# IoTを牽引する省電力広域センサネットワークLPWAの最新動向と将来展望

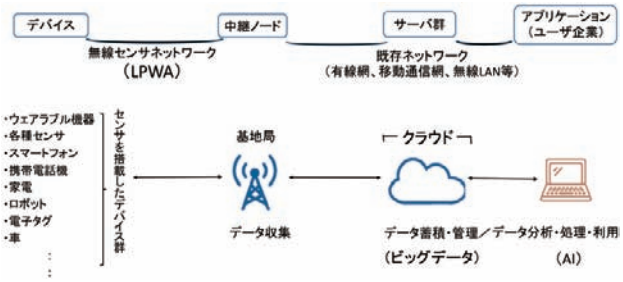
東京大学　大学院工学系 IoT メディアラボラトリー スペシャリスト
千葉大学　名誉教授　阪田（さかた）　史郎（しろう）

## 1. はじめに

2022年には世界市場が200兆円に上ると予測されているIoT（Internet of Things：モノのインターネット）では、センサネットワークが重要な役割を果たし、センサネットワークの普及なくしてIoTの成長はないと言われている。IoTシステムとセンサネットワークの関係を**図1**に示す。

センサネットワークの中でも、IoT市場の立ち上げをけん引すると期待されているのが省電力広域センサネットワークLPWA（Low Power Wide Area）である。LPWAの厳密な定義はないが、電力については公平な比較が難しいため、通信距離が2km以上とするのが一般的である。IoT事業者が、自身のアプリケーションの実現に必要な通信距離として挙げる値として2km以上というのが多い、という調査結果に基づく。

本稿では、LPWAを中心に、LPWAに迫る距離の通信が可能な準LPWAを含め、これらの最新動向と将来展望について述べる。




■図1.　IoTシステムとセンサネットワークの関係

## 2. IoTとLPWAの背景

1990年代末より盛んに研究が行われたユビキタスネットワークは、技術開発が期待通りに進展せず、あえなく消滅した。ユビキタスネットワークの中核もセンサネットワークであり、ユビキタスネットワークとほぼ同じ目標と応用で、2012年頃にその後継となったのがIoTである。

ユビキタスネットワークが消滅し、2020年においてもIoTの市場がそれほど立ち上がっていない最大の要因は、中核となるセンサネットワークの通信距離不足、すなわち広域で利用できず多くのセンサを収容できなかった点にある。このような状況で、2010年代半ばに登場したのがLPWAである。

LPWAは、現在もIoT市場立上げの原動力として期待され、2010年代半ばの黎明期を経て2019年頃から競争が激化し、成長期へと突入している。LPWAの成長率は、2019年以降20%を超え、2023年には世界中で約10億個のセンサがLPWAに接続されると予想されている。

なお、IoT向けセンサネットワークについて、IoTの各アプリケーションは、たかだか半径数10kmの通信に閉じるため、センサネットワーク間の相互通信の必要性は必ずしも大きくない。さらに、アプリケーションに応じてそれぞれに適した通信方式、プロトコルが大きく異なることが多いため、国際標準には元々なじまない。

無線LANもそれ自体は閉域網であるが、当初よりネットワーク層にIP（Internet Protocol）を採用し、接続ノードもインターネットを介した世界中のノードとの相互通信を前提としていたため、IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers：米国電気電子技術者協会）802.11 WGにおいて国際標準化が進められた。

以上の理由により、独自仕様のLPWAが次々に出現し、デファクト標準を勝ち取るための競争が激化しつつあるといえる。

## 3. 狭域センサネットワークと準LPWA

通信距離によるセンサネットワークの分類を**表1**に示す。狭域センサネットワークの代表例は、2003年にIEEE 802.15

■表1.　通信距離によるセンサネットワークの分類

| | 最大通信距離 | 主なセンサネットワーク |
|---|---|---|
| 狭域センサネットワーク | 200m以下 | ZigBee、Z-Wave、EnOcean |
| 準広域センサネットワーク | 数km以下 | Wi-SUN、IEEE 802.11ah（Wi-Fi HaLow）、SmartHop |
| 広域センサネットワーク（LPWA） | 数km以上 | 独自仕様：　LoRa、Sigfox、FlexNet（先発）<br>EnOcean Long Range、ELTRES、Weightless-P、ZETA、<br>IEEE 802.15.4k（LECIM）、Sidewalk（後発）<br>セルラー（4GのLTE版）：　LTE-M（eMTC）、NB-IoT |

■表2．準広域センサネットワークの概要　使用周波数はいずれもサブギガヘルツ帯（国内では920MHz）

| | Wi-SUN | IEEE 802.11ah（Wi-Fi HaLow） | SmartHop |
|---|---|---|---|
| 標準化母体 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.11ah タスクグループ | IEEE 802.15.4 |
| 標準化／開発時期 | 2013年に標準化。2015年頃に開発 | 2012年に基本仕様、2017年に最終仕様標準化 | 沖電気が2013年に開発 |
| 通信方式 | 物理層はIEEE 802.15.4g（FSK）、MAC層はIEEE 802.15.4e | 物理層はIEEE 802.11や4G等で採用されたOFDM。収容端末数は8000強 | 物理層はIEEE 802.15.4g（FSK）、MAC層はZigBeeと同じIEEE 802.15.4 |
| ホップ | マルチホップへ拡張 | 1ホップ | マルチホップ |
| 備考 | ・屋内用HAN、屋外用FANを規格化<br>・HANは集合住宅向けの東京電力のスマートメータリングで実用化<br>・Wi-SUNアライアンスのメンバは約180社 | ・2018年末に突如活動再開、チップセット供給開始<br>・国内の推進協議会参加メンバーは2020年6月末現在約100社<br>・2019年末に見通しで最大2.3km通信<br>・東南アジアにも展開<br>・無線LANの利用実績が強み? | ・ZigBeeとWi-SUNの複合型<br>・2017年に電池駆動モジュール販売開始<br>・2019年末現在パートナー40社強。<br>・米国、東南アジアが中心 |

WGで標準化された技術規格IEEE 802.15.4の物理層とMAC（Media Access Control）層を採用したZigBeeである。標準化後も10年余り世界各国で研究されたが、マルチホップ化しても高々200m前後しか届かず、2010年代半ばにほぼ消滅した。

準LPWAについては、スマートグリッド（次世代送電網）へのニーズの高まりに伴い、2009年頃に本格的な研究が開始され、Wi-SUNとIEEE 802.11ah（Wi-Fi HaLow）が2012～2016年に標準化された。これらのほかに、ZigBeeの物理層を変更して通信を長距離化した沖電気のSmartHopが代表的である。

Wi-SUNとSmartHopは、マルチホップ通信による数100mの通信を特徴にしている、Wi-SUN（Smart Utility Networks）は、東京電力の集合住宅向けスマートメータリング（遠隔自動検針）で利用実績がある。IEEE 802.11ahは、無線LANの利用実績を武器に、普及に向けた推進協議会を2018年に設立し、2019年末には見通しで最大2.3kmの動画配信に成功、と報告している。

3つの準広域センサネットワークの概要を表2に示す。

## 4．省電力広域センサネットワークLPWA

### 4.1　LPWAの動向

2012年以降独自仕様のSigfoxやLoRaが相次いでサービスを開始した。SigfoxとLoRaは、2015年から、欧州においてそれまで携帯電話網（3G、4G：それぞれ第3世代、第4世代携帯電話網）で提供されていたデータ通信の市場を奪い始めた。これがLPWAを世界に広く知らしめ、その後の大競争を生み出した発端である。

SigfoxやLoRaに奪われ始めた市場を奪還するため、欧州を中心とした携帯電話関連機器ベンダは、4Gの仕様としてLTE（Long Term Evolution）版LPWAを急遽規格化し、直ちに世界各国の携帯電話事業者はLTE版LPWAの開発を開始した。

2018年には、中国や北欧等においてLTE版LPWAの一部の仕様によるサービスが開始された。国内では、2017年にSigfox、LoRaは相次いでサービスを開始し、3携帯電話事業者（NTTドコモ、KDDI、ソフトバンク）は2018年にLTE版LPWAのサービスを開始している。

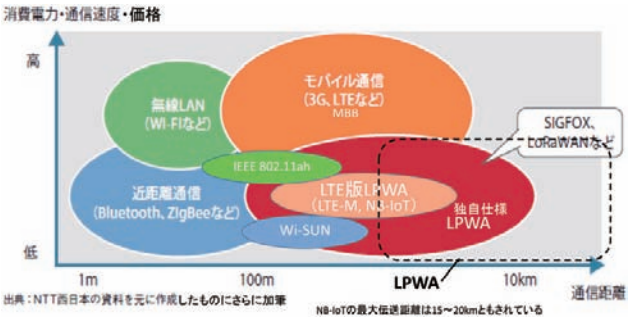
独自仕様のLPWAについては、2018年以降新規参入が相次ぎ、乱立状態になっている。携帯電話網を利用したセルラーLPWAについては、4GのLTE版LPWA以降2020年に本格的なサービスが開始された第5世代携帯電話網（5G）に向けて、LTE版LPWAを拡張したIoT向けの仕様の検討が2016年に開始され、2022年頃の仕様詳細化、サービス開始を目指している。

以上のように、LPWAには、独自仕様LPWAと、携帯電話網を利用した標準仕様のLPWA（セルラーLPWAとも呼ばれる）の2種類がある。調査によれば、2020年9月現在、世界において、独自仕様のLPWAがLTE版LPWAに比べ、1.5～2倍のセンサが接続可能になっている、との報告がある。

### 4.2　LPWAの特徴

従来の無線ネットワークに対するLPWA共通の特徴として、低消費電力と長い通信距離（1ホップで2km以上）に加え、普段スマートフォンを利用する場合（4Gでは2010年代半ばから普及しているMBB（Mobile BroadBand））とは真逆の以下が挙げられる。

- 2km以上の通信を実現するため、使用周波数はサブギガHz（1GHzよりやや低い周波数）帯。
- トラフィックは、センサで感知、認識した情報を上位の基地局／ゲートウェイに送信する上りが主体である。
- センサは電池駆動で、移動を想定しない場合が多い。
- 通信速度が遅い（1Mbps以下）。




■図2. LPWAの位置付け

■表3. 独自仕様のLPWAとセルラー LPWAの比較

| 独自仕様LPWA | セルラーLPWA |
|---|---|
| ・免許不要帯域（サービス品質の保証困難）<br>・規制なし<br>・プロプライエタリベンダによるクローズドソース<br>・製品認証・テスト不要<br>・IP利用不可<br>・カバーする領域が限定<br>・容易に低価格で導入可能<br>・短パケット、低消費電力<br>・低モビリティ | ・免許帯域（サービス品質は保証）<br>・規制あり<br>・グローバル標準のオープン仕様<br>・製品認定要<br>・IP利用可能<br>・カバレジが広い(*)<br>・キャリアグレードサービス<br>- 安定性<br>- 信頼性/頑強性<br>- セキュリティ<br>- モビリティ（ハンドオーバ、(*)FOTA） |
| ↓ | ↓ |
| 低性能で低機能だが低価格 | 高性能で高機能だが高価格 |

(*)FOTA: Firmware Over/On-The-Air（端末のファームウェアを無線通信 によって配布・更新）

・パケット長が短い（数byte～数10byte）。

・通信頻度が少ない（センサからの収集頻度は1日に数回～1時間に数回）。

従来の無線ネットワークとの関係に基づくLPWAの位置付けを**図2**、独自仕様のLPWAと携帯電話網を利用したセルラー LPWAの相対的な比較を**表3**に示す。

使用周波数については、独自仕様のLPWAは国内では免許不要の920MHz帯、セルラー LPWA（現在は4GのLTE版LPWAのみ）では免許帯域の700, 800MHz帯などである。

### 4.3 LPWAの応用

LPWAでは、IoTとほぼ同様、公共、産業、個人レベルまで、人々の生活の隅から隅に至る広い応用が想定されている。メータリング（検針）、モニタリング（監視）、トラッキング（追跡）が主要3機能とされ、各機能に対応する主な応用を**表4**に示す。

■表4. LPWAの主な応用

| | |
|---|---|
| メータリング（検針） | ・電気、ガス、水道のスマートメータリング（遠隔自動検針）<br>・農業における水田やグリーンハウスにおける温度、湿度、肥料状態などの計測<br>・マンホールの水位計測<br>・自動販売機、ウォーターサーバの残量、AEDのバッテリー残量などの計測 |
| モニタリング（監視） | ・大気中や森林、土壌、海洋、河川、湖沼などに存在する有毒・有害物質検出、地球温暖化防止などを目的とする環境汚染モニタリング<br>・川の氾濫、崖の崩落、ダムの決壊、橋梁やトンネルなどの公共インフラの崩壊予知・監視<br>・プラントにおける故障・異常監視や、石油・天然ガスのパイプライン、工場における設備監視<br>・エレベータ、エスカレータの遠隔監視<br>・自動車・自転車の駐車管理（スマートパーキング、シェアバイク／シェアサイクル）<br>・鳥獣被害防止<br>・登山やスキーの遭難者、水難事故の検知・救助<br>・防犯カメラによる犯罪監視 |
| トラッキング（追跡） | ・物流における物資の配送、貨物の追跡<br>・トラック・タクシー・バスの追跡<br>・児童や高齢者の見守り、徘徊検知<br>・各種資産の盗難検知<br>・災害時の安否確認、避難誘導 |

### 4.4 独自仕様のLPWA

独自仕様のLPWAの多くは、古典的な軍事技術を基にし、軍用で実績のある長距離通信技術を核にして、他の高性能な部分を削ぎ落とし、極力省電力化を図った技術を、価格を上げない方法で作り込んだものと推測される。

サービス開始時期によって2015年以前にサービスを開始し先行したLoRa、Sigfox、FlexNetと、後発として新規参入し2018年以降にサービスを開始しているEnOcean Long Range、ELTRES（ソニー）、Weightless-P、ZETA、Sidewalk（アマゾン）等に大きく分けられる。FlexNetは、国内では水道のスマートメータリングの多くの実証実験を行ったが、280MHzを使用するため実展開はできず、2019年に日本から撤退している。

2020年9月現在LoRa、Sigfoxは他を大きく引き離し、国内では共に100を超える実証実験を実施し、一部実サービスを開始している。

#### 4.4.1 LoRa

名称の由来はLong Rangeで、ネットワークはフランスCycleo社、デバイスはCycleoを買収した米国Semtechが開発、2014年にサービスを開始し、2015年に LoRaアライアンスを設立した。LoRaアライアンスには、2020年9月末現在550社以上が参加している。LoRaアライアンスによれば、LoRaは物理層または変調方式、LoRaWANはLoRaを用いた通信プロトコルとシステムアーキテクチャを表すが、本稿では両者を合わせてLoRaと記す。

「オープン性」が特徴で、免許不要のサブギガヘルツ帯（国内では920MHz帯）を使用し、通信距離は見通しで約10km、都市部では約2kmでリンクバジェット154dBの通信が可能、通信速度は200～10kbps、利用帯域幅は125/250kHz、最大パケットサイズは256byteである。

LoRa変調は、従来レーダーやソナーなどで使われてきたチャープ信号を用いたチャープ拡散方式である。チャープ信号は、一定時間内で周波数が単調増加または単調減少する信号で、チャープ拡散方式では、チャープ信号をベースチャープ信号として、時間軸方向にサイクリックシフトして信号多重し、周波数拡散を行う。

PSK（Phase Shift Keying）が正弦波の位相変調であるのに対し、LoRa変調はチャープ信号の位相変調といえる。

Wi-SUNなどで採用されているFSK（Frequency Shift Keying）と比べて、同程度の通信速度では約8dB優れた感度で、妨害波干渉にも耐性を持つため、FSKよりも長距離の通信が可能である。

LoRaはセンサとゲートウェイ間のみの通信機能を提供するため、携帯電話網と競合せず共存可能である。携帯電話事業者は、過疎地等基地局を設置できない不感地帯へのサービス補完、LoRaのゲートウェイの上位に携帯電話網を使用する新しいビジネスモデルの模索を行っている。

海外では、既にオランダ、韓国で国全体、インドでは2018年には人口4億人の地域をカバーしている。国内では、ソラコム（2018年にKDDIが買収）が2017年初頭に商用化開始後、センスウェイが全国展開を進めている。NTTドコモとソフトバンクも同年に相次いでサービスを開始している。

### 4.4.2　Sigfox

2009年にフランスSigfox社が開発、2012年にサービスを開始した。1910年代の第一次世界大戦における潜水艦の通信技術を基にしている。国内ではLoRaと同様920MHz帯を使用し、通信距離は都市部以外で30～50km、都市部では3～5km、通信速度は10～1kbps、各センサから1日最大140回、最大12byteのメッセージの送信が可能である。

「通信方式のシンプルさとグローバル展開力」が特徴で、少量のデータを送信するセンサに適し、他のLPWAよりも相対的に低消費電力、低速でカバー領域も広く、基地局（LoRaにおけるゲートウェイに対応）数が少なくできる。通信モジュールも基地局もハードウェアはシンプルにでき、低コスト化が可能である。

通信方式の詳細仕様は非公開であるが、変調方式は、低消費電力、ノイズに強い性質を持つBPSK（Binary PSK）を利用した超狭帯域（Ultra NarrowBand：UNB、100Hz。干渉波の一部のみ影響）と呼ぶ技術で低速通信を実現する。さらに、周波数ホッピングの信号多重により周波数ダイバーシチ、複数回フレーム転送により時間ダイバーシチ、同報通信により空間ダイバーシチを得ることで、耐干渉性、耐障害性を実現する。

センサ群から基地局までのLPWAの部分、さらにクラウドを構成するサーバまでを含めたネットワークシステムとして提供する。このため、事業的には携帯電話網と競合する。

Sigfoxの事業者はSNO（Sigfox Network Operator）と呼び、原則一国一社である。SNOは、Sigfox社と提携して各国でSigfoxネットワークを提供する企業であるが、同時に基地局とクラウドを提供し商用展開する。国内では、京セラコミュニケーションシステム（KCCS）がSNOとしてサービスを展開し、2020年9月末には人口カバー率99%を達成し、パートナー企業は約550社に上っている。

LoRaとSigfoxの比較を表5にまとめて示す。

■表5.　LoRaとSigfoxの比較

| | LoRa | Sigfox |
|---|---|---|
| 消費電力（LP） | | ○ |
| カバーエリア（WA）<br>- 広いと基地局数が少なくて済む | | ○ |
| 通信速度 | ○ | |
| 送信可能な通信量 | ○ | |
| 通信方向 | ○（クラスB） | ○ |
| オープン性 | ○ | |
| 価格を含む導入容易性 | | ○ |
| 携帯電話事業者の選択 | ○ | |
| 展開計画 | | ○ |

### 4.4.4　後発のLPWA

LoRaとSigfoxに対しては大きく出遅れたが、主な後発の独自仕様LPWAの概要を表6に示す。各LPWAの特徴を下

■表6.　主な後発の独自仕様LPWAの概要

| | EnOcean Long Range | ELTRES（ソニー） | Weightless-P | ZETA |
|---|---|---|---|---|
| 概要 | ・独シーメンスからスピンアウトしたEnOcean社が狭域センサネットワークEnOceanをLPWAに拡張。 | ・家電の開発で蓄積したデジタル信号処理、高周波アナログ回路技術により、都市部でも良好な通信。 | ・英国のWeightless SIGが2015年に策定。台湾のユービック社が技術開発・標準化。 | ・英国ZiFiSenseが開発。最大4ホップのマルチホップ通信で地下やトンネルでも途切れず、障害時に迂回路設定可能。 |
| 特徴、通信性能等 | ・920MHz帯、送信出力10/20mW、通信速度約1kbps、高利得アンテナを用いることで、見通しで最大6km、都市部でも最大400mの通信が可能。<br>・ソーラーパネルなどを用いたエナジーハーベストにより、電池交換不要。 | ・920MHz帯、見通しで100km以上の遠距離通信に成功。時速100km/hの高速移動中でも安定的通信。高精度な波形合成により送信・受信の周波数とタイミングを補正。<br>・1日2回の位置情報送信で、コイン電池1個で1年間動作。<br>・通信方式はETSI（欧州電気通信標準化機構）でLPWAの標準の一つに採用。 | ・920MHz帯、下り最大100kbps。同時接続数はLoRaの約10倍。<br>・TDMA／FDMAをベースに、搬送幅12.5 kHzの狭帯域通信、周波数ホッピング、電力制御技術などにより、高信頼性を保証。<br>・電池寿命5～10年。<br>・欧州仕様では、都市部で2km、郊外で5kmの通信が可能。 | ・920／429MHz帯、超狭帯域（UNB: Ultra Narrow Band。チャネル帯域幅0.6k～2.0kHz）による多チャンネルでの通信。<br>・通信速度100～50kbps、通信距離22m～10km。<br>・双方向通信で電池寿命5～10年。<br>・NB-IoTの約1/20、LoRaの約1/5の初期費用。 |
| 応用、商用展開等 | ・NTTとの実験後、2017年にサイミックス（長野県）が、長距離気象センサシステムを製品化。<br>・NTT東日本はこの製品を用いて、農業の'見える化'ソリューションを販売。2018年末に茨城県の養鶏場に導入。 | ・日本システムウェア（NSW）と提携。<br>・牛の起立困難状態（狂牛病）を検知しスマートフォンに通知するシステムを開発。<br>・NTTドコモと住友林業は林業従事者の安否確認・事故検知ソリューションを実験。 | ・街灯やガス栓の遠隔制御などのスマートシティ、工場（FA）、展示場での中古車管理などを対象として2018年に製品化。 | ・中国では、インフラ監視、街灯制御、工場内ロボットアーム制御などで利用。<br>・国内では、テクサー、凸版印刷、京都高度技術研究所は、京都でスマートシティ化実験。宮崎でチョウザメの養殖、広島で果樹園の温湿度監視で実験。 |

■表7. LTE版LPWAの仕様概要

| | LTE-M（eMTC） | NB-IoT |
|---|---|---|
| 端末カテゴリ | Cat.M1 | Cat.NB1 |
| 下り最高速度 | 1Mまたは0.8Mbps | 26kbps以下 |
| 上り最高速度 | 1Mbps | 62kbps以下 |
| カバレジ | 従来LTE（MBB）から最大+15dBまで拡張 | 従来LTE（MBB）から最大+20dBまで拡張 |
| アンテナ数 | 1 | 1 |
| 二重モード | 全／半二重 | 半二重 |
| 端末の受信帯域 | 1.4MHz | 200kHz |
| 端末の送信電力 | 20/23dBm | 23dBm |
| ハンドオーバ（モビリティ） | 可 | 不可 |
| 復号可能な最大データ量 | 上り: 1000bit　下り: 1000bit | 上り: 1000bit　下り: 640bit |

線で示す。国内では、2019年よりELTRESとZETAの実証実験、利用が増加している。

### 4.5　セルラー LPWA

#### 4.5.1　4GのLPWA（LTE版LPWA）

携帯電話網の標準化を検討する3GPP（Third Generation Partnership Project）は、4Gの仕様検討を2008～2014年に行い、一旦標準化を終了した。標準化された仕様は、3Gの通信を高速化したMBBのみであった。

このような状況で、4.1で述べたように、SigfoxやLoRaが2015年から欧州中心に携帯電話網のデータ通信市場を奪い始め、3GPPはこれに対抗するため2015年末に4G標準化の議論を急遽再開した。スウェーデンのエリクソンとフィンランドのノキアが中心となって4G向けのLTE版LPWAを、僅か2か月程の検討で2016年3月に規格化した。携帯電話網史上で初めて、高速化以外を目的とした仕様が規格化されたことになる。

LTE版LPWAの仕様には、相対的に、より高性能・高機能のLTE-MまたはeMTC（LTE-MのMはMachine、eMTCは3GPPでの呼称でenhanced Machine Type Communications。Machineはセンサを表す）と、低性能・低機能のNB-IoTの2種類がある。前者はCat.M1、後者はCat.M2またはCat.NB1（Cat.はCategory、NBはNarrowBand）と記されることもある。

LTE-M（eMTC）はLoRaやSigfoxを性能・機能面を上回ることで差異化し、NB-IoTはLoRaやSigfoxに近い性能・機能で対抗することを目的とした規格である。LTE版LPWAの仕様概要を表7に示す。

省電力化について、2つの仕様では共に、eDRX（extended Discontinuous Reception）とPSM（Power Saving Mode）の2つの方式によりセンサの消費電力を抑える。eDRXは、センサのデータ着信間隔を延長する方式で、基地局からセンサにアクセス可能である。PSMは、センサ主導で着信確認の間隔を延ばす方式で、基地局からセンサにアクセスできない。

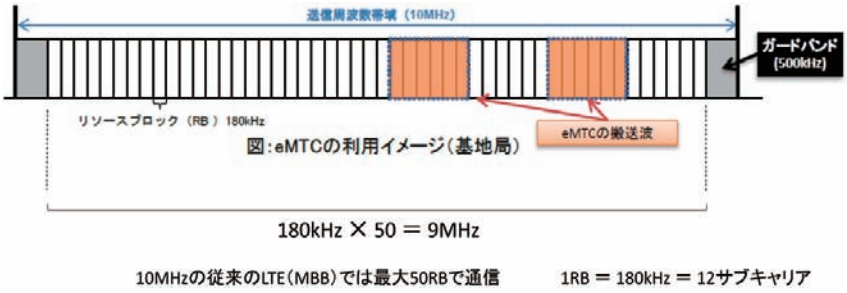
世界各国の携帯電話事業者は、4.1で述べたようにLTE版LPWA規格化直後の2016年半ばに一斉に開発に着手し、2018年初頭には、中国や北欧等においてLTE版LPWAの一部の仕様を採用したサービスを開始している。特に、4Gの普及率が低くこれまで携帯電話に関して後進国と言われてきた中国は、携帯電話網においてはより革新的で、LoRa、Sigfoxの性能、機能により近いNB-IoTのみを強力に推進している。

国内では、2018年にKDDIがLTE-M（eMTC）、2018年から2019年にかけてソフトバンクとNTTドコモがLTE-M（eMTC）とNB-IoTの双方のサービスを開始した。しかし、NTTドコモは2020年5月にNB-IoTのサービスを終了し、国内でNB-IoTのサービスを提供しているのはソフトバンクのみである。

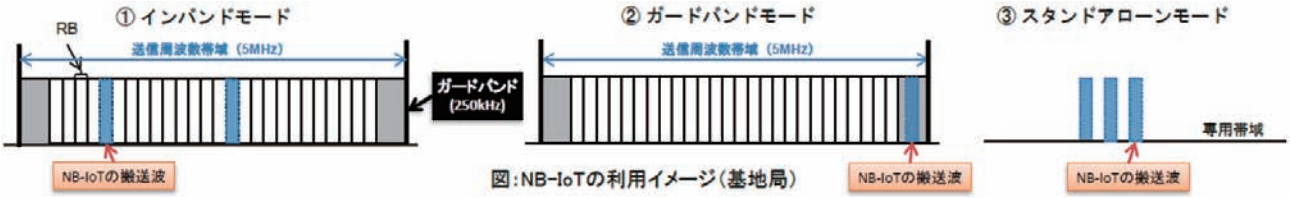
（1）LTE-M（eMTC）

従来の4Gの高速通信サービス（MBB）では、50RB（Resource Block。1RBは180kHz）を通信の制御単位とするのに対し、LTE-M（eMTC）では6RBを制御単位として1.08MHzに狭帯域化し、繰返し送信を導入している。ハンドオーバが可能で約1Mbpsを確保できるため、音声通信やウェアラブルデバイスなどセンサが低速度で移動するIoTサービス、例えば移動中の高齢者や児童の見守り、自転車の盗難防止などでの利用を想定している。

既存の基地局のソフトウェアの修正により、MBBとLTE-M




■図3. LTE-M（eMTC）の通信方式概要




■図4. NB-IoTの通信方式概要

（eMTC）によるIoT向けサービスを同時に提供する。通信方式の概要を図3に示す。

（2）NB-IoT

LTE-M（eMTC）の1/6、すなわちMBBの1/50の1RBを通信の制御単位として180kHzに狭帯域化し、繰り返し送信を導入している。スマートメータや農場、プラント、駐車場（スマートパーキング）、マンホール、エレベータ・エスカレータ、自動販売機、ゴミ収集場（スマートガベジ）などの決まった場所に設置されるモビリティが不要なセンサを主な対象としている。

基地局のソフトウェアの修正とある程度の作り込みにより実現する。通信方式の概要を図4に示す、ガードバンドを除く送信周波数帯域で運用するインバンドモード、送信周波数帯域のガードバンドで運用するガードバンドモード、専用帯域で運用するスタンドアロンモードの3種類の通信モードを規定している。

### 4.5.2 5GにおけるIoT

5Gは、携帯電話網の標準規格を勧告するITU-R（International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector）の呼称であるIMT-2020（IMT：International Mobile Telecommunications）が示すとおり2020年のサービス開始を目標に、3GPPにおいて2014年に検討を開始した。当初は、①の4GのMBBを数十倍高速化した下り最大20Gbpsの高速通信のみを目標とした。

しかし、その後のIoTや自動運転、ロボット制御等への急速なニーズの高まりに伴い、図5に示すように要求性能項目が大きく異なる3種類のサービスを規格化することになった。これらのサービスの概要を表8に示す。

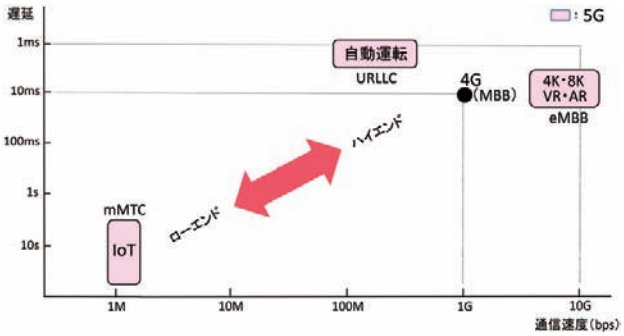
①eMBB（enhanced MBB）

②URLLC（Ultra-Reliable and Low Latency Communications）

③mMTC（massive Machine Type Communications）

- - - 多数同時接続と記されることも多い。

IoTに対応するのは③のmMTCであるが、5Gでは3GHz以上（国内では3.7、4.5、24.25−86GHz帯）を使用することが規定されており、LP（低消費電力）もWA（広域）も実現できない。mMTCは、4GのLTE版LPWAよりも高性能




■図5. 5Gにおける代表的サービスの位置付け

■表8. 5Gにおける3種類のサービス、端末、性能概要

| | 概要、応用 | 対象端末 | 最高性能値 |
|---|---|---|---|
| eMBB | 高速拡張という点では4Gの延長線上（4Gでの呼称はMBB）。最大伝送速度は4Gの数10倍。<br>4K/8Kなど超高精細映像の超高速伝送、VR/AR(*)コンテンツの超高臨場感通信、自由視点映像、高精細画像の警備活用、没入型マルチメディア等。例えば、HD画像の2時間の映画のダウンロードは1.5秒。 | 共通的な機能、性能を備えた携帯電話機、スマートフォン等。 | ・移動性能 500km/h<br>・最高伝送速度 20Gbps<br>・システム通信容量 10Mbps/m² |
| URLLC | 車の通信（V2X。自動運転支援）、プラントの遠隔監視制御、ロボットやドローンの遠隔操作、遠隔手術、交通制御、災害対応等。ミッションクリティカル性が高い応用。<br>低遅延化方式と4Gを引き継いだV2Xの仕様検討。 | 車、ロボット、携帯電話機、スマートフォン、産業用センサ等。 | ・遅延 1ms |
| mMTC | 端末多数同時接続。スマートメータリング、インフラ監視、スマートシティ/スマートホーム、環境モニタリング、物流管理等IoTに対応、等）。4GのLTE版LPWAの利用状況を見ながら仕様検討。 | センサが代表的。ウェアラブル機器、家電、ロボット等も含む。 | ・接続端末密度 $10^6$/km² |

AR(*): Augmented reality（拡張現実感）。MR（Mixed Reality、複合現実感）はARとほぼ同義

■表9. IoT向けセンサネットワークの分類

| | |
|---|---|
| ハイエンド（高性能・高機能）IoT | 5GのmMTC |
| ローエンド（低性能・低機能）IoT | 4GのLTE版LPWA<br>独自仕様LPWA |

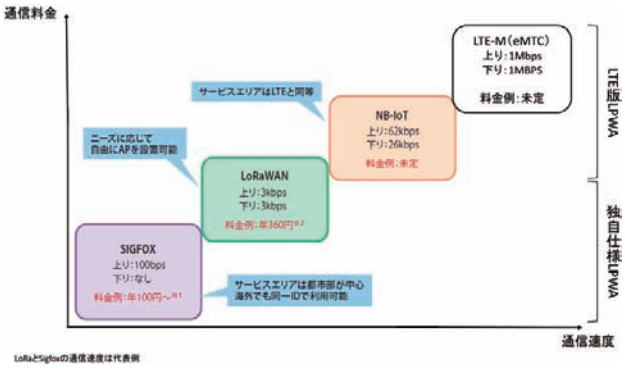
化する方向である。

応用としては、高速移動する場合を含め防犯等を目的としたカメラ（視覚センサ）で撮影した画像の伝送、解析による不審者の特定、追跡や交通制御等が想定されている。仕様の詳細化は、LTE版LPWAの利用状況を見ながら2022年を目標に行う予定である。

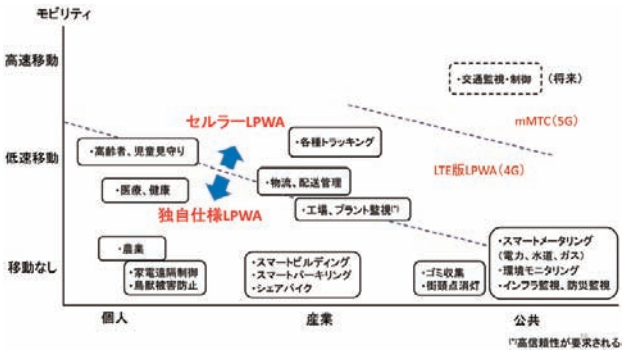
IoT向けのセンサネットワークは、**表9**に示すような分類になると思われる。

## 5. 全体比較と今後の展望

2020年8月末現在、大きく先行している独自仕様のLoRa、Sigfoxと、これらを猛追しているLTE版LPWAのLTE-M（eMTC）、NB-IoTの価格見込の比較を**図6**に示す。LPWAをこれまでの変遷から展望すると、2017年までは黎明期、2018～2021年は競争が激化する成長期、2022年以降は市場競争力に劣るLPWAが淘汰されながら普及期になると予測できる。普及期には、LPWAを利用したIoTサービスが人々の生活の様々な局面に浸透していく。




■図6. LPWAの価格見込みの比較




■図7. LPWAのすみ分けイメージ

成長期の2018年以降乱立状態に突入した多くの独自仕様LPWA、セルラーLPWAについては、各応用に求められる性能や機能、価格等に応じて、例えば、**図7**のようなすみ分けが進むと考えられる。

安定性／信頼性やセキュリティ、拡張性などがより求められる公共性の高い応用、交通制御・監視やGPSを駆使した各種追跡などモビリティが求められる応用、広域のカバー領域が必要なアプリケーションに対してはセルラーLPWAが適している。

一方、農業や見守り、健康・フィットネス、家電の遠隔制御のような低価格や低消費電力がより求められる個人の生活に密着した民間の応用に対しては独自仕様LPWAが適していると考えられる

いずれにしても、IoTの中でも最大市場といわれるスマートメータリング、環境モニタリング、インフラ監視などで優位に立ったLPWAが最終的に最も多く利用されると思われる。

［2020年7月28日　ITU-R研究会より］

### 参考文献


［1］阪田史郎，“無線通信の話，”電気書院，2015.12.

［2］阪田史郎，嶋本薫編著，“無線通信技術大全，”リックテレコム，2007.2.

［3］阪田史郎，“M2M無線ネットワーク技術と設計法，”科学情報出版，2013.5.

［4］阪田史郎，“IoT／M2M無線ネットワーク技術，”電気計算，2016.12.

［5］S. Sakata，“Emerging LPWA as a core of IoT-Overview and Perspective，”Wireless Technology Park（WTP），2017.5.

［6］阪田史郎，“競争激化で成長・普及期に突入したIoT向け広域センサネットワークLPWAの詳細，”組込みシステム開発技術展（ESEC），2019.4.

［7］阪田史郎，“IoTを牽引する広域センサネットワークLPWAの最新動向と将来展望，”オプトロニクス，2019.5.

［8］阪田史郎，“ウェアラブル機器のためのIoT通信技術－LPWAを中心として，”電気計算，2019.10.

［9］阪田史郎他，“920MHz帯を使用するLPWAの現状と課題，”電子情報通信学会・センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会（SeMI），2020.7.

［10］阪田史郎，“5Gとローカル5Gの現状と展望，”電気計算，2020.5.

［11］阪田史郎，“5Gで実現される新技術と新ビジネスの展望，”研究開発リーダー（技術情報協会），2020.5