



自営無線通信のデジタル化の変遷と今後の動向

株式会社日立国際電気 モノづくり統括本部 ソリューション本部 技術総括

かとう かずえ
加藤 数衛



1. はじめに

現在、携帯電話第五世代(5G)に代表される公衆通信ネットワークの技術的革新が世界的に進展している。国内においては、2019年4月、総務省は大手通信事業者に対し5Gの周波数割当てを行った。このような中、我が国の自営通信網においても、新たな方向性が議論されている。ここでは、自營業務無線のデジタル化の変遷と現状について概要を述べる。また、自営無線ブロードバンド化として、公共ブロードバンド移動通信システムの高度化の取組み、さらに、自営LTE (Long Term Evolution) あるいはPS-LTE (Public Safety-LTE) など安心・安全分野における自営無線通信システムのほか、IoT時代の無線通信システムとしてLPWA (Low Power Wide Area) 等の最近の自營業務無線を取り巻く動向の一端について言及する。

2. 自營業務無線のデジタル化の変遷

国内の自營業務無線は、無線局の局種別審査基準から大きく公共業務、一般業務及び簡易業務に区分され、大きく60/150/260/400MHz帯で運用されている。表1に業務無線の用途別区分を示す。

■表1. 業務無線の用途別区分

無線局種別	利用分野・用途
公共業務	国(官公庁)、防災行政用、警察用、消防・救急ほか 鉄道事業用、電力/ガス、水道、道路事業用ほか
一般業務	タクシー用、運輸用、放送事業用、新聞事業用ほか
簡易業務	簡易な業務用(簡易無線)

自營業務無線システムは、免許人が独自で業務エリア内をカバーする無線通信網を構築、業務形態に合わせ独自の通信機能、使い勝手を實現している。その最大の長は、専用波による電波の輻輳の少ない免許局による運用形態にある^{[1][2]}。簡易な業務用途向けに運用される簡易無線局においては共通波を用いている。

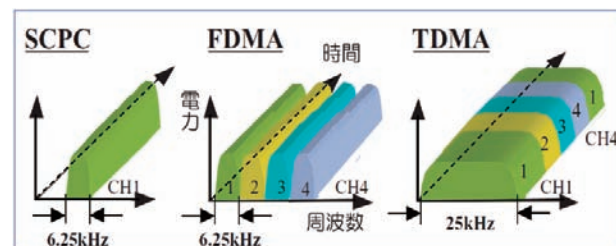
自營業務無線のデジタル化は、1995年の阪神淡路大震災を契機に、総務省において周波数の逼迫対策並びにデータ伝送などの高度化ニーズの實現に対応するため、狭帯域

デジタル方式(デジタル・ナロー)の導入に向け3か年の研究開発・実証試験を経て、1998年6月に答申され、制度化された。ここでは、チャンネル間隔6.25kHzにおいて、移動体通信における耐フェージング特性などに有利なチャンネル $\pi/4$ シフトQPSK方式、伝送速度9.6kbps等を採用した。さらに、その後10年を経て、2008年3月、アナログ方式と同じ特性の送信増幅器が利用できることから、比較的低廉な機器コストの實現が容易な4値FSK方式が答申された。以降、公共業務、一般業務無線、簡易無線など多岐にわたる自營業務分野においてデジタル化が普及進展し、現在、音声主体に低速データ通信の運用が行われている。表2及び図1^{[1][2]}に、それぞれ、現在運用されている業務用デジタル無線の主要諸元及びアクセス方式の概念図を示す。

表2に示す無線方式以外に、60MHz帯を用いる防災行

■表2. 業務無線システムの主要諸元

項目	モデル	モデルA	モデルB	モデルC	従来FMシステム
変調方式		$\pi/4$ シフトQPSK	$\pi/4$ シフトQPSK	4値FSK	FM
アクセス方式		FDMA 又は SCPC	TDMA	FDMA 又は SCPC	SCPC
複信方式		複信 単信	複信 単信	複信 単信	複信 単信
多重度		1	4	1	1
チャンネル間隔		6.25 kHz	25 kHz	6.25 kHz	12.5 kHz
伝送速度		9.6 kbps	32 kbps	4.8kbps	伝送帯域 0.3~ 3.0kHz
ロールオフ率		0.2	0.5	—	—



SCPC : Single Channel Per Carrier
FDMA : Frequency Division Multiple Access
TDMA : Time Division Multiple Access

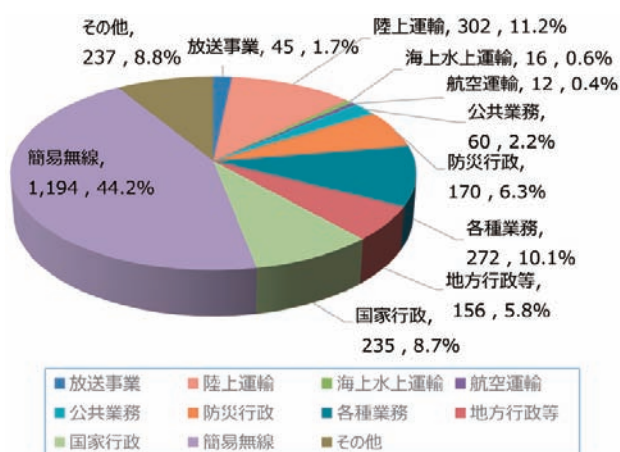
■図1. 業務無線システムにおけるアクセス方式の概念図



政無線同報系システムでは、従来の6多重TDD/16QAM方式（チャンネル間隔15kHz）による高機能なシステムに加えて、新たに2014年9月、SCPCによるQPSK方式（チャンネル間隔7.5kHz/15kHz）及び4値FSK（チャンネル間隔15kHz）が答申、制度化された。新方式では、実効的に受信感度を向上させ、屋内に設置する戸別受信機の外部アンテナ設置工事比率を低減し、システムコストの削減を目的として導入された。

国内における携帯電話（BWA：Broadband Wireless Accessを含む）の契約数が、2.2億規模を超える^[3]状況下、自営無線局数は、約310万局（アマチュア無線局を含む）^[4]となっている。アマチュア無線を除く用途別無線局の総数は約270万局であるものの、公共業務無線を中心に重要な通信を担っている。このうち現在、簡易無線局は約120万局と約45%を占めており、登録局を中心に普及が進んでいる。図2に自営業無線の用途別無線局数^[4]を示す。デジタル簡易無線局は、150/400MHz帯において、表2に示すモデルCの方式が採用されており、簡易な業務に利用することができる無線局で無線従事者の資格が必要なく、比較的簡便な手続きにより免許の取得ができる。2010年から登録免許の手続きが導入されたことによりレンタル利用が可能となり、これらが利用拡大の要因となっている。また、400MHz帯では全国の陸上以外に、2014年10月、日本周辺海域（排他的経済水域内）での運用が認められた。

ここで、デジタル業務無線端末（車載型、携帯型）等の



総局数：270万局
デジタルMCA（内数）：15.4万局
アマチュア無線：42.7万局を除く

■図2. 自営業無線の用途別無線局数（2017年度）



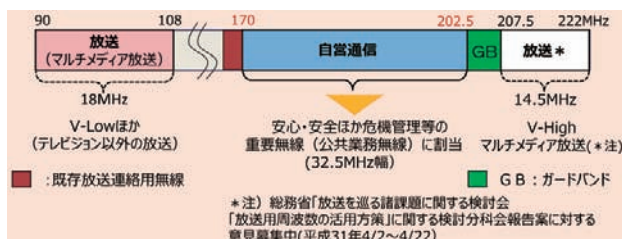
■図3. デジタル業務無線機の外観事例

外観事例を図3に示す。デジタル化により従来の音声通信に加え、GPS位置情報、状態遷移、あるいは静止画等の低速なデータ伝送など高度化機能の付加が可能となっている。

3. 自営無線ブロードバンド化の動向と高度化

我が国は地震・津波などの大規模災害に加え、台風や豪雨など世界的にも有数の災害多発地域の地勢にあり、未曾有の甚大な被害をもたらした東日本大震災、直近では熊本地震、北海道胆振東部地震あるいは西日本豪雨災害など記憶に新しい。このような状況下、山間部をはじめ被災現場等におけるリアルタイム映像伝送を可能とするため、2010年8月、地上アナログテレビジョン放送のデジタル化により空き周波数となった一部（170MHz～202.5MHz）を用いた自営ブロードバンド無線として、「公共ブロードバンド移動通信システム」が制度化された。本システムの通信仕様は、ARIB標準規格（STD-T103）で規定され、国の機関を中心に機動性に富む可搬型タイプの無線装置の導入が始まっている。図4にVHF帯地上アナログテレビジョン放送の空き周波数利用の割当てを示す。

本システムはOFDM^{*1}/TDD^{*2}方式を採用し、周波数は、



■図4. VHF帯地上アナログテレビジョン放送の空き周波数利用

*1 OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing

*2 TDD：Time Division Duplex



■表3. 本装置の主要諸元 (技術的条件)

無線方式	規格
周波数帯	VHF帯 (170~202.5MHz)
送信電力	移動局・可搬基地局 5W以下
チャンネル帯域幅	5MHz (占有周波数帯幅: 4.9MHz)
通信方式	TDD
アクセス方式 変調方式	OFDM/OFDMA※3 QPSK, 16QAM, 64QAM

1チャンネル当たり5MHz幅の6チャンネルが32.5MHz幅帯域内に割り当てられ、無線設備規則に規定する本装置の主要諸元 (技術的条件) は、表3のとおりである。

空中線電力は5W以下で、受信ダイバーシティ方式を採用し、VHF帯の伝搬特性から山間部あるいはビルなどの建造物による見通し外伝搬路においても、とりわけ良好な映像伝送が行える大きな特長を有している。また、移動環境下、おおむね伝送距離3~10kmで上り回線最大約8Mbps程度の伝送が可能である。装置外観を図5に示す。

また、本システムは、200MHz帯ブロードバンドPPDR (Public Protection and Disaster Relief) 用途として位置付けられている^[5]。2017年9月、普及促進及び高度化に向け、海上利用及び多段中継方式を可能とする関連省令が改正された。

次に、本システムにおける新たな研究開発事例について紹介する。



■図5. 装置外観

(1) ImPACT研究開発取組み概要

内閣府総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) ^{*4}が主導する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) ^{*5}の取組みとして、当社はこれまで京都大学と共同で「広域系Wi-RAN (Wireless Regional Area Network) システム」の研究開発を進めてきた^[6]。Wi-RANは数km~数十kmの範囲をカバーする地域無線ネットワークとして、マルチホップ機能を有する主に地域系のブロードバンド回線及びIoT (Internet of Things) 用途の広域情報収集回線として構築、利用を目指すシステムである。

この無線回線として、「公共ブロードバンド移動通信システム」の無線装置を適用、1周波数による多段中継方式として、情報収集と中継転送を1台の無線装置で時分割で行う「蓄積型時分割制御方式」を開発・実装し、70km超無線多段中継伝送を用いた多地点広域データ、映像伝送試験に成功^[6]、この通信仕様をARIB標準規格 (STD-T119) として標準化を行った。

(2) 実証試験の概要と主な成果

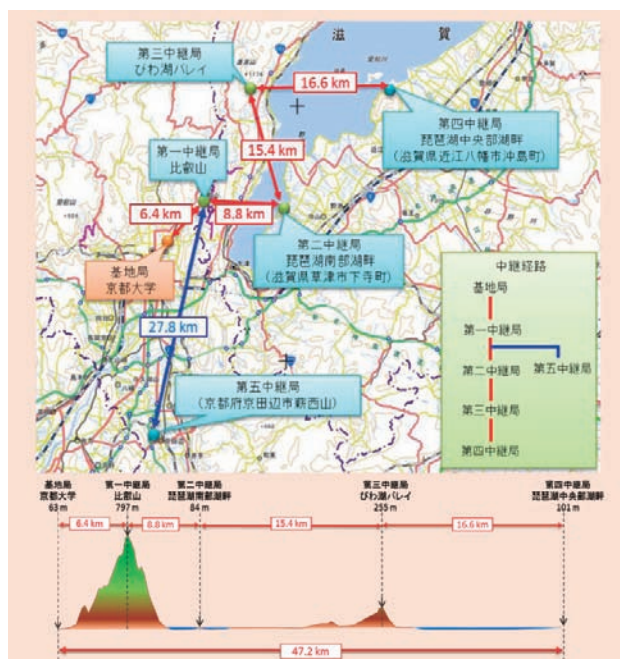
実証試験は情報収集の拠点として京都大学に基地局を設置し、比叡山、京都府及び滋賀県をまたぐ琵琶湖周辺に5局の中継局 (移動局装置) から成る無線エリアを構成した。図6に本実証試験における無線局の設置場所を示す。本実証試験では、中継段数3、分岐有の構成で、総中継距離75.0km、単区間最大距離27.8kmからなる広域エリアにおける5拠点同時中継データ・映像伝送に成功した。

さらに、本Wi-RAN同時中継回線を介して、アプリケーション事例としてWi-SUN (Wireless Smart Utility Network) 無線機を用いた無線ネットワークによる血圧・脈拍などの生体計測データを取得する医療データ収集システム並びに災害時における被災現場の情報収集として、防災・減災危機管理システムとの異システム同時運用試験に成功した。また、長距離の多段中継回線を容易に構築するために、無線装置の電源投入のみで自動的に通信可能な無線装置をセンシングし接続していくことにより、柔軟に中継エリアを順次拡大することが可能なスケーラブルな多段中継ネットワーク構築機能を開発した。

*3 OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

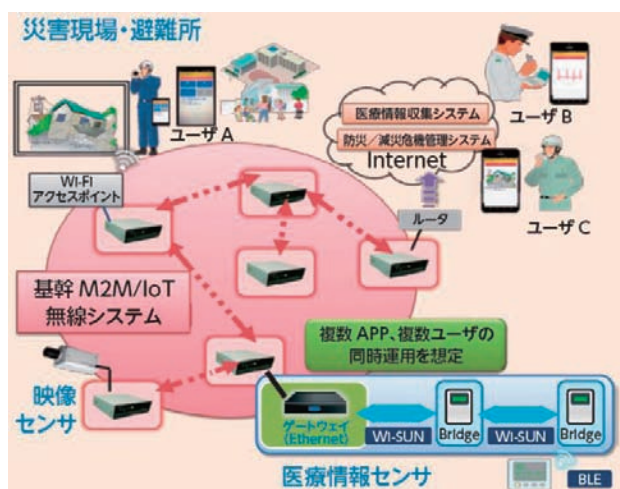
*4 CSTI: Council for Science, Technology and Innovation

*5 ImPACT: Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program



出典：Geospatial Information Authority of Japan
「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web))『京都市付近』掲載」

■図6. 無線局設置場所



■図7. 共同利用型広域系Wi-RANシステム(基幹M2M / IoT無線システム)のサービスイメージ

(3) 応用ソリューションに関する一考察

上述のとおり、従来の公共ブロードバンド移動通信システムによるPoint-Pointの映像伝送などの利用形態を拡張させ、本研究開発成果を発展的に応用するソリューションに関する一考察を図7に示す。

本サービスとして、公共・公益分野ユーザなどの共同利用形態を含め、山間地等を含む広域エリアにおける長距離伝送が可能な基幹系システムを実現することにより、今後、

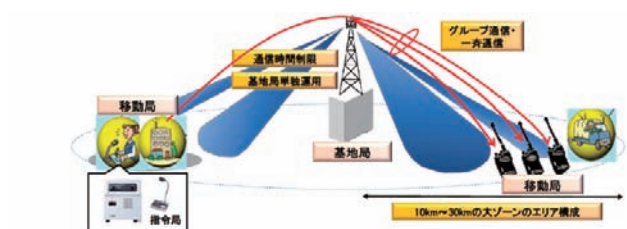
急増が見込まれるM2M / IoT用途などの多数のセンサ無線端末を接続可能とするとともに、映像情報・コンテンツなどの広帯域データ素材伝送も可能とする「共同利用型基幹M2M/IoTシステム」が想定される。これらにより、遠隔医療(僻地等におけるバイタルデータ収集)、沿岸-海洋間通信あるいは災害時など簡便に構築できる無線ネットワークとして多岐の利用シーンに機動的かつ有効に機能できるものと考えられる。

また、新たな実証試験として、2019年3月、これまで公共ブロードバンド移動通信システムのTDDの上り・下りギャップの規格上の制限から、最大伝搬距離約30km程度であったのに対し、当該ギャップタイムの最適化及び物理層の改造を行い、筑波山(茨城県つくば市)-城山湖(神奈川県相模原市)間の短区間100km超映像伝送の長距離化に成功した^[7]。

4. 自営LTEの動向

現行の900MHz帯自営用移動通信システム(デジタルMCAシステム: Multi-Channel Access System)は、都市部を中心に、自営無線の特徴である大ゾーン方式の集中基地方式を採用した中継局設備の共同利用、端末は利用者が無線局免許を取得して利用契約料を支払い利用する形態の運用が行われている。

一方、世界的に携帯電話システムは、スマートフォンの高度化、急速な普及に伴い、音声利用からインターネット接続による多様なデータ利用が主流となっている。このような中、2018年5月、総務省において、第二世代の携帯電話システムの技術をベースとして構成されている現在のデジタルMCAシステムの特徴を継承しつつ、世界的にも公共通



900MHz帯自営用移動通信システムの特徴からシステムの機能要求条件は以下のとおり。

- 10~30kmの大ゾーンエリア構成
- グループ通話等を行う機能は国際標準に準拠
- バックホール回線切断時やコア装置故障時の基地局単独運用可
- グループ通信の通信時間制限

▶ 上記要求条件を国際標準規格であるLTE方式を用いて実現する。

出典：総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告、2018/5/15
諮問第2041号「900MHz帯自営用移動通信システムの高度化に関する技術的条件」

■図8. 自営LTEシステムの機能要求条件



信への展開が進められているLTE技術を利用した自営用移動通信システム（自営LTEシステム）の導入に向けた技術基準が検討された^[5]。図8に900MHz帯自営LTEの機能要件条件^[5]を示す。

ここでは、3GPP (Third Generation Partnership Project) におけるLTEのバンドプランとの整合性及び周波数割当ての可能性が考慮され、大ゾーンによるエリア構築とバックホール回線断時に基地局単独でのエリア内通信の確保を基本方針として、比較的大ゾーンの構成が容易なFDD方式かつUHF帯 (900MHz帯) での周波数配置にある。

5. 安心・安全分野におけるPS-LTEの動向

米国、英国、豪州あるいは韓国など世界各国において、非常時や災害発生時における関連機関相互の通信確保、大規模災害時における隣接国救援用通信手段の確保を念頭にLTE方式を利用した自営用移動通信システムの導入あるいは導入検討が進んでいる。3GPPにおいて、LTEシステム上に公共安全 (Public Safety) 向けの機能を実装するための標準化作業が進められており、諸外国においてはLTE技術を利用したシステム (PS-LTE) の導入が進みつつある状況にある^[5]。また、基本的にPPDR (Public Protection and Disaster Relief: 公共保安・災害救援通信) 用の地域で調和のとれた周波数帯 (harmonized frequency range) の帯域での検討がされている。

我が国においても、2018年8月、総務省電波有効利用成長戦略懇談会報告において、PS-LTEの導入について、国内の関係機関において継続的かつ具体的に検討を進める体制を構築することが適当である^[8]とされ、2020年度までに在り方を見定めるとされている。図9に安心安全LTE (PS-LTE) システムのイメージ例を示す。



■図9. 安心安全LTE (PS-LTE) システムのイメージ例

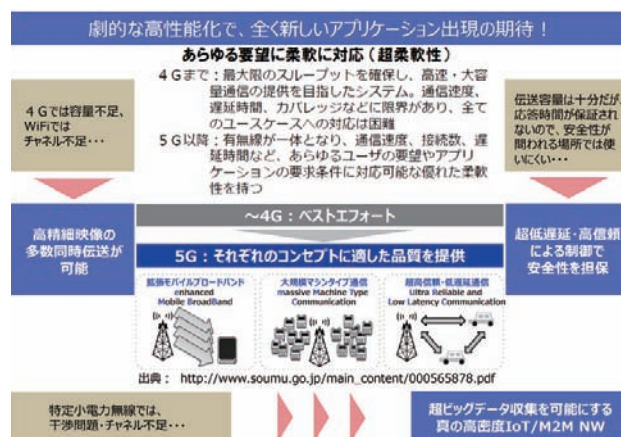
また、内閣府規制改革推進会議において、当該報告を受け、公共安全LTEの推進をさらに加速すべき^[9]とされている。ここで、PS-LTEの導入に当たっては、これまでの検討と同じく、システム要件とともに整備・管理主体の在り方が重要と考えられる。

6. 5Gの動向

現在、世界各国で、2020年に第5世代移動通信システム (5G) の実現に向け、新たな無線技術に関する研究開発や具体的なサービスを想定した実証試験が行われている。5Gは、現在の携帯電話システムである4Gを発展させ、超高速だけでなく、多数接続、超低遅延といった新たな機能を持つ次世代の移動通信システムとして、コミュニケーションツールからIoT時代のICT基盤として期待されている^[10]。

周知のとおり、5Gの通信速度は従来のLTEに比べ、100倍 (4Gの10倍) の10Gbps、接続機器数は100倍 (4Gの10倍) の100万台/km²、遅延時間は1/10 (4Gと同じ) の1msなどが要求条件とされている。これにより、自動運転、ロボット施工等のスムーズな遠隔制御、イベント会場等における臨場感のある高精細ブロードバンドサービスあるいは多様なセンサネットワークなど様々なアプリケーションの実現が想定されている。

2019年4月10日、総務省は大手携帯通信事業者4社に対し、5Gの導入のための特定基地局の開設計画の認定 (周波数の割当て) を行った^[11]。劇的な高性能化で従来とは異なる全く新しいアプリケーションの出現など、5Gがもたらす変革が期待される。図10に5Gがもたらす変革のイメージの一端を例示する。



■図10. 5Gがもたらす改革のイメージ例



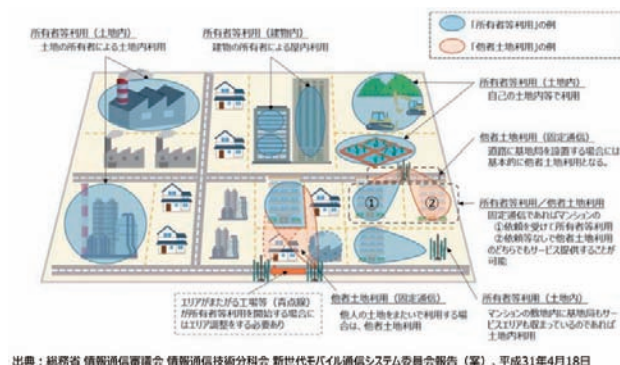
7. ローカル5Gの動向

総務省において、5Gの全国サービスの提供に加え、地域のニーズや産業分野の個別ニーズに応じて、様々な主体が柔軟に構築／利用可能な5Gを「ローカル5G」として、大きく3つの基本コンセプトの下、周波数割当ての基本方針及び技術的条件等について検討が行われている^[12]。

ここで、基本コンセプトは、①5Gを利用していること、②地域において、ローカルニーズに基づく比較的小規模な通信環境を構築するものであること及び自営通信のみならず電気通信役務としての提供も可能とし、③無線局免許を自ら取得することも、免許取得した他者のシステムを利用することも可能であることとしている。周波数帯については、現状、28.2-28.3GHzの100MHzを利用する割当てとし、自らの建物や土地の範囲内でシステムを構築する場合（システム構築を他人に依頼する場合を含む。）を中心に検討が進められている。なお、全国キャリアについては、当面の間、ローカル5G帯域の免許取得は不可^[12]としている。図11及び図12にそれぞれ、ローカル5Gのサービスイメージ



■ 図11. ローカル5Gのサービスイメージ



■ 図12. ローカル5Gの利用イメージ (28.2-28.3GHz)

及び利用イメージ (28.2-28.3GHz)^[12]を示す。

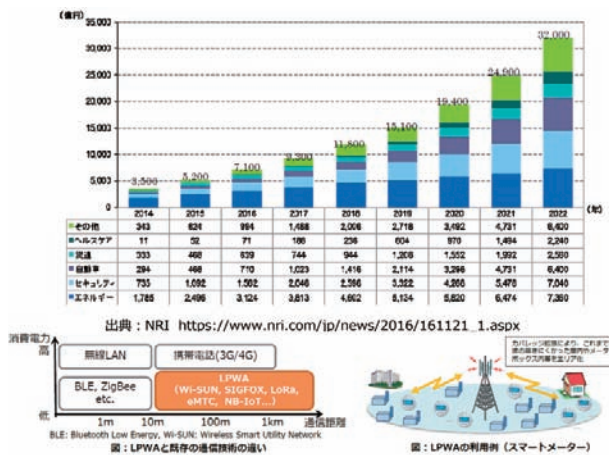
また、2.5GHz帯を用いる地域BWA (Broadband Wireless Access) 帯域における自営BWA利用として「自己の建物内」または「自己の土地の敷地内」で、建物または土地の所有者等に免許することを基本 (2次業務) とする周波数割当ての検討がされた^[12]。

なお、現在、2019年4月19日～5月23日までの間、総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告 (案)におけるローカル5Gについて、意見募集^[13]がされている。

8. IoT時代におけるLPWAの概要

あらゆるモノがインターネットにつながり、新たな価値を創出するIoT (Internet of Things) 時代の到来とともに、IoTを構成する多種多様なセンサ情報を収集する無線デバイスとして、LPWA (Low Power Wide Area) ためのデバイスが注目されている。これらのデバイス、通信ネットワーク及び収集された大量のデータ (ビックデータ) の解析・処理を行うネットワークサーバ系を含めたLPWAの世界市場は、2022年において3.2兆円規模^[14]と急成長が期待される分野と言われている。

LPWAの主な通信規格は、920MHz帯を使用するWi-SUN、SIGFOXやLoRaWAN等と携帯電話網を利用するeMTC (enhanced Machine Type Communication) やNB-IoT (Narrow Band IoT) の大きく2つに分類される。無線局設備としては、前者は主に免許を不要とする自営用無線局、後者は電気通信事業者が免許を受けて使用する無線局の位置付け^[15]にある。



出典: NRI https://www.nri.com/jp/news/2016/161121_1.aspx

■ 図13. 国内のIoT市場規模の推移と予測及びLPWAの概要



LPWAの国内におけるIoT市場規模の推移と予測及びLPWAの概要について、図13に示す。

LPWAについては、ITUジャーナル2019年4月号にて特集されており、詳細についてはこちらに譲り、ここでは割愛する。

9. おわりに

本稿では、自営無線通信のデジタル化の変遷と最近の自営業無線を取り巻く今後の動向の一端について述べた。東京2020オリンピック・パラリンピックに向け、5Gのサービスが開始されようとしている。自営LTE、PS-LTEなど安心・安全分野における新たな自営無線通信システムの動向、IoT向けLPWAの普及をはじめ、ローカル5Gなどの進展により、自営無線通信の市場は大きな変革の時代に向かっている。

その中であって、自営業無線システムがこれまで担ってきた、とりわけ公共・公益分野を中心とした公共安全・危機管理に供する無線システムについては、周波数の有効利用、共同利用型システムによる重要通信インフラの動向など、世界動向に鑑みつつ、今後の在り方が検討され、重要無線システムとして永続的に我が国の安心・安全、危機管理が担保されていくことを願いたい。

(2018年12月21日 第79回情報通信研究会より最新内容を反映)

参考文献

- [1] 加藤数衛、“業務用無線システムの現状と課題”、電子情報通信学会、通信ソサイエティマガジン、2017秋号、No.42、pp.86-91
- [2] 加藤数衛、“自営業無線のデジタル化の変遷とブロードバンド化の動向”、日立国際電気技報2017、No.18、2018年3月
- [3] 総務省“平成30年度携帯電話・全国BWAに係る電波の利用状況調査の調査結果及び評価結果の概要”、平成30年8月
- [4] ARIB電波産業年鑑2018、“電波産業調査統計(抜粋)”
- [5] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告 諮問第2041号「900MHz帯自営用移動通信システムの高度化に関する技術的条件」、平成30年5月15日
- [6] 内閣府「革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)」 「社会リスクを低減するビッグデータプラットフォーム」, “IoTデータ収集・制御用広域系Wi-RANシステムによる70km超無線多段中継伝送を用いた多地点広域データ伝送試験に成功”、<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20171018/index.html>、平成29年10月18日
- [7] ニュースリリース、“長距離化公共ブロードバンド移動通信システムによる単区間100km超映像伝送に成功”、<http://www.hitachi-kokusai.co.jp/news/2019/news190415.html>、平成31年4月15日
- [8] 総務省“電波有効利用成長戦略懇談会報告書”、平成30年8月
- [9] 規制改革推進会議“電波制度改革に関する意見”、平成30年8月1日、<https://www8.cao.go.jp/kiseikaikaku/suishin/meeting/committee/20180801/180801honkaigi01.pdf>
- [10] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告(平成30年度)
- [11] 総務省 報道資料、“第5世代移動通信システム(5G)の導入のための特定基地局の開設計画の認定”、平成31年4月10日
- [12] 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告(平成31年度)、2019年4月
- [13] 総務省 報道資料“新世代モバイル通信システム委員会報告(案)に対する意見募集”、平成31年4月18日
- [14] 野村総合研究所NRI、https://www.nri.com/jp/news/2016/161121_1.aspx、2016年11月21日
- [15] 小柳春奈、“IoTを支える新たな通信技術LPWA”、ITUジャーナル、Vol.49、No.4、2019年4月

お詫びと訂正

2019年5月1日発行の本誌5月号に、以下の誤りがございました。ここに訂正してお詫び申し上げます。
なお、現在公開の5月号該当箇所は訂正が反映されております。

「米国次世代地デジ規格ATSC 3.0の全体像 ―放送事業者の期待と課題―」

- ・P21 5万1859世帯 → 5185万9,000世帯
- ・P21 3万1488世帯 → 3148万8,000世帯
- ・P21 1万626世帯 → 1062万6,000世帯
- ・P24図4内 WXXX局 チャンネル(B) → WYYY局 チャンネル(B)