

# sample

## IoT時代の 次世代無線通信規格 LPWAの全貌

[ NB-IoT/ Cat-M1 から LoRaWAN/ SIGFOX/ IEEE 802.11ah まで ]

The LPWA (Low Power Wide Area) Network Trends in the IoT era

インプレス SmartGrid ニュースレター 編集部 [編著]

# sample

## 掲載データの取り扱いについて

---

### ■CD-ROMの内容

本報告書のCD-ROMには以下のファイルを収録しています。

- IoT時代の次世代無線通信規格LPWAの全貌.pdf  
本報告書の本文PDFです。
- ReadMe.txt  
ファイルのご利用に際しての注意事項を書いたテキストファイルです。ご利用の前にこのファイルをお読みください。

### ■データの利用にあたって

データの利用に関し、以下の事項を遵守してください。

- (1) 社内文書などに引用する場合、著作権法で認められた引用の範囲内でご利用ください。また、その際、必ず出所を明記してください。  
例:「IoT時代の次世代無線通信規格LPWAの全貌」(株式会社インプレス発行)
- (2) 雑誌や新聞などの商業出版物に引用される場合は、下記までご一報ください。  
株式会社インプレス  
〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地  
電話 03-6837-4631 / FAX 03-6837-4648  
report-info@impress.co.jp
- (3) 紙面、データ、その他の態様を問わず、本報告書に掲載したデータを利用して本製品と同一または類似する製品を製作し、頒布することを禁止します。
- (4) 本製品(およびその複製物を含む)を、当社の書面による承諾なしに第三者に譲渡、転売、貸与または利用許諾することを禁止します。
- (5) お客様が法人である場合、その法人内に従事する者のみ使用できます。

※なお、株式会社インプレスは本データの利用により発生したいかなる損害につきましても、一切責任を負いません。

### ■商標などについて

本報告書に登場する商品名・サービス名は、一般に各社の商標または登録商標です。  
本文中は™マークまたは®マークは明記していません。  
掲載したURLは2017年3月13日現在のものです。サイトの都合で変更されることがあります。  
あらかじめご了承ください。

sample

## はじめに

2017年2月27日、京セラコミュニケーションシステム（KCCS）が、日本初の「LPWA」（Low Power Wide Area、省電力型広域無線通信網）となる「SIGFOX」サービスを開始し、関心を集めている。2017年はまさに「LPWA元年」である。

「LPWA」とは、2020年頃には250～500億個も登場するIoTデバイスの接続を、低価格で低消費電力、かつ長距離に通信できるようにするIoT向けの次世代無線通信網のことである。

このLPWAは、大きく分けると、身近なスマートフォンなどで利用しているLTEをベースにしたeMTC/NB-IoT（3GPP標準）などの「セルラー系LPWA」と、920MHz帯を使用するSIGFOX／LoRaWAN／IEEE 802.11ah（HaLow）などの非セルラー系LPWAの2つの流れがある。

この2つのLPWAの波は、世界的に注目されており、すでにSIGFOXやLoRaWANなどのLPWAサービスは広く普及し、利用されている。

日本でも、前述したSIGFOXサービスを提供するKCCS、あるいはLoRaWANサービスについてはソラコム（SORACOM）や関西電力、NTT西日本、さらにNTTドコモ、KDDI、ソフトバンクなども、LPWA市場に参入あるいは参入の意向を表明している。

このようなダイナミックなLPWAの動きをとらえた本書は、次のような内容で構成されている。

第1章は、台頭するIoT時代の「LPWA」の全体像をとらえる視点からまとめられている。各種のLPWAの特徴を比較しながら、IoTネットワークプロトコルの整理、LPWAと5G（第5世代）との関係、IETF（インターネット技術標準化委員会）におけるLPWA向け新プロトコルの標準化動向やIoTに関するセキュリティほかを解説している。

第2章では、セルラー系LPWA「eMTC」「NB-IoT」の標準化とその最新動向を中心に解説する。セルラー系LPWAと非セルラー系LPWAは、相補関係と競合関係の両面をもちながら普及していくと見られている。そこで、第2章は大きく、【その1】明確となってきた2つの市場セグメント、【その2】非セルラー系LPWAの事例とセルラー系LPWAの具体的なアプリケーションの例、【その3】セルラー系LPWAの標準規格と今後の展開、の3部に分けて解説している。

第3章では、LPWAサービスの世界市場の動向調査結果を見ながら、セルラー系LPWAではNB-IoTがトップを走り、非セルラー系IoTではSIGFOXとLoRaWANが競り合っていることなどを見ていく。また、世界の通信事業者の取り組みを紹介したあと、日本の通信事業者であるNTTドコモ、KDDI、ソフトバンクのそれぞれのLPWA戦略について解説する。

第4章では、KCCSが日本で初めて開始したLPWAサービス「SIGFOX」の内容を紹介する。SIGFOXは、IoTデバイスを1年間で数百円という超低価格の通信料金で利用できる。ここでは、KCCSのビジネスモデルやSIGFOXネットワークの技術的な特徴、その適合分野のほか、同社が提供を開始したばかり



の「SIGFOX」サービスの内容を解説する。

第5章では、間もなく日本でも本格的にサービスが開始される、オープンな非セルラー系LPWA「LoRaWAN」ネットワークの構成と導入事例を解説する。ここでは、LoRaアライアンスが公開した最新仕様である「LoRaWAN仕様バージョン1.0.2」と「LoRaWANリージョンアルファバージョン0」も解説する。さらにLoRaWANのネットワーク構成と通信の仕組みやセキュリティも解説する。

第6章では、非セルラー系LPWAであるIEEE 802.11ahを解説する。920MHz帯を使用するWi-Fiファミリーの非セルラー系LPWA規格である、「IEEE 802.11ah」(Wi-Fi HaLow)の標準規格と最新動向を解説する。IEEE 802.11ahは、2016年12月に標準化が完了したばかりの最新標準規格であり、国際的にも広く普及しているWi-Fiファミリー(従来規格は100m程度)の新規格である。従来のWi-Fiに比べて低速ながら、通信範囲を拡大(1km)し、屋内でも屋外でも使用できるLPWAネットワークとなっている。

ここまで本書の内容を概略的に紹介したが、読者の皆様がLPWAによって、IoT時代にどのような新しいビジネスを創出できるのか、またはどのようなビジネスモデルを展開できるのか、本書がその一助となれば幸いである。なお、本書は月刊『インプレス SmartGrid ニュースレター』の2016年11月号～2017年2月号の記事をベースに、その後の進展などを加筆・修正して発行した内容となっている。

最後に、本書の発行にあたり、取材や資料提供などで多大なご協力をいただいた、エリクソン・ジャパンをはじめKCCS、M2Bコミュニケーションズ、NTTドコモ、KDDI、シュビキスト・テクノロジー・ギルドほか、関係者の皆様に心から御礼申し上げます。

2017年3月

インプレス SmartGrid ニュースレター編集部

# 目次

# sample

第1章	台頭するIoT時代のLPWA：「低価格」「省電力」「長距離通信」3つを同時に実現...	9
1.1	LPWA：「低価格」「省電力」「長距離通信」を同時に実現するLPWA	11
1.1.1	ITU-TにおけるIoTの定義	11
1.1.2	LPWA登場の背景	13
	〔1〕業界の境界領域を越えた新しいイノベーション	13
	〔2〕低価格・省電力・長距離通信	13
1.2	世界のIoTデバイス数の推移とその予測	14
1.2.1	『平成28(2016)年版 情報通信白書』における分析	14
1.2.2	GSMAにおける分野別LPWAの市場分析	16
1.2.3	エリクソンによるLPWAの市場分析	17
	〔1〕広域IoTデバイス接続のケース	17
	〔2〕短距離IoTデバイス接続のケース	18
1.3	代表的なLPWA：セルラー系LPWAと非セルラー系LPWA	19
1.3.1	セルラー系LPWAの動向	21
	〔1〕3GPPで策定された3つの規格	21
	〔2〕3GPPで使用される「MTC」「Cat-」という用語の解説	23
	〔3〕ワイヤレスIoTアドホックグループで審議	24
	〔4〕弱い電波でも通信できる確率を上げる技術：繰り返し送信	25
1.3.2	非セルラー系LPWAの動向	27
	〔1〕各アライアンスやIEEEで策定された3つの規格	27
	〔2〕920MHz帯電子タグシステム等作業班で審議	27
1.4	IoTが与える経済的効果の例：GE / IICの試算例	28
1.4.1	1%の改善でも、ヘルスケア産業は630億ドル(約7兆円)の運用コストの削減	28
1.4.2	第3の波(Industrial Internet)：IICの設立	29
1.5	LPWA時代におけるIoTネットワーク・プロトコルの整理	30
	〔1〕IoTプラットフォーム(ミドルウェア)	30
	〔2〕各ネットワークと各種IoTデバイスの関係	30
1.6	3GPPにおけるLPWAを包含した5G(第5世代)のロードマップ	32
1.6.1	5Gの標準化：フェーズ1とフェーズ2に分けて実現	32
1.6.2	LPWAもとどむ5G(第5世代)のサービスと要求条件	33
1.6.3	ITU-R M.2083-0勧告における	35
1.7	WiMAX、XGPにおけるLPWAへの対応	36
1.7.1	WiMAXフォーラム：R2.1AEv05/R2.2AEv03の策定	36

- 1.7.2 XGP フォーラム：Advanced Technology (eMTC) の策定..... 37
- 1.8 IETFにLPWANワーキンググループ「lpwan WG」が設立..... 38
- 1.9 IoTに関するセキュリティと関連するセキュリティガイドライン..... 40
  - 1.9.1 通信機能をもつ「モノ」の増大とネットワーク化への基盤整備..... 40
  - 1.9.2 IoTセキュリティガイドライン ver1.0..... 41

## 第2章 3GPPにおけるMTC、NB-IoT（セルラー系LPWA）の標準化と最新動向：IoTデバイスの接続／出荷数とLPWAの具体的事例..... 45

- 2.1 【その1】急成長するIoTデバイスの接続数と明確となってきた2つの市場セグメント..... 47
  - 2.1.1 LPWAがシェア伸ばし、LTEの接続数を超える..... 47
  - 2.1.2 セルラー系／非セルラー系IoTデバイス出荷数予測..... 48
    - (1) 非セルラー系IoTデバイス出荷数予測..... 48
    - (2) セルラー系IoTデバイス出荷数予測..... 49
  - 2.1.3 IoT時代に明確となった2つの市場セグメント..... 50
    - (1) ライセンス帯とアンライセンス帯..... 50
- 2.2 【その2】非セルラー系LPWA‘SIGFOX/LoRa/Ingenu/IEEE 802.11ah’の事例とセルラー系LPWA‘NB-IoT’の具体的なアプリケーション例..... 52
  - 2.2.1 各アライアンス等による非セルラー系LPWAの動向..... 52
    - (1) SIGFOXのサービスと動向..... 53
    - (2) LoRaWANのサービスと動向..... 54
    - (3) 米国Ingenu（アンジェヌ）のサービスと動向..... 57
    - (4) IEEE802.11ah：HaLow（ハイロー）のサービスと動向..... 58
- 2.3 【その3】セルラー系LPWA：3GPPにおける「Cat-M1(eMTC)とNB-IoT」標準規格と今後の展開..... 59
  - 2.3.1 3GPPにおけるセルラー系IoT（セルラー系LPWA）標準化の動向..... 59
    - (1) LTEをベースにしたCat-1、Cat-0（20MHz幅を使用）..... 60
    - (2) LTEをベースのCat-M1、NB-IoT..... 61
    - (3) Cat-M1は移動向け用途、NB-IoTは固定向け用途..... 63
  - 2.3.2 セルラー系LPWA「NB-IoT」の具体的なアプリケーションのイメージ：スマートシティで展開される大量IoTデバイスの接続例..... 63
    - (1) スマートシティに設置される大量IoTデバイスの例..... 64
    - (2) 大量IoTサービスに対応する単一NB-IoTキャリアの例..... 65
    - (3) 1つのNB-IoTキャリアで大量IoTデバイスに対応可能..... 65
    - (4) セルラー系LPWA：Cat-M1とNB-IoTのまとめ..... 66
    - (5) LTEベースのLPWAモジュールのコスト..... 67

sample

2.3.3 セルラー系LPWAにおける4つ要求条件とその実現技術..... 68  
    〔1〕低コスト化のための要件..... 68  
    〔2〕低消費電力化..... 70  
2.3.4 NB-IoTを運用する場合の3つのシナリオ..... 72  
    〔1〕GSMの跡地を利用する形態..... 73  
    〔2〕LTE帯域内で供用する形態..... 73  
    〔3〕LTEのガードバンドを利用する形態..... 73  
2.3.5 セルラー系IoTの事例と国際的な動向..... 73  
    〔1〕「NB-IoT」に準拠した世界初のデモ..... 73  
    〔2〕セルラー系IoTに関する世界動向（GSA、2016年6月）..... 74  
    〔3〕IoT市場の動向レポート：セルラー系LPWAか非セルラー系LPWAか..... 75  
2.3.6 3GPPにおけるセルラー系IoT仕様の今後の拡張..... 75  
2.3.7 誰がLPWAビジネスを制するのか..... 77

第3章 世界のLPWAサービスの市場動向とNTTドコモ・KDDI・ソフトバンクのLPWA戦略...79

3.1 世界のLPWAサービスの市場動向：セルラー系LPWAのNB-IoTがトップ、  
非セルラー系IoTのSIGFOXとLoRaが競り合い..... 81  
3.1.1 世界各地のLPWAサービスの展開状況..... 81  
3.1.2 GSMAにおけるLTE-M（eMTC）とNB-IoTのタスクグループ..... 83  
3.1.3 MWC2017で世界の通信事業者がCat-M1の展開に合意..... 84  
3.2 NTTドコモのLPWA戦略..... 85  
3.2.1 LPWA対応IoTゲートウェイ機器の実証実験..... 85  
3.2.2 LPWAによる具体的なサービスのイメージ..... 86  
3.2.3 NTTドコモの実証実験の構成..... 87  
    〔1〕自営網側..... 87  
    〔2〕重要な「IoTゲートウェイ」（相互接続装置）の役割..... 88  
    〔3〕4つの低カテゴリーLTE通信の実証実験の内容..... 88  
    〔4〕IoTクラウドにはToami（トアミ）を使用..... 89  
3.2.4 2017年春からLoRaを、夏以降からセルラー系LPWAサービスを開始..... 90  
3.3 KDDIのLPWA戦略..... 91  
3.3.1 全方位的にLPWAを推進..... 91  
3.3.2 KDDIが提供するクラウドやプラットフォーム（回線サービス）..... 94  
    〔1〕KDDI IoTクラウド Creator..... 95  
    〔2〕KDDI IoTコネク ト Air（プラットフォーム）..... 95  
    〔3〕LoRa PoCキットの提供..... 96  
3.3.3 実証事例①：LPWAによる「浸水監視サービス」の実証実験..... 97  
3.3.4 実証事例②：「LoRaWAN」を活用した除雪車の位置情報管理による実証実験..... 98

	(1) 除雪車の利用効率と除雪効果の向上を目指す.....	98
	(2) 実証実験の概要.....	99
	(3) 主な検証内容.....	99
3.4	ソフトバンクのLPWA戦略.....	100
3.4.1	2016年度中に「LoRaWAN」の提供を開始へ.....	100
	(1) LPWA ネットワークを活用したサービス.....	100
	(2) 国際的なエコシステムの構築.....	101
3.4.2	千葉県・幕張エリアで「NB-IoT」を実証実験.....	102
3.4.3	静岡県・藤枝市とソフトバンクがLPWA ネットワークを活用した エコシステム型IoTプラットフォームを構築.....	103
	(1) 実証実験の内容.....	103
	(2) 実証実験の目的.....	103
	(3) システム構築/ビジネスモデルの検証.....	104
	(4) エコシステム型IoTプラットフォームの概要.....	104
<b>第4章</b>	<b>日本初の「SIGFOX」によるLPWA サービスがスタート！：KCCSがIoTに特化し年間数百円か らの通信料金で実現へ.....</b>	<b>105</b>
4.1	日本では2020年に35億個のデバイスがIoT接続へ.....	106
4.2	LPWA サービスを提供するKCCSとSIGFOXのプロフィール.....	107
	4.2.1 KCCSのプロフィール.....	107
	4.2.2 SIGFOXのプロフィール.....	109
4.3	4つの壁を突き破るSIGFOX.....	111
	4.3.1 コスト（通信料金など）の課題.....	111
	4.3.2 消費電力（省電力化）の課題.....	111
	4.3.3 導入時の課題.....	111
	4.3.4 グローバル展開の課題.....	112
4.4	KCCSのビジネスモデル.....	112
4.5	SIGFOXの実証試験：通信距離20km以上を確認.....	113
4.6	SIGFOX ネットワークサービスとKCCSの提供範囲.....	114
	4.6.1 KCCS/SIGFOXチャンネルパートナープログラム.....	114
	4.6.2 40社のパートナーが参加.....	115
4.7	SIGFOX ネットワークの技術的な特徴.....	116
	4.7.1 LTEの10万分の1 = 100Hzで通信.....	116
	4.7.2 SIGFOX ネットワークの特徴と工夫.....	117
	(1) 複数回フレーム伝送/周波数ダイバーシチ.....	117
	(2) スペースダイバーシチ.....	118
	(3) 狭帯域信号特性.....	118

4.7.3	SIGFOX ネットワークにおける上り／下りの通信特性.....	119
	〔1〕上り（デバイス⇒基地局）の通信.....	119
	〔2〕下り（基地局⇒デバイス）の通信.....	120
4.8	SIGFOX ネットワークの主な適合分野と今後の展開.....	122
4.9	KCCS がサービス提供を開始した「SIGFOX」の概要.....	124
4.9.1	SIGFOX のエリアカバー計画.....	124
4.9.2	SIGFOX サービスの料金体系の例（目安）.....	124
4.9.3	SIGFOX の導入事例.....	124
4.9.4	検討が進められている SIGFOX の活用例.....	126
<b>第5章 日本でもサービスが開始される LoRaWAN ネットワークの構成と導入事例：</b>		
	公開された2つの仕様「最新バージョン1.0.2」なども解説.....	127
5.1	非セルラー LPWA における LoRaWAN の位置づけ.....	128
5.1.1	LPWA ネットワークの伝送速度と通信距離の関係.....	128
5.1.2	通信料金とサービス品質からみた「セルラー M2M」「NB-IoT」「LoRaWAN」の比較.....	130
5.1.3	LPWA における LoRaLAN の位置づけ.....	131
5.2	国際的に普及している LoRa/LoRaWAN 誕生の背景.....	132
5.2.1	LoRa と LoRaWAN の違い.....	132
	〔1〕LoRa は「変調方式」のこと.....	132
	〔2〕LoRaWAN は「通信システム規格」のこと.....	133
5.2.2	LoRa アライアンスのプロフィールと最新動向.....	133
5.2.3	M2B が LoRaWAN の日本規格作成へ.....	136
5.3	LoRaWAN（通信システム規格）仕様の最新バージョンとその特徴.....	137
5.3.1	LoRaWAN のプロトコル構成.....	138
5.3.2	LoRaWAN の物理層①：変調方式.....	139
5.3.3	LoRaWAN の物理層②：伝送速度.....	140
	〔1〕欧州（863～870MHz帯）や中国（779～787MHz）の場合.....	140
	〔2〕米国（902～928MHz）の場合.....	140
	〔3〕日本などを含むアジア-パシフィック（923MHzISMバンド）の場合.....	140
5.3.4	LoRaWAN の MAC 層におけるプロトコル構成：LoRa MAC.....	140
	〔1〕3つの MAC 層プロトコルの役割.....	141
	〔2〕クラス A（必須）の送受信のメカニズム.....	141
5.4	LoRaWAN のネットワーク構成と通信の仕組み.....	142
5.5	LoRaWAN における暗号化とセキュリティ.....	144
5.5.1	ネットワークセッションキー（NwkSKey）.....	144
5.5.2	アプリケーションセッションキー（AppSKey）.....	144
5.6	LoRaWAN の導入事例：街灯の遠隔管理システム「inteliLIGHT」.....	145

sample

# sample

5.7	LoRaWANシステムを実現する各種機器と実証例.....	146
5.7.1	LoRaWANに対応する半導体チップ／モジュール.....	146
5.7.2	LoRaWANシステムを実現する各種の機器.....	147
第6章 920MHz帯を使用するWi-FiファミリーのLPWA規格：		
	「IEEE 802.11ah」(Wi-Fi HaLow) 標準と最新動向.....	153
6.1	IEEE 802.11ah：ブランド名はWi-Fi HaLow.....	154
6.1.1	日本では920MHz帯(サブギガ帯)を使用.....	154
6.1.2	IEEE 802.11ahのユースケース(用途).....	155
6.2	IEEE 802.11ah規格のプロフィール.....	157
6.2.1	IEEE 802.11ah規格の主な仕様.....	157
6.2.2	IEEE 802.11ahとWi-SUNの違いと共存.....	158
6.2.3	IEEE 802.11acの信号生成回路を有効活用.....	159
6.3	IEEE 802.11ah規格で使用される周波数帯.....	159
6.3.1	802.11ahで使用する900MHz帯の状況.....	159
6.3.2	802.11ahのチャンネルバンド幅の構成.....	160
	〔1〕プライマリーチャンネル.....	161
	〔2〕セカンダリーチャンネル.....	161
6.3.3	米国は最大16MHz幅、日本は最大1MHz幅のみ.....	161
	〔1〕IEEE 802.11ahのMCS(変調・符号化方式)と伝送速度.....	161
	〔2〕タイプ1チャンネルとタイプ2チャンネル.....	164
6.3.4	IEEE802.11ahの伝送速度の例.....	164
6.4	省電力化を重視したIEEE 802.11ah規格の特徴.....	165
	〔1〕互換性の必要がないこと.....	165
	〔2〕NDP Ackの追加.....	165
	〔3〕SIG ビーコンの追加.....	165
	〔4〕TWT機能の追加.....	165
	〔5〕新プロトコルバージョン.....	166
	〔6〕リレー(中継)機能.....	166
6.5	IEEE 802.11ah準拠の半導体チップや評価ボードも登場.....	166
	〔1〕Newracom：IEEE 802.11ah準拠のトランシーバ等.....	166
	〔2〕IMEC：IEEE 802.11ah評価ボード等.....	167
6.6	2017～2018年にIEEE 802.11ah準拠の製品.....	168



# 第1章 台頭するIoT時代のLPWA:「低価格」 「省電力」「長距離通信」の3つを同時に 実現

# sample

1.1	LPWA:「低価格」「省電力」「長距離通信」を同時に実現するLPWA.....	11
1.1.1	ITU-TにおけるIoTの定義.....	11
1.1.2	LPWA登場の背景.....	13
	〔1〕業界の境界領域を越えた新しいイノベーション.....	13
	〔2〕低価格・省電力・長距離通信.....	13
1.2	世界のIoTデバイス数の推移とその予測.....	14
1.2.1	『平成28(2016)年版 情報通信白書』における分析.....	14
1.2.2	GSMAにおける分野別LPWAの市場分析.....	16
1.2.3	エリクソンによるLPWAの市場分析.....	17
	〔1〕広域IoTデバイス接続のケース.....	17
	〔2〕短距離IoTデバイス接続のケース.....	18
1.3	代表的なLPWA:セルラー系LPWAと非セルラー系LPWA.....	19
1.3.1	セルラー系LPWAの動向.....	21
	〔1〕3GPPで策定された3つの規格.....	21
	〔2〕3GPPで使用される「MTC」「Cat-」という用語の解説.....	23
	〔3〕ワイヤレスIoTアドホックグループで審議.....	24
	〔4〕弱い電波でも通信できる確率を上げる技術:繰り返し送信.....	25
1.3.2	非セルラー系LPWAの動向.....	27
	〔1〕各アライアンスやIEEEで策定された3つの規格.....	27
	〔2〕920MHz帯電子タグシステム等作業班で審議.....	27
1.4	IoTが与える経済的効果の例:GE / IICの試算例.....	28
1.4.1	1%の改善でも、ヘルスケア産業は630億ドル(約7兆円)の運用コストの削減.....	28
1.4.2	第3の波(Industrial Internet):IICの設立.....	29
1.5	LPWA時代におけるIoTネットワーク・プロトコルの整理.....	30
	〔1〕IoTプラットフォーム(ミドルウェア).....	30
	〔2〕各ネットワークと各種IoTデバイスの関係.....	30
1.6	3GPPにおけるLPWAを包含した5G(第5世代)のロードマップ.....	32
1.6.1	5Gの標準化:フェーズ1とフェーズ2に分けて実現.....	32
1.6.2	LPWAもとり込む5G(第5世代)のサービスと要求条件.....	33
1.6.3	ITU-R M.2083-0勧告における.....	35



# sample

1.7	WiMAX、XGPにおけるLPWAへの対応.....	36
1.7.1	WiMAXフォーラム：R2.1AEv05/R2.2AEv03の策定.....	36
1.7.2	XGPフォーラム：Advanced Technology (eMTC)の策定.....	37
1.8	IETFにLPWANワーキンググループ「lpwan WG」が設立.....	38
1.9	IoTに関するセキュリティと関連するセキュリティガイドライン.....	40
1.9.1	通信機能をもつ「モノ」の増大とネットワーク化への基盤整備.....	40
1.9.2	IoTセキュリティガイドライン ver1.0.....	41

2017年2月27日、日本初のLPWA「SIGFOX」のサービスが開始され、いよいよ本格的なIoT時代の幕が切って落とされた。LPWA (Low Power Wide Area、省電力型広域無線通信網) とは、IoT向けに「低価格」「省電力」「長距離通信」の3つを同時に実現する、次世代の無線通信ネットワーク規格である。これまで、高品質・高速なLTEネットワークや、100m程度の短距離ながら性能の良いWi-Fi、Bluetooth、ZigBeeなどのネットワークは多数存在していたが、「低価格」「省電力」「長距離通信」という3拍子揃ったネットワークは存在していなかった。これから2020年に向けて登場する500億個とも言われるIoTデバイスを接続するためには、LPWAはまさに最適なネットワークなのである。

第1章では、IoTやLPWAに関する全体的な流れを俯瞰できるよう、さまざまな視点から整理して解説する。

詳しくは、第2章以降の各章で解説されている内容と重複するところはあるが、本章では以下のように、

- (1) 世界のIoTデバイス数の推移および予測
- (2) 代表的なLPWA: セルラー系LPWAと非セルラー系LPWA
- (3) IoTが与える経済的効果の例: GE (ゼネラルエレクトリック) / IICの試算例
- (4) LPWA時代におけるIoTネットワーク・プロトコルの整理
- (5) 3GPPにおけるLPWAを包含した5G (第5世代) のロードマップ
- (6) WiMAX、XGPにおけるLPWAへの対応
- (7) IETFのLPWANワーキンググループ「lpwan WG」におけるLPWA向け新プロトコルの標準化動向
- (8) IoTに関するセキュリティと関連するセキュリティガイドラインなどについて解説し、全体像をとらえる。

## 1.1 LPWA:「低価格」「省電力」「長距離通信」を同時に実現するLPWA

### 1.1.1 ITU-TにおけるIoTの定義

IoTについてはいろいろな表現がされているので、最初に国際標準機関であるITU-Tにおける定義を紹介しておこう\*1。

\*1 IoT推進コンソーシアム: 総務省/経済産業省「IoTセキュリティガイドライン」2016年7月からの引用<http://www.meti.go.jp/pre/ss/2016/07/20160705002/20160705002-1.pdf>

IoTとは'Internet of Things'の略であり、ITU(国際電気通信連合)の勧告[ITU-T Y.2060(Y.4000)\*2]では、「情報社会のために、既存もしくは開発中の相互運用可能な情報通信技術によって、物理的もしくは仮想的なモノを接続し、高度なサービスを実現するグローバルインフラ」とされ、次のようなことが期待されている。

- (1) 「モノ(Things)」がネットワークにつながることで、迅速かつ正確な情報収集が可能となるとともに、リアルタイムに機器やシステムを制御することが可能となる。
- (2) カーナビや家電、ヘルスケアなど異なる分野の機器やシステムが相互に連携し、新しいサービスの提供が可能となる。

さらに、IoTは、「モノ」がネットワークにつながって新しい価値を生むだけでなく、IoTが他のIoTとつながることによって、さらに新しい価値を生むという'System of Systems (SoS)'<sup>3</sup>としての性質をもっている。図1-1に示すように、System(システム)とは、モノが繋がったIoTであり、

- ① 単独でも有用である。
- ② つながっても独立に管理可能である。

SoS(System of Systems、システム・オブ・システム)とは、IoT(System)が繋がったIoT(Systems)であり、

- ③ 完成形ではなく、構造的に進化する。
- ④ つながることで、新しい目的や機能を実現する。
- ⑤ 地理的に分散し、情報を交換できる。

というような特性を備えている。

このIoTは、デバイス(機械)同士をネットワークで相互接続するM2M(Machine to Machine communication)の形態に類似しているところから、M2M/IoT(あるいはIoT/M2M)と併記されることも多い(厳密にはそれぞれの経緯の違いはあるが、ほぼ同義語として使用されている。製造業関係ではM2Mと呼称されることが多い)。

\*2 ITU-T Y.2060(Y.4000):Recommendation ITU-T Y.2060:Overview of the Internet of things、IoTの概要。Y.2060は、そのままY.4000の番号が付け替えられた(内容に修正がないためY.4000は発行されていない)。ITU-T:International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector、国際電気通信連合の電気通信標準化部門。

sample

# 第2章 3GPPにおけるMTC、NB-IoT（セル ラー系LPWA）の標準化と最新動向： IoTデバイスの接続／出荷数とLPWA の具体的事例

# sample

2.1	【その1】急成長するIoTデバイスの接続数と明確となってきた2つの市場セグメント.....	47
2.1.1	LPWAがシェア伸ばし、LTEの接続数を超える.....	47
2.1.2	セルラー系／非セルラー系IoTデバイスの出荷数予測.....	48
	〔1〕非セルラー系IoTデバイス出荷数予測.....	48
	〔2〕セルラー系IoTデバイス出荷数予測.....	49
2.1.3	IoT時代に明確となった2つの市場セグメント.....	50
	〔1〕ライセンス帯とアンライセンス帯.....	50
2.2	【その2】非セルラー系LPWA‘SIGFOX/LoRa/Ingenu/IEEE 802.11ah’の事例と セルラー系LPWA‘NB-IoT’の具体的なアプリケーション例.....	52
2.2.1	各アライアンス等による非セルラー系LPWAの動向.....	52
	〔1〕SIGFOXのサービスと動向.....	53
	〔2〕LoRaWANのサービスと動向.....	54
	〔3〕米国Ingenu（アンジェヌ）のサービスと動向.....	57
	〔4〕IEEE802.11ah：HaLow（ヘイロー）のサービスと動向.....	58
2.3	【その3】セルラー系LPWA：3GPPにおける「Cat-M1(eMTC)とNB-IoT」標準規格と 今後の展開.....	59
2.3.1	3GPPにおけるセルラー系IoT（セルラー系LPWA）標準化の動向.....	59
	〔1〕LTEをベースにしたCat-1、Cat-0（20MHz幅を使用）.....	60
	〔2〕LTEをベースのCat-M1、NB-IoT.....	61
	〔3〕Cat-M1は移動向け用途、NB-IoTは固定向け用途.....	63
2.3.2	セルラー系LPWA「NB-IoT」の具体的なアプリケーションのイメージ：スマートシティで 展開される大量IoTデバイスの接続例.....	63
	〔1〕スマートシティに設置される大量IoTデバイスの例.....	64
	〔2〕大量IoTサービスに対応する単一NB-IoTキャリアの例.....	65
	〔3〕1つのNB-IoTキャリアで大量IoTデバイスに対応可能.....	65
	〔4〕セルラー系LPWA：Cat-M1とNB-IoTのまとめ.....	66
	〔5〕LTEベースのLPWAモジュールのコスト.....	67
2.3.3	セルラー系LPWAにおける4つ要求条件とその実現技術.....	68
	〔1〕低コスト化のための要件.....	68
	〔2〕低消費電力化.....	70

# sample

2.3.4	NB-IoTを運用する場合の3つのシナリオ.....	74
	〔1〕GSMの跡地を利用する形態.....	73
	〔2〕LTE帯域内で供用する形態.....	73
	〔3〕LTEのガードバンドを利用する形態.....	73
2.3.5	セルラー系IoTの事例と国際的な動向.....	73
	〔1〕「NB-IoT」に準拠した世界初のデモ.....	73
	〔2〕セルラー系IoTに関する世界動向(GSA、2016年6月).....	74
	〔3〕IoT市場の動向レポート:セルラー系LPWAか非セルラー系LPWAか.....	75
2.3.6	3GPPにおけるセルラー系IoT仕様の今後の拡張.....	75
2.3.7	誰がLPWAビジネスを制するのか.....	77

本章では、3GPPにおけるセルラー系LPWAであるeMTC、NB-IoTの標準化とその最新動向を中心に解説する。ただし、セルラー系LPWAと非セルラー系LPWAは、相補関係と競合関係の両面をもちながら普及していくと見られているので、次の3章に分けて解説する。

【その1】急成長するIoTデバイスの接続数と明確となってきた2つの市場セグメント

【その2】非セルラー系LPWA：SIGFOX/LoRa/Ingenu/IEEE 802.11ahの事例とセルラー系LPWA「NB-IoT」の具体的なアプリケーションの例

【その3】セルラー系LPWA：3GPPにおける「Cat-M1(eMTC)とNB-IoT」標準規格、今後の展開

【その1】と【その2】では、LPWAの市場動向をIoTデバイス接続数の推移やIoTデバイスの出荷数の予測を見ながら、具体的な事例やアプリケーションを紹介する。

【その3】では、本章のメインとなる3GPPにおける「Cat-M1(eMTC)とNB-IoT」標準規格における「低コスト化」「低消費電力化」「カバレッジ拡張(長距離通信)」「端末の大量接続」などの要求条件が、どのような技術によって実現されているかを詳しく解説する。

## 2.1 【その1】急成長するIoTデバイスの接続数と明確となってきた2つの市場セグメント

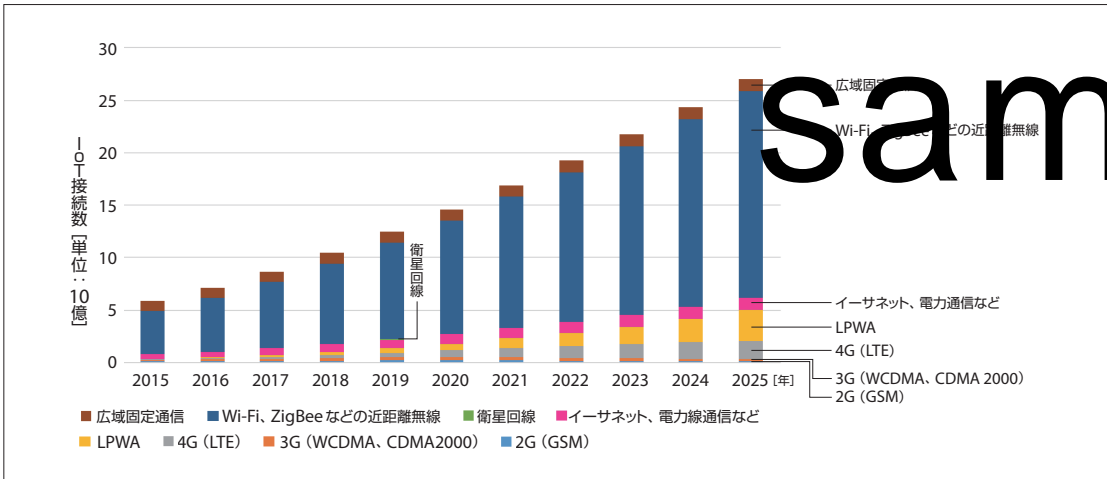
### 2.1.1 LPWAがシェア伸ばし、LTEの接続数を超える

第1章の図1-5では、全世界で通信接続される各種デバイス（機器）数の推移を紹介したが、ここでは、まず各種IoTデバイスの接続数の推移を見てみよう。

図2-1は、産業界のイノベーションの動きに対応して、2025年までの世界におけるWi-FiやZigBee、4G(LTE)などの無線通信や、イーサネットなどの固定通信に接続される、各種デバイス接続数の推移を示したものである。

現在も大きな接続数をもつWi-FiやBluetooth、ZigBeeなどの100m程度の近距離無線通信が引き続き用途を拡大している中で、新しく登場したIoTデバイス向けのLPWAが急速にシェアを伸ばし、4G(LTE)の接続数を超えて普及していくと予測されている。

図2-1 世界での各種IoTデバイス接続数の推移



出所 エリクソン・ジャパン「LPWAの技術と市場動向」、2016年10月11日(原典 Machina Research “IoT Forecast Database, Jul.2016”)

## 2.1.2 セルラー系/非セルラー系IoTデバイスの出荷数予測

次に、IoTデバイスのお荷数について、

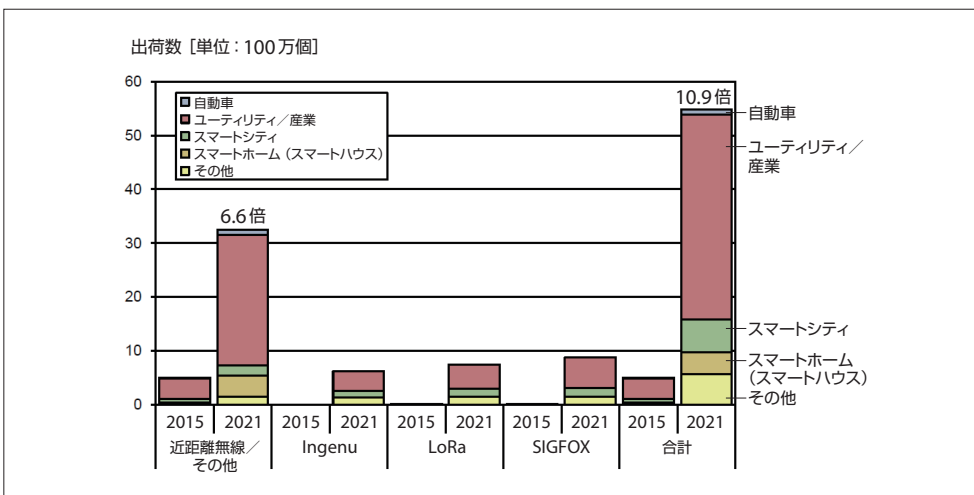
- (1) 非セルラー系IoT (LPWA) デバイスの出荷数予測 (図2-2)
- (2) セルラー系IoT (LPWA) デバイスの出荷数予測 (図2-3)

の動向について、接続されるLPWAの種類ごとの動向を見てみよう。

### 〔1〕非セルラー系IoTデバイス出荷数予測

図2-2は、2015年と6年後の2021年における非セルラー系IoTデバイスのお荷数の比較を示しているが、ここでは次のような特徴が見られる。

図2-2 非セルラー系IoTデバイス出荷数予測 (2016年6月時点)



出所 エリクソン・ジャパン「LPWAの技術と市場動向」、2016年10月11日

# 第3章 世界のLPWAサービスの市場動向と NTTドコモ・KDDI・ソフトバンクの LPWA戦略

# sample

3.1	世界のLPWAサービスの市場動向：セルラー系LPWAのNB-IoTがトップ、非セルラー系IoTのSIGFOXとLoRaが競り合い.....	81
3.1.1	世界各地のLPWAサービスの展開状況.....	81
3.1.2	GSMAにおけるLTE-M (eMTC) とNB-IoTのタスクグループ.....	83
3.1.3	MWC2017で世界の通信事業者がCat-M1の展開に合意.....	84
3.2	NTTドコモのLPWA戦略.....	85
3.2.1	LPWA対応IoTゲートウェイ機器の実証実験.....	85
3.2.2	LPWAによる具体的なサービスのイメージ.....	86
3.2.3	NTTドコモの実証実験の構成.....	87
	〔1〕自営網側.....	87
	〔2〕重要な「IoTゲートウェイ」(相互接続装置)の役割.....	88
	〔3〕4つの低カテゴリーLTE通信の実証実験の内容.....	88
	〔4〕IoTクラウドにはToami(トアミ)を使用.....	89
3.2.4	2017年春からLoRaを、夏以降からセルラー系LPWAサービスを開始.....	90
3.3	KDDIのLPWA戦略.....	91
3.3.1	全方位的にLPWAを推進.....	91
3.3.2	KDDIが提供するクラウドやプラットフォーム(回線サービス).....	94
	〔1〕KDDI IoTクラウド Creator.....	95
	〔2〕KDDI IoTコネク ト Air(プラットフォーム).....	95
	〔3〕LoRa PoCキットの提供.....	96
3.3.3	実証事例①：LPWAによる「浸水監視サービス」の実証実験.....	97
3.3.4	実証事例②：「LoRaWAN」を活用した除雪車の位置情報管理による実証実験.....	98
	〔1〕除雪車の利用効率と除雪効果の向上を目指す.....	98
	〔2〕実証実験の概要.....	99
	〔3〕主な検証内容.....	99
3.4	ソフトバンクのLPWA戦略.....	100
3.4.1	2016年度中に「LoRaWAN」の提供を開始へ.....	100
	〔1〕LPWAネットワークを活用したサービス.....	100
	〔2〕国際的なエコシステムの構築.....	101
3.4.2	千葉県・幕張エリアで「NB-IoT」を実証実験.....	102



# sample

3.4.3 静岡県・藤枝市とソフトバンクがLPWAネットワークを活用した エコシステム型IoTプラットフォームを構築.....	103
〔1〕実証実験の内容.....	103
〔2〕実証実験の目的.....	103
〔3〕システム構築/ビジネスモデルの検証.....	104
〔4〕エコシステム型IoTプラットフォームの概要.....	104

英国に本社を置く市場調査会社「OVUM (オーバム)」が、MWC 2017 (Mobile World Congress 2017、スペイン・バルセロナ)の開催に先立って発表した、注目されるトレンド「トップ10」において、LPWAが「トレンド1」(第1位)に選定された。

同調査では、セルラー系LPWAではNB-IoTがトップを走り、非セルラー系IoTではSIGFOXとLoRaが競り合っているという結果だった。

さらに、MWC 2017開幕初日の2017年2月27日、NTTドコモ、KDDIを含む世界の通信事業者9社は、IoT向けの通信規格「Cat-M1」について協力し、早期に世界中に展開していくことに合意した。すでに、NTTドコモとKDDI、ソフトバンクの3社は、セルラー系LPWAとともに、オープンな仕様であるLoRa (LoRaWAN)の商用サービスを、2016～2017年度にかけて展開することも表明している。

第2章では、世界のLPWAサービスの市場動向とともに、NTTドコモとKDDI、ソフトバンクのLPWA戦略について見ていく。

## 3.1 世界のLPWAサービスの市場動向：セルラー系LPWAのNB-IoTがトップ、非セルラー系IoTのSIGFOXとLoRaが競り合い

### 3.1.1 世界各地のLPWAサービスの展開状況

世界最大のモバイル関連のイベント「Mobile World Congress 2017 (MWC 2017)」(2017年2月27日～3月2日。主催：GSMA)が、スペイン・バルセロナで開催され、来場者は208カ国から10.8万人にのぼった\*1。会場では、「THE NEXT ELEMENT」をテーマに、AIやビッグデータ、第5世代(5G)から次世代スマートフォン、LPWA、IoTデバイス、IoT半導体チップ(などのNEXT ELEMENT)に至るまで、多様な展示・講演が行われた(写真3-1)。

\*1 <https://www.mobileworldcongress.com/start-here/2017-event-highlights/>

写真3-1 MWC 2017のテーマは「THE NEXT ELEMENT」(AI、IoT、5G、ビッグデータへの展望)



sample

出所 <http://www.gsma.photos/p750300949/h845d8c00#h845d8c00>

このMWC 2017開幕に先立つ2017年2月24日、英国に本社を置く情報通信技術に特化した市場調査会社「OVUM(オーバム)は、MWC 2017で注目されるトレンドの「トップ10」を発表した。

トレンドのトップ(トレンド1)には、「Trend 1: Ever more connected things(これまで以上にモノを接続する技術)」、すなわちLPWA(Low Power Wide Area)が選定された。

図3-1に示すように、国際的にこれから商用サービスが展開されるセルラー系LPWAにおいては、NB-IoTが先行している。一方、すでに商用サービスが開始されている非セルラー系LPWAにおいては、SIGFOXとLoRaが競い合っていることがわかる。

しかし、今後、セルラー系LPWAの商用サービスが本格化すると、このマーケット状況が変化することも考えられる。また、既存の通信事業者は、セルラー系LPWAと非セルラー系LPWAの双方が補完し合う関係にあると見ており、両方のサービスの提供を表明している。このため、今後の市場の動向が注目されている。

# 第4章 日本初の「SIGFOX」によるLPWAサービスがスタート! : KCCSがIoTに特化し年間数百円からの通信料金で実現へ

# sample

4.1	日本では2020年に35億個のデバイスがIoT接続へ.....	106
4.2	LPWAサービスを提供するKCCSとSIGFOXのプロフィール.....	107
4.2.1	KCCSのプロフィール.....	107
4.2.2	SIGFOXのプロフィール.....	109
4.3	4つの壁を突き破るSIGFOX.....	111
4.3.1	コスト(通信料金など)の課題.....	111
4.3.2	消費電力(省電力化)の課題.....	111
4.3.3	導入時の課題.....	111
4.3.4	グローバル展開の課題.....	112
4.4	KCCSのビジネスモデル.....	112
4.5	SIGFOXの実証試験:通信距離20km以上を確認.....	113
4.6	SIGFOXネットワークサービスとKCCSの提供範囲.....	114
4.6.1	KCCS/SIGFOXチャンネルパートナープログラム.....	114
4.6.2	40社のパートナーが参加.....	115
4.7	SIGFOXネットワークの技術的な特徴.....	116
4.7.1	LTEの10万分の1 = 100Hzで通信.....	116
4.7.2	SIGFOXネットワークの特徴と工夫.....	117
	[1]複数回フレーム伝送/周波数ダイバーシチ.....	117
	[2]スペースダイバーシチ.....	118
	[3]狭帯域信号特性.....	118
4.7.3	SIGFOXネットワークにおける上り/下りの通信特性.....	119
	[1]上り(デバイス⇒基地局)の通信.....	119
	[2]下り(基地局⇒デバイス)の通信.....	120
4.8	SIGFOXネットワークの主な適合分野と今後の展開.....	122
4.9	KCCSがサービス提供を開始した「SIGFOX」の概要.....	124
4.9.1	SIGFOXのエリアカバー計画.....	124
4.9.2	SIGFOXサービスの料金体系の例(目安).....	124
4.9.3	SIGFOXの導入事例.....	124
4.9.4	検討が進められているSIGFOXの活用例.....	126

いよいよ日本でも、注目されているIoT向けに特化したLPWA<sup>\*1</sup> サービスが開始された。まさに「LPWA元年」である。日本のトップバッターとして、京セラコミュニケーションシステム株式会社（以下、KCCS）が、フランスのSIGFOX（シグフォックス）社が提供するIoTネットワークを、2017年2月27日から東京都内23区を皮切りに、順次サービスを開始した。

1回線（1デバイス接続）の通信料金が「1年間でわずか数百円」からでも可能とあって、そのインパクトは大きく、すでに全世界32カ国、人口約5億人をカバー（2017年3月時点）するサービスが展開されている。

ここでは、KCCSのビジネスモデルやSIGFOXネットワークの技術的な特徴、SIGFOXネットワークの主な適合分野、さらにKCCSが提供を開始した「SIGFOX」サービスの概要を解説する。

sample

## 4.1 日本では2020年に35億個のデバイスがIoT接続へ

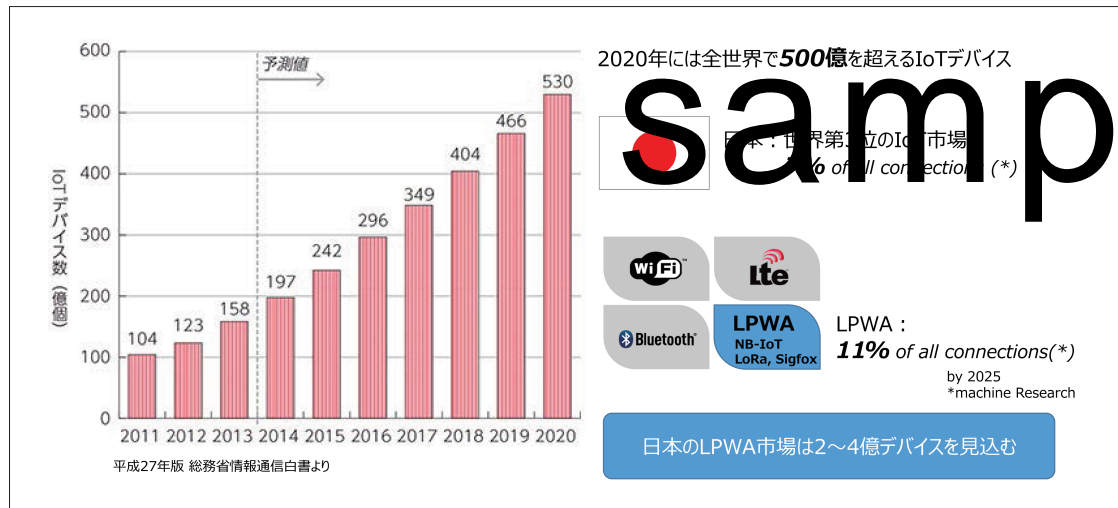
IoT時代を迎え、ネットワークに接続されるモノ（機器）は、従来のパソコンやスマートフォン、ウェアラブル端末だけでなく、自動車や家電機器をはじめ、製造業・農業・医療分野で使用される、大量のセンサーや通信モジュールなどのIoTデバイスも接続されるようになる。

具体的には、図4-1のグラフに示されるように、2020年には全世界で500億個を超えるIoTデバイスが普及すると予測されている<sup>\*2</sup>。また、別の調査レポート（Machine Research社）によると、日本は第3位のIoT立国ともいわれており、日本では世界の約7%に相当する35億個程度のデバイスが普及すると見られている。

\*1 LPWA：Low Power Wide Area、省電力型広域無線ネットワーク。IoTデバイスを大量に相互接続するために開発された、「低価格」「低消費電力」「長距離通信」が可能なネットワーク。免許が必要なLTEベースのセルラー型LPWA（例：NB-IoT、eMTC）と、免許が不要な920MHz帯（日本の場合）を使用する非セルラー型LPWA（例：SIGFOX、LoRaWAN）の2つの流れがある。

\*2 総務省：平成27年版 情報通信白書、<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h27.html>

図4-1 日本のLPWAの市場予測



出所 情報通信審議会作業班資料：「SIGFOX ネットワークのご紹介」(京セラコミュニケーションシステム株式会社、2016年11月24日  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000450876.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000450876.pdf)

## 4.2 LPWA サービスを提供する KCCS と SIGFOX のプロフィール

### 4.2.1 KCCS のプロフィール

2017年2月からLPWA サービスを開始したKCCSは、1995年に京セラから分離独立して設立され、京セラが76.3%、KDDIが23.7%を出資する従業員数(連結)が3,000名を超える企業である(表4-1)。

前述したように、2020年には全世界で500億個ものIoT関連デバイスが接続されていくと予測されているが、KCCSは、この膨大な市場に着目し、同社のMVNO\*<sup>3</sup>などの経験を活かして現状を分析し、IoTに特化したネットワーク「SIGFOX」を採用したサービスの提供を開始した。

図4-2に示すように、現在、高速・長距離通信を実現する3G/LTEや、距離は短い気軽な高速通信に使えるWi-FiやBluetoothなどのネットワークは存在する。しかし、これまでIoT時代に求められる「低コストで、低消費電力、シンプルに(簡便に)かつ長距離通信ができる」LPWAのようなネットワークは存在しなかった。このようなLPWAネットワークの位置づけを示したのが図4-2の左上部分である。

このLPWAには、SIGFOXのほか本書の他章で解説されているLoRaWANやNB-IoT、eMTCなどの規格が登場しているが、これらはそれぞれの特徴をもちターゲットも異なることから、今後、用途によって棲み分けられていくと見られている。

\*3 MVNO : Mobile Virtual Network Operator、仮想移動体通信事業者

表4-1 京セラコミュニケーションシステム (KCCS) のプロフィール (敬称略)

項目	内容
社名 (英文名)	京セラコミュニケーションシステム株式会社 (KYOCERA Communication Systems Co., Ltd., 略称: KCCS)
本社所在地	〒612-8450 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6 (京セラ本社ビル内) TEL: 075-623-0000 代表
設立	1995年9月22日
代表取締役社長	代表取締役社長 黒瀬 善仁 (くろせ よしひと、写真4-1)
資本金	29億8,594万6,900円
売上高 (連結)	1,147億5,461万円 (2016年3月期)
従業員数 (連結)	3,097名 (2016年3月末現在)
株主	京セラ: 76.3%、KDDI: 23.7%
主な事業内容	インフラからシステム、セキュリティまでのソリューションを提供する「ICT事業 (ソフト開発、データセンター)」、モバイル基地局の設計・構築・保守、通信ネットワークの最適化などを行う「通信エンジニアリング事業」、メガソーラー発電所の設計・建設・保守などを行う「環境エネルギーエンジニアリング事業」などのほか、「経営コンサルティング事業」などを展開。

sample

出所 <http://www.kccs.co.jp/company/overview.html> をもとに編集部作成

写真4-1 黒瀬 義仁 氏 (京セラコミュニケーションシステム株式会社 代表取締役社長)



出所 SmartGrid ニュースレター編集部撮影



# 第5章 日本でもサービスが開始される LoRaWAN ネットワークの構成と導入 事例：公開された最初の仕様「最新バージョン1.0.2」なども解説

# sample

5.1	非セルラー LPWA における LoRaWAN の位置づけ .....	128
5.1.1	LPWA ネットワークの伝送速度と通信距離の関係 .....	128
5.1.2	通信料金とサービス品質からみた「セルラー M2M」「NB-IoT」「LoRaWAN」の比較 .....	130
5.1.3	LPWA における LoRaLAN の位置づけ .....	131
5.2	国際的に普及している LoRa/LoRaWAN 誕生の背景 .....	132
5.2.1	LoRa と LoRaWAN の違い .....	132
	(1) LoRa は「変調方式」のこと .....	132
	(2) LoRaWAN は「通信システム規格」のこと .....	133
5.2.2	LoRa アライアンスのプロフィールと最新動向 .....	133
5.2.3	M2B が LoRaWAN の日本規格作成へ .....	136
5.3	LoRaWAN (通信システム規格) 仕様の最新バージョンとその特徴 .....	137
5.3.1	LoRaWAN のプロトコル構成 .....	138
5.3.2	LoRaWAN の物理層①：変調方式 .....	139
5.3.3	LoRaWAN の物理層②：伝送速度 .....	140
	(1) 欧州 (863 ~ 870MHz 帯) や中国 (779 ~ 787MHz) の場合 .....	140
	(2) 米国 (902 ~ 928MHz) の場合 .....	140
	(3) 日本などを含むアジア-パシフィック (923MHz ISM バンド) の場合 .....	140
5.3.4	LoRaWAN の MAC 層におけるプロトコル構成：LoRa MAC .....	140
	(1) 3つの MAC 層プロトコルの役割 .....	141
	(2) クラス A (必須) の送受信のメカニズム .....	141
5.4	LoRaWAN のネットワーク構成と通信の仕組み .....	142
5.5	LoRaWAN における暗号化とセキュリティ .....	144
5.5.1	ネットワークセッションキー (NwkSKey) .....	144
5.5.2	アプリケーションセッションキー (AppSKey) .....	144
5.6	LoRaWAN の導入事例：街灯の遠隔管理システム「inteliLIGHT」 .....	145
5.7	LoRaWAN システムを実現する各種機器と実証例 .....	146
5.7.1	LoRaWAN に対応する半導体チップ/モジュール .....	146
5.7.2	LoRaWAN システムを実現する各種の機器 .....	147



いよいよ非セルラー系LPWAである「LoRaWAN」サービスが日本でも開始される。

LoRaWANは、オープンな規格であることもあって、すでに全世界で34社を超える通信事業者（オペレータ）が商用サービスを開始し、さらに150以上の都市で導入に向けた実証実験や展開が行われている（2017年3月現在）。日本においてもすでに、NTTドコモやKDDI、ソフトバンクなどの通信事業者をはじめ、関西電力やNTT西日本に至るまで、幅広い企業が商用サービスの参入に、続々と名乗りを挙げている。

ここでは、まず、LoRaWANがなぜ国際的に普及したのか、その誕生の背景をみながら、LoRaアライアンスが公開したLoRaWAN（通信システム規格）の最新仕様である「LoRaWAN仕様バージョン1.0.2」と「LoRaWANリージョナルパラメータバージョン1.0」について解説する。

続いて、LoRaWANのネットワーク構成と通信の仕組みや、LoRaWANにおける暗号化とセキュリティを解説し、LoRaWANの導入事例を示しながら、LoRaWANシステムを実現する各種機器と実証例を述べる。

sample

## 5.1 非セルラー LPWAにおけるLoRaWANの位置づけ

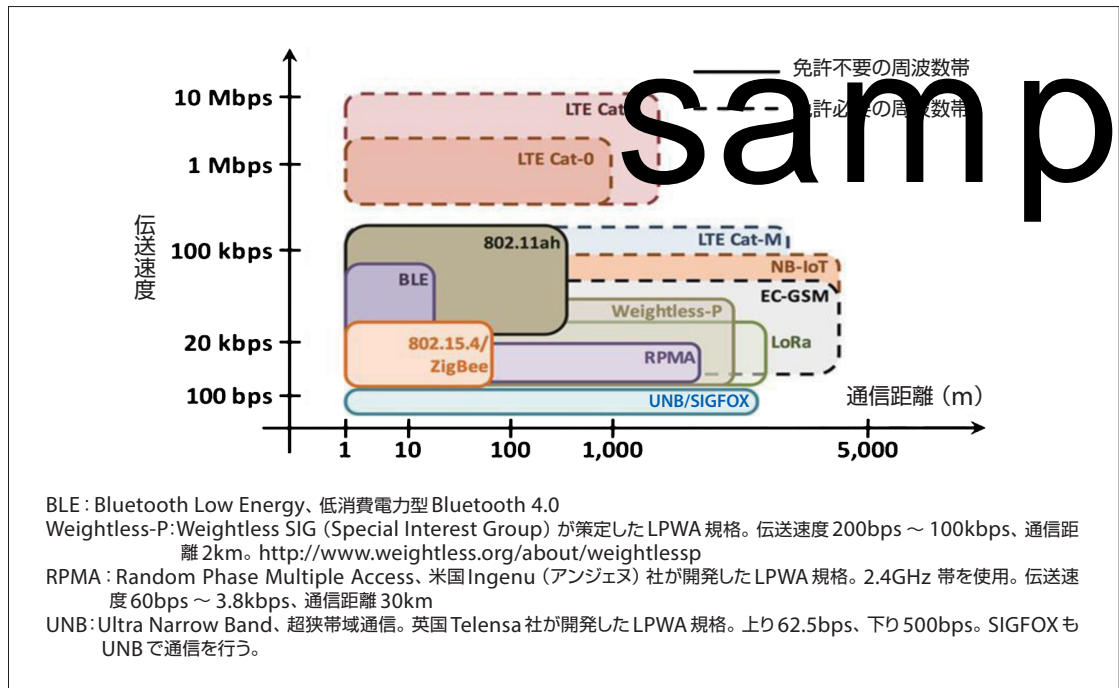
---

### 5.1.1 LPWAネットワークの伝送速度と通信距離の関係

図5-1は、米国カリフォルニア州にあるモバイル市場の専門調査会社「Mobile Experts社」が作成した、LoRaアライアンスのホワイトペーパー（写真5-1）に紹介されたものである。

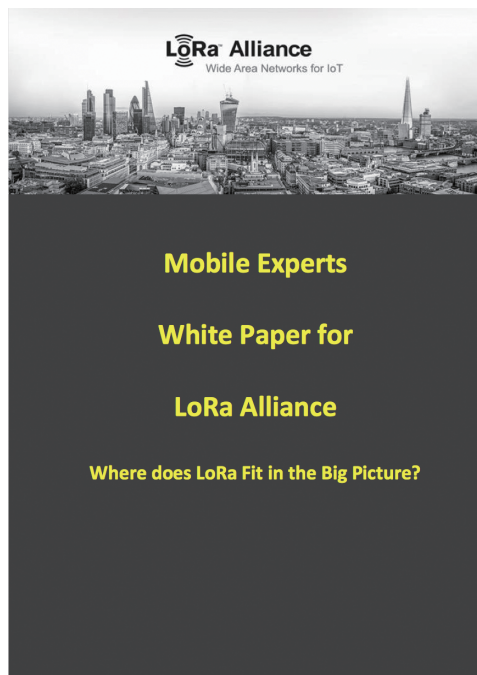
この図5-1から、M2M/IoTデバイスを接続するLPWAネットワークの伝送速度と通信距離の関係を、俯瞰することができる。

図5-1 M2M/IoTデバイスを接続するネットワークの伝送速度と通信距離



出所 [https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/20160404JG\\_Mobile\\_Experts\\_Whitepaper\\_LoRa\\_Alliance.pdf](https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/20160404JG_Mobile_Experts_Whitepaper_LoRa_Alliance.pdf)、原典：Mobile Experts White Paper for LoRa Alliance、<http://www.mobile-experts.net/>

写真5-1 LoRa アライアンスのホワイトペーパーの表紙 (2015年)



出所 [https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/20160404JG\\_Mobile\\_Experts\\_Whitepaper\\_LoRa\\_Alliance.pdf](https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/20160404JG_Mobile_Experts_Whitepaper_LoRa_Alliance.pdf)

# 第6章 920MHz帯を使用するWi-Fiファミ リーのLPWA規格:「IEEE 802.11ah」 (Wi-Fi HaLow) 標準と最新動向

# sample

6.1	IEEE 802.11ah: ブランド名はWi-Fi HaLow.....	154
6.1.1	日本では920MHz帯(サブギガ帯)を使用.....	154
6.1.2	IEEE 802.11ahのユースケース(用途).....	155
6.2	IEEE 802.11ah規格のプロフィール.....	157
6.2.1	IEEE 802.11ah規格の主な仕様.....	157
6.2.2	IEEE 802.11ahとWi-SUNの違いと共存.....	158
6.2.3	IEEE 802.11acの信号生成回路を有効活用.....	159
6.3	IEEE 802.11ah規格で使用される周波数帯.....	159
6.3.1	802.11ahで使用する900MHz帯の状況.....	159
6.3.2	802.11ahのチャンネルバンド幅の構成.....	160
	〔1〕プライマリーチャンネル.....	161
	〔2〕セカンダリーチャンネル.....	161
6.3.3	米国は最大16MHz幅、日本は最大1MHz幅のみ.....	161
	〔1〕IEEE 802.11ahのMCS(変調・符号化方式)と伝送速度.....	161
	〔2〕タイプ1チャンネルとタイプ2チャンネル.....	164
6.3.4	IEEE802.11ahの伝送速度の例.....	164
6.4	省電力化を重視したIEEE 802.11ah規格の特徴.....	165
	〔1〕互換性の必要がないこと.....	165
	〔2〕NDP Ackの追加.....	165
	〔3〕SIG ビーコンの追加.....	165
	〔4〕TWT機能の追加.....	165
	〔5〕新プロトコルバージョン.....	166
	〔6〕リレー(中継)機能.....	166
6.5	IEEE 802.11ah準拠の半導体チップや評価ボードも登場.....	166
	〔1〕Newracom: IEEE 802.11ah準拠のトランシーバ等.....	166
	〔2〕IMEC: IEEE 802.11ah評価ボード等.....	167
6.6	2017~2018年にIEEE 802.11ah準拠の製品.....	168

IEEE 802.11ahは、LPWAネットワーク(非セルラー系の規格)の1つとして登場し、2016年12月に標準化が完了した規格である\*1。日本では、アンライセンスバンド(免許不要周波数帯)の920MHz(サブギガ帯)を使用して、最大伝送速度4Mbps(チャネル帯域幅7MHz)、日本最大通信距離1kmのLPWA(省電力型広域通信網)である。

Wi-Fiアライアンスは、IEEE 802.11ahのブランド名をWi-Fi HaLow(ヘイロー)と命名し、その普及を促進している。

IEEE 802.11ahは、国際的にも広く普及しているWi-Fiファミリー(従来規格は100m程度)の新規格ではあるが、従来のWi-Fiに比べて低速ながら、通信範囲(カバレッジ)を拡大し、屋内でも屋外でも使用できるLPWAネットワークである。

ここでは、IEEE 802.11ah規格のプロフィールを説明しながら、使用される周波数帯や、どのように省電力化を実現したかなども含めて最新動向を解説する。

sample

## 6.1 IEEE 802.11ah：ブランド名はWi-Fi HaLow

### 6.1.1 日本では920MHz帯(サブギガ帯)を使用

M2M/IoT時代を迎えて、Wi-Fiアライアンスは、米国ラスベガスで開催された「CES 2016」(1月6～9日)開幕直前の2016年1月4日、新しいWi-Fiソリューション「Wi-Fi HaLow」(ワイファイ・ヘイロー\*2)を発表し、注目を集めた。

このWi-Fi HaLowは、新しい無線LAN規格であるサブギガ帯(Sub-1GHz帯。日本は920MHz帯\*3)を使用するIEEE 802.11ah規格の標準化がほぼ固まってきたことを背景に、Wi-Fiアライアンスがその製品のブランド名として発表したものである。

このIEEE 802.11ah規格は、表6-1に示すように、広く普及しているIEEE 802.11a/b/g/n/acなどを含むWi-Fiファミリーの1つであるが、従来のWi-Fiが使用してきた、2.4GHz帯や5GHz帯とは異なるサ

\*1 IEEE 802.11ah/HaLowは、SIGFOXやLoRaなどのLPWAとは相補的で、異なる技術であり、必ずしもLPWAに分類されないという見方もある。

\*2 HaLow(ヘイロー。HaloとLowを合わせた造語)：Haloは暈(かさ)、すなわち、月や太陽に雲が薄くかかった際に、周囲に光の輪が現れる後光のような大気現象のこと。低消費電力(Low Power)のIEEE 802.11ah(Wi-Fi)の電波が暈(かさ)のように広く伝わっていくイメージの表現である。これと類似したものとして、IEEE 802.3のEthernet(イーサネット)がある。Ethernetとは、Ether(エーテル。宇宙に存在し、電磁波や光を運ぶ仮想の物質と考えられているもの)とNetworkを合成した神秘的な意味をもつ用語である。Ethernetの発明者であるロバート M. メトカフ博士によって、1973年5月22日に命名された。

\*3 920MHz帯の特定小電力無線局や簡易無線局の電波出力(日本)は、ARIB(電波産業界)によって、次のように規定されている。(1)特定小電力無線局：免許人不要/免許不要、①1mW以下(ARIB STD-T108)、②20mW以下(ARIB STD-T108)の2種類がある。(2)簡易無線局：免許人不要/登録必要、250mW以下(ARIB STD-T108)

ブギガ帯〔日本は920MHz帯(915.9～929.7MHz)〕を使用するため、従来の規格と互換性を必要としない仕様となっている(2.4GHz帯や5GHz帯、920MHz帯はいずれも免許不要帯)。

表6-1 IEEE 802.11ワーキンググループにおける各無線LAN規格の比較

規格名 項目	IEEE 802.11	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ad	IEEE 802.11af	IEEE 802.11ah
完了時期	1997年6月	1999年9月	1999年9月	2003年6月	2009年9月	2013年12月	2012年10月	2013年12月	2016年12月
Wi-Fi アライアンス名	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi HaLow
周波数帯域	2.4GHz帯	5GHz帯	2.4GHz帯	2.4GHz帯	2.4GHz帯 5GHz帯	5GHz帯	60GHz帯	700MHz帯	サブギガ帯:表4参照 920MHz帯(日本)等
チャンネル帯域幅	20MHz幅	20MHz幅	20MHz幅	20MHz幅	20MHz幅 40MHz幅	20MHz幅 40MHz幅 80MHz幅 160MHz幅	2.16GHz幅	6MHz幅 7MHz幅 8MHz幅	1MHz幅 2MHz幅 4MHz幅 8MHz幅 16MHz幅
最大伝送速度 (ストリーム当たり)	2Mbps	54Mbps (20MHz幅)	11Mbps	54Mbps (20MHz幅)	150Mbps (40MHz幅)	867Mbps (80MHz幅)	6.75Gbps (2.4GHz幅)	35.6Mbps (8MHz幅)	・4Mbps (1MHz幅の場合) ・86.7Mbps [Short-GIの場合] (16MHz幅の場合) ・117Mbps [2ストリーム] (16MHz幅の場合)
通信距離	100m	100m	100m	100m	100m	100m	10m	100～500m	1km
変調方式	DSSS	OFDM	DSSS	OFDM	OFDM	OFDM	・ $\pi/4$ BPSK ・OFDM	OFDM	OFDM

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum、直接拡散方式

Short-GI: Short Guard Interval、短いガード・インターバル。OFDM変調方式で、信号が相互干渉しないように設けられる短いガード区間のこと。

$\pi/4$ BPSK: BPSKを拡張し、 $\pi/4$ シフトしたBPSK(シングルキャリア)

BPSK: Binary Phase Shift Keying、2相相変調

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing、直交周波数分割多重(マルチキャリア)

出所 各種資料をもとに編集部作成

## 6.1.2 IEEE 802.11ahのユースケース(用途)

また、表6-1に示すように、従来のIEEE 802.11規格(Wi-Fi)は、これまでパソコンやスマートフォンなどにおける大量のデータ通信や高品質画像などの通信を目指して、

11Mbps ⇒ 54Mbps ⇒ 600Mbps ⇒ 6.75Gbps

と、伝送速度の高速化を目指して機能を拡張してきた。

しかし、M2M/IoT時代では、小量なデータを扱うセンサーやウェアラブル端末などのIoTデバイスが、250～500億個もネットワークに接続される環境となるため、高速化というよりは、通信モジュールが低価格・低消費電力(省電直型)で、かつ通信距離の長さ(カバレッジ。通信範囲)を重視したネットワークが求められる。

このため、IEEE 802.11ah規格は、LPWA(Low Power Wide Area、省電力型広域無線網)の1つとしても期待される通信規格の1つとなっている。

同規格が目指すユースケース(利用例)としては、次のような3つの用途が考えられている。

# sample

【ユースケース1：M2M/IoT分野への適用を明確にした用途】

センサーやスマートメーター(スマートグリッド)、アクチュエータ、ウェアラブル端末などを相互接続する通信(図6-1)。

【ユースケース2：バックホール回線としての用途】

センサーやスマートメーターから集まったデータを幹線(バックボーン回線)に中継する通信回線(バックホール回線)としての用途。

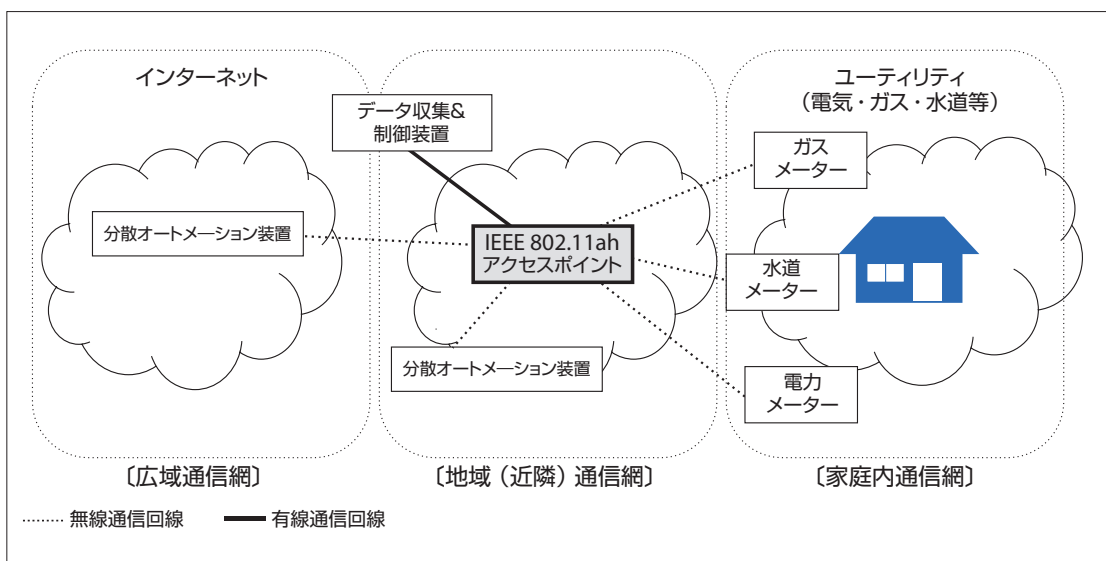
【ユースケース3：従来のWi-Fi通信を長距離化する用途(通信距離拡張Wi-Fi)】

従来の無線LANの用途と類似のシナリオであるが、従来の無線LANで間に合う領域には従来の技術を使用し、より長距離が必要で省電力が求められる領域にはIEEE 802.11ahを使用して補完する用途。

このうち、ユースケース1、2は、特にM2M/IoT向けの用途に適したもので、屋内だけでなく屋外でも通信が可能となっている。

IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow) は、以上のようなユースケースのほかに、スマートホーム(スマートハウス)やコネクテッド・カー、デジタル・ヘルスケアの分野をはじめ、製造業や小売業、農業、スマートシティなど、M2M/IoT環境で省電力が求められる新しい環境においても活用することが可能になる。

図6-1 IEEE 802.11ahのユースケース：スマートグリッドへの適用例(イメージ)



出所 Potential Compromise for 802.11ah Use Case Document, Qualcomm, Date: 2011-03-17

# 索引

## 数字・アルファベット

### ■ 数字

3GPP	20
3GPP TSG	130
3GPPにおけるリリース (Rel.13 ~ Rel.16) の ロードマップ	25
3GPPにおけるLPWAの検討状況	24
3GPPにおけるセルラー系LPWAの2つの流れ	24, 29
3セクターモデル	65
5G Project	102
5G (第5世代)	32
5G (第5世代)の5つの要求条件	34
5G (第5世代)の国際標準化のロードマップ	32
12バイトのデータのイメージ	117
15dB	71
15dBのカバレッジ拡張	24
16QAM	163
20dB	71, 76
23dB	62, 76
23dBのカバレッジ拡張	24
64QAM	163
200kHz幅	65, 116
256QAM	163
802.11ahで使用する900MHz帯の状況	155, 159
920MHz帯 (915.9 ~ 929.7MHz)	155
920MHz帯電子タグシステム	27

### ■ A

Ack	165
AES	144
AES-128	144
ALOHA-type of protocol	141
AM : Amplitude Modulation	121
ARIB STD-T108	160
au OPEN DEVICE DEVELOPER SITE	91
Availability	50

### ■ B

BLE	87, 129
-----	---------

# sample

BPSK	155, 163
------	----------

### ■ C

CAGR	19
CAMA/CA+RID	158
Cat-0	23, 60
Cat-1	60
Cat-M1	20, 21, 63
Cat-M1 (eMTC)仕様	62
Cat-M1とNB-IoTのまとめ	66
Cat-M2	22
Cat-NB1	22
Cat-NB2	22
CE : Coverage Enhancement	26
CoAP	39
CSS	132
Cycleo (シークレオ)社	54, 132

### ■ D

D-BPSK	121
docomo M2M プラットフォーム	89
DRX	70
DRXからeDRXへの拡張	71
DSB	121
DSSS	155

### ■ E

EC-GSM-IoT	20, 59
eDRX	70, 86
EMS	101
eMTC	21, 61, 69
eMTCとNB-IoTのサービスイメージ	22
ETRI	167
ezFinder BUSINESS	99

### ■ F

FDD	62
FHSS	120



Flashnet.....	145	inteliLIGHT.....	145
FSK.....	138, 158	IoT.....	19
<b>■ G</b>			
GFSK.....	120, 140	IoT 応用の2つの市場セグメント.....	50
GSA.....	74	IoT が与える経済的効果の例.....	77
GSM.....	74	IoT 関連のデバイス.....	1
GSM A.....	16, 83	IoT ゲートウェイ.....	80, 81
GSM A INDUSTRY PAPER.....	17	IoT セキュリティガイドライン ver1.0.....	41
GSM Aにおける分野別LPWAの市場分析.....	16	IoT セキュリティガイドライン ver1.0の目次.....	42
GSMの跡地を利用する形態.....	73	IoT セキュリティ対策の5つの指針.....	43
<b>■ H</b>			
HAL.....	143	IoT デバイス.....	14
HaLow (ヘイロー).....	20	IoT デバイス数の推移.....	14
<b>■ I</b>			
IA/BA.....	15	IoT デバイスの低コスト化の仕組みの例.....	69
IEEE.....	20	IoTに関するセキュリティ.....	40
IEEE 802.11ac.....	159	IoT ネットワークシステムのプロトコル構成.....	31
IEEE 802.11ah.....	21	IoT ネットワーク・プロトコル.....	30
IEEE 802.11ah 規格の主な仕様.....	157	IoT プラットフォーム.....	30
IEEE 802.11ah と Wi-SUN の違い.....	158	IP スタック.....	143
IEEE 802.11ah の事例.....	59	ISB.....	120
IEEE 802.11ah のチャンネルバンド幅構成.....	161	ITU.....	12
IEEE802.11ah の伝送速度.....	164	ITU-T Y.2060.....	12
IEEE 802.11ah の物理層の MCS.....	163	ITU-T Y.2060 (Y.4000).....	12
IEEE 802.11ah のユースケース.....	154, 155	ITU-TにおけるIoTの定義.....	11
IEEE 802.11ah 評価ボード.....	167	IVI.....	13
IEEE 802.11 ワーキンググループにおける 各無線LAN規格の比較.....	155	<b>■ K</b>	
IEEE 802.15.4.....	158	KCCS/SIGFOX チャンネルパートナープログラム.....	114
IEEE 802.15.4g (SUN).....	158	KCCS のビジネスモデル.....	112, 113
IEEE 802.15WG.....	158	KCCS のプロフィール.....	107
IESG.....	39	KDDI IoT クラウド Creator.....	95
IETF.....	38	KDDI IoT コネクト Air.....	95
IETF 97 Proceedings (議事録).....	39	KDDI のIoT/LPWA 関連の最近の主な取り組み.....	91
IETF に LPWAN ワーキンググループ.....	38	KDDI のLPWA 戦略.....	91
IIC.....	13	KDDI の全方位的なLPWA 戦略.....	93
IIC の設立.....	29	<b>■ L</b>	
IIoT.....	30	LoRa.....	20, 54
IIRA.....	30	LoRa GPS Box.....	149
IMEC.....	167	LoRa PoC キット.....	96
IMT ビジョン 勧告.....	35	LoRa PoC キットの提供範囲.....	96
Ingeniu (アンジェヌ) のサービスと動向.....	57	LoRaWAN.....	21
		LoRaWAN 仕様：バージョン V1.0.2.....	138
		LoRaWAN (通信システム規格) の内容.....	138
		LoRaWAN における暗号化とセキュリティ.....	144
		LoRaWAN におけるセンサーと ネットワークサーバの通信の仕組み.....	143

sample



LoRaWANに対応する半導体チップ.....	146	LTEのガードバンドを利用する形態.....	73
LoRaWANネットワークが提供されている国々.....	134	LTE版LPWA.....	21
LoRaWANのMAC層における		LTEベースIoT無線技術(セルラー系IoT).....	61
クラスA、クラスB、クラスCの機能.....	141	LTEベースIoT (Cat-M1、Cat-M2).....	61
LoRaWANのMAC層における		<b>sample</b>	
プロトコル構成: LoRa MAC.....	140	M2B.....	55
LoRaWANのサービスと動向.....	54	M2Bコミュニケーションズ.....	136
LoRaWANのネットワーク・トポロジー.....	142, 143	M2Bコミュニケーションズのプロフィール.....	137
LoRaWANの物理層①: 変調方式.....	139	M2M.....	12
LoRaWANの物理層②: 伝送速度.....	140	M2M/IoT.....	12
LoRaWANのプロトコル構成.....	138	MAC.....	141
LoRaWANは「通信システム規格」.....	133	MAC層.....	158
LoRaWANリージョナルパラメータ:		Massive MIMO.....	102
バージョンV1.0.....	138	MBB.....	71
LoRaアライアンスのプロフィール.....	133	MCS.....	162
LoRaアライアンスのホワイトペーパー.....	128	MIC.....	144
LoRa地滑り監視センサー.....	148	MIMO.....	69
LoRa水位監視センサーの設置例.....	148	MPDCCCH.....	62
LoRaの変調方式.....	139	MTC.....	23, 61
LoRaは「変調方式」のこと.....	132	MVNO.....	107
LoRa方式の位置づけ.....	132	MWC 2017.....	81
LoRaモジュール.....	147	MWC 2017に出展された	
LoRaアライアンスの		LoRaアライアンスのメンバー企業と製品.....	135
最新のホワイトペーパーの表紙.....	131		
LPWA.....	11, 106		
lpwan WG.....	38		
lpwan WGにおける		<b>■ N</b>	
LPWA関係の標準化のロードマップ.....	39	NB-IoT.....	20, 63
LPWA技術とそのアプリケーション適用分野.....	63	NB-IoT (Cat-NB1)仕様.....	62
LPWA対応IoTゲートウェイ機器.....	85	NB-IoTキャリア.....	65
LPWA登場の背景.....	13	NB-IoTタスクグループ.....	83
LPWAにおけるLoRaLANの位置づけ.....	131	「NB-IoT」に準拠した世界初のデモ.....	73
LPWAによる「浸水監視サービス」の実証実験.....	97	NB-IoTを運用する場合の3つのシナリオ.....	72
LPWAネットワークを活用した		NDP Ack.....	165
IoTプラットフォーム.....	103	Newracom.....	166
LPWAネットワークを活用したサービス活用例.....	101	NTTドコモのLPWA戦略.....	85
LPWAモジュールのコスト.....	67	NTTドコモ・ベンチャーズ.....	53
LPWAモジュールのコスト削減.....	68	NTT西日本.....	56
LPWAもとり込む5G(第5世代).....	33		
LPWAもとり込む5G(第5世代)の		<b>■ O</b>	
サービスと要求条件.....	34	OFDM.....	69, 162
LTE-A.....	20		
LTE-M.....	21, 61	<b>■ P</b>	
LTE-M.....	61	PoC.....	92
LTE-M (eMTC)タスクグループ.....	83	PRB.....	62
LTE帯域内で供用する形態.....	73	PSM.....	70

## ■ Q

QPSK.....163

## ■ R

RAN : Radio Access Network.....32

RAN Workshop on 5G.....32

Repetition.....25

REST API.....112

RFC.....39

RID.....158

RoHC.....39

RoLaWANによる河川水位の監視.....151

RPMA.....57, 129

## ■ S

SIG ビーコン.....165

SCHC.....39

Semtech.....54

Short-GI.....155

SIGFOX.....21

SIGFOX エコシステムパートナー.....116

SIGFOX がサービスを展開している国々.....54

SIGFOX サービスの料金体系.....124

SIGFOX ネットワーク対応デバイス.....122

SIGFOX ネットワークにおける通信の特徴.....118

SIGFOX ネットワークのUNB通信の仕組み.....117

SIGFOX ネットワークの主な適合分野.....123

SIGFOX ネットワークの技術的な特徴.....116

SIGFOX ネットワークの特徴と工夫.....117

SIGFOX ネットワークの無線特性.....119, 120

SIGFOX の意味.....21, 109

SIGFOX のエリアカバー計画.....124

SIGFOX の技術白書.....110

SIGFOX のサービスと動向.....53

SIGFOX の実証試験.....113

SIGFOX の導入事例.....124

SIGFOX の導入分野.....126

SIGFOX のビジネスモデル.....109

SIGFOX のプロフィール.....109

SIGFOX の無線伝搬試験の結果.....114

SORACOM vConnec Core.....95

SoS.....12

SoS的な特徴をもったIoT.....13

SPI.....143

SSB-SC.....121

Sub-1GHz帯.....154

## ■ T

TDD.....15

TG4g.....15

TGah.....16

Toami for DOCOMO.....89

Toami (トアミ).....89

TWT 機能.....165

## ■ U

UE : User Equipment.....60

UNB.....53, 129

## ■ V

VoLTE.....76

## ■ W

WebAPI (REST API).....112

WECA.....159

Weightless-P.....129

Wi-Fi HaLow.....154

WiMAX フォーラム : R2.1AEv05/R2.2AEv03.....36

WiMAX フォーラムにおけるLPWAの検討状況...37

WiMo.....74

## ■ X

XGP.....37

XGPバージョン3.3.....38

XGP フォーラム.....37

XGP フォーラムにおけるLPWAの検討状況.....38

## ■ Y

Y.4000.....12

sample

## 日本語

## ■ あ

アイドル状態	70
アジャイル開発手法	95
アプリケーションセッションキー (AppSKey)	144
アベイラビリティ	50
アンライセンス帯	50, 51
アンライセンスバンド	18, 51

## ■ い

イネイプラー	92
イノベーション	13
インダストリアル・インターネット	28

## ■ う

ウフル (uhuru)	55
-------------	----

## ■ え

エイビット	136
エチケッ動作	161
エッジ	30
エネゲート	56
エリクソンによるLPWAの市場分析	17

## ■ お

温度監視	125
------	-----

## ■ か

ガードバンド	72
各種厨房機器の状態監視	126
拡張MTC	23
カバレッジ	155
カバレッジ拡張	71
間欠受信	70
関西電力のLoRa方式によるIoTサービス	57

## ■ き

キャリア	33
キャリアセンス	164
京セラコミュニケーションシステム (KCCS) の プロフィール	108
狭帯域信号特性	118

## sample

クラス (必須) の受信のメカニズム	111
繰り出し受信	25

## ■ こ

コインパーキング向け車両検知システムの例	125
広域IoTデバイス	17
広域IoTデバイス接続のケース	17
後方互換性	25
子どもの見守りシステム	104
コネクテッド (接続) 状態	70
コンピューティングリソース	41

## ■ さ

サイバーセキュリティ基本法	40
サイバーセキュリティ経営ガイドライン	40
サイバーセキュリティ戦略	40
サイバーセキュリティ対策の強化に向けた 第二次提言	40
サイバーセキュリティに関する規制/ ガイドラインの動向	40
サブキャリア	162
サブキャリア間隔	69

## ■ し

静岡県・藤枝市	103
シミュレータ装置	91
周波数帯域幅	116
周波数ダイバーシチ	117
周波数ホッピング方式	120
収容可能な端末 (デバイス) 数	72
情報通信白書	14
シングルキャリア周波数帯幅	117

## ■ す

スター・スター (Star-of-Star) 構成	142
スペースダイバーシチ	118
スマートシティに設置される 大量IoTデバイスの例	64
スマートパーキング	125
スマートメーターシステム セキュリティガイドライン	40

スロット .....	141
------------	-----

## ■ せ

世界各地のLPWAサービスの展開：	
商用/実証試験、計画 .....	83
世界のIoTデバイス数の推移および予測 .....	15
セカンダリーチャンネル .....	161
セキュリティガイドライン .....	40
セムテック (Semtech) .....	21
セルラー (Cellular) .....	18
セルラー系IoT仕様の今後の拡張 .....	75
セルラー系LPWA .....	59
セルラー系LPWAと非セルラー系LPWA .....	20
セルラー系LPWAと非セルラー系LPWAの 特徴の比較 .....	51, 52
セルラー系LPWAの動向 .....	21
全世界で通信接続される 各種デバイス (機器) 数の推移 .....	19

## ■ そ

走行距離連動型 (PAYD) 保険 .....	66
ソフトバンクのLPWA戦略 .....	100
ソラコム (SORACOM) .....	55

## ■ た

第1の波 .....	29
第2の波 .....	29
第3の波 .....	29
第5世代 (5G) .....	32
第5世代 (5G) の利用シナリオと 重要な3つの要素 .....	36
第97回IETFミーティング .....	38
ダイキン工業 .....	56
ダイバーシチ .....	69, 117
代表的なLPWA：	
セルラー系LPWAと非セルラー系LPWA .....	19
タイプ1チャンネル .....	164
タイプ2チャンネル .....	164
大容量化 .....	33, 34
大量MTC .....	35
大量 (マッシブ) IoT .....	50
ダウンクロッキング .....	159
宅配ピザにおける作業空間の温度監視の例 .....	125
多数端末同時接続 .....	33
単位チャンネル幅 .....	116
単一NB-IoTキャリアの容量 .....	66

単一NB-IoTキャリアの例 .....	65
短距離IoTデバイス .....	17, 30
短距離IoTデバイス接続のケース .....	18
端末の大量接続 .....	77

## ■ ち

チャンネルバンド幅 .....	160
千葉県・幕張エリアで「NB-IoT」を実証実験 .....	102
チャンネル帯域幅 .....	69, 160
中国製造2025 .....	13
超高速通信 .....	33, 34
超多数端末の同時接続 .....	33, 34

## ■ て

低コスト化 .....	33
低コスト化・省電力化 .....	34
低コスト化のための要件 .....	68
低消費電力化 .....	70
低遅延化 .....	33
低遅延化・高信頼性 .....	34
デジタル変調 .....	163
電力ISAC (情報共有と分析センター) .....	40
電力制御システムセキュリティガイドライン .....	40
電力節減モード .....	70

## ■ と

ドコモの回線管理プラットフォーム .....	89
トランシーバ .....	167

## ■ に

日本で提供される予定のLPWAの概略的な仕様 .....	28
日本と米国における802.11ahのチャンネル割当て .....	162
日本のLPWAの市場予測 .....	107

## ■ ね

ネットワークセッションキー (NwkSKey) .....	144
-------------------------------	-----

## ■ は

バックホール回線 .....	21, 156
ハンドオーバー .....	37, 76
半二重通信 .....	60, 68

## ■ ひ

非セルラー系IoTデバイス出荷数予測 .....	48
非セルラー系LPWA .....	27

# sample

非セルラー系LPWA技術の比較	53
広いカバレッジを実現する技術	26

## ■ ふ

ブイグテレコム (Bouygues Telecom)	55
フェーズ1	32
フェーズ2	32
符号化率	164
プライマリーチャネル	161
プラットフォーム Industrie 4.0	13
プロトコルバージョン0	166
プロトコルバージョン1	166
分野別に見る全世界の LPWA 端末 (デバイス) の接続数の推移	16

## ■ へ

平成28年版 情報通信白書	14
ペイロード	144

## ■ ま

マルチキャリア	162
マルチパス環境	158

## ■ み

ミッションクリティカル IoT	50
ミドルウェア	30

## ■ む

無線ネットワーク全体における LPWA の位置づけ	109
------------------------------	-----

## ■ め

免許必要帯	50
免許不要帯	51

## ■ ゆ

ユーティリティ	49
---------	----

## ■ ら

ライセンス帯	50, 51
ライセンスバンド	17, 50
乱数ベース	141

## ■ り

リリース (Release)	20
----------------	----

リレー (中継) 機能	166
-------------	-----

## ■ ろ

ローバンド	40
ワイヤレス IoT アドホックグループ	24

# sample

[執筆]

インプレスSmartGrid ニュースレター編集部 [第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章]

# sample

[取材協力] (掲載順)

藤岡 雅宣 (ふじおか まさのぶ) エリクソン・ジャパン株式会社 CTO (チーフ・テクノロジー・オフィサー) [第1章、第2章]

KDDI株式会社 [第1章、第3章]

株式会社NTTドコモ [第3章]

京セラコミュニケーションシステム株式会社 [第4章]

田中 雅人 (たなか まさと) 株式会社M2Bコミュニケーションズ 代表取締役 [第5章]

島田修作 (しまだ しゅうさく) シュビキスト・テクノロジーズ・ギルド 代表 [第6章]

[プロデュース]

インプレスSmartGrid ニュースレター編集部

電力産業やICT産業のみならず、家電産業、半導体産業、住宅・建築産業、自動車産業など複数分野にまたがって発展している「スマートグリッド」に関する最先端の情報を定期的に提供する、日本初の「インプレスSmartGrid ニュースレター」を2012年10月に創刊。主に企業や組織の(1)マーケティング部門(市場動向分野)、(2)戦略部門(ビジネス動向分野)、(3)研究開発部門(技術・標準化動向分野)の方々を読者対象とし、冊子版と電子版の両方を月刊で発行する。本誌と連動したWebサイト「インプレスSmartGrid フォーラム」(<http://sgforum.impress.co.jp/>)も運営し、企業や組織を超えた共通の「場」を提供するメディアとなるよう活動を行っている。

## STAFF

◎ AD/デザイン

◎ 本文DTP制作

◎ 編集

インプレスSmartGrid ニュースレター編集部

インプレスSmartGrid ニュースレター編集部

インプレスSmartGrid ニュースレター編集部

岡田 章志

坂本 房子

吉田 恵美

威能 契

三橋 昭和

萬代 好美

[ino@impress.co.jp]

[mihashi@impress.co.jp]

[mashiro@impress.co.jp]

● 本書の内容についてのお問い合わせ先

株式会社インプレス メール窓口  
report-info@impress.co.jp

件名に「IoT時代の次世代無線通信規格LPWAの全貌』問い合わせ係」と明記してお送りください。

電話やFAX、郵便でのご質問にはお答えできません。返信までには、しばらくお時間をいただく場合があります。なお、本書の範囲を超える質問にはお答えしかねますので、あらかじめご了承ください。

● 商品のご購入についてのお問い合わせ先

株式会社インプレス 出版営業部  
〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地  
TEL 03-6837-4634  
FAX 03-6837-4649  
houjin-sales@impress.co.jp

造本には万全を期しておりますが、万一、落丁・乱丁およびCD-ROMの不良がございましたら、送料小社負担にてお取り替えいたします。「株式会社インプレス」までご返送ください。

本サンプル版の利用について  
本サンプル版の配布やWebサイトへのアップロードなどの行為について特に制限はございません。ご自由にご利用ください。掲載データの利用については、下記「データの利用にあたって」の記述に準じます。ご参照ください。  
なお、本サンプル版を販売するなどの商業利用は禁止いたしますのであらかじめご了承ください。

ご注文は今すぐクリック

- お支払い方法：銀行振込（ご請求書をお送りします）
- 納期：[法人] ご発注後、3営業日以内 [個人] ご入金確認後発送

## IoT時代の 次世代無線通信規格LPWAの全貌

NB-IoT/ Cat-M1からLoRaWAN/ SIGFOX/ IEEE  
802.11ahまで

2017年3月15日 初版発行

編著者 インプレスSmartGridニューズレター編集部  
発行人 中村 照明  
編集長 威能 契

発行所 株式会社インプレス  
〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地  
<http://www.impress.co.jp/>

本書は著作権法上の保護を受けています。本書の一部あるいは全部について株式会社インプレスから文書による許諾を得ずに、いかなる方法においても無断で複写、複製することは禁じられています。

印刷 大日本印刷株式会社  
©2017 Impress SmartGrid Newsletter  
Printed in Japan

# sample