノード間の複雑な同期制御を必要としないため、ネットワークトポロジーやノード数に依存せず、ネットワークの拡張性を維持したまま低消費電力化の効果を得ることができるため、非同同期型の間欠受信制御を開発した。

開発した非同同期型の間欠受信制御の基本的な動作を図5に示す。各ノードは周辺ノードに対し自ノードに対する送信データの有無を確認するためのID送信、及び受信待機を間欠的に繰り返す。ID送信、及び受信待機の期間以外は、無線デバイス、及びCPUのコアを停止し、CPUのRTC (Real-Time Clock) だけ起動しておく。送信データが発生した送信ノードは、受信ノードが間欠的に送信するIDを受信し、その直後にデータを送信することで、厳密な同期を必要としない間欠受信制御を行うことが可能となる。

開発した間欠受信制御によって1日1回のデータ送信であれば、4,800mAhの電池容量の電池駆動で約10年の動作を実現した。図6にデータ送信回数と電池寿命の関係を示す。

電池寿命は、データ送信回数と間欠周期によって決定されるため、トラフィック特性、及び要求される伝送遅延に応じて、間欠周期、及び電池容量を選択する。

5. むすび

920MHz帯特定小電力無線は、電波到達性に優れ、障害物の多い場所、又は屋外での利用に向いているため、テレメータリング、及び機器の監視・制御など様々な分野への応用が期待されている。国内外問わず、標準化団体、企業、及び政府の取組みも活発である。

小型・低消費電力な特定小電力無線モジュール、及び通信ソフトウェアプラットフォームの試作開発を行った。試作開発した特定小電力無線モジュールは、小型・低消費電力なハードウェア、及び通信ソフトウェアを実装したものであり、非IP系、又はIP系の選択、電池駆動の有無、又はルーティングプロトコルの選択等が可能である。電池駆動の場合、10年の動作が可能である。開発した特定小電力無線モジュールは、メータの自動検針の他、家庭、工場、ビル、及び公共インフラ等、様々な分野への応用が期待される。

参考文献

- (1) IEEE Std 802.15.4-2011 Part 15.4 : Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) (2011)
- (2) IEEE Std 802.15.4g-2012 Part 15.4 : Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 3: Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Data-Rate, Wireless, Smart Metering Utility Networks (2012)
- (3) IEEE Std 802.15.4e-2012 Part 15.4 : Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC sublayer (2012)
- (4) ARIB STD-T108 : 920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備、一般社団法人 電波産業会 (2012)
- (5) Ye, W, et al. : An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, IEEE INFOCOM 2002, 3, 1567~1576 (2002)
- (6) Heinzelman, W. R., et al. : Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks, Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences (2000)
- (7) Buettner, M., et al. : X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks, Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 307~320 (2006)