

LPWAの最新動向と今後の展望

2018年6月6日

千葉大学

阪田史郎

sakata@p08.itscom.net

1. センサネットワークとIoT

2. 準広域センサネットワーク

Wi-SUN, IEEE 802.11ah (Wi-Fi Halow)

3. 広域センサネットワークLPWA概要

4. 独自仕様LPWA

LoRa, **Sigfox**, 他の独自仕様LPWA (RPMA、FlexNet、EnOcean Long Range、ソニー製、Weighless-P)

5. セルラーLPWA

LTE版LPWA (**LTE-M (eMTC)**, **NB-IoT**),
5G (IMT-2020)におけるLPWA

6. 全体比較と今後の動向

- ・センサネットワークは、過去のユビキタスにおいても現在のIoTにおいても中核ネットワーク。ユビキタスでは通信距離不足で市場立上らず。2010年代半ばに通信距離が長いLPWAが急浮上。

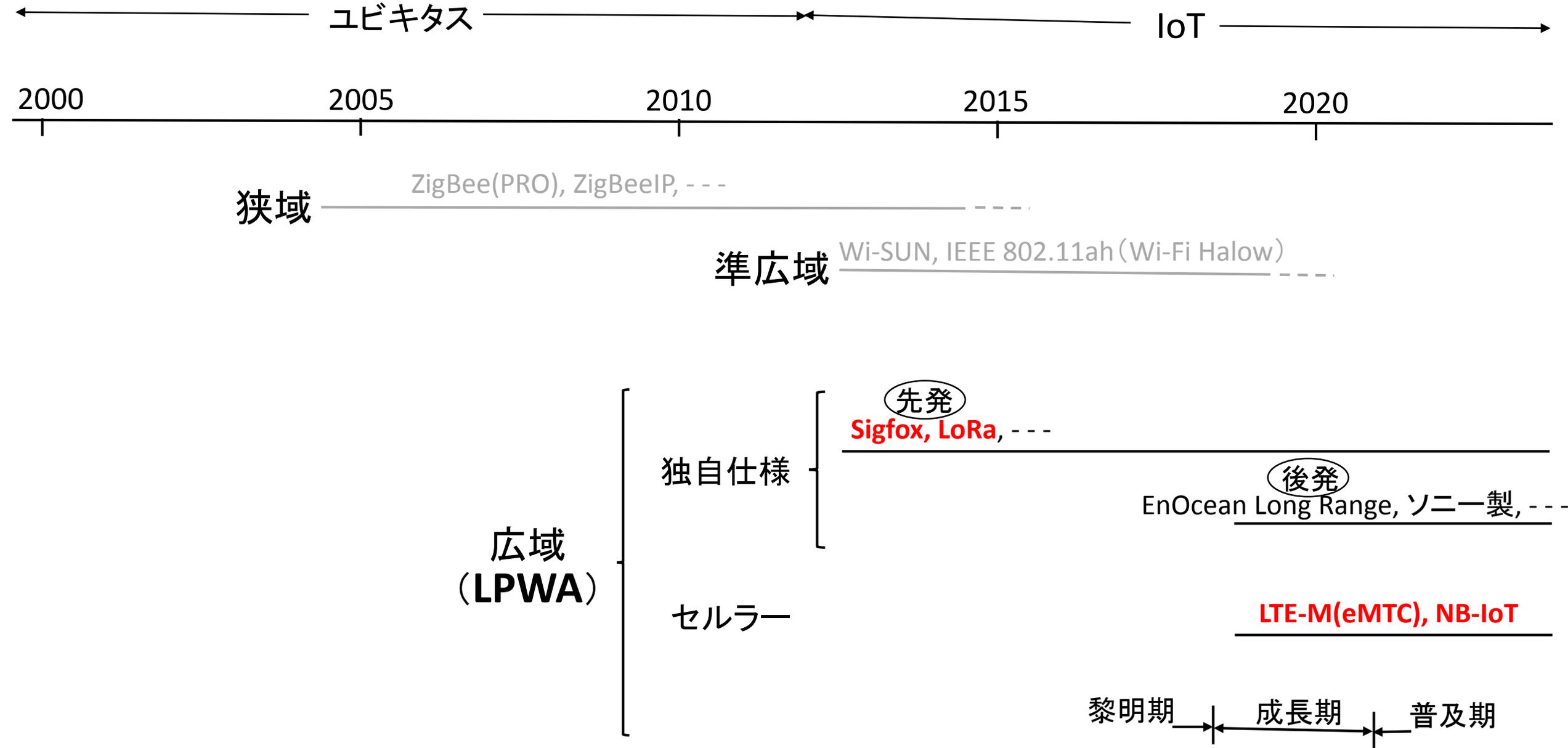
- ・LPWA (Low Power Wide Area) またはLPWAN (LPWA Network) の厳密な定義はないが、消費電力の公平な比較は難しいため、最大通信距離が数km以上をLPWAとされることが多い。

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	主なネットワーク
狭域	200m以下	ZigBee (PRO)、ZigBeeLP、Z-Wave、EnOcean、Bluetooth、BLE
準広域	数km以下	Wi-SUN、IEEE 802.11ah (Wi-Fi Halow)
広域 (LPWA)	数km以上	独自仕様: LoRa 、 Sigfox 、RPMA、FlexNet ←(先発) EnOcean Long Range、ソニー製、Weightless-P ←(後発) セルラー(現在は4Gのみ): LTE-M (eMTC) 、 NB-IoT

(*) BluetoothもBLEもセンサネットワークではなく、IEEE 802.11ahは無線LANがベースのためセンサネットワークに分類されることは少ない。

センサネットワークの変遷



独自仕様LPWAのまとめ

- ・1990年代末からZigBee (PRO)をはじめとする狭域センサネットワークが研究され、2012年以降準広域センサネットワークWi-SUN、IEEE 802.11ahが標準化されたが利用は少ない。
- ・これらは主として通信距離等の面で不十分。通信距離を延ばすためマルチホップ通信を研究。
- ・2012年より、**Sigfox**、**LoRa**などの独自仕様LPWAがヨーロッパ中心に商用サービス開始。後発の独自仕様のLPWAが、2016年には利用数で狭域ネットワークを抜いた。
- ・海外では、LoRaがオランダ、インド、韓国、フランスで大規模に展開。国内では、Sigfox、LoRaがそれぞれ2017年2月、3月にサービス開始。ソフトバンクは2017年3月、NTTドコモは同年10月にLoRaのサービスを開始。
- ・独自仕様LPWAは、後発のEnOcean Long Range、ソニー製、Weightless-Pなどが2018年に製品化。RPMA、FlexNetは先発組であるが利用は少ない。

セルラー(LTE版)LPWAのまとめ

- ・2015年に、欧州において独自仕様LPWAが携帯電話網のデータ通信市場を奪い始めた。
- ・携帯電話網の標準化を行う3GPP(Third Generation Partnership Project)は、2015年末に市場奪還のため急遽4G向けのLTE版LPWAの検討に着手し、わずか数か月間の議論で、**LTE-M(eMTC)**と**NB-IoT**の2種類の仕様を2016年3月に規格化。
- ・各国の携帯電話事業者は、規格化直後よりLTE版LPWAの実証実験を実施し、独自仕様LPWAを猛追。
海外では、中国、スウェーデンなどが先行し、2017年に一部仕様のサービスを開始。
国内では、KDDIが2018年1月にLTE-M(eMTC)、ソフトバンクが4月にLTE-M(eMTC)とNB-IoTのサービスを開始。NTTドコモも2018年中にサービス開始予定。

RPMA: Random Phase Multiple Access

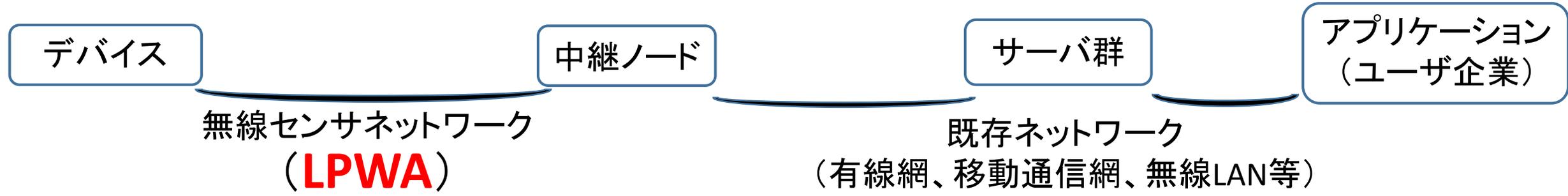
eMTC: enhanced Machine Type Communication

LTE: Long Term Evolution

NB: NarrowBand

1. センサネットワークとIoT

IoTシステムとLPWA



- ・各種センサ
- ・スマートフォン
- ・携帯電話機
- ・家電
- ・ロボット
- ・電子タグ
- ・ウェアラブル機器
- ・車
- ⋮
- ⋮

センサを搭載したデバイス群

基地局／
ゲートウェイ



データ収集

クラウド



データ蓄積・管理／データ分析・処理・利用



LPWAが出現するまで進展しなかった国内のIoT

- ・センサを接続する無線ネットワークとして、特定小電力無線やBluetooth、無線LAN、携帯電話網(3G, 4G)などが使われてきたが、すべて通信距離不足でセンサデータを十分に収集できず。さらに、携帯電話網、無線LANは、オーバスペック、高価格で、消費電力も大きく実用は伸びず。

2. 準広域センサネットワーク

- Wi-SUN
- IEEE 802.11ah (Wi-Fi Halow)

Wi-SUN

- ・IEEE 802.15 WGにおいて、日本のNICT(情報通信研究機構)も参加し、スマートメータリングへの適用を目指し、2013年に物理層のSUN(Smart Utility Networks)とMAC層で消費電力を抑えるプロトコルをそれぞれIEEE 802.15.4g, IEEE 802.15.4eとして標準化。プロトコルスタックの呼称がWi-SUN。

IEEE 802.15.4 (ZigBeeで採用)とIEEE 802.15.4g (SUN)の物理層の仕様

	IEEE 802.15.4 (ZigBeeで採用)	IEEE 802.15.4g (SUN)
通信距離	マルチホップで最大約200m	1ホップで数100m
通信速度	40kbps (920MHz)、250kbps (2.4GHz)	50/100/150kbps
物理層のペイロード長	127オクテット(内最大25オクテットはMACヘッダ)	1500/2047オクテット(Ethernetと同じで、LoRaなどのLPWAに比べ多くのデータ通信が可能)
変調方式	O-QPSK(DSSS)	FSK , O-QPSK(DSSS), OFDMの3方式
周波数	920MHz(国内), 2.4GHz	400MHz, 920MHz(国内), 2.4GHz
他	IEEE 802.15.4無線部の消費電力は60mW以下	ZigBeePROよりも消費電力1/10以下

- ・2015年に屋内用のWi-SUN HAN (Home Area Network)、2017年に屋外用のWi-SUN FAN (Field Area Network)を規格化。
- ・アナログ・デバイスズ、富士電機、村田製作所、情報通信研究機構 (NICT)、オムロン、大崎電気工業、ルネサス・エレクトロニクス、シルバー・スプリング・ネットワークスの8社が2012年にIEEE 802.15.4g (SUN)の開発・普及を推進する**Wi-SUN** アライアンスを設立。
Wi-SUNの規格 ‘Wi-SUN Profile’ を制定する任意団体で2018年2月現在170社。
- ・電力用スマートメータリングでは屋内仕様 (Bルート) に留まったが、2017年にマルチホップ通信を研究発表。
- ・事例①: ラトックシステムは、2017年5月にWi-SUNを活用した品温モニタリングシステム ‘もろみ日誌’ を発売。通信距離は見通しで最大250m。日本酒造りの麴・酒母・もろみの工程における杜氏の熟練技術と品温、品温管理をサポート。
- ・事例②: 日新システムズは、2018年に神奈川県藤沢市でWi-SUN FANを利用したスマートシティの実証実験を実施。

IEEE 802.11ah (WiFi Halow)

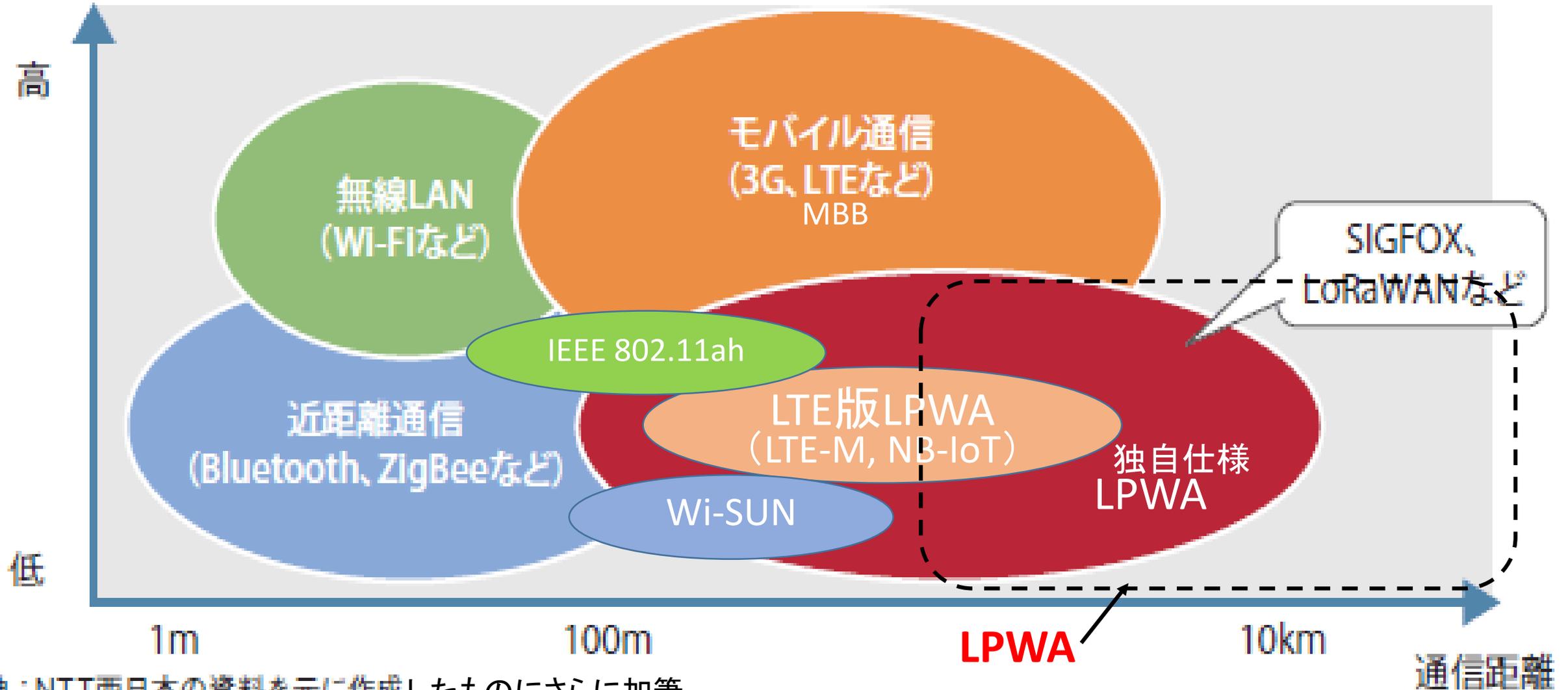
- ・これまでの無線LANの通信範囲を超えたナローバンド・マスアクセス (Narrowband Mass Access、狭帯域大量アクセス) と名づけられ、サブギガバンド (1GHz以下900MHz付近、日本では920MHz)、OFDMを利用した屋外センサネットワークとしてスマートグリッドのニーズの高まりに合わせて基本仕様は2012年に標準化。
- ・伝送速度100kbps、最大通信距離1km、パケット誤り率10%未満、アクセスポイント当りの最大端末数を6000以上。
- ・通信距離の不足に加え、OFDMで低価格・低消費電力のデバイスの開発は困難と考えられ、LPWA出現後は動きなし。

3. 広域センサネットワーク

LPWA概要

LPWAの位置づけ

消費電力・通信速度・価格



出典：NTT西日本の資料を元に作成したものにさらに加筆

NB-IoTの最大伝送距離は15~20kmとの情報もある。

MBB: Mobile BroadBand

LPWAの主な応用 ①

- ‘メータリング’、‘モニタリング’、‘トラッキング’が主要アプリケーションと言われることがある。
- 公共、産業／ビジネスから個人の生活に及ぶ極めて広い応用が想定される。

- ・スマートシティやスマートコミュニティなどと呼ばれ地域振興や市民生活の効率性や利便性の向上を目指す応用
- ・電力・水・ガスの使用量を計測・制御するスマートメータリング（遠隔自動検針）
- ・大気中や森林、土壌、海洋、河川、湖沼などに存在するCO₂、硫黄酸化物、窒素酸化物、ダイオキシン他有毒・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
- ・川の氾濫、崖の崩落、ダムが決壊、橋梁やトンネルなどの公共インフラの崩壊予知・監視
- ・街角の防犯カメラ（視覚センサ）で撮られた映像の収集・分析
- ・コネクティッドカー、交通監視・制御
- ・トラック・タクシー・バスの追跡（トラッキング）・配車・運行、物資の配送、貨物監視等を効率化する物流管理
- ・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／自転車）、盗難防止（トラッキング）
- ・プラントにおける故障・異常監視、工場における設備監視
- ・石油・天然ガスのパイプライン監視
- ・工事・建築現場における異常監視・作業管理
- ・スマートビルディング（BEMS、人流管理）
- ・エレベータ、エスカレータの遠隔監視
- ・マンホールの水位測定（漏水、浸水、洪水）、漏れ電流やガス漏れの検知などの遠隔監視・保守

LPWAの主な応用 ②

- ・街灯の点灯・消灯の遠隔制御(スマートライティング)
- ・厨房機器の温度や電動モータの遠隔監視
- ・鳥獣被害検知・防止
- ・ゴミ、産業廃棄物収集の効率化
- ・児童や高齢者の見守り、徘徊検知
- ・健康・フィットネス・福祉・介護等を支援するヘルスケア、ウェルネス
- ・水田、ビニールハウスなど農業における温度、湿度、肥料状態などの測定による自動灌漑・給水管理、作物の栽培・品質管理、牧場の家畜見守り・放牧管理
- ・養蜂業における巣箱に集まった蜂蜜量の把握
- ・ショッピングモール、イベント会場、テーマパーク、観光スポット等における災害対応(位置情報を用いた安否確認、避難誘導等)、マーケティング
- ・家電の遠隔制御等によるホームセキュリティ、ホームオートメーション
- ・自動販売機の売上・在庫遠隔監視、ウォーターサーバの補給時期の把握
- ・ホテルやレストランにおけるタクシー呼出し
- ・AEDのバッテリー残量チェック
- ・登山やスキーの遭難者検知・救助
- ・ウェアラブル機器からの各種センシング
- ・軍事応用(兵器、不発弾、地雷などの検知)

:

参考：福岡市における実証実験の資料より



独自仕様LPWA vs. セルラーLPWA

独自仕様LPWA	セルラーLPWA
LoRa, Sigfox, RPMA, FlexNet, EnOcean Long Range, ソニー製, ---	4GのLTE-M (eMTC), NB-IoT
<ul style="list-style-type: none">・免許不要帯域 (サービス品質の保証困難)・規制なし・プロプライエタリベンダによるクローズドソース・製品認証・テスト不要・IP利用不可・カバーする領域が限定・容易に低価格で導入可能・短パケット、低消費電力・低モビリティ	<ul style="list-style-type: none">・免許帯域 (サービス品質は保証)・規制あり・グローバル標準のオープン仕様・製品認定要・IP利用可能・カバレッジが広い・キャリアグレードサービス<ul style="list-style-type: none">- 安定性- 信頼性/頑強性- セキュリティ- 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)

LPWAの選定基準 （要求仕様はアプリケーションによって大きく異なる）

・通信性能に関する項目

- デバイスの消費電力 (LP。電池の寿命)
- 接続可能なデバイス数
- 通信速度
- 再送を含めた送信タイミング
- セキュリティ
- 最大通信距離 (WA)
- データサイズ
- 送信頻度
- 信頼性 (許容されるデータ欠損率)
- モビリティ

・上位機能の項目

- デバイス上のソフトウェアの遠隔更新 (FOTA)
- システムの拡張性
- インターネットの相互接続性

・他の重要項目

- 価格
- 導入の容易さ
- 商品化時期

導入に当たっては、適用するアプリケーションに求められるこれらの評価に基づく、収益性の見積りによるが、LPWAは2020年頃までは成長期(競争期)で、当面選定は困難。

4. 独自仕様LPWA

- ・レーダーやソナー（LoRa）、潜水艦の通信（Sigfox）など、古典的な軍事技術を基にしているものが多い。軍事利用として実績のある長距離通信技術を核にして、他の軍事関連の機能や高性能な部分を削ぎ落とし、徹底的に低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。
- ・元々軍事技術を基にしていることもあり、独自仕様のLPWAの詳細仕様はあまり公開されていない。その中で、LoRaは徐々に公開。
- ・2016年末までは、LoRa, Sigfox, RPMA, FlexNetのいずれもサービス拡大の可能性が考えられたが、その後はLoRaとSigFoxが大きく先行。
2017年1月にEnOceanがLPWAに拡張、同年5月にスマートメータリングに特化したFlexNetがサービス拡大、6月にソニーが独自のLPWAを開発、英国で規格化されたWeightless-Pを台湾・ユービック社が2018年に製品化予定。

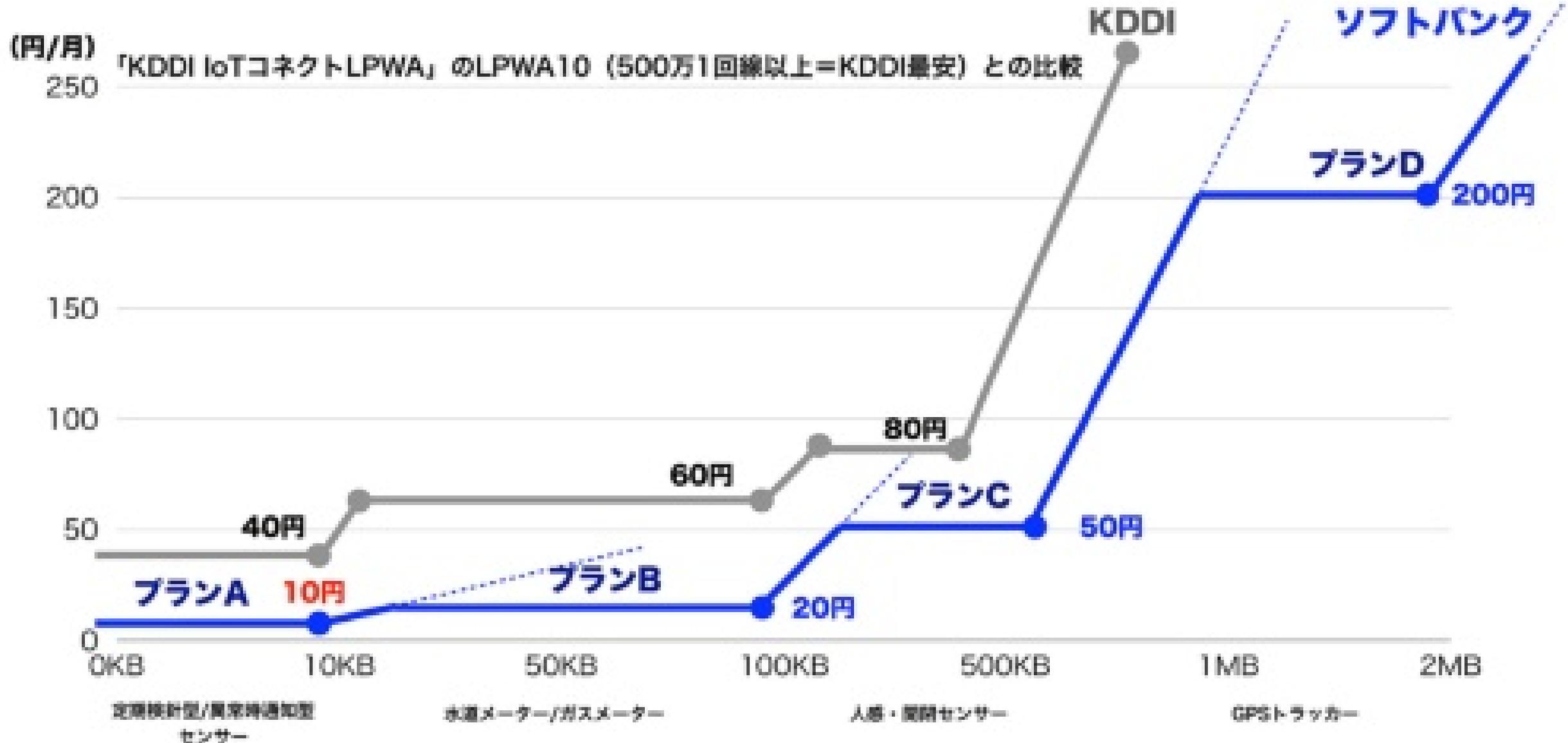
構築・運用コストの目安

- ・LoRaのゲートウェイは約10万円。LoRaを運営するソラコム¹のIoT向けサービスでは、1回線(デバイス)当りの基本料金で月額300円+1Mbyte当り0.2円強。
- ・Sigfoxは契約デバイス数が100万台以上、1日の通信回数が2回以下の場合年100円(スマートメータリング、企業・家庭の電気製品への組み込み等を想定)。
1日の通信回数が50回以下で3万台の時は年500円、1万台の時は年約1000円。

[参考] LPWA料金比較 (日本経済新聞、2017.11.16)

	KDDI	NTTドコモ	Sigfox
料金	月40円から (現在の4Gの約1/20)	月400円から	年100円から
月間データ通信量	数10kbyte	数10Mbyte	数100byte
バッテリーの持ち	◎	○	◎
方式	LTE-M	Cat.1、(LTE-M)	Sigfox独自

ソフトバンクとKDDIの料金比較



4.1 LoRa

- ・仏Cycleo社が開発。レーダーやソナーの技術がベース。デバイスは米Semtech(仏Cycleoを買収)が開発。
- ・名称の由来は、Long Range。サービス開始は2014年。‘オープン性’を優位点としている。
- ・LoRaは物理層またはLoRa変調と呼ぶ変調方式、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指す。
- ・海外では、オランダ、韓国で国全体をカバー、インドでも人口4億人の地域をカバー。
- ・LoRaはデバイス(センサ)と基地局(ゲートウェイ)とその間を結ぶLoRaWANを基本構成とするため、携帯電話網と直接は競合しない。

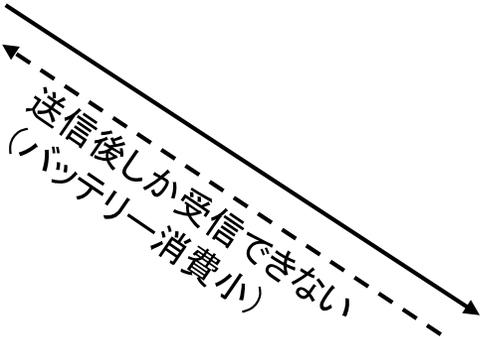
LoRa変調

- 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を**チャープ信号**と呼び、LoRa変調におけるチャープ拡散方式は、チャープ信号をベースチャープ信号として、ベースチャープ信号を時間軸方向にサイクリックシフトして周波数拡散を行う(DSSSの一方式)。
- 送信側は送信ベースバンドデータに対応する変調値によりチャープ信号をシフトする位相を決め、シフトしたチャープ信号を送信。受信側は受信したチャープ信号のシフト位相を検出し、送信ベースバンド信号に対応する変調値を解読。
- LoRa変調は位相変調のPSKに近い方式で、PSKがサイン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。
- LoRa変調モードでは、拡散率(Spreading Factor)、帯域幅(BW)、CodingRate(CDR。誤り訂正率に対応)の組合せ方により、通信速度(bps)と最大RSSI(RSSI: Received Signal Strength Indicator。受信信号強度)を制御する。CDRを適切に上げることで、ノイズ耐性、RSSIを向上させ、通信速度を低下させながら、通信可能距離を長くする。

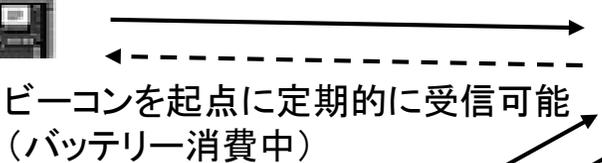
LoRaのシステム構成

LoRa対応センサ

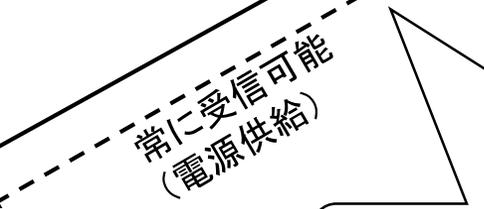
クラスA 



クラスB 



クラスC 



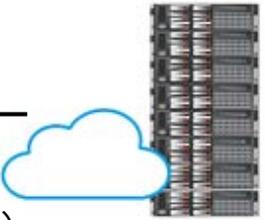
LoRa Allianceが対応機器を認定。
認定機器を使って誰もが利用可能

LoRa対応
ゲートウェイ



既存ネットワーク
(有線網、3G/4G、無線LAN等)

ネットワーク
サーバ



ユーザ



LoRa変調またはFSKによる通信。
用途に応じて3つのデバイスクラスを定義

LoRaの主な実証実験、サービス

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
農業(みどりクラウド)	NTTドコモ、39Meister(NTTドコモとハタプロの共同事業)	長崎県南島原市
里山(観光誘致など)	NTTドコモ、金沢工業大学	石川県白山市
都心災害対応通信	NTTドコモ、39Meister、三菱地所	東京都心
農地の水管理	NTT西日本、積水化学	滋賀県野洲市
ゴルフ場	NTT西日本、GISupply、ロートピア	奈良県天理市。ゴルフカートの位置情報管理。GISupplyがGPSトラッカーLT-100を開発、提供
—	NTT西日本、NTTネオメイト、Braveridge	福岡市(日本最大規模)
空調機遠隔監視	NTT西日本、ダイキン工業	—
プラント監視	NTT西日本、横河電機	横河電機は産業用IoT向け無線センサ‘Sushi Sensor’開発
水道、ガスのスマートメータリング	NTT西日本、西部ガス	熊本市(FlexNetと共同実験)
プラント設備監視(点検、故障の早期回復)	NTT西日本、横川電機	—
産業廃棄物収集の効率化	NTT西日本、エックス都市開発、シンク・アンド・アウト、NISSHA	京都府

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
スマートビルディング(ビル内喫煙室の見えるかと効率化)	NTT都市開発、ディメンションデータジャパン	—
都市水害対策支援	KDDI、明電舎	厚木市
除雪車の位置情報管理	KDDI、KDDIまとめてオフィス中部、大日コンサルタント、GISupply	岐阜県下呂地域
農業(マンゴー栽培)	沖縄セルラー、KDDI、スカイディスク、琉球大学	沖縄県宮古島
—	KDDI、中部電力、中小企業基盤整備機構中部本部、シスコシステムズ	中部エリア
—	KDDI、シスコシステムズ	北海道
登下山者可視化、山岳事故防止	KDDI、静岡県御殿場市	静岡県御殿場市
見守り、FMS、スマートメータ、公共インフラ管理、スマートパーキング、農業など	ソフトバンク、静岡県藤枝市	静岡県藤枝市
—	ソフトバンク、村田製作所	技術開発協力、協業

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
—	Access。ハードウェアはBraveridge、三信電気と協力	システム開発、運用支援
マンホール内水位測定、遠隔管理	富士通九州ネットワークテクノロジーズ(QNET)	—
—	ソラコム	通信用キットSORACOM Air for LoRaWAN開発
—	M2Bコミュニケーションズ、フューチャー	千葉県柏市、京都府与謝野町
機械装置の状態監視	エヌエスティ・グローバルリスト(NSTG)	無線通信ユニットSpreadRouter-MW開発
—	スカイディスク、西松建設	東京都心で通信距離測定(屋外では2km強、屋内で1km強通信可)
水道、LPガスのスマートメータリング	アズビル金門、日本IBM	北海道
河川などの水位モニタ、大気環境のモニタリング、スマートゴミ箱	アズビル金門、グリーンハウス、セムテック・ジャパン、東京エレクトロンデバイス、日本IBM、Braveridge、菱電商事	福岡市
—	ルネサスエレクトロニクス	マイコン開発
農場管理	フリービット、グリーンハウス、スピーディア、トライポッドワークス	仙台市舞台ファーム
スマートメータリング	関西電力、ケイ・オプティコム、日本マイクロソフト	関西エリア

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
機械装置の状態監視・故障予知、野生鳥獣の捕獲検知、溜池の水位監視、火山断層のズレ検知	エヌエスティ・グローバルリスト(NSTG)	LoRaWANのマルチホップ版開発
水田の水管理	インターネットイニシアティブ(IIJ)。センサは日本ラッドと共同開発	静岡県
農場管理、物流管理	スカイディスク	—
—	マクニカネットワークス。台湾GlobalSat社のGPSトラッカー LT-100Hと、仏Kerlink社のLoRaWANゲートウェイを利用	ソリューション提供
登山者の可視化、山岳事故防止	博報堂アイ・スタジオ	—
介護施設内環境センシング(機械学習で行動認識)	スカイディスク、九州工大	—
介護施設における高齢者見守り	レオパレス21	埼玉県草加市
—	東陽テクニカ	認証サービス
高齢者の徘徊模擬訓練	LiveRidge	鹿児島県肝付町。GISupplyのGPSトラッカーLT-100を利用
認知症高齢者の見守り搜索	ヘッドウォータース、LiveRidge、39Meister	東京都世田谷区。クラウドサービスLiveAir

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
農業、ヘルスケア	いなあいネット、ウフル、ソラコム、ARM	長野県伊那市でハッカソン開催
—	RedwoodComm	デバイステスターRWC5020A開発
—	シスコシステムズ	GPS搭載なしで20mから200mの精度での位置把握を可能にするGeo-Location開発
—	NEC	LoRa対応ネットワークサーバ提供
農業の水管理	IJJ	—
—	レンジャーシステムズ	monoコネクト for LoRaWAN(センサ、ゲートウェイ、ネットワークサーバ)を提供
スキー場スタッフの位置把握	マクニカネットワークス	群馬県みなかみ町ノルン水上スキー場
見守り、水位管理、バス管理、鳥獣捕獲檻管理	Braveridge	福岡県糸島市
—	エヌエスティ・グローバルリスト(NSTG)	LoRaPrivateとLoRaWAN間のプロトコル変換モード開発
—	センスウェイ(サービス展開では三井不動産と提携)	IoTプラットフォーム 'Senseway Mission Connect' 提供
—	センサウェイ、三井不動産	千葉県柏市の「柏の葉キャンパス」での柏の葉IoTハッカソン開催

4.2 Sigfox

・2009年に仏Sigfox社が設立、2012年にサービス開始。第一次世界大戦(1910年代)における潜水艦の通信技術を基にしている。詳細仕様は非公開。

BPSK(Binary Phase Shift Keying)を利用した超狭帯域通信Ultra Narrow Band (UNB、100Hz。干渉波の一部のみ影響)と呼ぶ技術で10bps~1kbpsの低速通信を実現。

さらに、周波数ホッピング(FHSS)による信号多重、複数回フレーム通信、同報を行うことで耐干渉、耐障害性の高い通信が可能。

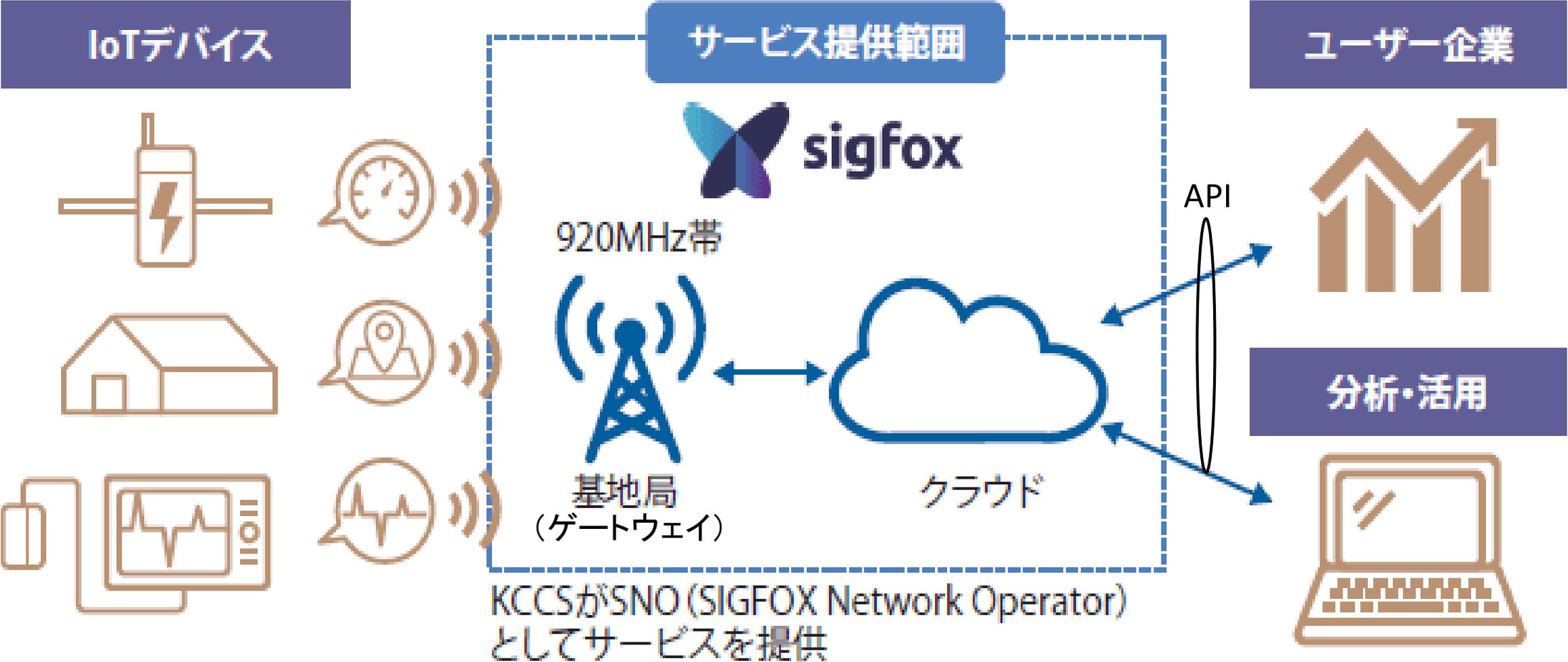
・‘通信方式のシンプルさ’と‘グローバル展開力’が優位点。LoRa等よりも相対的に低消費電力、低価格で、広いエリアをカバーし、基地局数も少なくできる。ユーザ側でゲートウェイ装置を用意する必要はなく、全てを事業者任せられる。

・基地局(ゲートウェイ)からバックエンドのクラウドを含め、トータルなネットワークが提供可能なため、携帯電話網と競合する。

・日本ではSigfox社と京セラコミュニケーションシステム(KCCS)が提携し(一国で一社)、2017年2月末に東京都23区内、3月より大阪市、横浜市、川崎市でサービスを開始。

2018年3月までに政令指定都市を含む36の主要都市、2019年3月までに人口カバー率85%、2020年末までに全国展開(人口カバー率99%)を目指す。2018年2月に100万回線突破。

SigfoxネットワークにおけるKCCSのサービス提供範囲



出典: KCCS資料をもとに作成

Sigfoxのデバイス(センサ)と基地局の仕様

	デバイス(センサ)	基地局
帯域	免許不要特定小電力無線局	簡易無線局
送信電力	20mW以下	250mW以下
送信変調方式	DBPSK	GFSK
送信速度	100bps	600bps
1日の最大送信数	140	4
受信感度	-135dBm	-145dBm
送信チャネル幅	100Hz	800Hz
送信継続時間	2s	0.35s
使用帯域幅	200kHz	200kHz

Sigfoxの主な実証実験、サービス、協業

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
スマートパーキング	オプテックス	— (2017年2月サービス開始)
厨房の温度監視(宅配ピザ'ナポリの窯')	アイ・サイナップ	— (2017年2月サービス開始)
厨房機器の状態監視	旭光電機	— (2017年2月サービス開始)
水道のスマートメータリング	KCCS、KDDI、第一環境、アズビル金門	姫路市。Sigfox自動検針コンソーシアムを結成
LPガスの配送、検針	KCCS、ミツウロコクリエイティブソリューションズ、NEC(無線ユニット開発)	ソリューション提供。2018年に名古屋で大規模実験
—	アドバンテック(台湾)	KCCSのパートナーに
物流管理	KCCS、双日、アイ・サイナップ	ソリューション提供
防犯・児童や高齢者の見守り(防犯ブザー、位置情報通知)	KCCS、アイ・サイナップ	福岡県飯塚市
灯油配送システムの効率化／労働負担軽減(灯油難民防止)	ゼロスペック、KCCS、さくらインターネット	北海道石狩振興局(JA新しのつ、新篠津村役場)
住民の健康状態や相談事を役場や医療・福祉関係者で共有	長野県北安曇郡小谷村役場、KDDI、KCCSモバイルエンジニアリング(KCME)	長野県北安曇郡小谷村

Sigfoxの主な実証実験、サービス、協業

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
リアルタイム出会い創出	リンクバル、KCCS、KCCSモバイルエンジニアリング(KCME)	東京都内
—	ソラコム	センサキットSens'it、Sigfoxをサーバレスで利用するためのSORACOM Harvest、様々なクラウドを利用するためのSORACOM Funnelを開発
インフラ施設管理	西松建設	クラウドシステム開発
—	KCCS等	東京都千代田区永田町から16km通信可
—	ブレイブテクノロジー	LINEへのプッシュ通知を可能にするサービスSIGLINESを提供
キットカットたのめるくん自動発注	ネスレ日本。システムは、KCCSモバイルエンジニアリング(KCME)とACCESSが提供	—
冷凍庫・冷蔵庫の温度・湿度管理(2018年現在)	アイ・サイナップ	IoTゲートウェイ開発
—	オプテックス	IoT無線ユニット‘ドライコンタクトコンバーター’開発
IoT看板の遠隔監視	ザイマックス、アイマックス、オージス総研	—

Sigfoxの主な実証実験、サービス、協業

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
宅配ボックス(まいどうもポスト)	ウィルポート	東京勝どきエリア
看板の点検・保守・見守り	オプテックス	—
インフラ傾斜監視(土砂災害防止)	西松建設	2018年5月に‘OKIPPA104’を提供
かばんの追跡(ラゲージトラッカー)	ルイ・ヴィトン	—

4.3 LoRaとSigfoxの比較

LoRaとSigfoxの比較 ①

	LoRa	Sigfox
推進企業・団体	LoRaアライアンス。2015年に設立。 2017年8月末現在デバイス開発元の米Semtechを中心にIBM、シスコ、STマイクロ、MICROCHIP、仏オレンジ、オランダKPN、仏ブイグテレコム、中国ZTE、台湾鴻海精密工業、韓SKテレコム、など500社以上が参加。	仏Sigfox。2009年に設立。 STマイクロ、Texas Instruments、ARM、Silicon Labs、ON SemiconductorなどがSigfox採用のデバイスを開発。
サービス形態	自営無線、携帯通信事業者が考えられるが、Sigfoxに比べると無線LANのような自営無線が主。 サービス開始は <u>2014年</u> 。 <u>携帯電話網と競合しない</u> 。	携帯通信事業者のようなビジネスモデル。SigfoxとSNOが商用展開。グローバルで共通のネットワークを利用できるとしている。 サービス開始は <u>2012年</u> 。 <u>携帯電話網と競合する</u> 。
無線方式	仏Cycleoが開発した独自のチャープ方式による信号多重、周波数拡散。適応データレート(ADR)	仏Sigfoxが開発したBPSKによる100Hz幅の超狭帯域伝送UNBと独自の周波数ホッピングによる信号多重
通信速度	200bps～50kbps (最大37.5kbpsともいわれる)	10bps～1kbps (100bpsが基本。 3G/LTEの1/2000の速度)

LoRaとSigfoxの比較 ②

	LoRa	Sigfox
通信距離	1kbpsで8km(見通しで約10km。さらなる低速度では11~30kmとしている)	30~50km(都市部以外), 3~10km(都市部)
帯域幅	125/150kHz(標準) (7.8~500kHz)	UNB仕様の100Hz。混信に強く、-142dBmの微弱な電波強度でも受信可能としている。
日本での使用周波数帯	<u>920MHz帯</u>	<u>920MHz帯</u>
送信電力	無線局免許が不要な20mW以下	無線局免許が不要な20mW以下
通信方向 ^(*)	双方向通信が可能。	センサからの一方向(上り)通信が基本だが2017年末に下り通信も可能に。
ネットワーク形態(トポロジ)	複合型スター(ノードの価格を抑えるためメッシュには対応しない)。各デバイスは複数の基地局に送信。	複合型スター(ノードの価格を抑えるためメッシュには対応しない)。各デバイスは複数の基地局に送信。
消費電力	半径8kmの通信で電池の寿命10年としている。	携帯電話通信の5000 μ Wの1/100の50 μ W。2.5Ahのボタン電池を使うと、スタンバイ時間が携帯電話通信の0.2年に対し、1/100の20年。ボタン電池による寿命は5年以上。1回の送信電力は約170mAs。

LoRaとSigfoxの比較 ③

	LoRa	Sigfox
端末のモビリティ	ハンドオーバ機能はないが、時速40kmでも通信可能(スカイディスク)。	ハンドオーバ機能はないが、時速約20kmまでは通信可能(KCCS)。
サービス備考	センタ側からセンサを起動して通信を行うことができる。 ゲートウェイの価格は約10万円。	各デバイスから1日最大140回、最大12byteのメッセージを送信可能。
商用展開	2017年末時点で42社以上が商用展開(1年で30社以上増加)、50社でトライアル中。仏オレンジ、仏ブイグテレコム、オランダKPN、ベルギーのプロキシマス、スイスコム、インドのタタ、米コムキャスト、韓SKテレコムなど。 国内ではソフトバンクが2017年3月、NTTドコモが同年10月より商用展開。	2018年3月末時点で45カ国(仏、英、スペイン、独、オランダ、米国など。日本は25カ国目)。2018年までに60カ国で展開、10億人をカバー、600万回線を目標。 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2017年2月より商用展開。KCCSのエコパートナーは2018年3月末現在約280社。

LoRaとSigfoxの比較 ④ MAC層とネットワーク

	LoRa	Sigfox
チャンネルホッピング	時刻同期なし(*)	時刻同期なし(*)
上り通信アクセス制御	ALOHAアクセス制御	ALOHAアクセス制御。冗長送信(**)
下り通信アクセス制御	デバイスは上り送信後に一定時間後に上り受信モードに切替える。1回目の下り通信は、使用チャンネルと通信速度が上りと同じ対称通信。2回目の下り受信は、双方で事前に約束しておいたチャンネルと通信速度を利用する非対称通信。	デバイスが下りでメッセージを受信する必要がある場合、冗長送信で下りでのメッセージ受信を要求する。ACKを要求する場合は上り送信後20秒スリープし、受信モードに遷移し基地局からのACKを待つ(最大待ち時間25秒)。ACKは最大8バイトのペイロードに乗せられる。
通信信頼性確保	送信到達確認と再送(***)	送信回数制限(****)
レート制御	ADR	—
トポロジ	複合型スター	複合型スター
接続方式	ネットワーク加入手続きが不要で、デバイスの電源を入れると直ちにメッセージを基地局に送ることができる非接続型。デバイスは自身のアドレスとセキュリティセッションキーがわかれば基地局にメッセージを送ることができる。	ネットワーク加入手続きが不要で、デバイスの電源を入れると直ちにメッセージを基地局に送ることができる非接続型。基地局はメッセージ中のデバイスIDと認証情報を解読し、契約中のデバイスからのメッセージのみ受理。
セキュリティ	暗号はAES-128。デバイスアドレスでデバイスを認証。メッセージ改ざん防止はMIC (Message Integrity Check)。	暗号はアプリケーションで。4バイトのデバイスIDを基地局で認証。PACと呼ぶ秘密キーを用いて八種情報を生成しメッセージ改ざんを防止。

(*) LoRa, Sigfoxともにデバイスは任意のタイミングで送信でき、基地局は常にすべてのチャンネルから受信可能。

(**) Sigfoxではデバイスは同一メッセージをランダムに選んだチャンネルに3回送信。

(***) LoRaの上りメッセージには、送達非確認(Unconfirmed)と送達確認(Confirmed)の2種類がある。

送達非確認では基地局からACKは送らない。送達確認ではデバイスは上り確認メッセージを任意のチャンネルに送り、上位のアプリケーションはデバイスからの確認メッセージを正しく受信するとACKフレームを作成し、ネットワークサーバを介して基地局に送信する。基地局は遅延時間後上りと同じ通信速度でデバイスに送る。さらに、遅延時間後予め設定した通信速度で下り専用チャンネルにACKフレームを再送信する。

(****) SigFoxにおける最大送信回数

契約ランク	上り	下り
プラチナム	140	4
ゴールド	100	2
シルバー	50	1
ワン	2	0

LoRaとSigfoxの比較 ⑤ 総合比較

	LoRa	Sigfox
消費電力(LP)		○
カバーエリア(WA) (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	○(双方向)	(2018年より双方向も)
オープン性	○	
価格を含む導入容易性		○
国内携帯電話網事業者の採用 (Sigfoxは携帯電話網と共存できない)	○	
展開計画		○

4.4 他の独自仕様LPWA

- RPMA
 - FlexNet
- 先発
(~2017年)
- EnOcean Long Range
 - ソニー製
 - Weightless-P
- 後発
(2018年~)

RPMAとFlexNet（先発組）

	RPMA	FlexNet
開発企業	・仏Ingenu社（2016年9月にOn-Ramp Wirelessから社名変更）が開発。	・米Sensus社が開発。
実績、サービス形態	・米国中心に既に20カ国で38以上の自営網を展開。25カ国に技術ライセンス供与。	・米国、英国において水道・電力・ガス用スマートメータを2000万以上の世帯に導入。
無線方式、特徴	・Qualcomm社が開発し3G携帯電話網で採用されたCDMA (Code Division Multiple Access) を基に干渉に強くパケットロス率が低いRPMAを独自開発。	・変調方式はFSK (Wi-SUNと同)、2G携帯電話網以前のポケットベル（国内では1980年代後半から1990年代前半までページャの名で普及）の通信方式を基にIPv6にも対応。
使用周波数	・ <u>2.4GHz</u> （サブGHz帯は国ごとに周波数が異なるが、2.4GHzは各国共通）。	・免許帯域（国内では <u>280MHz</u> ）を使用。干渉を抑え信頼性が高い。
通信諸元	・一つの基地局で80～520km ² をカバー、最高速度は下り600Kbps・上り100Kbps、バッテリー交換無しで1年以上稼働、	・都市部では5キロ、郊外では20キロまでの範囲で、1%以下のパケットロス率、エンドデバイスは最大2Wまで送信可能。
日本国内での実績	・2013年に長谷エアネシスのマンションで電力用スマートメータリングで実験。	・2015、2017年に神戸市水道局の水道用スマートメータリング、山間部の工場用水の利用で実験。

EnOcean Long Range、ソニー製、Weightless-P（後発組）

	EnOcean Long Range	ソニー製	Weightless-P
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・独シーメンスからスピニアウトして設立されたEnOcean社が開発狭域センサネットワークEnOceanのLPWA版。 	<ul style="list-style-type: none"> を家電の開発で蓄積されたデジタル信号処理技術、高周波アナログ回路技術により、都市部でも良好な通信が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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・標準化を推進。
特徴、通信性能等	<ul style="list-style-type: none"> ・送信出力10/20mW、通信速度を1kbps程度に抑え、高利得のアンテナを用いることで、見通しで3～4km（最大6km）、ビルの林立する都市部でも300～400mの通信が可能。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・920MHz帯を利用し、実験では障害物のない見通し通信で、<u>100km以上の遠距離通信に成功</u>。<u>時速100km/hの高速移動中でも安定的な通信を確認</u>。 ・1日2回の位置データ送信の場合、コイン電池1個で1年間動作可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>下り最大100kbps、同時接続数が多い</u>。下りの高速性は、センサのファームウェア更新で優位。 ・TDMA／FDMAをベースに、搬送幅12.5kHz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。 ・欧州仕様では、都市部で2km、郊外で5kmの通信が可能。電池交換なしで5～10年間運用。
応用、商用展開等	<ul style="list-style-type: none"> ・NTTとの実証実験成果を踏まえて、2017年3月にサイミックス（長野県茅野市）が、長距離気象センサシステムを製品化。NTT東日本はこの製品を用いて、農業の‘見える化’ソリューション実証実験。 	<ul style="list-style-type: none"> ・IoTクラウドプラットフォームToamiを提供する日本システムウェア（NSW）と連携。 ・牛の起立困難状態を検知しスマートフォンに通知するシステムを開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートシティ、工場（FA）などを対象として2018年に製品化。

5. セルラーLPWA

4GにおけるIoTへの対応

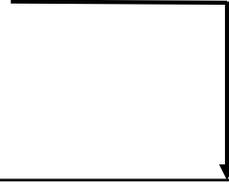
背景:

独自仕様のLoRaやSigfoxなどのLPWAが2013年頃に利用され始め、2015年に携帯電話網のデータ通信市場が奪われ始めた。

- 大市場のIoT/M2Mで先行された独自仕様のLPWAに追いつくため、3GPPは2015年末に急遽4G向けのLTE版LPWAの検討に着手し、数か月の短期間で規格化し、2016年3月発行のリリース13に滑り込ませた。
スウェーデンのエリクソンとフィンランドのノキアの提案がベース。
- LTE版LPWAでは、
 - 高機能版の**LTE-M (eMTC) Cat.M1** (eMTCは3GPPにおける呼び名)
 - 低機能版の**NB-IoT Cat.M2/Cat.NB1**の2種類の端末を規格化。
(低機能の方が通信速度は遅いが通信距離は長く消費電力も小さい)

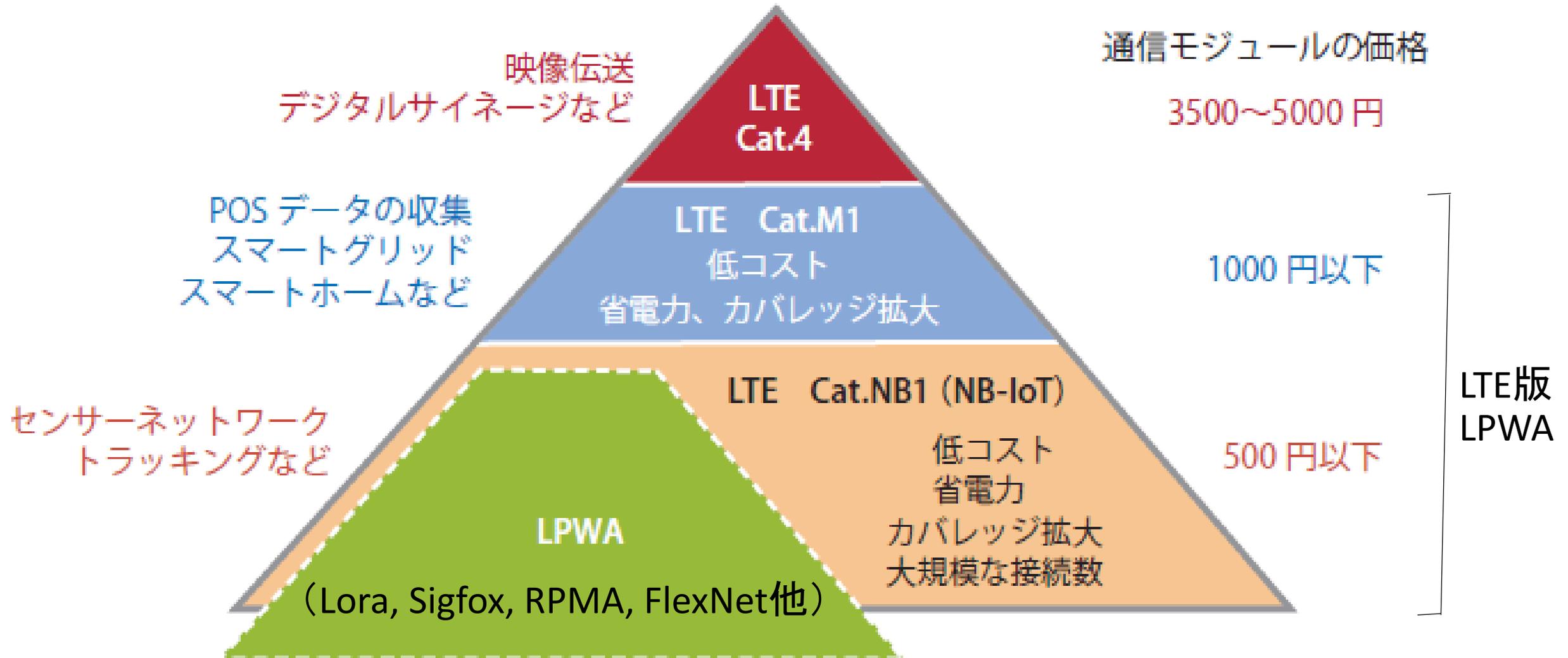
4Gにおける従来の携帯電話網におけるデータ通信とLTE版LPWA

これまで4G (LTE-Advanced)
といわれてきた部分



	携帯電話データ通信 (MBB: Mobile BroadBand)	LTE版LPWA
通信速度	高速通信	低速通信
主な通信方向	下り	上り
通信頻度	接続時連続通信	周期的に間欠通信
通信量	数MB以上の大容量データ	数10B程度の少量データ
伝送能力	サービスエリア内のみカバー	サービスエリアも一部カバー
端末消費電力	数日に1回充電	数年の電池寿命

LTE版LPWAの位置づけ



LTE版LPWAにおける省電力化技術： eDRXとPSM

eDRX (Extended Discontinuous Reception)

デバイス側の着信間隔を延長することで消費電力を少なくする技術

ネットワークからデバイスにアクセス可能

PSM (Power Saving Mode)

デバイス側が着信をあきらめることで消費電力を少なくする技術

ネットワークからデバイスへアクセス不能

※eDRXとPSMは、カテゴリ-M1/NB-IoTだけでなくカテゴリ-1にも実装可能
(カテゴリ1は非LPWAであるが、NTTドコモは提供を検討)

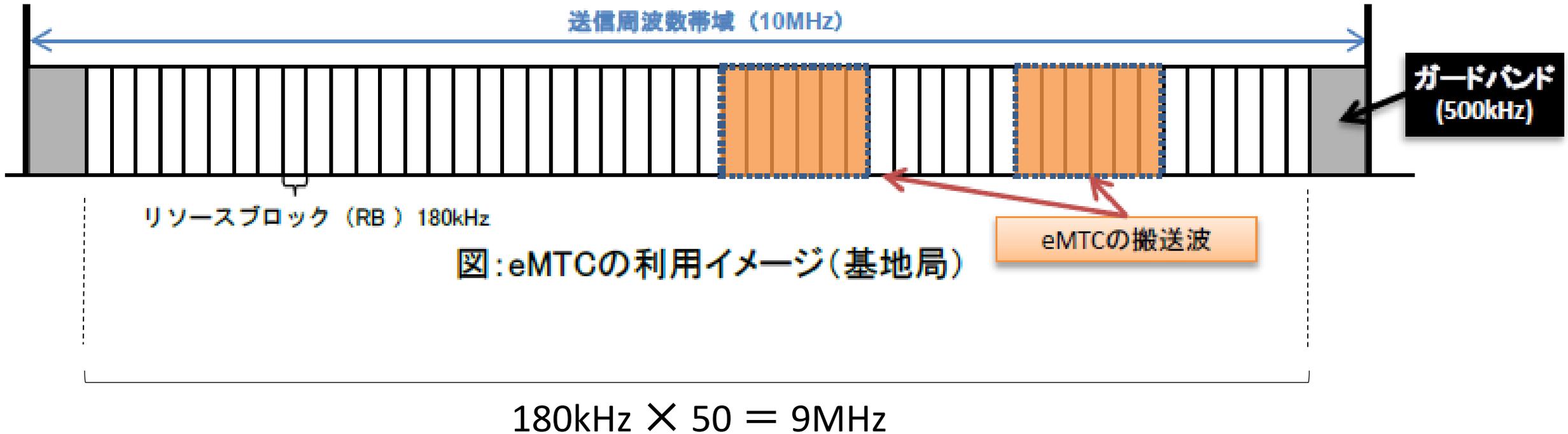
※LTE-M(eMTC)は、単3電池2本分の電源で10年以上の稼働が可能としている。

5.1 LTE-M (eMTC) とNB-IoT

LTE-M (eMTC) の概要

(総務省会議の資料)

- ・ 狭帯域化 (1.08MHz (6RB)) とともに、繰り返し送信やパワーセービングモード等の技術を導入したIoT端末向けの通信技術。
- ・ 約1Mbpsの伝送速度を確保できるため、ウェアラブルデバイスなど一定の伝送速度が必要となるIoTサービスでの利用が想定。
- ・ 既存の携帯電話網 (基地局等) を用いて、スマートフォン向けの通信サービスとIoT向けの通信サービスを同時に提供可能。



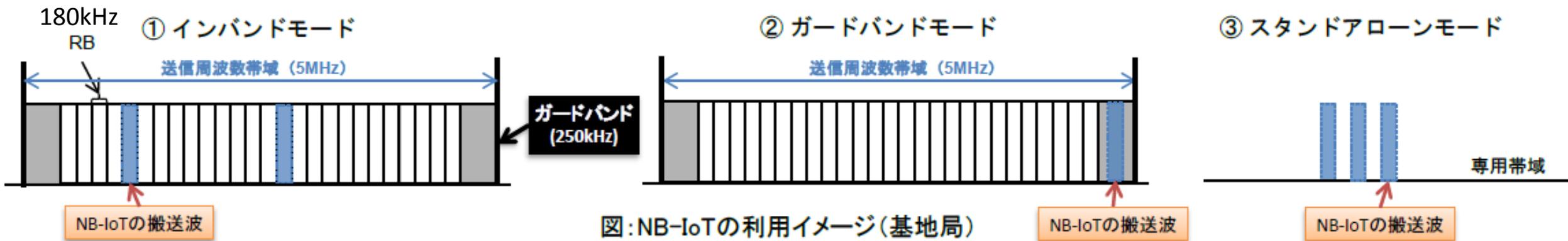
10MHzの従来のLTE (MBB) では最大50RBで通信

1RB = 180kHz = 12サブキャリア

NB-IoTの概要

(総務省会議の資料)

- ・ 狭帯域化(180kHz(1RB))とともに、繰り返し送信やパワーセービングモード等の技術を導入したIoT端末向けの通信技術。
- ・ スマートメーターなど、伝送速度やモビリティへの対応が必要ないIoTサービスでの利用が想定。
- ・ ①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」、②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」、③専用帯域での運用する「スタンドアローンモード」の3つのモードが標準化。
- ・ 特に、中国のファーウェイ(華為)はNB-IoTを強力に推進し、2018年に一部の仕様でサービス開始。



LTE版LPWAの仕様

	LTE-M (eMTC)	NB-IoT
端末カテゴリ	Cat.M1	Cat.NB1
下り最高速度	1Mbps	26kbps以下
上り最高速度	1Mbps	62kbps以下
音声通信 (VoLTE)	可	不可
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

国内におけるLTE版LPWAの主な実証実験、サービス、協業

応用	主な参加企業・機関	実証実験場所、備考
—	NTTドコモ	IoTゲートウェイ機器。ドコモR&Dセンタ(YRP)。LTE-M(eMTC)、NB-IoT、Cat.1(非IoT)を対象
宅配ボックス	NTTドコモ、Fujisawaサステイナブル・スマートタウン協議会	神奈川県藤沢市
マンホールの遠隔監視(2km強)	KDDI、日立システムズ、トミス、イートラスト	福島市水道局。LTE-M(eMTC)。
—	KDDI	LTE-M(eMTC)対応の通信モジュール‘KYW01’を月額40円～で提供
スマートパーキング	ソフトバンク	千葉県幕張市。ファーウェイ(中国)のNB-IoTの技術を利用
—	ソフトバンク	LTE-M(eMTC)、NB-IoT対応の通信ボード
水道の自動検針	華為技術日本(ファーウェイ・ジャパン)、愛知時計電機	—
スマートファクトリーソリューション	ファーウェイテクノロジーズ、東芝デジタルソリューションズ(DSL)	NB-IoT対応。東芝DSLのIoT向けゲートウェイ(SPINEX)に、ファーウェイ社のNB-IoT対応チップセットを搭載

5.2 5G (IMT-2020) におけるIoT

・4GのMBBをさらに高速化したeMBBに加えて、もう一つのハイエンドの②と、IoTに対応するローエンドの③を追加。

- ① eMBB (enhanced Mobile BroadBand) : 拡張モバイルブロードバンド(超高速)
- ② URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications) : 超高信頼低遅延通信
- ③ mMTC (massive Machine Type Communications) : 大量のマシンタイプ通信(多数同時接続)

・2020年にサービスが開始(一部の仕様では2019年)されるのはeMBBのみ。
URLLCとmMTCのサービス開始は2022年以降。

5Gにおける3種類のサービス、端末、性能

	概要、応用	対象端末	性能
eMBB	<p>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10倍。</p> <p>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、超高密度トラフィック(スタジアム等)、高精細画像の警備活用(エリアセキュリティ)、没入型マルチメディア等。(10Gbpsでは容量約5GBのDVDが数秒でダウンロード。例えば、HD画像の2時間の映画は1.5秒でダウンロード。)</p>	<p>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。</p>	<p>移動性能(500km/h)</p> <p>周波数効率(3x)</p> <p>ユーザ体感伝送速度(100Mbps)</p> <p>最高伝送速度(20Gbps)</p> <p>システム通信容量(10Mbps/m²)</p> <p>エネルギー効率(100x)</p> <p>は最高性能。</p>
URLLC	<p>車の通信(一部自動走行も含む)、プラントの遠隔監視制御(スマート工場)、遠隔リアルタイム制御・操作(ロボット、ドローン等)、遠隔手術、交通制御・管理、災害対応等。応用全体がミッションクリティカルIoTとも言われる。</p>	<p>車、ロボット、携帯電話機、スマートフォン、産業用センサ等。</p>	<p>遅延は最高性能(1ms)。</p>
mMTC	<p>端末多数同時接続。スマートメータ、インフラ維持管理、スマートシティ/スマートホーム、物流管理等IoT対応(スマートメータリング、環境監視、スマートシティ/スマートコミュニティ等)。LTE版LPWAをさらにローエンド化?</p>	<p>センサが代表的で、ウェアラブル機器、家電、ロボット等も含む。</p>	<p>接続端末密度は最高性能(10⁶/km²)。</p>

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

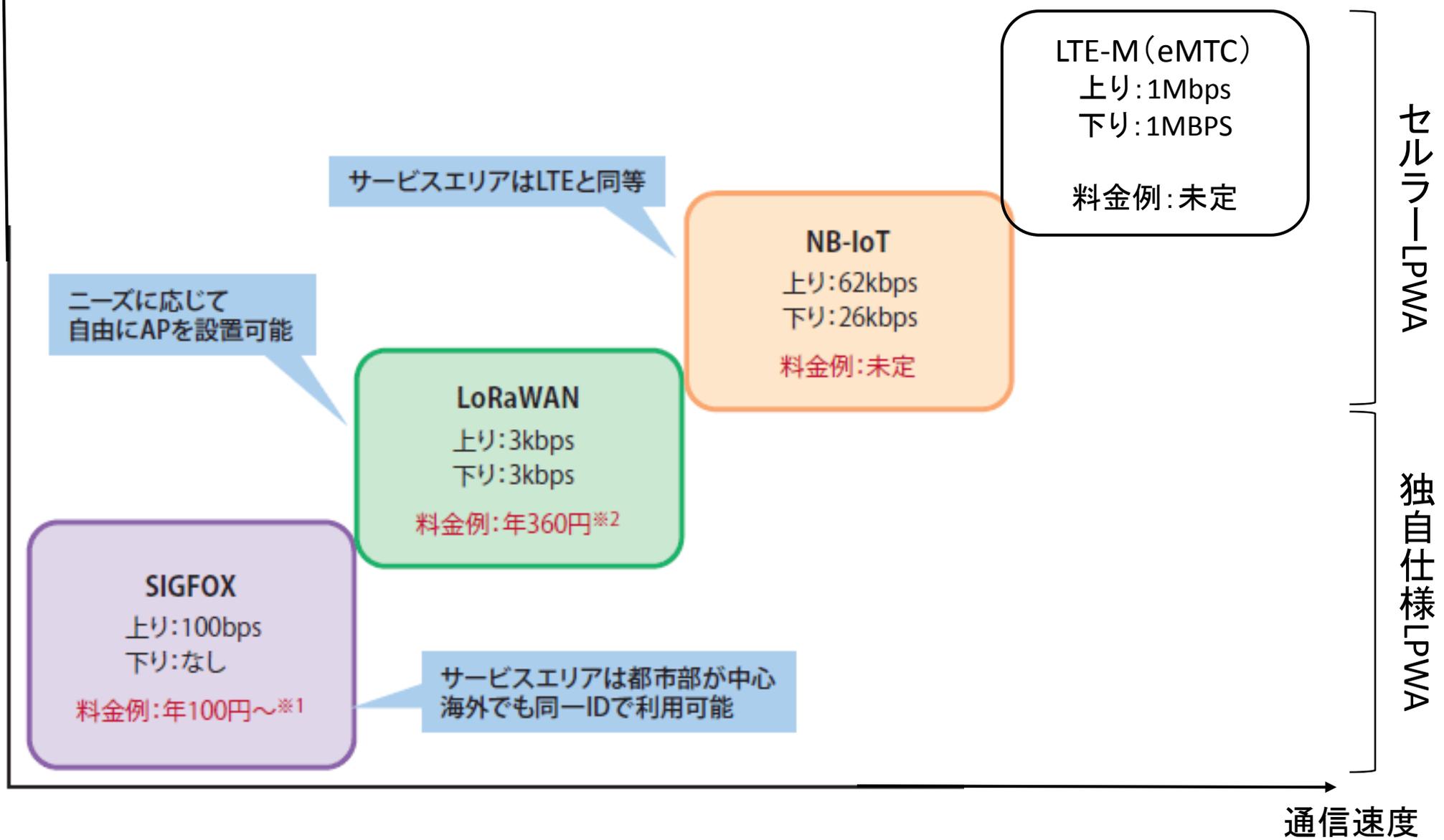
6. 全体比較と今後の動向

主なLPWAの通信方式比較

	LoRa	Sigfox	LTE-M (eMTC)	NB-IoT
使用周波数	920MHz (ISMバンド)	920MHz (ISMバンド)	LTEライセンスバンド	LTEライセンスバンド
占有帯域幅	125kHz	100Hz	1.4MHz	200kHz
一次変調方式	CSS (チャープスペクトラム拡散)	GFSK (上り), DBPSK (下り)	QPSK/16QAM	BPSK/QPSK
二次 (拡散) 方式	CSS (チャープスペクトラム拡散)	—	OFDMA/SC-FDMA	OFDMA/SC-FDMA
通信方向	双方向	主に上り通信	双方向	双方向
上り下り周波数	同じ / 異なる周波数	異なる周波数	異なる周波数	異なる周波数
周波数ホッピング	—	○	—	○
通信信頼性確保	ACK確認再送	繰返し送信	ACK確認再送	ACK確認再送
通信頻度	無制限	140回 / 日	無制限	無制限
ペイロードサイズ	59バイト	12バイト	不定	不定
下り通信速度	250bps	600bps	1Mbps	250kbps
上り通信速度	250bps	100bps	1Mbps	20kbps
端末送信電力	13dBm (20mW)	13dBm (20mW)	20dBm (100mW)	20dBm (100mW)
端末受信感度	-138dBm	-125dBm	-103dBm	-108.2dBm
通信伝送能力	157dB	158dB	156dB	164dB
認証・電子署名	○	○	従来4Gと同じ	従来4Gと同じ
暗号化	○	ユーザの責任	従来4Gと同じ	従来4Gと同じ

主なLPWAのサービスイメージ

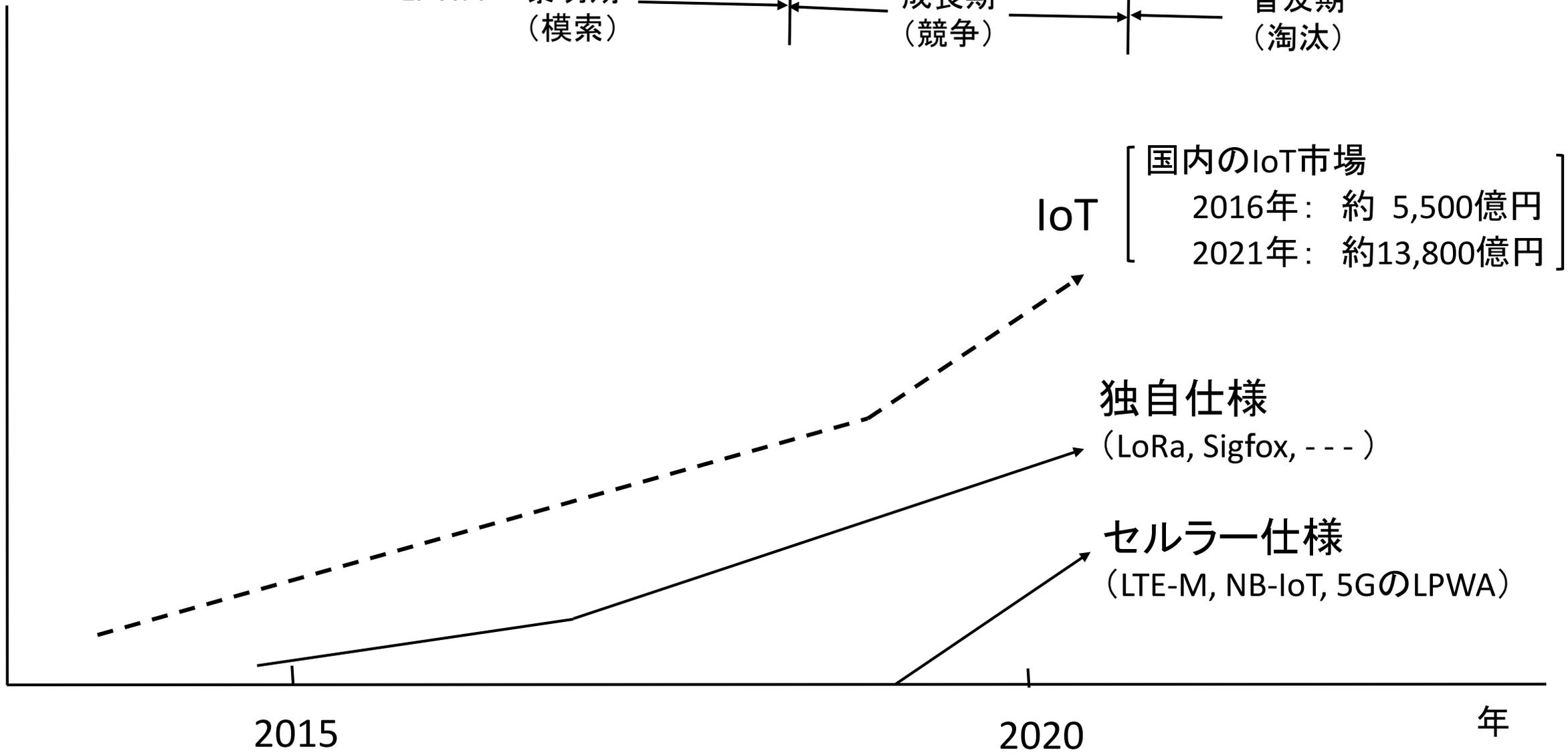
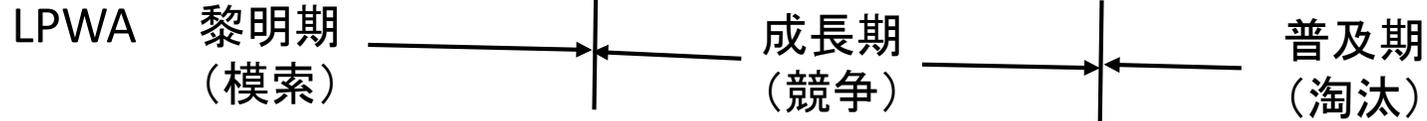
通信料金



LoRaとSigfoxの通信速度は代表例

LPWAとIoTの今後の発展イメージ

市場規模/
接続デバイス数



全体まとめ

- ・先行したLoRa, Sigfoxの独自仕様の方が、短期的(～2020年頃)には有望と考えられる。
- ・一方、将来多くのIoTアプリケーションで、高性能、高機能への要請が高まると、中長期的(2020年頃～)は標準仕様のLPWAが優位になることが考えられる。

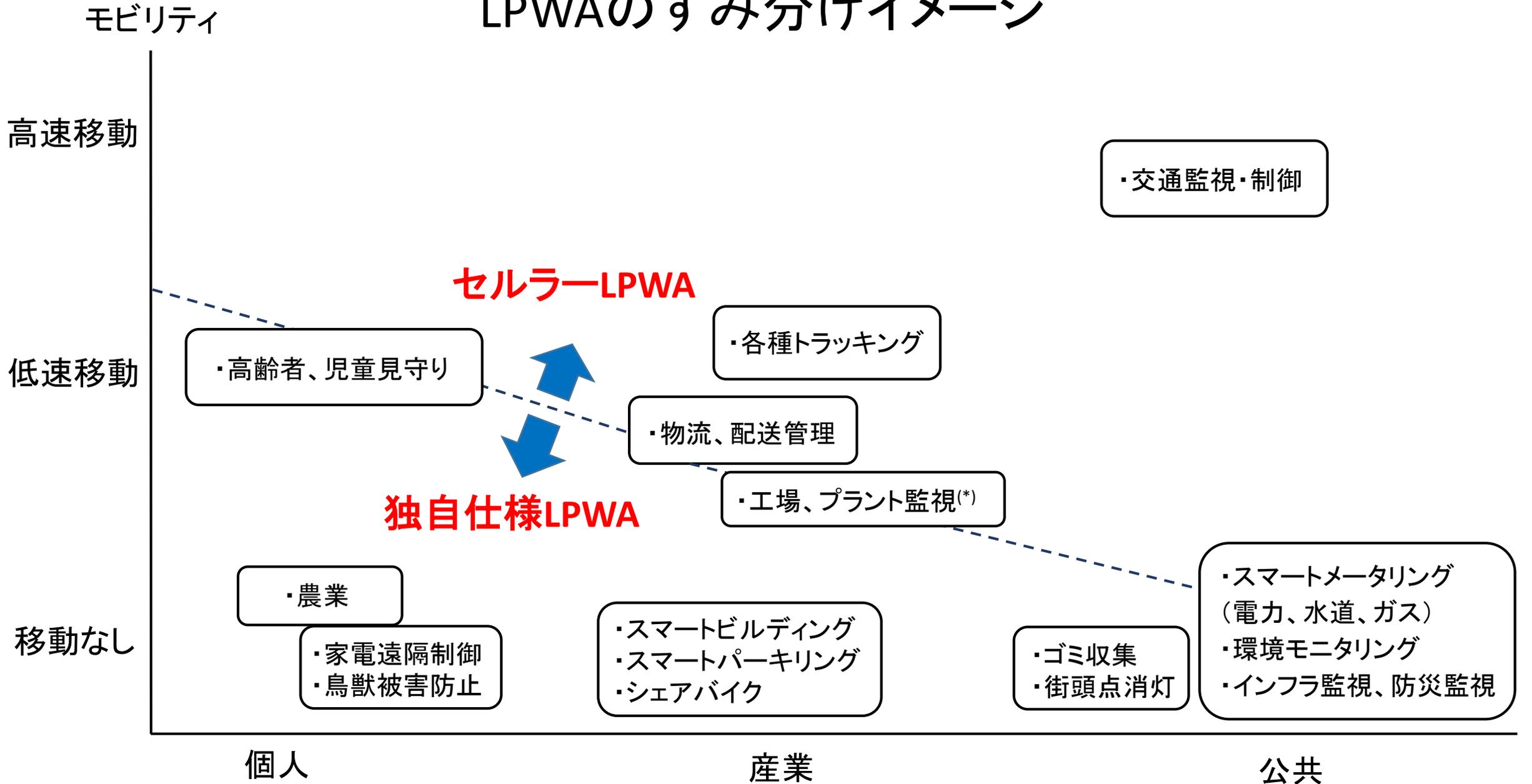
独自仕様LPWA vs. セルラーLPWA

[独自仕様LPWAが有利]: 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アプリケーション

[セルラーLPWAが有利]: 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アプリケーション、交通制御・監視やGPSを駆使した各種追跡(トラッキング)などモビリティが求められるアプリケーション、広いカバー領域が必要なアプリケーション

- ・このようなすみ分けが考えられるが、最大の市場とされるスマートメタリング(電力、水道、ガス)、環境モニタリング等で優位に立ったLPWAが最終的に最も多く利用されると思われる。

LPWAのすみ分けイメージ



(*)高信頼性が要求される

参考文献等

- [1] 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.
- [2] 阪田史郎: 無線通信の話、電気書院、2015.12.
- [3] 阪田史郎: IoT/M2M無線ネットワーク技術、電気計算(電気書院)、2016.12.
- [4] 阪田史郎: スマートハウス／HEMSを支えるセンサネットワーク、電気計算(電気書院)、2016.12.
- [5] 阪田史郎ほか: IoTビジネス・機器開発における潜在ニーズと取り組み事例集、技術情報協会、2016.5.
- [6] S. Sakata: Emerging LPWA as a core of IoT - Overview and Perspective, Wireless Technology Park (WTP), 2017.5.
- [7] 阪田史郎: LPWAの現在と未来、MDB技術予測レポート(日本能率協会総合研究所)、2018.1.
- [8] 阪田史郎: 経営者のためのIoT技術‘LPWA’(新しい無線技術LPWAがなぜ注目されるのか?)、2017.12 - 2018.4. <http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/51831>、<http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/52104>、<http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/52308>、<http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/52547>、<http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/52839>
- [9] 阪田史郎: 広域センサネットワークLPWAの最新動向、けいはんな情報通信オープンラボ研究推進協議会‘IoTサービス創出に向けて’講演会、2018.2.
- [10] LPWA全般動向 <http://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/mag/ne/18/00007/00013/?P=1>、2018.5.
- [11] LoRaの仕様概要、開発手順、ネットワーク評価キット等については、<https://www.digikey.jp/ja/articles/techzone/2017/jun/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-application> 等
- [12] Sigfoxの仕様概要、メッセージコマンド等については、<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1701/31/news002.html>
https://search.yahoo.co.jp/search?p=sigfox++AT%E3%82%B3%E3%83%9E%E3%83%B3%E3%83%89&aq=1&oq=&ai=4mYGexAoQkScnUGGpLYQgA&ts=5383&ei=UTF-8&fr=top_ga1_sa&x=wrt