

センサネットワーク向け900MHz帯の標準化動向

福井 潔 福永 茂

OKIでは、図1に示すように、スマートメタリングやホームICT基盤等の実現を目指し、屋外環境に適した大規模・高信頼マルチホップネットワーク技術やHEMSなどのホームICTサービスの基盤に適した省電力ネットワーク技術を開発している。これらのシステムでは、ネットワークに接続される機器が固定設置されており、電波の到達性に応じて設置場所を調整することが困難な場合が多いため、ネットワークの高信頼化技術に加え、適切な周波数帯を選択することが重要である。OKIでは、電波到達性と伝送レート等のバランスが良いという特徴を持つサブギガバンドを利用したシステム開発を進めている。

日本では、スマートメタ等のセンサネットワーク向けに、現在950MHz帯が割り当てられているが、ワイヤレスブロードバンドの活用に向けた周波数再編¹⁾の中で、920MHz帯に移行することが決まっている。本稿では、950MHz帯と920MHz帯を合わせて、「900MHz帯」と呼ぶこととする。

本稿では、センサネットワーク向けに割り当てられた900MHz帯の特徴とその標準化動向について説明する。

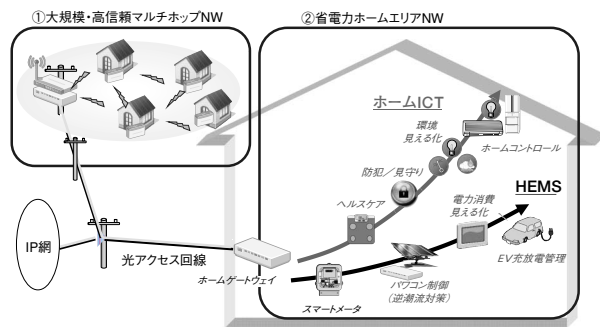


図1 OKIが取り組むセンサネットワークシステム

表1 900MHz帯の特徴

項目	説明
電波到達性	2.4GHz帯と比較して、電波の到達距離が長い。また、建物などの障害物がある場合でも、電波が回り込んで届く特性が高い。これにより、長い通信距離を必要とする場合や、障害物が多い場所での利用に適している。
消費電力	電波の到達距離が長い場合、同じ距離を通信する場合には、2.4GHz帯と比較して送信出力を下げるができる。そのため、消費電力が低い。
干渉	無線LANなどブロードバンド用途の無線システムが割り当てられていないなど、各種雑音源からの電波干渉が少ないため、安定したシステムを提供できる。
帯域	2.4GHz帯と比較して周波数帯域が狭い。従って、100kbit/s程度の通信に適している。

900MHz帯はこのような特性を有していることから、機器が固定設置されており、電波の到達性に応じて設置場所を調整することが困難な特徴を持つセンサネットワークに適している。

ただし、電波到達性だけを考えると、より周波数の低い特定小電力システム用の429MHz帯の方が特性は良い。しかし、900MHz帯で想定しているセンサネットワークでは、電波としての到達性だけでなく、マルチホップ通信のような通信方式としての到達性を組み合わせて、最終的なシステムとしての高い到達性を実現する必要がある。429MHz帯は、電波到達性は良いが、割り当てられている帯域が狭く、9,600bit/s程度の通信速度しか利用できないので、マルチホップ通信を安定して行うほどのスループットが得られない。これに対し、950MHz帯で規定されているIEEE802.15.4dの伝送速度は100kbit/sであり、センサネットワークで想定されるマルチホップを伴うデータ伝送には十分である。このように、900MHz帯は、電波到達性やマルチホップ通信の実現性、低消費電力等を考慮すると、バランスの取れた、良い選択肢であると言える。

900MHz帯の特徴

900MHz帯が割り当てられるまでセンサネットワーク向けに利用されてきた2.4GHz帯と比べ、900MHz帯は、周波数が低く、センサネットワークやRFID等の小電力無線専用の帯域であるため、表1のような特徴がある。

* 1) ZigBeeは、ZigBee Alliance Inc. の登録商標です。

900MHz帯の電波伝搬特性

OKIでは、これまでに数多くの電波伝搬測定実験を実施し、900MHz帯の電波伝搬特性が優れていることを確認している。以下では、その一部を紹介する。

900MHz帯としては、IEEE802.15.4準拠の950MHz帯の機器を用い、比較として、ZigBee^{®*1)}等で利用されているIEEE802.15.4準拠の2.4GHz帯の機器を用いた。送信出力は、2.4GHzのZigBee市場で主に利用されている1mWに揃えて測定した。

見通し環境での距離特性

見通し環境での受信電波強度(RSSI: Received Signal Strength Indication)の距離特性を図2に示す。何点かの距離で測定した結果をプロットし、さらに自由空間での距離減衰曲線をそれぞれ描いている。見通し環境とは、送信機と受信機の間にも何も無い状態のことを言う。アンテナの高さが十分に高い場合は自由空間と同等になるが、センサネットワークを想定してアンテナ高を2mに設置して測定しているため、距離が離れるにつれて「フレネル効果」と呼ばれる、地面の影響による減衰が見られる。

1mWの送信出力の場合、950MHzは約600mまで到達しており、2.4GHzと比較して約3倍の到達距離が得られている。

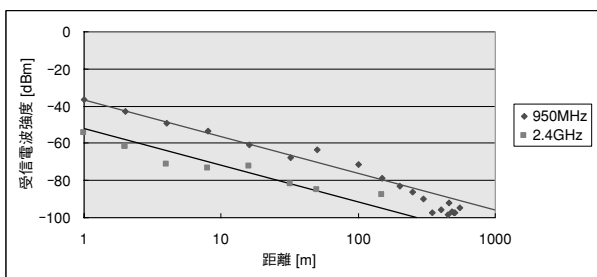


図2 見通し環境での受信電力の距離特性

見通し外環境での回りこみ特性

2.4GHz帯は、電波の直進性が強く、建物など電波を遮蔽する物がある場合は、その陰になっている場所に届きにくい。一方、950MHz程度まで周波数が下がると、建物があっても、電波が回り込んで、遮蔽物の陰まで届く傾向が強くなる。

図3は、建物で遮蔽された「見通し外」の実験環境である。この図を使っての回り込み特性の測定結果を説明する。基地局を建物の陰で受信局から直接見えない場所に設置し、受信局を離しながら50mまで測定した。2.4GHz(赤色の矢印)は見通しが取れなくなった5m地点が限界で、それ以上は通信できなかったが、950MHz(青色の矢印)は50m地点でも-86dBmの受信電力であり、さ

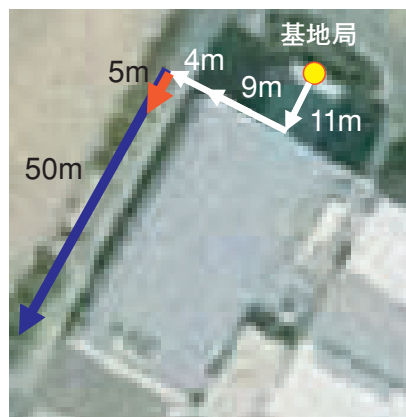


図3 回り込み特性の実験環境

らに数十～数百mの到達も期待できる。なお、この建物の左側はグラウンドになっており、電波を反射するものは存在しないため、この結果は概ね回り込みによるものと、建物の隙間を透過したものを合わせた結果と考えられ、900MHz帯の回り込み特性が優れていることが確認できた。

900MHz帯の課題

現在、センサネットワーク向けの周波数帯として、950MHz帯が割り当てられているが、この周波数帯は、「パッシブタグシステム」と「アクティブ小電力無線システム」が共用することを前提に技術的条件が決められている。また、パッシブタグシステムが制度化された後に、アクティブ小電力無線システムの制度化が行われたため、アクティブ小電力無線システムの技術的条件は、パッシブタグシステムに合わせる形で規定された。このため、以下の技術的条件がアクティブ小電力無線システムとしては、望ましくない条件となっている。

- 典型的なパケット長(数ミリ秒程度)に対して、非常に長いキャリアセンス時間(10ミリ秒)
- 典型的なパケット長(数ミリ秒程度)に対して、長い最大送信時間(キャリアセンス時間10ミリ秒の場合1秒、キャリアセンス時間128マイクロ秒の場合100ミリ秒)
- 典型的なパケット長(数ミリ秒程度)に対して、非常に長い送信後の停止時間(100ミリ秒)

920MHz帯への移行において実施される技術的条件の見直しに際してこれらの技術的条件が改善されることを期待している(図4: 次ページ)。

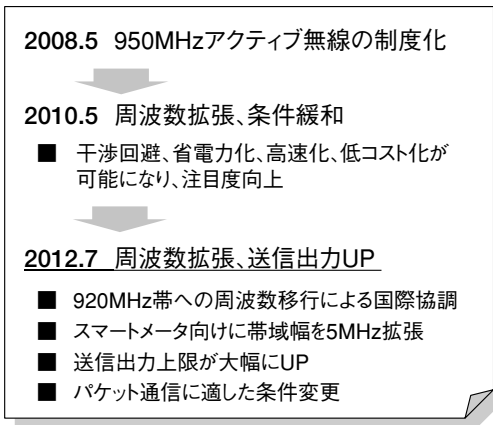


図4 国内法令改正の動向

900MHz帯の制度化動向

総務省の中長期的な電波政策の展望として示された2003年の「電波政策ビジョン」において、950MHzに「無線タグ」を割り当てることが述べられている。これを受け、2005年に送信出力1Wまでの「高出力パッシブタグシステム」が制度化された。その後、パッシブタグシステムの新しい送信出力のカテゴリが導入されると並行して、2008年にセンサネットワークやスマートメータ、アクティブタグ等に利用できる「アクティブ小電力無線システム」が制度化され、2010年には周波数拡張に伴い、いくつかの技術的条件が緩和された。

さらに、総務省において、「ワイヤレスブロードバンド実現に向けた周波数再編アクションプラン」として、次世代携帯電話(LTE: Long Term Evolution)等を国際的な動向に合わせて周波数を割り当てることなどを中心に、700MHz帯と900MHz帯の各周波数の総見直しが検討されたが、その中で、2012年7月に「アクティブ小電力無線システム」は920MHz帯へ移行することが決まった。

移行される920MHz帯は、米国の915MHz帯に含まれる帯域である。また、欧州でも、センサネットワーク向けに900MHz帯の割り当てが審議されており、国際協調の活性化が期待できる。

また、920MHz帯は、スマートメータ等のセンサネットワーク向けに5MHz幅の拡張を実施することが決まっている。これに伴い、RFIDなどのパッシブタグシステムとセンサネットワーク等のアクティブ小電力無線システムの帯域を分離し、それぞれのシステムにより適した技術的条件とする見直しが実施され、キャリアセンス時間、最大送信時間、送信後の停止時間などが改善される見込みである。

さらに、2010年末に国会で承認された放送法の改定により、免許不要局の送信出力の上限を10mW以上とすることが可能になったことに伴い、920MHz帯アクティブシステムの送信出力の上限は、20mW、一部の帯域においては250mWに改定される見込みである。

これまでの審議の結果、920MHz帯で規定される見込みであるアクティブ小電力システムの主な技術的条件を表2に示す。

表2 920MHz帯アクティブ小電力無線システムの技術的条件

局種	アクティブ小電力無線システム		
	250mW以下	20mW以下	1mW以下
局種	特定小電力無線局		
空中線利得	3dBi以下		
周波数帯	920.5~923.5MHz	920.5~923.5MHz	923.5~928.1MHz
チャンネル数等	920.6~923.4MHzの200kHz間隔計15チャンネル	920.6~928MHzの200kHz間隔計38チャンネル	①916~928MHzの200kHz間隔計61チャンネル ②928.15~929.65MHzの100kHz間隔計16チャンネル
無線チャンネル	①200kHz×n (n=1~5) ②100kHz×n (n=1~5)		
キャリアセンス時間	①128us以上 ②5ms以上	128us以上	キャリアセンス不要
キャリアセンスレベル	-80dBm		
最大送信時間	①400ms (総和360s/h以下) ②4s	400ms (総和360s/h以下)	①100ms (総和3.6s/h以下) ②50ms
送信時間後の停止時間	①2ms以上 (送信時間6ms以下の場合は0秒) ②50ms以上	2ms以上 (送信時間6ms以下の場合は0秒)	①100ms (総和3.6s/h以下) ②50ms

情報通信審議会 情報通信技術分科会 移動通信システム委員会 (第2回) 資料より抜粋

これらの技術的条件は、電波法、電波法施行規則、無線設備規則などの複数の法令にまたがって規定される。このため、利用者が理解し易いように、技術的条件に業界での運用ルール等の規定を追加したARIB標準規格が策定される。950MHz帯のアクティブ系小電力無線システムのARIB標準規格は、「ARIB STD-T96」²⁾に規定されている。920MHz帯のARIB標準規格についても、法令化と並行して策定が進められている。

日本向けPAN規格IEEE802.15.4d

本節では、日本の950MHz帯を対象としたIEEEの国際標準化の動向を説明する。

センサネットワークの市場では、ZigBeeが代表的な国際標準であり、無線方式はIEEE802.15.4が利用されている。IEEE802.15.4は2003年に初版が規定されたPAN (Personal Area Network)のための標準規格であり、当時はグローバルに利用できる2.4GHz帯と、サブギガバンドとして米国の915MHz帯と欧州の868MHz帯だけが規定対象になっていた。2008年の電波法改正に伴い、日本で950MHz帯が利用可能となったことを受け、日本の950MHz帯用の物理層をIEEE802.15.4の規定に追加する

提案を実施し、2009年にIEEE802.15.4dとして標準化を実現した。

米国915MHz帯や欧州868MHz帯向けには、二相位相偏移変調(BPSK: Binary Phase Shift Keying)が規定されていたが、日本の950MHz帯のチャンネル幅の狭いことと、低消費電力化を考慮して、OKIからは回路構成の簡単なガウスフィルタ周波数偏移変調(GFSK: Gaussian filtered Frequency Shift Keying)の規定を提案した。BPSK方式の伝送速度が20kbit/sであるのに対し、GFSKは100kbit/sを実現している。IEEE802.15.4d標準としては、従来のIEEE802.15.4の変調方式と親和性の高いBPSKと、センサネットワークにより適したGFSKの両方式を規定した標準が策定された。

GFSKはBluetoothでも利用されている汎用的な技術であるが、IEEE802.15.4で採用されたのは初めてであった。現在のIEEE802.15.4d市場ではGFSKを搭載するものがほとんどであり、後述するIEEE802.15.4gでもGFSKが主流となる見込みである。

スマートメータ間ネットワーク向け規格 IEEE802.15.4g

2008年頃からスマートメータ間ネットワーク向けの無線方式の審議がIEEE802.15.4gとして始まった。

IEEE802.15.4gはIEEE802.15.4シリーズの規格であり、PAN標準の一部ではあるが、スマートメータ向けということでSUN(Smart Utility Network)と呼ばれている。広域でのスマートメータを接続することが目的であるため、サブギガバンドを利用することが基本となっており、日本では950MHz帯が対象である。

IEEE802.15.4gではセンサネットワークに適したGFSKと既存のIEEE802.15.4で主に規定されているOQPSKに加え、将来の高レート化を見込んで無線LAN等で主流のOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)も採用されている。

GFSKに関しては、IEEE802.15.4dを規定した直後ということもあり、フレームフォーマットの細部に違いはあるが、同一のLSIで両方式の対応が可能となるように変調パラメータ等は同じ規定となっている。

伝送レートは、できるだけ各国で揃えつつ、それぞれの状況を考慮して審議を行った結果、GFSKの場合、日本向けには50kbit/s、100kbit/s、200kbit/s、400kbit/sの4つが規定されている。

まとめ

本稿では、スマートメータ等のセンサネットワークでの利用が想定されている900MHz帯の特徴および標準化の動向を紹介した。

まず、定性的な特徴の分析や、OKIがこれまでに実施した伝搬特性測定実験結果から、900MHz帯が無線マルチホップ通信を行うセンサネットワークシステムに適した周波数帯であることを示した。

次に、国内における900MHz帯制度化の動向および、900MHz帯を利用した国際標準化の動向を解説した。国内制度化においては、ワイヤレスブロードバンドの活用に向けた周波数再編の中で進められている950MHz帯から920MHz帯への移行にあたり、センサネットワークとしてより使いやすい技術的条件となるよう見直しが行われている。また、既に標準化が完了しているPAN向けのIEEE802.15.4dに加え、SUN向けのIEEE802.15.4gが標準化されつつあり、通信方式の国際標準も充実してきている。

今後OKIでは、920MHz帯において、これらの標準を利用し、スマートメータリングやホームICT基盤等に適用するネットワークシステムの開発を進める予定である。



参考文献

- 1) 総務省「ワイヤレスブロードバンド実現のための周波数検討ワーキンググループとりまとめ(ワイヤレスブロードバンド実現に向けた周波数再編アクションプラン)」
http://www.soumu.go.jp/main_content/000092954.pdf
- 2) ARIB STD-T96「特定小電力無線局950MHz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」

筆者紹介

福井 潔 : Kiyoshi Fukui. 研究開発センタ システム技術研究開発部 ネットワークシステムユニット

福永 茂 : Shigeru Fukunaga. 研究開発センタ システム技術研究開発部 ネットワークシステムユニット