

TR-1064

IoT エリアネットワーク向け伝送技術の  
概説

Overview of Signal Transmission Technologies  
for IoT Area Network

第2版

2018年3月15日制定

一般社団法人  
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE

本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。

内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

## 目 次

<参考> .....	5
第I部 I o Tエリアネットワーク向け有線伝送方式について.....	6
1. はじめに .....	6
2. 要求条件 .....	6
2.1 HEMS .....	6
2.2 AMI (UAN) .....	7
2.3 BEMS .....	7
2.4 CEMS .....	7
3. 各種伝送媒体の特徴 .....	7
3.1 電力線 .....	7
3.1.1 宅内電力線 .....	9
3.1.2 屋外低圧配電線 .....	9
3.2 宅内同軸ケーブル .....	10
3.3 宅内電話線 .....	11
3.4 宅内 LAN ケーブル (CAT ケーブル) .....	11
4. 上位層との接続 .....	12
5. 伝送方式 .....	12
6. 各種有線伝送規格の比較 .....	13
7. 課題 .....	14
第II部 I o Tエリアネットワーク向け無線伝送方式について .....	15
1. はじめに .....	15
2. 各無線方式の概説 .....	15
2.1 Wi-Fi 方式 .....	15
2.2 Bluetooth 方式 .....	16
2.3 ZigBee 方式 .....	17
2.4 Wi-SUN 方式 .....	18
2.5 U-bus Air .....	19
2.6 Z-Wave 方式 .....	20
2.7 G.wnb : 狭帯域の宅内無線ネットワーク .....	21
2.8 特定小電力無線 .....	22
2.9 UWB 方式 .....	22
2.10 PHS 方式 .....	24
2.11 WiMAX .....	24
2.12 DECT 方式 .....	26
2.13 IP500 .....	27
2.14 LPWAN .....	28
2.15 NB-IoT .....	31
2.16 sXGP .....	32

3. まとめ .....	34
付録I ECHONET Lite の簡単な解説 .....	35
I.1 はじめに .....	35
I.2 概要 .....	35
I.3 ECHONET Lite 通信プロトコル .....	35
I.4 ECHONET Lite 通信ミドルウェア .....	35
I.4.1 ECHONET Lite 通信処理部 .....	36
I.4.2 機器オブジェクト .....	36
I.4.3 プロファイルオブジェクト .....	36
付録II SEP の簡単な解説 .....	37
II.1 始めに .....	37
II.2 SEP 1.x の機能 .....	37
II.3 SEP2.0 への移行 .....	38
付録III 産業系通信プロトコルの例 .....	39
III.1 Modbus .....	39
III.2 EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) .....	40

別紙 1 : 各種有線伝送方式規格の比較

別紙 2 : 各種無線伝送方式規格の比較

## <参考>

### 1. 国際勧告等との関連

本技術レポートに関する国際勧告はない。

### 2. 改版の履歴

版数	制定日	改版内容
第1版	2017年3月7日	制定
第2版	2018年3月15日	<ul style="list-style-type: none"><li>・第I部「2.4 CEMS」の説明を修正</li><li>・第II部「2.14 LPWAN」、及び「2.15 NB-IoT」に説明を追加</li><li>・第II部に「2.16 sXGP」の節を追加</li><li>・全体として書式、表記法を統一</li></ul>

### 3. 参照文章

主に、本文内に記載されたドキュメントを参照した。

### 4. 技術レポート作成部門

第1版 : IoTエリアネットワーク専門委員会 (SWG3604)

第2版 : IoTエリアネットワーク専門委員会 (SWG3604)

## 第 I 部 I o T エリアネットワーク向け有線伝送方式について

### 1. はじめに

本報告では、TR-1044「HEMS等に向けた伝送技術の概説」に続いて、HEMSやAMI(UAN)、BEMS、CEMSのみならず、IoTにまで拡大した各種の伝送方式に関して概説する。具体的には国内でのマルチベンダ環境の実現、海外への輸出も念頭に、国際標準化されているものやフォーラム等で検討されている新しい方式等を抽出した。スマートグリッドやホームネットワーク関係のみならずエリアネットワークまで拡張し、ITU-TとIEEE以外の検討資料も紹介する。

本検討ではITU-Tの勧告文書および、TTCとIEEE間で締結したMOU、リエゾン合意書に基づいて入手した関連の標準仕様書の他各種フォーラムなどで検討された伝送方式を検討した。

ITU-Tが作成したスマートグリッド関連の有線伝送方式勧告としては、電力線、同軸ケーブル、電話線を使用する宅内広帯域伝送方式のITU-T勧告G.9960/G.9961「統合高速有線ホームネットワーク送受信器」と、同勧告の関連勧告であるG.9963、G.9964、G.9972及び屋外宅内狭帯域電力線伝送方式勧告であるG.9955、G.9956「狭帯域OFDM電力線通信送受信器」がある。

IEEEが作成したスマートグリッド関連の有線伝送方式規格としては、IEEE 1901（広帯域電力線伝送用）、IEEE 1901.2（スマートグリッドのための狭帯域電力線伝送通信）と、HEMS、BEMSなどに使用されることが見込まれるイーサネットの規格IEEE 802.3がある。

更に、広帯域PLCについては、スマートグリッド向けに、G.9960の中で低消費電力、高ロバストネス（強靱性）、低コストを狙ったLow Complexity Profileが規定されており、同様の目的でIEEE 1901関連ではHomePlugアライアンスがGreen PHYを、HD-PLCアライアンスがHD-PLC insideを、それぞれ仕様化している。

### 2. 要求条件

各アプリケーションの要求条件を以下に整理した。

#### 2.1 HEMS

HEMS（Home Energy Management System）で有線伝送方式を使用する場合の要求条件としては以下のような特徴がある。

- ホーム内の様々な家電品（テレビ、クーラー、冷蔵庫、洗濯機、照明器具など）の消費電力の監視、表示、制御に使用される。
- ソーラパネル、蓄電器、EVなどが接続され、これらの監視、制御、表示のための情報転送に使用される。
- 数十台程度の家電品、エネルギー関連設備（ソーラパネルなど）が接続されることを想定する必要がある。
- 日本の家屋の平均延べ床面積である129 m<sup>2</sup>（一戸建て）、48m<sup>2</sup>（共同住宅）規模のエリアに対して十分に対応可能である必要がある。
- 宅内の各種伝送媒体（電力線、同軸ケーブル、電話線）を有効活用できることが望ましい。

特に以下の点について、配慮する必要がある。

##### (1) スマートメータとの連携

- スマートメータの情報を需要家が把握するための“見える化”などのため、スマートメータで得られる情報を宅内で伝送しHGW、PC、表示装置などに転送すること（Bルート対応）が想定される。

- デマンドレスポンスなどのために AMI から宅内の機器の消費電力情報の取得と制御を行う場合を想定する必要がある。

## (2) 宅内センサーネットワークとの連携

- ホーム内の有線センサーネットワークの通信手段として使用される場合を想定する必要がある。
- 無線センサーネットワークと連携し集約するシンクノード間の通信手段として使用されることを想定する必要がある。

これらの各使用形態では、速度より強靱性（Robustness）がより重視される。伝送距離は最大30m程度を想定する必要がある。

## 2.2 AMI (UAN)

AMI (UAN) の特徴を以下に示す。AMI は MDMS (Meter Data Management System) とスマートメータ間を通信手段により接続し、情報転送や遠隔開閉器制御などを行う。配電線を使用した通信方式 (PLC) はその一部であるコンセントレータと各メータ間を接続する目的で使用される。

- 高密度住宅地、高層マンション内、集合住宅内、ビル内、地下街、郊外、山間地など様々な環境での使用を想定する必要がある。
- 電力線伝送方式の適用エリアと接続されるメータ数は技術的実現性の側面と経済性の側面から最適な方法が選択される筈であるが、現時点で適用領域が絞り込んでいる状況ではないので、ここでは、エリアとして 50m×50m、500m×500m、5km×5km の 3 ケース、メータ数として 10、50、500 を想定して検討した。
- AMI は 1 メータ (端末) あたりの情報量は少ないが接続される端末数は多い。(ここでは、情報量として、数十 kbit/s から数百 kbit/s を想定した)
- セキュリティの確保、効率的かつ迅速な通信ネットワークの維持、管理。10年以上の使用に耐えるシステムであることなどが要求される。

## 2.3 BEMS

ビルディング内のエネルギー制御 (冷暖房、換気、照明など)、検針などに使用する。左記以外に、防災などのシステムを統合することもある。端末数は数十から数百を想定する必要がある。ビル内の伝送距離として最大300m程度を想定する必要がある。この場合も、一般に速度より強靱性 (Robustness) が必要とされる。

## 2.4 CEMS

メガソーラなどを含む、半径数km程度の閉じた範囲で、発電、送電、配電も含めたエネルギーマネジメントシステムである。将来、直流送電技術が使用される可能性もある。送電、配電に使用されるケーブルが通信にも使用できることが望ましいが、今後の課題である。

## 3. 各種伝送媒体の特徴

### 3.1 電力線

電力線は宅内、屋外の有線伝送に使用可能であり、HEMS、AMI (UAN)、BEMS、CEMSなど電力関連の通信に広く使用されることが期待される。宅内配電線、屋外の高圧配電線、屋外の低圧配電線があり伝送路としての特性はそれぞれかなり異なる。

ここでは、HEMSでの使用が想定される“宅内配電線”と AMI (UAN) としての使用が想定される“屋外低圧配電線”についてより詳細にその特徴を比較検討した。

表 3-1 電力配電線ネットワークの構成要素

大分類	小分類	主な構成要素
宅内電力配電系	戸建	宅内電力配線、分電盤
	集合住宅	宅内電力配線、棟内電力配線、分電盤、変圧器
屋外電力配電系		屋外高圧配電線 (6.6kV、3相3線式など)
		屋外低圧配電線 (単相2線式、単相3線式など)
		引込線 (単相2線式、単相3線式など)
		変圧器
ビル内配電系		ビル棟内幹線配電線 (縦配線される場合と横方向敷設がある)
		変圧器
		分電盤

表 3-2 電力配電線ネットワークの通信路としての基本パラメータ

	トポロジー	分岐数	ネットワークのサイズ (注1)	代表的なケーブル	最大伝送路長	備考
宅内電力配電系	樹枝状方式	10~30	~20m×20m	VVF (銅、断面積: 14mm <sup>2</sup> 、絶縁体: ビニル)	30m程度	
屋外電力配電系	樹枝状方式、ループ方式	数十から数百	50m×50m 500m×500m 5km×5km	OW (銅、断面積: 38mm <sup>2</sup> 、絶縁体: 2mmビニル)	50m 500m 5km	ループは常時開路方式が多い
ビル内配電系	樹枝状方式	数十から数百。 幹線と引込線から構成される。	30m×30m 同一系統 (1変圧器下の配線) 当たり	OE (銅、断面積: 60mm <sup>2</sup> 、外径: 5mm、絶縁体: 2mmポリエチレン)	300m程度	異なる変圧器グループ間をCCU, ICUで接続し1コンセントレータ当たりのメータ数を増加させる案もある。

注1 数値は本検討での想定値



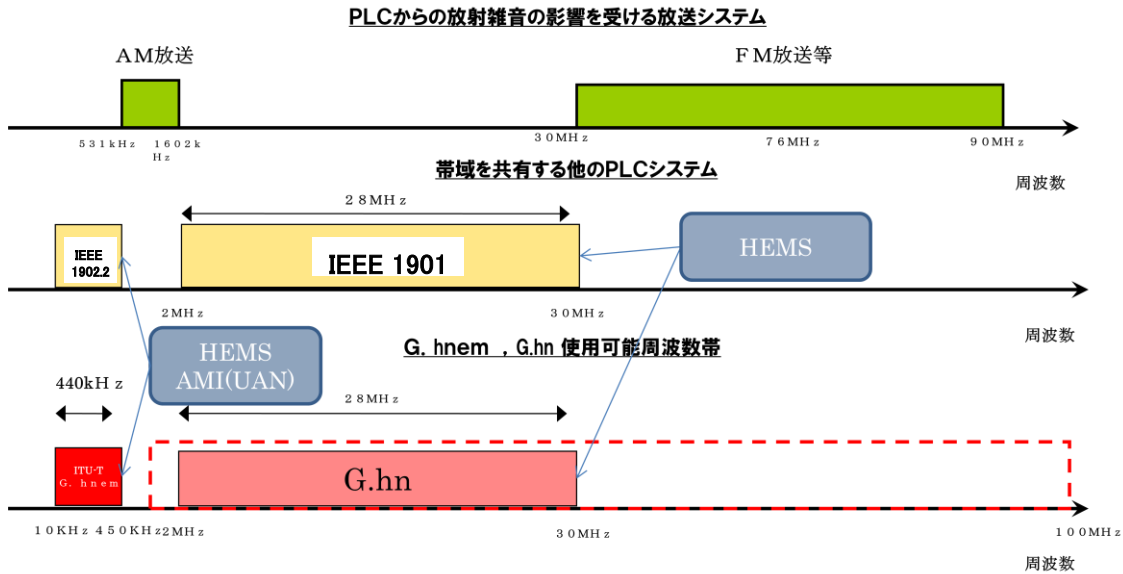


図 3-1 電力線上の周波数利用状況とHEMS、BEMS、AMIの使用可能周波数領域

### 3.1.1 宅内電力線

宅内電力線については、単相3線式配線が多く使用されている、距離は最大30m程度である。分岐数は数十程度ある。家電機器からの雑音発生、異相間通信などへの対応が必要であるという特徴がある。宅内電力線では狭帯域PLC・広帯域PLCともに利用可能であるが、広帯域PLCについては、引込口における分電盤から負荷側において屋外、屋内ともに利用可能となっている。ただし、屋外は、屋内に比べて規制値が10dB低い。

ケーブルからの放射による妨害電波発生を避けるため、電波法により、使用できる周波数帯域が、狭帯域PLCでは10kHz~450kHz、広帯域PLCでは2MHz~30MHzに制限されている。伝送路としての性能は100Mbit/s~300Mbit/s程度であるが、異相間接続の有無、雑音状態、家電品のインピーダンスなどにより大きく変動する。伝送路の減衰量は使用周波数帯域内で大きく変動するが、性能を発揮させるためには、70dBから80dB程度の減衰量に対応できる受信器性能が必要。特性の悪い伝送路では直接接続ができない可能性もあるため、ITU-T勧告G.9905によるマルチホップルーティングをサポートしている。

### 3.1.2 屋外低圧配電線

屋外配線の、コンセントレータとメータ間、メータとメータ間の伝送路の周波数特性はネットワークのサイズ、分岐数、使用ケーブルの構造、使用周波数帯域などにより異なる。

中サイズ以上のネットワークでは、一つのメータあるいはコンセントレータから全てのメータに直接接続することはできないため、マルチホップ機能が必須である。

表 3-3 必要ホップ数

		メータ数50			メータ数500		
メータの 配置	横	6			21		
	縦	7			22		
エリアサ イズ		大	中	小	大	中	小
	横 [m]	5000	500	50	5000	500	50
	縦 [m]	5000	500	50	5000	500	50
	3σホップス	4.0	3.3	3.3	13.9	11.3	6.5

ネットワークのエリアサイズ、メータ数にもよるが、物理速度（オーバーヘッド込み）1Mbit/s以上を確保。送受信器としては、メータ数50の場合で最大ホップ数4程度、メータ数500の場合で最大ホップ数14まで対応する必要がある。メータ数十以下であればほとんどのケースで、メータ間の直接通信が可能であるが、1ホップ程度が必要となる場合もある。

### 3.1.2.1 伝送路の特性

コンセントレータとメータ間、メータとメータ間の周波数特性はエリアサイズによりかなり異なる。エリアが波長程度以上になると分布定数ネットワークとしての振る舞いが顕著になり、周波数により損失が大きく変化する。

PLC送受信器はこうした周波数特性を持つ伝送路に対して対応できる特性を持つ必要がある。特に、特定の使用可能な周波数帯を選択して使用できるOFDM方式、あるいは同等の特性を持つ方式が望ましい。また、十分な性能を得るためには、サブキャリア帯域は10kHz以下であることや、各サブキャリアの最大伝送路損失は70dBから80dB以上でも信号受信が可能であることが必要。

## 3.2 宅内同軸ケーブル

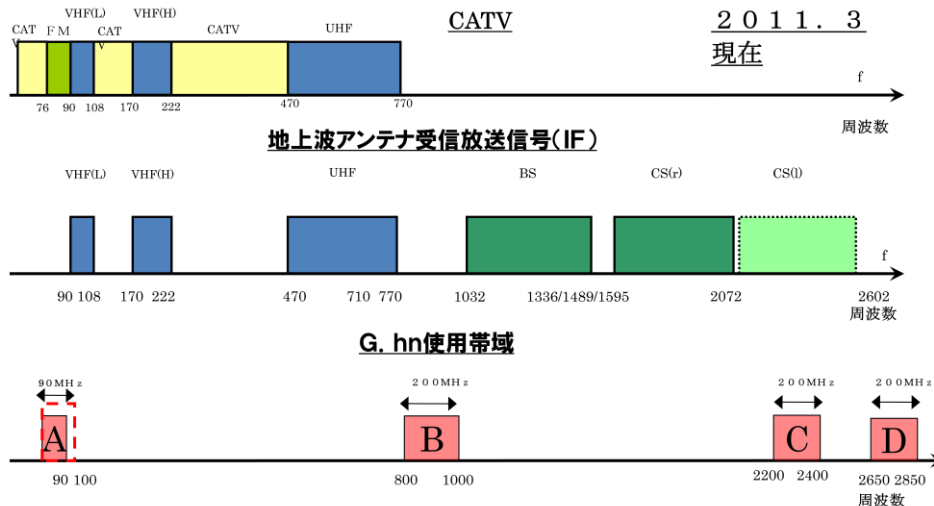


図 3-2 同軸ケーブルの利用状況と HEMS、BEMS の使用可能周波数領域

注：G.9964 Amd.1（2016年2月制定）により、200 MHz ベースバンド向けプロファイルが追加（帯域幅 190 MHz）

HEMS として宅内で使用できる伝送媒体として、前章の宅内電力配線が主に使用されると予測されるが、本章の

宅内同軸ケーブル配線は電力線では接続が困難な場合の補助手段として使用できる。

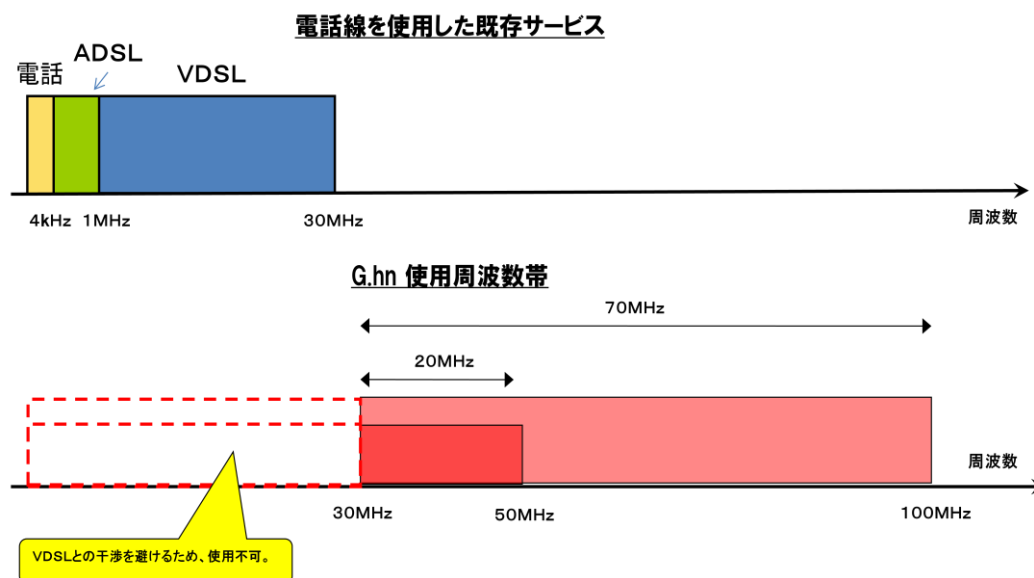
アンテナ受信 TV, CATV に使用されている同軸ケーブルを使用する場合には、同軸ケーブルを共用するテレビ信号等、他のサービスと使用周波数帯域が重ならないようにする必要がある。伝送路損失は最大 60dB 程度に対応する必要がある。サブキャリア間隔 600kHz 以下であることが伝送路の性能を発揮させるために必要。

表 3-4 宅内同軸ネットワークの構成要素

	トポロジー	分岐数	ネットワークのサイズ	代表的なケーブル	最大伝送路長	備考
1	樹枝状方式	0～3	最大30m×30m	S-4C-FBなど	30m程度	分岐はスプリッタを使用して行われる

600Mbit/s から 2Gbit/s 程度の物理速度が期待できる。(HEMS用としては数十 kbit/s～数百 kbit/s で十分であるが)

### 3.3 宅内電話線



28

図 3-3 電話線の利用状況と HEMS, BEMS の使用可能周波数領域

注：G.9964 Amd.2 (2016 年 9 月制定) により、200 MHz ベースバンド向けプロファイルが追加。

電話線はアナログ電話、ADSL, VDSL で使用されている場合には、それらの周波数帯域を避ける必要がある。特に、電話線が VDSL で使用されている場合には 30MHz 以下の周波数は使用できない。

上記の VDSL 信号を避けるために 30MHz 以上を使用するという条件でも、宅内伝送路として電話線を使用した場合、800Mbit/s 以上の物理速度が期待できる。

### 3.4 宅内LANケーブル (CATケーブル)

最近、Ethernet用LANケーブルが配線されている住宅もあるので、LANケーブルを使用したHEMSも選択肢として存在する。100Mbit/s、1Gbit/sの物理速度を提供する。通信可能な距離は約100mである。

#### 4. 上位層との接続

物理層伝送方式を国内 HEMS, AMI (UAN) で使用可能とするためには、ECHONET Lite をサポートする必要がある。

物理層として、イーサネット MAC、IPv4/IPv6 のいずれかのプロトコル対応機能を持つことにより可能となる。

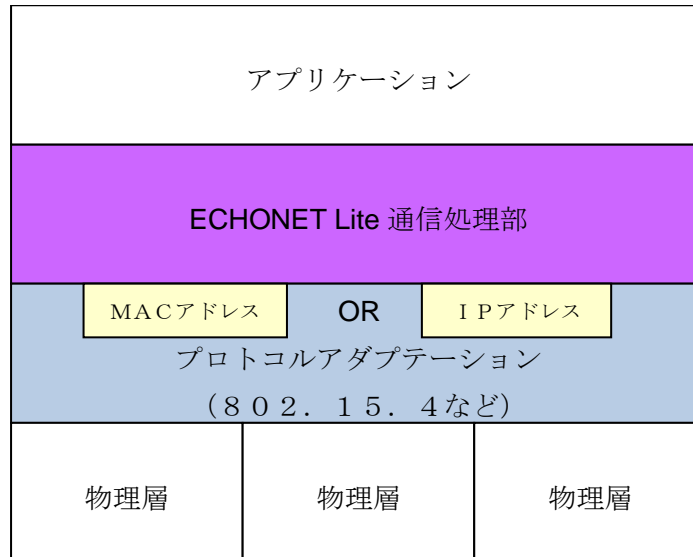


図 4-1 ECHONET Lite との接続 (ECHONET コンソーシアムWEBより)

#### 標準化動向：

有線通信物理層の国際標準化は主に IEC, ITU-T, IEEE で行われている。ITU-T, IEEE のスマートグリッド関連の物理層、MAC 層の標準化はほぼ完了しており安定した状況にある。

#### 5. 伝送方式

3章の各伝送媒体上での通信のために使用される各種通信技術を以下に示す。通信媒体の特徴に応じて、これらの機能の組み合わせとパラメータの最適化が行われる。

日本国内での適用を考えた場合に、各規格の中で適切なパラメータ選択を行う事が出来る仕様であることが重要である。

表 5-1 電力線、同軸ケーブル、電話線伝送の主要方式パラメータ

	PHY 層/MAC 層 方式パラメータ	説明
使用周波数帯域	開始周波数 終了周波数	必要機能性能の実現、伝送媒体、場所（国地域、屋内屋外など）を考慮し、適切な値を選択する必要がある
送信電力	PSD マスクで定義	同上
変調方式	マルチキャリア変調方式 (OFDM/Wavelet)	いずれの伝送媒体でもチャンネル損失が帯域内で大きく変化するため、平坦でない伝送路への適応力が高いマルチキャリア変調方式が適している。
サブキャリア変調方式	差動変調 同期変調	同期変調の方が約 2.5dB SNR が良くなるが信号処理がやや複雑になる。
誤り訂正方式	LDPC/Turbo 符号 リードソロモン符号 (RS) + 畳み込み符号 (CC)	LDPC/Turbo 符号は誤り訂正能力が高いが信号処理量が大きい。RS+CC は訂正能力が LDPC/Turbo 符号に劣るが、信号処理量は少ない。一般に広帯域 PLC、同軸伝送、電話線伝送では前者。狭帯域 PLC には後者が適している。 ITU-T 勧告 G.9955, IEEE 標準 P1901.2 も両者を使い分けている。
再送機能		インパルス雑音などによるバースト誤りが発生し易いチャンネルや伝送特性が瞬時に変化するチャンネルに対して有効。
インタリーブ機能		インパルス雑音対策に使用する。
マルチホップ(リレー)機能	ホップ数、ルーティング方式	屋外の配電線を使用した低速 PLC 方式による AMI アクセスシステムでメータ数が多い場合（16 台以上程度）は必須である。目安として 9 ノード以下の場合には、マルチホップ機能は必須ではなさそうである。 宅内の広帯域 PLC 方式では、必須ではないが、この機能があることが望ましい。
暗号化	AES-128	AES-128 が一般に使用される。

## 6. 各種有線伝送規格の比較

(別紙 1)

## 7. 課題

有線技術を用いた HEMS, AMI に関連した今後解決すべき技術的課題としては以下がある。

### (1) 宅内／屋外の PLC 方式間の相互干渉に関する課題（電力線伝送）

宅内／屋外の電力線伝送システムは運用主体が異なる可能性がある。その場合両者が同一周波数帯域 (10kHz～450kHz) を使用すると、相互干渉の問題が発生するため、なんらかの対応が必要。

### (2) 同一帯域を使用する異なる方式の共存（電力線伝送）

高速 PLC については ITU-T においては G.9972 の中で、また、IEEE では IEEE1901 の中で時分割による方式である ISP (Inter System Protocol) が仕様化されている。

低速 PLC の共存の方式としては、G3-PLC (G.9903) において以下の二つの方式が規定されている。なお、識別用プリアンプル (cEIFS) により方式を識別する方式は、IEEE1901.2 に記述されたものである。

- 周波数分割
- 共存用のプリアンプルで方式を識別

### (3) 宅内同軸ケーブルからの電磁波放射問題（同軸ケーブル）

宅内同軸ケーブルを使用したホームネットワークに共通の課題として、妨害電磁波放射がある。特に UHF アンテナからの逆放射の影響評価が課題となっている。ITU-T 勧告 G.9960 では B, C, D の各周波数が日本国内で使用可能な周波数帯域として、Annex C (日本仕様) の中で定義されている。

## 第Ⅱ部 IoTエリアネットワーク向け無線伝送方式について

### 1. はじめに

第Ⅰ部に続いて、HEMSやAMI (UAN)、BEMS、CEMSのみならず、IoTにまで拡大したエリアネットワークに係る各種の無線伝送方式に関して概説する。第Ⅰ部と同様に技術の一覧をまとめて、別紙2に示す。要求条件等については、第Ⅰ部で触れたので、ここでは、個別の各種無線伝送技術に関して概説する。

### 2. 各無線方式の概説

#### 2.1 Wi-Fi方式

##### ● 規格の概要

Wi-Fi (wireless fidelity) は、Wi-Fi Alliance によってIEEE802.11シリーズ (802.11a/802.11b/802.11g/802.11n等) を利用した無線LAN 機器間の相互接続性を認証されたこと (Wi-Fi Certified) を示すブランド名である。

通信規格であるIEEE 802.11シリーズを利用した無線機器間の相互接続性等について、Wi-Fi Alliance (米国に本拠を置く業界団体) によって認定された機器には、Wi-Fiロゴの使用が許可される。

##### ● Wi-Fi と 無線 LAN の定義

「無線 LAN」(IEEE802.11 規格の無線 LAN) と「Wi-Fi」は、本来定義が異なるものである。Wi-Fi CERTIFIED ロゴを製品に表示するためには認証試験を受け合格する必要がある、それがなされていないものは「Wi-Fi」ではない。Wi-Fi Alliance が定めた WPA version 1 仕様は IEEE 802.11 のドラフトをもとにした仕様であり、正式の IEEE 802.11 とは厳密には異なっている (WPA version 2 は IEEE 802.11 を満たしている)。

##### ● IEEE802.11b

免許不要で扱える 2.4GHz ISM帯の周波数帯域を利用する。日本国内で利用できるチャンネル数は、中心周波数 2.412GHz の 1ch から 同 2.472GHz の 13ch まで 5MHz 刻みの 1-13ch と、同2.484GHz の14ch の計14ch である。

ただし、一つのチャンネル幅の規格が 22MHz であるため、干渉なしで通信できる最大チャンネル数は 4個となる。

##### ● IEEE802.11a

5GHz帯の周波数帯域を利用する。日本国内で利用できるチャンネルは以下の通り。

表 2-1 IEEE802.11a 利用無線チャンネル表

タイプ	チャンネル	屋外利用	備考 (中心周波数 GHz)
W52	36, 40, 44, 48	×	5.18, 5.20, 5.22, 5.24
W53	52, 56, 60, 64	×	5.26, 5.28, 5.30, 5.32
W56	100, 104, 108, . . . , 140	○	5.50, 5.52, 5.54, . . . , 5.70

##### ● IEEE802.11ac

5GHz帯の周波数帯を利用し、日本国内で利用できるチャンネルはIEEE802.11aに同じである。IEEEでの標準化は2014年1月に完了しており、変調方式の多値化、チャンネル幅の拡大、MIMO (Multiple Input Multiple Output)のストリーム数増大、MU-MIMO (Multi User MIMO)対応により、伝送速度の高速化を実現している。

Wi-Fiアライアンスによる認証は2フェーズに分けて進められており、2013年6月に認証が開始されたWave1と、2016年に認証開始予定のWave2が存在する。Wave1は、ストリーム数は最大3、MU-MIMO未対応でSU-MIMO (Single User-MIMO)のみ、チャンネル幅は最大80MHzで、最大物理伝送速度は1.3Gbit/sである。Wave2は、ストリーム数は最大4、MU-MIMO対応、チャンネル幅は最大160MHzで、最大物理伝送速度は3.5Gbit/sとすることが検討されている。

- IEEE802.11ah

IoT向けの無線LAN規格として2016年9月に標準化完了予定の規格で、サブGHz帯の免許不要周波数帯を利用する。従来の2.4GHz帯、5GHz帯無線LANに比較して、通信距離の拡大、省電力化、同時接続数の拡大を図ることが可能となる。帯域幅は1MHz、2MHz、4MHz、8MHz、16MHzの規定で、1MHz、2MHzへの対応が必須、変調方式はOFDMで、伝送速度は1MHz幅で150kbit/sとなる見込みである。

Wi-FiアライアンスではIEEE802.11ah対応製品の相互接続性を確保する認定プログラム「Wi-Fi HaLow (ヘイロー)」の準備を進めており、早ければ2018年に対応製品が登場する見込みである。

## 2.2 Bluetooth方式

- 規格の概要

数mから数十m程度の距離の情報機器間で、電波を使い簡易な情報のやりとりを行うのに使用される。当初エリクソン、インテル、IBM (現 レノボ)、ノキア、東芝の5社によって策定され、現在は9社がプロモーター企業となっている。IEEEでの規格名は、IEEE 802.15.1である。

2.4GHz帯を使用してPC (主にノートパソコン) 等のマウス、キーボードをはじめ、携帯電話、PHS、スマートフォン、PDAでの文字情報や音声情報といった比較的低速のデジタル情報の無線通信を行う用途に採用されている。OSIレイヤでは、レイヤ1~2に該当する。

- 標準規格団体

30000社を超える企業が参加する標準化団体Bluetooth SIGにて、Bluetooth5まで規格化されている。

- 変復調方式

周波数ホッピングスペクトラム拡散方式

※周波数ホッピングについて；広帯域 (2402~2480MHz) の中に1MHz毎に79個のチャンネルを設定し、周波数ホッピング方式 (FHSS : Frequency Hopping Spread Spectrum) により、毎秒1600回のチャンネル切り替えを行いながら通信を行う。また、キャリアセンスは使用しない。



● 伝送速度

表 2-2 各種バージョンにおける伝送速度関係

バージョン (+オプション)	非対称通信速度 (上り/下り)	(対称) 通信速度	補足
1.x	723.2kbit/s/57.6kbit/s	432.6kbit/s	1.1:普及版 1.2:無線LANとの干渉対策が盛り込まれた
2.x	723.2kbit/s/57.6kbit/s	432.6kbit/s	
2.x+EDR	2178.1kbit/s/177.1kbit/s	1306.9kbit/s	
3.x	723.2kbit/s/57.6kbit/s	432.6kbit/s	
3.x+EDR	2178.1kbit/s/177.1kbit/s	1306.9kbit/s	
3.0+HS		24Mbit/s	802.11 PAL
4.0		1Mbit/s	Bluetooth Smart (Low Energy)
4.2		1Mbit/s	4.0に比べアプリケーションデータの転送速度が向上 (260kbit/s⇒650kbit/s)

注: 4.1からIPv6対応が盛り込まれている

Bluetooth規格は異なるバージョンによっても基本的には後方互換性を持つが、オプション (EDR、HS) などについては個別に対応が必要となる。また、バージョンだけでなく、機器は同じプロファイルに対応している必要がある。

● 伝送距離

[クラス] [出力] [距離]

class1 100mW 100m

class2 2.5mW 10m

class3 1mW 1m

電波強度(出力)のクラスによる。

● セキュリティ認証・暗号化方式・誤り訂正

Bluetoothプロファイル (GAP: Generic Access Profile) にて機器の接続/認証/暗号化を行っている。誤り訂正は、前方エラー訂正 (FEC: Forward Error Correction) にて実施しており、1/3レートFEC、2/3レートFEC、自動再送 (ARQ: Automatic Repeat reQuest) などがある。

2.3 ZigBee方式

● 規格の概要

ZigBeeは、近距離無線ネットワークの世界標準規格の一つであり、信頼性のある、低消費電力・低コストの無線通信として2001年からZigBee Allianceにて研究が進められてきた。末端の装置においては、通信量を抑えることによりアルカリ単3電池2本で数ヶ月から2年間の稼働を目指し、コスト面でもLSI単価で2ドル程度を目指した近距離無線通信規格である。ネットワーク方式には、2.4GHz帯を用いメッシュネットワークに対応したZigBee PRO、低メモリで家電用リモコンなどに搭載可能な1:1通信のRF4CE、IPv6に対応したZigBee IPがあるが、主に利用されているのはZigBee Proである。

ZigBeeがカバーする範囲は、OSI参照モデルのネットワーク層以上の部分で、物理層/MAC層についてはIEEE802.15.4を採用している。ZigBeeはPAN (Personal Area Network) に分類されるが、ネットワークトポロジーとして、スター、ツリー (木構造)、メッシュをサポートすることで市場の様々な要求に応えることができる。また、通信速度は250Kbit/sと、BluetoothやUWB (Ultra Wide Band) 等と比べて低いものの、低消費電力である点が大きな特長であり、低コストでの導入が期待される。

- 標準規格団体

Worldwideで約400社が参加しているZigBee Allianceが、規格策定及び認証を行っている。

- 標準化状況とスマートグリッドへの適用レベル

ZigBeeは、HEMS系市場を中心としながら、ヘルスケア市場、RFリモコン市場、ホームオートメーション市場等に幅広く展開されてきた。ZigBee Allianceが中心となって仕様策定を進めてきたSmart Energy Profile 2.0 (SEP2.0) はユーザーのエネルギー環境を管理するためのアプリケーションプロトコルで、IEEE P2030.5 - Standard for Smart Energy Profile Application Protocolとして標準化され、米国NISTベースの標準として指定されている。

- IoTへの適用

ZigBeeはスマートグリッドに加え、Smart Home、Connected Lighting、Retail Services等の分野におけるIoT化に貢献するとしている。また、これまで個別に認証していたプロファイルを統合するZigBee3.0規格の認証開始(2015年)、IoTに関するThread Groupとの連携の発表(2016年)などの新機軸を打ち出している。



図 2 - 1 ZigBeeのIoTへの適用

## 2.4 Wi-SUN方式

Wi-SUN Allianceは近距離無線通信規格「IEEE802.15.4」「IEEE802.15.4g」「IEEE802.15.4e」の業界団体であるが、2012年4月27日、都内で説明会を開催し、日本版スマートメータの920MHz帯にフォーカスした通信仕様(HEMSプロファイル)の策定や認証、相互接続性の確保に取り組んでいくことを発表した。2012年度の第4四半期に基本仕様が策定され、2015年度の第1四半期には、中継・経路選択機能、省電力機能を含む宅内網(HAN; Home Area Network)対応の拡張仕様が策定されている。

Wi-SUN Allianceの認証や相互接続性の対象となるのは、物理層とその上のMAC層、さらに必要に応じてインタフェースと呼ばれる上位層である。PHY層ではIEEE802.15.4gをベースとし、その枠組み内で用いるオプションの違いで複数のPHY層を対象とするとのこと。MAC層については、ベースを規定しておらず、IEEE802.15.4eやそれ以外のものなど複数が想定されている。インタフェースについても同様にベースは規定しない。そして利用モデルごとにPHY層とMAC層、インタフェースの組み合わせ(プロファイル)を作り、これが仕様として固められることになる。

Wi-SUN Allianceは米アナログ・デバイスズ、富士電機、村田製作所、NICT、オムロン、大崎電気工業、ルネサスエレクトロニクス、米シルバー・スプリング・ネットワークスの8社が2012年1月に設立した。現在、活動は、

(1) マーケティング、(2) テスト/認証、(3) テクニカルステアリング の三つの委員会で行われている。今後は、ワーキンググループへの参加や仕様作り、投票が可能なメンバー「コントリビューター」をはじめとする各種メンバーの参加を広く募っていくとしている。

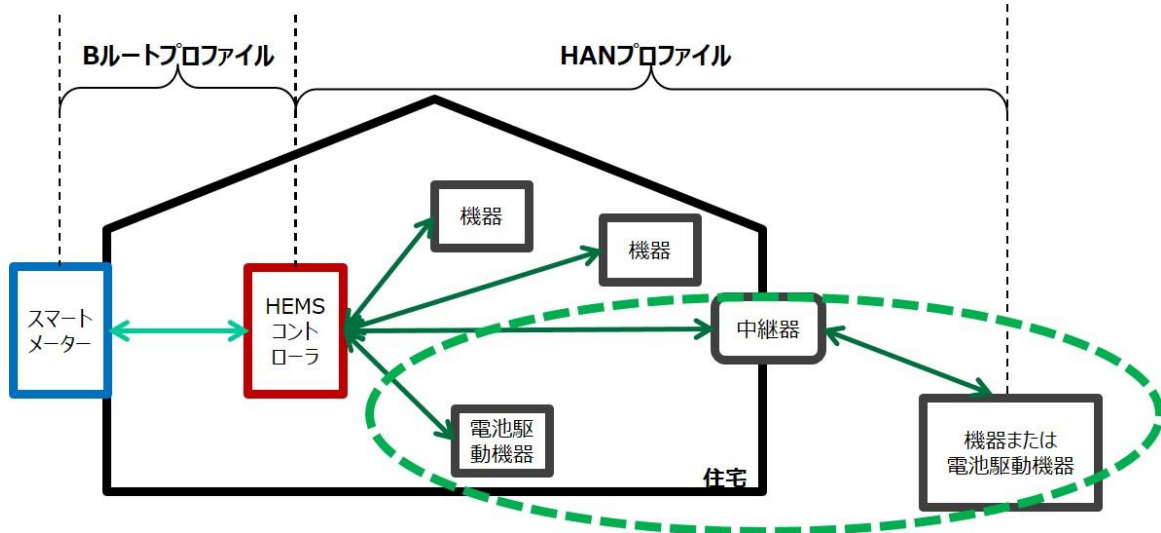


図 2-2 HEMSプロファイルの概要

## 2.5 U-bus Air

### ● 規格の概要

U-Bus Airは、主に電源をとることが困難なガス・水道メータの無線通信規格として2009年からNPO法人テレメータリング推進協議会（以下、JUTA。英語表記 Japan Utility Telemetry Associationの略）において仕様検討・標準化が進められてきた。

ネットワーク上の全ての装置が電池駆動のルーターとして動作するよう低消費電力動作に特化した仕様となっており、1日1回程度のトラフィックであれば全装置がリチウム電池（CR17450相当）2本で10年間の稼働が可能である。

U-Bus Airがカバーする範囲は、OSI参照モデルのMAC層以上の部分で、物理層についてはIEEE802.15.4gを採用している。

U-Bus Airのネットワークの最大接続数は50台であり、ネットワークトポロジーはメッシュを採用している。U-Bus Airの各無線装置は起動後に自動的にメッシュネットワークを構築し、屋外環境でのマルチホップ通信においても高い通信信頼性を確保している。

### ● 標準規格団体

JUTAは、国内のユーティリティ事業者、メーターメーカ、通信装置メーカ、通信事業者等、80社以上が参加している。また、U-Bus Airの相互接続性を確保するため、Wi-SUN AllianceにおいてJUTA Profileとして標準化がすすめられている。

### ● 標準化状況とスマートグリッドへの適用レベル

JUTAは、U-Bus Airをガス・水道メータに加えて様々なガス機器や警報器などが接続できる規格に拡張し、安心・安全見守り系の遠隔監視サービスや省エネサービスニーズに対応する次世代メータインフラ

(AMI : Advanced Metering Infrastructure) として標準化を推進しており、Aルート、Bルートへの活用の両面での運用が検討中である。

都市ガス事業者国内最大大手である東京ガスは、2018年度からU-Bus Airを活用したガスのスマートメータの導入を実施する方針で技術開発を進めていることを、発表している。

## 2.6 Z-Wave方式

### ● 規格の概略

- ・Z-Waveはサブギガ帯を使用した無線通信方式である。日本は2012年7月から920MHz帯の使用が可能になった。2.4GHz帯と比較して到達距離が長く、回折性が高いので障害物を回りこんで通信できるという特性がある。現在、スマートホーム用途のゲートウェイ・センサーデバイスに多くの採用実績がある。
- ・Z-Wave Allianceは2005年1月に設立され、ホームテクノロジー分野の大手企業で構成されるコンソーシアムである。現状375社のZ-Wave Alliance メンバーで構成され、1500のZ-Wave認証済み製品がある(2016年1月時点)。
- ・全ての機器はZ-Wave Allianceが用意したZ-Wave 認証プログラムでの認証が必要で、認証された機器にはZ-Wave ロゴの使用が許可され、ブランド・ベンダーを問わず機器間の高い相互運用性が保たれる。

### ● 主要規格

- ・通信速度: 100 Kbit/s
- ・変調方式: GFSK
- ・距離: 見通し30m
- ・周波数:
  - ・ 865.22MHz (インド)
  - ・ 868.42MHz (ヨーロッパ/中国/UAE/シンガポール/南アフリカ)
  - ・ 869.0MHz (ロシア)
  - ・ 908.42MHz (アメリカ/カナダ/メキシコ)
  - ・ 915-917MHz (イスラエル)
  - ・ 919.7MHz (韓国)
  - ・ 919.82MHz (香港)
  - ・ 921.42MHz (オーストラリア/ニュージーランド/ブラジル)
  - ・ 922-926MHz (日本/台湾)
- ・ネットワーク構成 : コントローラ 1台あたり、最大232台のノードと接続可能。
- ・最大 4ノード中継可能。

### ● 特徴

- ・1GHz以下の周波数帯 (Sub-GHz帯) を使用するため、無線LAN や電子レンジ当の影響を受けない。
- ・メッシュネットワーク対応
  - ・室内での伝達距離は約 30m だが、メッシュネットワークを構築することで距離や障害物の影響で直接コントローラの電波が届かないノードに対しても通信可能。
  - ・コントローラ 1台あたり、最大232台のノードと接続可能。
  - ・最大 4ノード中継可能。
- ・応用製品
  - ・現在US、欧州などで 1500種類程度の認定機器がある。

- ・スマートメータ、ホームセキュリティー・スマートホームへ各種センサー類・サーモスタット・スマートロック等が採用されている。

## 2.7 G.wnb : 狭帯域の宅内無線ネットワーク

G.wnbは、ITU-T SG15 Q4会合で議論されている。G.wnbは1GHz以下ではZ-Waveを利用する方式として考えられている。（周波数規定関連についてITU-Rとリエゾンにより議論を進めている。）

G.wnbのITU-T勧告（G.9959）では、送信機の物理層（physical layer）とMAC層（medium access control layer）が提案されている。各国から以下のような周波数割り当てが、提案されている。

表 2 - 3 各国の使用周波数

Country / Market	Center frequency (MHz)		Channel Width (kHz)
EU	f <sub>EU1</sub>	869.85	300
	f <sub>EU2</sub>	868.40	400
US	f <sub>US1</sub>	916.00	300
	f <sub>US2</sub>	908.40	400
HK	f <sub>HK1</sub>	919.80	400
ANZ	f <sub>ANZ1</sub>	919.80	300
	f <sub>ANZ2</sub>	921.40	400
MY	f <sub>MY1</sub>	868.10	400
IN	f <sub>IN1</sub>	865.20	400
JP	f <sub>JP1</sub>	951.10 (NOTE 1)	300
	f <sub>JP2</sub>	954.70 (NOTE1)	300
	f <sub>JP3</sub>	955.50 (NOTE1)	300
	f <sub>JP1</sub>	Not used	n/a
	f <sub>JP2</sub>	Not used	n/a
	f <sub>JP3</sub>	926.30 (NOTE 2)	300
	f <sub>JP1</sub>	922.50 (NOTE 3)	300
	f <sub>JP2</sub>	923.90 (NOTE 3)	300
	f <sub>JP3</sub>	926.30 (NOTE 3)	300

NOTE 1: Valid until 31 March 2018.

NOTE 2: This limited one-channel-frequency is to be used until the NOTE 3 designations are valid.

NOTE 3: The use of these frequencies shall be valid from 25 July 2012. For more details see the national regulations.

送信パワーは、-5dBm以上で、上限は各国の規制値まで。

## 2.8 特定小電力無線

### ● 規格の概要

ライフスタイルやビジネスシーンが多様化し、近距離間での簡易連絡用のコミュニケーション手段を求める声が強くなった現代、比較的狭いサービスエリアにおける無線通信の需要は増加している。こうした背景から、「特定小電力無線局」に対する制度が作られ、総務省で定める一定の条件を満たした無線設備であれば無線従事者資格も無線局免許も必要とせず、広く一般の人々が利用できる。規格は、1989年（平成元年）に制度化され、発射される電波の強さ（空中線電力）は1W（当初は10mW）以下と総務省告示に定められている。OSIレイヤでは、レイヤ1～2に該当する。

### ● 標準規格と周波数帯

電波産業会(ARIB)にて標準規格化しており、特定用途の周波数毎に制定している。

- ・ ラジオマイク 74/322/806MHz帯
- ・ 補聴援助用ラジオマイク 75MHz帯
- ・ 音声アシスト用無線電話 75.8MHz帯
- ・ テレメータ、テレコントロール及びデータ伝送 400・1200MHz帯
- ・ 医療用テレメータ 400MHz帯
- ・ 無線呼出 400MHz帯
- ・ 体内埋込型医療用データ伝送及び帯体内埋込型医療用遠隔計測 400MHz帯
- ・ 無線電話(ラジオマイクを除く)400MHz帯
- ・ 国際輸送用データ伝送設備及び国際輸送用データ制御設備 430MHz帯
- ・ 移動体識別 950MHz/2.4GHz帯
- ・ 移動体検知センサー 10.525/25.15GHz帯
- ・ ミリ波画像伝送及びミリ波データ伝送 59～66GHz帯
- ・ ミリ波データ 60.5/76.5GHz帯

### ● 変復調方式、伝送速度、伝送距離、MAC方式

変復調方式は電波の型式により周波数変調、位相変調など。伝送速度は周波数により1.2～9.6kbit/s、100kbit/sなど。伝送距離も周波数により数十m～数kmなど様々。また、MAC方式はキャリアセンスにより実施。

### ● 標準化状況とスマートグリッドへの適用レベル

各用途の周波数帯毎に制定され、最近では、950MHz帯が割り当てられているスマートメータ向けでは、920MHz帯に移行することが決定しており、各社にてスマートメータ用インタフェースに採用され、実用化されつつある。また、消費電力について、ボタン電池レベルで稼働する機器は既に多数ある。

### ● セキュリティ認証・暗号化方式・誤り訂正

無線設備、および上位レイヤにて考慮が必要。

## 2.9 UWB方式

### ● 概要

UWB (Ultra Wide Band : 超広帯域無線) と呼ばれ、IEEE 802.15.3aのことを示す場合が多い。Wireless USBの基本技術でもある。近距離での高速通信と位置検出が可能なのが特徴となる無線通信技術である。もとはアメリカの軍事技術として開発されたが、連邦通信委員会（FCC）から2002年2月に民間利用が許可されている。アメリカでは特別な免許無しでの使用が可能。一般的には搬送波・広帯域変調を用いた、近距離高速通信が可能

な無線技術のこと。位置測定やレーダーの機能も持ち合わせている。使用する帯域はマイクロ波帯と準ミリ波帯の2種類がある。

- ・ マイクロ波帯

米国では3.1GHz～10.6GHzが利用可能、日本では3.4～4.8GHz、7.25～10.25GHzが利用可能。

なお3.4～4.8GHzの利用については、第4世代携帯電話やWiMAX等との帯域競合が予想されるため、他の通信方式との干渉回避技術(DAA: Detect and Avoid)の搭載が義務付けられている。(2008年末までは、4.2～4.8GHzの帯域に限りDAAなしでも利用可能だった)

単位周波数当たりの出力レベル(放射電磁雑音規制値) : -41.3 dBm/MHz

- ・ 準ミリ波帯

22GHz～29GHz

ただし23.6～24GHzについては電波天文・地球探査衛星などで使用される帯域のため、この帯域に対する妨害を与えないことが条件となる。

- 通信速度

- ・ 実際(実験段階・2004年) : 320Mbit/s
- ・ 目標 : 480Mbit/s 以上(USB 2.0の通信速度と同じ)

- 変調方式

- ・ MB-OFDM (MultiBand Orthogonal Frequency Division Multiplexing) : MultiBand-OFDM Alliance (MBOA) が推進  
OFDMを応用。3.1GHz～10.6GHzの帯域を14バンドに分割し割り当て、それを5つの論理チャンネルにグループ化。
- ・ DS-UWB (Direct Sequence UWB) : モトローラ陣営が推進  
インパルスレディオ方式とDSスペクトル拡散方式のハイブリッド。
- ・ CSM (Common Signaling Mode: コモン・シグナリング・モード) 方式  
MB-OFDM方式とDS-UWB方式の折衷方式。双方の物理層を認め、共存に必要な作業をMAC層のプロトコルで行う。3960MHzを中心周波数とする500MHz幅の共通バンド(Common Signaling Mode Band)を定め、最大10Mbit/s程度の通信を実現する。

- 特徴

- ・ 消費電力が少ない
- ・ 妨害電波に強い
- ・ 高速通信が可能。ただし、距離が長くなると極端に速度が低下する。
- ・ 位置検出の精度が高く、誤差は数cm内
- ・ 従来以上に広い周波数帯に拡散して通信を行う
- ・ 半径10m程度の近距離での使用がターゲット

### ●用途例

#### ・高精度三次元位置検知システム

アクティブタグとしてセンサーとタグ間の伝搬時間を計測して距離を求める。センサーを複数台設置することで3次元での位置を検知することが可能で、検知精度は数cmまで設定が可能。

#### ・高解像度ワイヤレス監視カメラ・防犯カメラ

## 2.10 PHS方式

### ●概要

簡易型携帯電話として、携帯電話とは法令上、明確に区別されている。コードレス電話を屋外でも使用するという発想で、日本で規格化した電話システムで1995年からサービスされている。現在では、携帯電話に押されて加入者数は減少したが、中国、タイ、ベトナム等で普及が進み、世界で8000万件以上の契約がある。1.9GHz帯を利用する。基地局の送信出力が最小20mW～最大500mWと小さく、マイクロセル方式により1基地局あたりのカバーエリアを小さくして同一周波数の再利用が容易になる。また、基地局が小型で低コスト化できるため、地下街や地下鉄構内、建物内等に設置可能である。

### ●標準化団体

日本国内の規格

### ●変調方式

TDMA/TDDであり、1スロット32kbit/sとなっている。これが1通話スロットとなっており、音声の符号化としてはADPCMを使用している。データ通信においては、直接PHSの通信チャネルに対して伝送する方式としてPIAFS (Personal Handyphone System Internet Access Forum Standard) が策定され、1997年からサービスされている。

### ●スマートグリッドへの適用

PHSは、ラスト・ワン・マイルを接続する手頃な無線技術として注目されており、ひとつの応用としてテレメータリングに利用される。

ガスメータへの適用は既に始まっているほか、建物内やコミュニティに設置される各種のセンサー情報を遠隔伝送する仕組みとして使用されている。

## 2.11 WiMAX

### ●規格の概略

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) とは無線通信技術規格である。WiMAXは異なる機器間での相互接続性確保のため、IEEE 802.16作業部会と業界団体のWiMAX Forumにより規格標準化が進められている。

### ●固定WiMAX (Fixed WiMAX)

IEEE802.16-2004 規格の WirelessMAN-OFDM (サブキャリア数: 256固定) / WirelessHUMAN-OFDM無線インタフェースに準拠し、固定 (FWA) 用途の WiMAXサービスを実現。



●WiMAX Release 1.0 (Mobile WiMAX)

IEEE802.16e 規格によって補足・修正された 802.16-2004 規格の WirelessMAN-OFDMA (サブキャリア数：512 または 1024 チャンネル幅に応じて可変) 無線インタフェースに準拠し、固定、ノマディック、ポータブル、モバイルの用途のWiMAXサービスを実現。120km/hでの高速移動を想定した規格。

●WiMAX Release 2.0 (WiMAX2)

モバイル WiMAX の後継規格となる IEEE802.16m-2011 は、802.16e 規格によって補足・修正された 802.16-2004規格を、第四世代移動通信システム (4G) の一つの要求条件を満たすように補足・修正され、更なる高速化した仕様となる。350km/hでの高速移動を想定した規格。

●WiMAX Release 2.1 (WiMAX2+)

WiMAX Release 2.0に対して、Additional Elementsとして3GPPが標準化したTD-LTEの互換性を持つ技術を導入した。ただし、TD-LTE互換となるため、端末ごとにSIMによる認証が必要となる。

国内でのサービスでは、2.5GHz帯にて新規に20MHzの割り当てを受け、既存30MHzと合わせて50MHzの帯域で運用。2015年3月には下り最大220Mbit/sでの通信を実現した。

表 2-4 固定WiMAX と モバイルWiMAX の比較

	固定WiMAX	モバイルWiMAX
規格名	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005
利用周波数帯	11GHz帯以下	6GHz帯以下
伝送速度	最大約75Mbit/s (20MHz帯域使用時)	最大約75Mbit/s (20MHz帯域使用時)
変調方式	OFDM	OFDM, OFDMA, SOFDMA
	BPSK/QPSK, 16QAM & 64QAM	QPSK, 16QAM & 64QAM
マルチアンテナ技術	MIMO (オプション)	MIMO, AAS, STC (すべてオプション)
移動性	固定・可搬	固定・可搬・移動体 (120km/h)
チャンネル帯域	1.75MHz~10MHz可変	1.25MHz~20MHz可変
セル半径	2~10km	1~3km
標準化完了時期	2004年6月1日	2005年12月1日

表 2-5 IEEE 802.16eとIEEE 802.16m まとめ

	IEEE 802.16e (WiMAX Release 1.0)	IEEE 802.16m (WiMAX Release 2.0)	
		必須	目標
周波数	2.3GHz, 2.5GHz, 3.3~3.8GHz	(1GHz,) 2.3GHz, 2.5GHz, 3.3~3.8GHz	
復信方式	TDD	TDD, FDD/HFDD	
チャンネル帯域	3.5, 5, 7, 8.75, 10MHz	5, 10, 20, 40MHz	
最大伝送速度 (ダウンロード)	64Mbit/s (2×2、チャンネル帯域が10MHzの時)	160Mbit/s以上 (2×2、チャンネル帯域が20MHzの時)	300Mbit/s以上 (4×4、チャンネル帯域が20MHzの時)
最大伝送速度 (アップロード)	28Mbit/s (2×2、MIMO使用時、チャンネル帯域が10MHzの時)	56Mbit/s (1×2、チャンネル帯域が20MHzの時)	112Mbit/s (2×4、チャンネル帯域が20MHzの時)
最大移動速度	60~120km/h	350km/h	500km/h
遅延	LLA(Link Layer Access):20ms Handoff:35~50ms	LLA(Link Layer Access):10ms Handoff:30ms	
MIMO設定	ダウンロード: 2×2 MIMO アップロード: 1×2 MIMO	ダウンロード: 2×2 MIMO アップロード: 1×2 MIMO	ダウンロード: 2×4, 4×2, 4×4 MIMO アップロード: 1×4, 2×2, 2×4 MIMO
平均VoIP利用ユーザ数	50ユーザ/セクター/FDD MHz	50ユーザ以上/セクター /FDD MHz	100ユーザ以上/セクター /FDD MHz
	25ユーザ/セクター/TDD MHz	30ユーザ以上/セクター /TDD MHz	50ユーザ以上/セクター /TDD MHz

## 2.12 DECT方式

### ●概要

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) はETSI (欧州電気通信標準化機構) において、デジタルコードレス電話規格として1992年に制定された。ITU-R勧告 M.1457にてIMT-2000のFDMA/TDMAシステムとしても規定されているため、国際的には携帯電話の一種として捉えることもできる。

2010年に総務省令「デジタルコードレス電話の無線局の技術基準」が改正され、国内での利用が可能となった。

### ●標準化団体と規格

DECTはETSIの商標で、テスト仕様を含め約250の規格群がETSIから発行されている。米国ではFCC Part15 Subpart D – Unlicensed Personal Communications Service Devicesに規定されている。

日本国内の適用にあっては、ARIB (一般社団法人電波産業会) ARIB STD-T101「時分割多元接続方式広帯域デジタルコードレス電話の無線局の無線設備規格」が2011年3月に発行されている。

また、アプリケーションの標準化と相互接続を目的として、CAT-iq (Cordless Advanced Technology – internet quality) 認証プログラムをDECT Forum、HAN FUN (Home Area Network FUNCTIONal protocol) 認証プログラムをULE Allianceで行っている。

### ●使用する周波数、通信方式

1.9GHz帯（日本国内では、1,895.616MHzから1.728MHz間隔で5波）の周波数を利用する。

通信方式はTDMA/TDD（時分割多元接続/時分割複信方式）で、多重数は12となる。伝送速度は、標準変調方式のGFSKの場合1.152Mbit/sであり、最大64QAMで6.912Mbit/sとなる。

### ●DECTの特長

1.9GHz帯を使うため、無線LANとの干渉がなく、通信障害が低減されている。また、周波数チャネルの使用状況を常時モニタリングし、自動的に最適なチャネルを選択することで、効率良く周波数帯域を利用することができる。通信距離は、見通しで300m以上、屋内で50m程度であり、中継器による多段再生中継も可能である。

### ●DECT ULE

DECT ULE（Ultra Low Energy）は、DECTをベースに策定された超低消費電力版の規格で、IoT/M2Mアプリケーションを意図した規格として、2013年4月にETSIからETSI TS 102 939-1が発行された。デバイスおよび物理レイヤにはDECTそのものを使用し、セキュアなパケット通信を行うトランスポートレイヤをETSIで規定し、スマートホームを実現するアプリケーションレイヤを業界団体のULE Allianceで規定している。

スリープ時の消費電流は数 $\mu$ A程度で、非同期モード（イベントトリガ起動）、または、同期モード（間欠起動）で端末を駆動させることより、充電不要な一次電池で、数年間にわたり端末を駆動させること可能にしている。

## 2.13 IP500

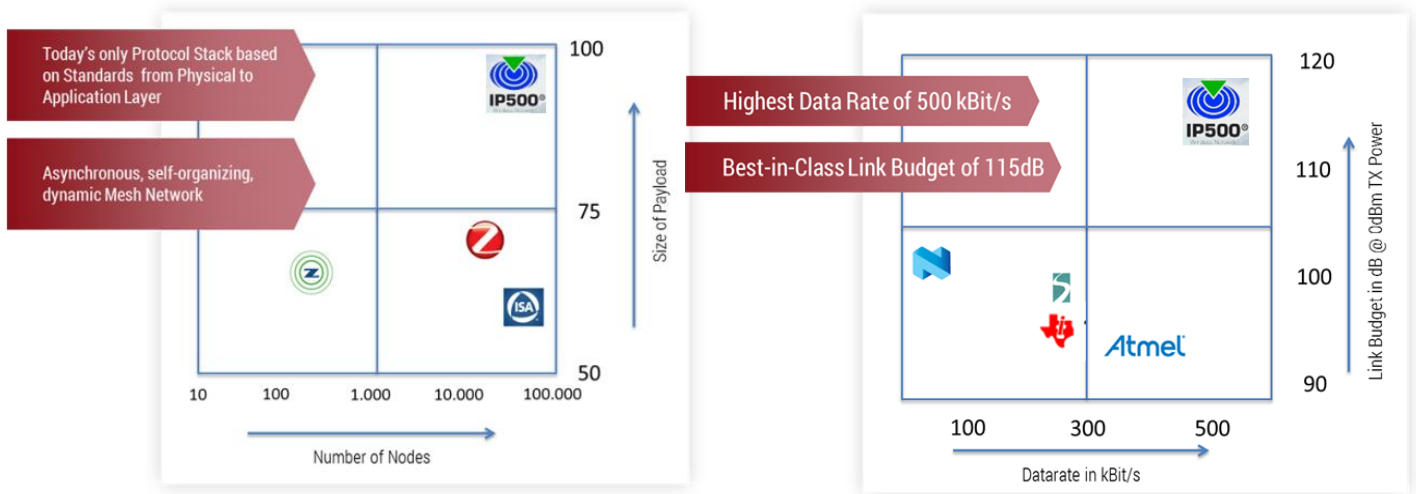
IP500 Allianceが運営を開始したのは2008年、その後2010年5月にベルリン（ドイツ）で非営利組織として設立された。IoTランドスケープの目標は、高いセキュリティ、省エネルギー、ネットワーク内におけるワイヤレスの快適性やモビリティのほか、高いプロセスの安定性、大型商業ビルや工場施設での品質を確保するところにある。IP500 Allianceは、高いパフォーマンスと信頼性に対するニーズに関して、安全性とセキュリティの規制の問題に対処する。こうした要求は、（CoreNetix- [www.coreNetix.com](http://www.coreNetix.com)などの）サプライヤーを選ぶよう提起されていた。こうしたサプライヤーが信頼性の高いIP500ソリューション/モジュールを開発した。これにはデュアルバンドの機能（Sub 1 GHzおよび2.4 GHz、IEEEスタンダード802.15.4 2006準拠をベースとする）やIPv6/6LowPAN、NW Stackベース、スケーラブルなメッシュ機能とBACnet over IP付きが含まれる。

### ● IP500 NWLスタックの主な機能

- シンクロニックなメッシング、自己回復機能、TCPおよびUDPスタンダードのコミュニケーション付き
- すべてのネットワークトポロジーをサポート（メッシュ、ツリー、スター、ポイント・ツー・ポイント）
- ナローバンドで500kbit/s、Sub 1と2.4 GHz同時のデューティサイクルメカニズム
- 6LowPANスタンダード準拠、IPアドレス（802.15.4 RF ICs）向け
- ローカルレベル、アプリケーションレベルでのメッシュ管理
- 「ローカルパワーマネジメント」、最長バッテリー寿命で効率的な電源使用（10年以上）向け
- HWプラットフォームとSWスタックの間での時間サービスの透明性
- SWアップデートオプション、FlashとOTAP向け、ネットワークアクセス向け「高セキュリティマネジメント」
- セキュリティ/暗号化、PHYとネットワークレベル（例、AES-128）

- IP500 NWLトポロジー

IP500ネットワークスタックは、画期的でアドホックなネットワークに自動化されたネットワークフォーメーション、設定およびメッシュのルーティング、ルートヒーリングを提供する。これは、AODV (AdHocディスタンスベクトル) プロトコルなどのオープンスタンダードなメッシュプロトコルやIETFによる新たなスタンダードプロトコル経由で提供される場合がある。このプロトコルにより、IP500のセンサーネットワークは1000を超えるノードを持つ大規模ネットワークのトポロジーを、最高のペイロード効率性でサポートすることができる。最も単純なケースでは、スタックは直接的なポイント・ツー・ポイントのコミュニケーションを提供し、これはスタートポロジーに拡張される。スターを活用して、パケットはスターのあるノード間で送信可能となり、RF ネットワークは施設、ビル、住宅の既存ネットワークに貼り付けが可能となる。



左) NWL (ノードとペイロード)

右) ソリューション/モジュール (Kbit/s/リンクバッジ)

図 2-3 IP500のパフォーマンス

## 2.14 LPWAN

LPWAN (Low Power Wide Area Network) とは、IoTデバイスを電池無交換で数年間駆動可能で、かつ、1台のゲートウェイ (もしくは、基地局) で半径数km以上の広域無線通信が可能であることを特徴とした技術である。

IoTデバイス、ゲートウェイ、データを蓄積するプラットフォーム、データを活用するアプリケーションサーバから構成されるハイレベルアーキテクチャにおいて、LPWANはIoTデバイスとゲートウェイ間の通信方式として適用され、サブGHz帯の無線通信方式を活用して、IoTデバイスの低電力化と広域通信を実現する。

前記無線通信方式は、低消費電力と広域無線通信の実現を図るため、LoRaやSigfox等の各アライアンスで物理・MACレイヤを中心に独自に規定されている。通信速度は最大で数十kbps、データ長は最大で250バイト程度である。

免許不要帯域のLPWAは、最近までLPWANと言われるケースがほとんどであるが、LPWAと言われている場合もある。本文書では以降、携帯回線を用いるLPWAと区別する意味で、免許不要の低消費電力広域無線通信システムはLPWANと呼ぶ。なお免許不要帯域はISM (Industry Science Medical) バンドとも言われ、サブG帯、2.4G帯、5G帯などがその帯域で、Bluetooth・Zigbeeなどは2.4G帯、Wi-Fiはさらに5GHz帯も使用している。サブGHz帯は日本915MHz、米国920MHz、欧州865MHzとエリア毎の帯域仕様割り当てに従って帯域が異なっている。LPWANで日本の915MHz帯域をサポートしているものは少ない。2017年時点では、海外に比べて国内での実績はほんのわずかである。

LPWANは2010年ごろに登場したが、注目されるようになったのは2015年あたりからである。下記のような方式が乱立しており、それぞれが特徴を強調している。フォーラムの会員によるサポートで運営する方式と、企業が運営する方式があるが、通信システムだけを提供する場合から、ターンキー（システム全体の開発・設置・運用）システムで提供する場合まで、様々なビジネスモデルがあり、激しい市場争いを繰り広げている。

相互接続の点からは、運営母体が非営利団体か企業の運営かでビジネスモデルが異なる。下記に状況を記載する。

◆非営利団体が運営（フォーラム等）

- ・ Dash7 : Dash7 Alliance
- ・ LoRa : LoRa Alliance
- ・ Weightless : Weightless IG (Interest Group)
- ・ Halow : Wi-Fi Alliance、Wi-Fi Halow、IEEE規格名IEEE802.11ah

◆企業が運営

Accellus、Aclala、Dart、Injune、nWave、SENSUS、Sigfox、Silver Link、Telensa、WAVIoT

Dash7等が2.4GHz帯域なのを除けば、サブGHz帯域を使用しているのが多い。言うまでもなく搬送周波数の低い方が伝送距離を伸ばすことができるからである。また通信方式もそれぞれ特徴があるが、スペクトラム拡散技術を活用して、耐ノイズ性やセキュリティの向上を図っている。

下表に、これらLPWAN方式の比較を示す。

表 2-6 LPWAN方式の比較

規格名 比較項目	LoRa	Sigfox	WAVIoT	Nwave Weightless-P	Ingenu RPMA	Flexnet
周波数帯	サブGHz帯	サブGHz帯	サブGHz帯	サブGHz帯	2.4GHz	280MHz帯
変調方式	CSS	BPSK	DBPSK	DBPSK	RPMA	FSK
MAC	独自 (LoRaWAN)	独自	独自	独自	独自	独自
暗号化対応	○ (AES-128)	○ (独自)	○ (XTEA-256)	○ (AES-128)	○ (AES-128)	不明
リンクバジ ェット[*1]	154dBm	151dBm	166dBm	147dBm	163dBm	不明
通信速度 (bps)	300~50k[*2]	100 [*3]	10~100k[*1]	200~100k [*4]	下り 600 k 上り 100 k	10 k
通信距離	都市部数km 見通し15km	都市部5km 郊外15km	都市部10km 郊外50km	都市部2km 郊外5km [*5]	郊外5km [*1]	最大20km

注：引用元は以下の通り。

[\*1] : WAVIOT NB-FI LPWAN TECHNOLOGY

[\*2] : LoRaWAN 101

[\*3] : <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/sigfox/basics-tutorial.php>

[\*4] : [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1327380](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1327380)

[\*5] : 欧州規格の場合、国内ではこれより狭くなる

以下、主なものとしてLoRa、SigFox、WAVIoT、Nwave (Weightless-P)、Ingenu (旧 OnRamp)、Flexnetについて概要を記載する。

なお、NB-IoT (LTE) は携帯回線という既存の枠組みの中にあり、別項で詳細を記載する。

(a) **LoRa**

LoRaはオープンスタンダードとして提案されており、LoRaチップと通信モジュールを開発製造しているICメーカーSemtechとIBMが設立したLoRa Allianceが推進しており、IBMやZTE、仏Orangeなどがスポンサー企業として名を連ねている。またLoRaWANは多くの国々で通信キャリアが中心となり全国展開中であり、LoRa Allianceの認証を受けて活動している。

LoRaという規格名は、「長距離」を意味する英語“Long Range”から来ている。

LoRaWANは免許不要の920MHzのサブG帯域を使い、ネットワーク構成や通信範囲は携帯回線とほぼ同じ（都市部数km、見通し15km）で、最大通信速度250kbpsの双方向通信である。

LoRaでは物理レイヤとMACレイヤをLoRaアライアンスで独自に規定している。

LoRaの物理レイヤでは、変調方式にチャープスペクトラム拡散を使う。チャープスペクトラム拡散は軍事・宇宙通信分野で古くから使われている変調方式で、FSK方式に比較して長距離性能やロバスト性能に優れている変調方式の1つである。

MACレイヤでは、LoRaWANと呼ばれる独自方式を使う。LoRaWANでは、アクセス制御方式、MACフレーム、MAC制御コマンド、セキュリティ方式（AES-128）を規定している。

(b) **Sigfox**

Sigfox社が運営しており、同社は2009年創業の仏国ベンチャー企業で、2017年現在、25か国、約800万端末を設置済みとしている。

Sigfox通信サービスは1国1社に限定、Sigfoxネットワークオペレータ（SNO）として独占的に1国を任せている。

通信速度は100bpsと遅いが、通信範囲は都市部で約5km（最大約15km）、郊外では15kmくらい（最大50km）とLPWANの中で広い方である。月額通信料金は\$ 1.0からと言われており、以下の特徴がある。

- Sigfoxでは物理レイヤとMACレイヤをSigfoxで独自に規定している。
- Sigfoxの物理レイヤでは、変調方式にBPSKを使う。
- MACレイヤでは、独自方式を使う。IoTデバイスにデータ送信制約（データ長12バイト、140回/日）を行うことで省電力化を実現している。セキュリティ方式も規定しているが詳細情報は公開されていない。

(c) **WAVIoT**

WAVIoTは、マシン・ツー・マシン(M2M)テレメトリーおよびIoTアプリケーション向けの全2重LPWANテクノロジーで、独自のNarrowband Fidelity (NB-Fi)プロトコルをベースにしており、2011年に設立されたWAVIoT社が運営管理している。WAVIoTテクノロジーは、3つの120度アンテナを用いる、双方向SDR理論をベースにした全2重ゲートウェイを利用している。WAVIoT社によれば、WAVIoTは以下の特徴がある。

- ゲートウェイ当たり200万を超えるノードをサポート
- 166 dBもの大きなリンクバジェット
- 長距離：50 km（郊外）および10～15 km（都市）を超える有効距離
- バッテリー寿命：低消費電力により、アプリケーションは1つのバッテリーで10～20年間動作
- 導入コスト：リピータは不要で、1つのゲートウェイだけが必要で、他のワイヤレス技術と比較してコストを削減可能
- ハードウェアコスト：高価なセルラーチップセットは不要で、LPWANチップセットの初期投資コストを0.99 \$からさらに節約可能

(d) **Nwave (Weightless-P)**

Weightless-SIG (Special Interest Group) によるアライアンスが結成されている。オープン化、テクノロジーの認証とライセンスを実施。設立当初、Weightless-N(2015年5月)/P(2015年12月)/W(2013年)の3つの技術が存在した。現在の主力方式はWeightless-P。2015年12月に規格化されたオープン標準。

サブギガヘルツ帯の狭帯域 (各チャネル12.5kHz) を使用した上り方向と下り方向の双方向通信をサポートするLPWA方式の一つ。下り最大100kbpsに対応し、以下の特徴がある。

- ライセンス、アンライセンスバンドどちらも対応
- 同期ネットワーク (TDMA/FDMA)
- 双方向通信(アップリンク(625bps~10kbps)、ダウンリンク(6.25k~100kbps))
- 低消費電力(適応的電力制御。電池交換なしで5~10年間運用)
- 長距離(都市部2km、郊外5km:欧州仕様。国内仕様はこれより狭くなる)

(c) **Ingenu (アンジェヌ : 旧 OnRamp)**

2008年1月設立の非上場のM2M (Machine-to-Machine) 通信ネットワーク関連企業が運営。2015年9月にOn-Ramp Wirelessより名称変更し、現在の社名となっている。

米国アリゾナ州やテキサス州ダラスでの公共IoTネットワークなどの導入事例があり、世界各国、38を超える事業者に対して、プライベートなLPWAネットワークを提供してきた (2017/10時点) としており、国内では長谷工エアネシスが2013年にスマートメータ (GE製) の通信手段として導入した。下記に特徴を示す。

- 免許が必要ない帯域 (アンライセンスバンド、主に2.4GHz帯) を使用し、最高速度は下り600kbps、上り100kbps
- 一つの基地局で最大約500平方kmをカバー可能。同社の創設者らが開発したRandom Phase Multiple Access(RPMA)技術が特徴
- この技術を支える30を超えるコア特許が保持されており仕様はクローズド

(f) **Flexnet**

2003年に米国ノースカロライナで創業された、水道を中心としたスマートメータ企業が運営しており、2016年に米国の水ソリューション企業Xylemに買収された。米Sensus(センサス)社が2000年代から展開している広域無線通信システムである。スター型広域無線のみを通信方式として用いており、すべての無線端末が基地局とダイレクトに双方向通信を行なうことができる。

米国や英国を中心に、水道、電気、ガスのスマートメータなど、導入世帯は2000万を超えているとしており、国内ではKDDIが水道スマートメータのフィールドトライアルを実施した。下記に特徴を示す。

- ライセンスバンド (280MHz帯) を用いて、最大伝送速度10kbps、最大伝送距離20km程度の通信が可能
- 高出力の無線端末と占有周波数帯を用いるため、基地局あたり半径5~20km範囲にある数万台のスマートメータをカバー可能

## 2.15 NB-IoT

前記LPWANに相当するものとして、既存の携帯電話ネットワークを使ったIoT通信デバイス向け通信規格である3GPPの「LTE版LPWA」の標準化作業が進められている。2016年6月に発表されたRelease13でカテゴリM1とカテゴリ

リNB1 (NB-IoT) がそれに相当する。カテゴリM1は、1.4MHzの帯域幅で上り下りとも1Mbpsの通信速度を得られる。モデムの複雑性 (カテゴリ4を100%とした場合) はカテゴリ1が80%であるのに対し、20%まで引き下げることができる。

さらに方向性を明確にしたのがカテゴリNB1として定義されたNB-IoTで、帯域幅を200kHz以下まで絞り込み、通信速度も下り25kbps、上り60kbps程度と低速に抑えることにより、低コスト化、長距離対応化、低消費電力化を図っている。

LTE方式をベースにして拡張することで、ソフトウェアのアップデートで、LTEの高速無線大容量通信方式と、併存する機能としてLPWA通信機能も提供される。下記にLTE方式における各カテゴリの比較を示す。

表2-7 LTE方式における各カテゴリの比較

	LTE Cat.1	LTE Cat.0	LTE Cat.M1 (eMTC)	LTE Cat.NB1 (NB-IoT)
機能特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>MIMOなし、Single Rx、全二重</li> <li>10Mbps/5Mbpsに機能限定 (省電力/コスト/カバレッジでIoT要件には未対応)</li> <li>In-band</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MIMOなし、半二重</li> <li>1Mbpsのデータ通信、省電力モード対応 (voice/VoLTEには未対応でIoTに必要な機能のみに限定)</li> <li>In-band</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MIMOなし、全二重、半二重</li> <li>バンド幅を削減</li> <li>間欠受信間隔を延ばして省電力強化の機能拡張</li> <li>In-band</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MIMOなし、半二重 (TDDなし)</li> <li>バンド幅を削減</li> <li>間欠受信間隔を延ばして省電力強化の機能拡張</li> <li>In-band、Guard-band、Standaloneの3つの運用方式</li> </ul>
3GPP Release	Rel-8	Rel-12	Rel-13	Rel-13
リリース年/商用年	2009	2014	2016	2016/2017
Downlink peak rate	10Mbps	1Mbps	1Mbps	~25kbps
リンクパジェット (dBm)	140	140	155	164
Uplink peak rate	5Mbps	1Mbps	1Mbps	~60kbps
バンド幅	20MHz	20MHz	1.08MHz	180kHz
アンテナ数	2	1	1	1
Duplex mode	Full duplex (FD)	Half duplex (HD)	FD & HD (type B), 周波数分割多重&時分割多重	HD (type B), 周波数分割多重
省電力	-	Power save mode (PSM)	PSM, eDRX (extended I-DRX, C-DRX) (DRX: Discontinuous Reception、間欠受信)	PSM, eDRX (extended I-DRX, C-DRX) (DRX: Discontinuous Reception、間欠受信)

## 2.16 sXGP

XGPフォーラムは、TDD方式の狭帯域マイクロセルシステムであるPHSの発展、普及を目的とした組織であるPHSMoUグループを発展的に改組した団体で、PHS関連の通信事業者、メーカーが参加している。

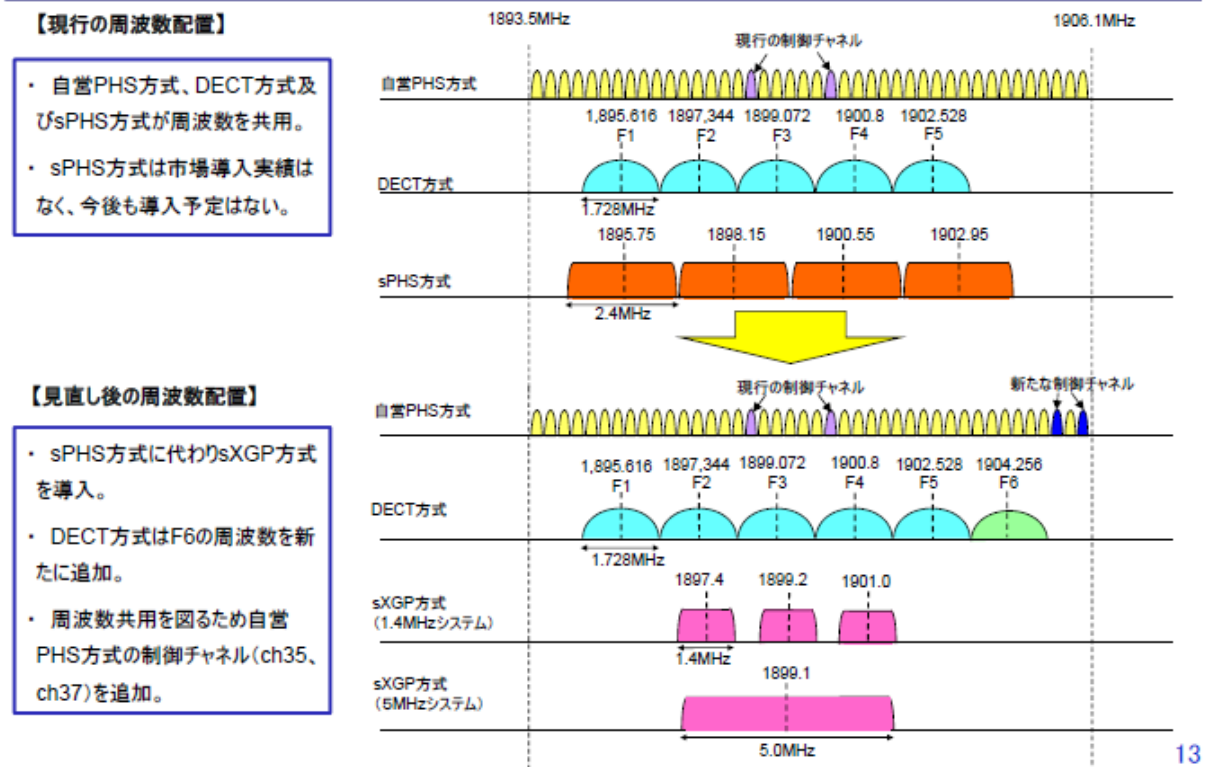
sXGP (shared eXtended Global Platform) 方式は1.9GHz帯の次世代の無線通信システムとして検討されている方式で、現在、PHS、DECTの各方式が規定されているが、XGPフォーラムでTD-LTE方式をベースとした新しいデジタルコードレス電話システムを検討しており、2017年10月にsXGP規格Version1が承認された。

sXGP方式デジタルコードレス電話は、2017年11月時点では総務省で特性試験方法が定められていないため、2017年11月からTELECで特性試験方法 (略称:sXGP方式デジタルコードレス電話の特性試験方法) を制定して総務大臣に届け出て、新規の特性試験方法として運用を開始している。

下記にDECT方式とsXGP方式の周波数配置を示す。



## DECT方式及びsXGP方式の主な技術的条件案①



13

図 2 - 4 DECT方式とsXGP方式の周波数配置

(出典：総務省資料、[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000464848.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000464848.pdf) より)

### 3. まとめ

エリアネットワークはHEMSなどの家庭内ネットワーク（家庭内のセンサーネットワーク）のみならず、IoTまで拡大した町レベル程度までの通信が考えられ、以下に示すような条件が求められる。

エリアネットワークの必要条件

#### (1) 価格

安価なセンサー装置やセンサー内蔵機器を配置し家庭内のセンサーネットワークを構成する場合、通信制御装置は安価であることが望ましい。

例えば、市中に普及している通信方式を採用することで、センサー装置やセンサー内蔵機器を比較的安価に実現することができると考えられる。

#### (2) 設置工事

既築住宅や近隣への適用を考えると、装置の設置工事／配線工事が簡単に行えることが重要となる。新規配線工事が不要であることが理想である。

#### (3) 低消費電力

各種のセンサー装置やセンサー内蔵機器においては、装置の設置制約等の問題から電池駆動が必要なケースが想定され、低消費電力を実現することが必要条件となる。

#### (4) 広域性

各種のセンサー装置やセンサー内蔵機器においては、家庭内から近隣エリアに拡大する場合はエリア内での通信が必要なため、半径数 km 程度の広域無線通信ができることが必要条件となる。

#### (5) 装置の設定

センサーネットワークを構成する機器の設定や制御については、設置時に簡単に初期設定でき、運用形態の変更を簡単に行うことができることが重要である。

現状では家庭内センサーネットワークの設置を行う場合は、家屋内の既設有線配線を利用する、または家屋内の無線到達性を考慮した低消費電力の無線通信を利用することが望ましく、エリアネットワークまで展開する場合は、通信速度とセキュリティ、及び広域性が重要と考える。

## 付録 I ECHONET Liteの簡単な解説

### I.1 はじめに

ECHONET Liteは、エコーネットコンソーシアムが策定した通信プロトコルで、スマートハウス向け制御プロトコルやセンサーネットワークプロトコルとしての利用を目的として従来のECHONET規格を軽量化した物である。ISO規格およびIEC規格として国際標準化されるとともに、2012年2月に、経済産業省により、日本国内でのスマートメータとHEMS向け標準プロトコルとして認定された。

ここでは、ECHONET Liteの概要を解説する。

### I.2 概要

ECHONET Liteは、従来のECHONET規格の通信部分の実装量を軽くしたことが特徴である。即ち、従来のECHONET規格では電力線搬送通信や特定小電力無線などの物理層やMAC層も規格化していたが、ECHONET Liteでは、物理層やMAC層を規格対象外としてグローバルな規格の適用を許容し、通信ミドルウェア部分の規格に焦点を絞ったことが特徴である。これにより、エネルギーの創出、蓄積、節約をコンセプトとしたスマートハウス向けのシステムをマルチベンダで相互接続できるようにした。

家庭等で使用される機器、即ちエアコン、冷蔵庫、給湯器、照明、各種センサー、太陽光発電機器、蓄電器、スマートメータなどは、機器オブジェクトとして定義され、特定のアクセスルールによって、操作や、状態の監視が成される。そして、これらの機器オブジェクトに対するアクセスインタフェースがECHONET Lite通信プロトコルとして定義されている。

### I.3 ECHONET Lite通信プロトコル

ECHONET Lite通信プロトコルは、ECHONET Liteフレームと呼ばれるメッセージをやり取りする通信手順である。個別通信や一斉同報通信ができる。ECHONET Liteフレームは、ヘッダ、トランザクションIDと、送信元オブジェクト、送信先オブジェクト、サービスコード、アクセス先プロパティ、アクセス先プロパティ値などから構成される。サービスコードには、「要求」、「応答」（応答/不可応答）、「通知」などがあり、オブジェクトへのアクセスが決定される。

### I.4 ECHONET Lite通信ミドルウェア

ECHONET Lite通信ミドルウェアは、ECHONET Lite通信処理部と機器オブジェクト、プロファイルオブジェクトなどで構成される。ECHONET Lite通信ミドルウェアは、OSI参照モデルでは第5層～第7層に相当する。

第4層以下はECHONET Liteでは規定していない。ネットワーク層としてはIPv4でもIPv6でも良い。MAC層・物理層としてG.hn、イーサネット、IEEE802.11b/g/n、Bluetooth、IEEE802.15.4等が候補に挙げられる。独自規格でも良いことになる。また、アプリケーションプログラミングインタフェース(API)はエコーネットコンソーシアムとしては特に規定していない。

またアドレス体系を規定していないのも特徴である。即ち、下位通信層のアドレス体系をアプリで直接使用している。また、異なるアドレス体系混在時はアプリで個別に解決するようにしているとのこと。

ECHONET Lite機器としては、その機器がサポートしているECHONET Lite 通信ミドルウェアの内容により、フルECHONET Lite機器とECHONET Liteレディ機器とに分けられる。ECHONET Liteレディ機

器は、ECHONET Liteミドルウェアアダプタを接続することにより、ECHONET Liteシステムに接続できるようになる。

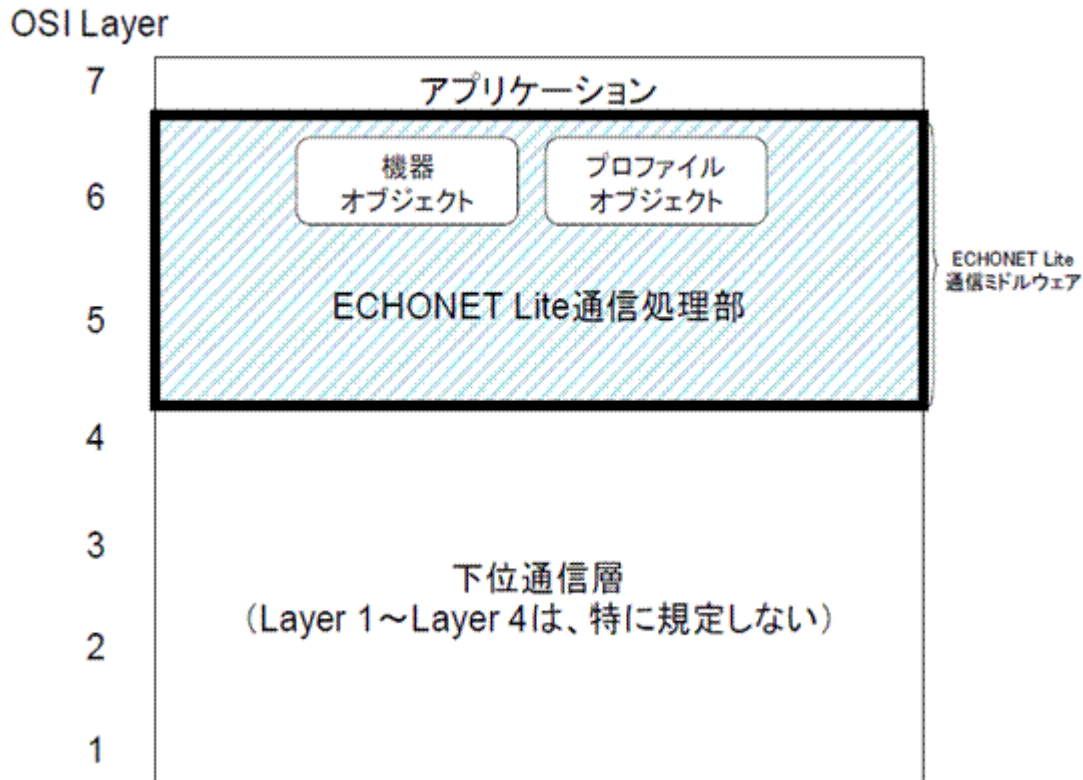


図 付1-1 通信モジュールウェア部の構成 (エコーネットコンソーシアム HPより)

#### 1.4.1 ECHONET Lite通信処理部

通信処理部は、ECHONET Lite通信プロトコルに基づいて、メッセージをやり取りする処理を行う部分である。即ち、電文にもとづいて、サービスコード(ESV)の内容に基づく立上げ処理を開始し、応答 (Set処理、Get処理等)、他機器オブジェクトへの「通知」処理を行う部分である。

#### 1.4.2 機器オブジェクト

機器オブジェクトは機器の機能をオブジェクト化したもので、上記のように、センサーやエアコン、冷蔵庫、給湯器等の具体的機器を抽象化し、共通のアクセスインタフェースで制御できるように形式を統一している。ECHONETプロパティ (EPC) と呼ばれる属性を規定し、これに対応する操作方法 (動作状態、運転モード設定 等) を規定している。各機器オブジェクトは、識別番号プロパティと呼ばれる属性によって個々を識別することができる。

#### 1.4.3 プロファイルオブジェクト

プロフィールオブジェクトは、機器の通信機能をオブジェクト化したもので、機器動作状態や、メーカー情報、機器オブジェクトリスト等のノードが保持するプロフィール情報をアプリケーションソフトウェアや他のノードとの間で交換するインタフェース形式を統一したもの。ノードプロフィールオブジェクトとも言われている。これにより、例えば、プラグアンドプレイが実現できることになる。

## 付録Ⅱ SEPの簡単な解説

エネルギー管理用プロトコル「SEP」の解説

### Ⅱ.1 始めに

SEP (Smart Energy Profile) は、ZigBee Alliance で策定されたところから、「ZigBee Smart Energy Profile 1.0」(通称：SEP1.0) と言われるアプリケーションプロトコルであり、スマートグリッド向けのアプリケーションとして、2008年に、IEEE 802.15.4上で動作するレイヤ3以上のZigBee機器用プロトコルとして公開された。

しかし、実際にスマートハウスなどでシステムを構築する場合は、機器をZigBeeだけでなくマルチベンダ環境で相互接続する必要があり、オープンなIPプロトコル上で動作できるSEP 2の仕様策定が行われてきた。2012年末の仕様化を目指し、8月末までにPublic commentが求められている。

### Ⅱ.2 SEP1.xの機能

・SEPの1.0版は2008年6月に公開された。これは、米国で先行するSmart Gridや欧州、豪州などの市場要求を反映して策定されたもので、ホームエリアにおける制御アプリケーションプロファイルを規定している。

・機能の定義としては、Demand Response, Load Control, Metering, Pricing等がある。下記の図に示すようなメタリングのサポートにより、ユーザ毎のDemand Responseに応じて、電力供給の安定化、見える化による消費抑制を可能ならしめるもので、最終的には電気、ガス、水道などのHome Energy 全般のManagementを実現しようとするものである。

#### メタリングサポート:

- 電気、ガス、水道など
- 様々な計測  
( Load profile, Power factor, Summation, Demand, Tiers)
- 履歴情報
- 状態表示 (改ざん情報含む)
- リアルタイムな発電/使用情報
- ゲートウェイとメータとしての機能サポート

#### デマンドレスポンスと負荷制御のサポート

- 複数イベントのスケジューリング
- ユーザー優先の内蔵機能サポート
- 加入や操作の検査
- HVAC、温水器、照明、電気自動車や発電システムの個別または同時コントロール
- 温度設定や緊急信号のような動作レベル、動作間隔などの様々な動作設定
- 急激な変化を防ぐ、開始時刻と終了時刻のランダム化

#### 料金サポート:

- インターナショナルの通貨サポート ( ISO 4217)
- 1地点における複数供給会社と複数レートのサポート
- 料金レシオや段階料金のサポート
- 発電と電力消費の料金分離サポート

#### テキストメッセージのサポート:

- メッセージのスケジューリングとキャンセル
- 複数の緊急度レベル
- 短期間有効メッセージのオプション
- 複数のインターナショナルな文字セット

#### セキュリティ:

- 消費者のみ、公共事業者のみ、共有のネットワークをサポート
- プレインストール鍵または標準の公開鍵手法による、自動でセキュアなネットワーク参加
- データの暗号化

その他: OpenHAN標準に準拠

図 付2-1 SEP1.Xの機能 (ZigBee SIG ジャパン HPより)

### II.3 SEP2.0への移行

ZigBee機器向けのプロトコルであるSEP1.Xに対し、マルチベンダ環境で相互接続することの重要性を配慮して、オープンなIPプロトコル上で動作できるSEP 2.0の仕様化が進められている。

SEP2.0のプロトコルスタック構成を下図に示す。この仕様では、アプリケーション層がTCP/IPをベースとするトランスポート層、ネットワーク層の上に定義されている。MAC層や物理層の詳細に関しては、この規格では扱っていない。今回の規格の目的は、アプリケーションメッセージの交換にあり、この交換されるメッセージには、エラーメッセージやアプリケーションのセキュリティ保護特性等が含まれている。

SEP2.0の規格によれば、IPベースのスマートエネルギープロファイルに対応した有線/無線の伝送装置や、エアコン、冷蔵庫、電灯等の家電機器、ならびにゲートウェイなど情報処理機器が認証される。これによって、IP環境のもとで、ZigBeeやWi-Fi、PLCなどの複数のネットワーク技術を利用して、各機器・装置が相互に接続され、より多くのアプリケーションが利用できるようになる。また、SEP2.0は、NISTのスマートグリッドのフレームワークに合致するものである。従って、スマートエネルギーのシステムに全ての、アプリケーションや機器が確実に相互接続できる環境がSEP2.0によって提供されるために、一般の消費者は、安心してスマートグリッドのメリットを享受できるようになる。

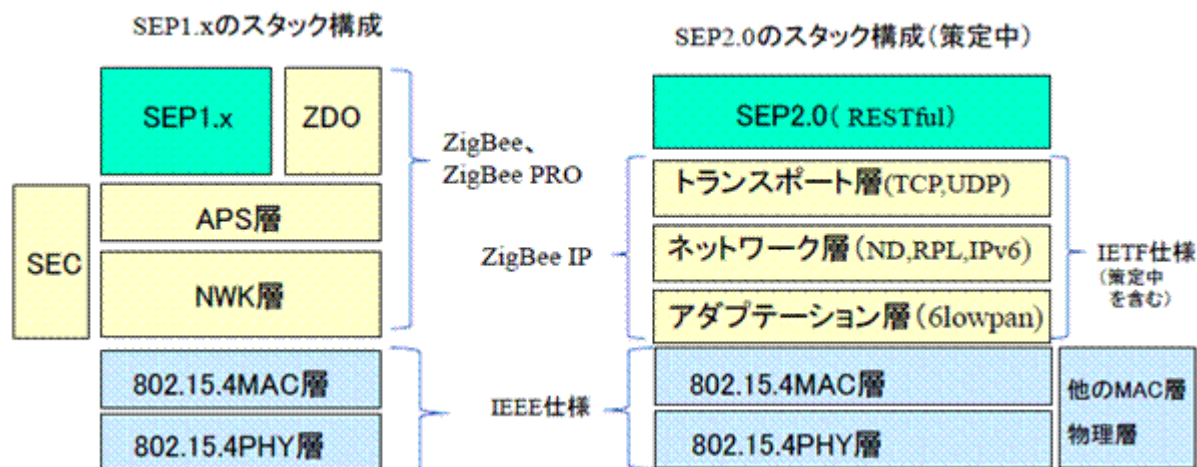


図 付2-2 SEP2.0のプロトコルスタック (ZigBee SIG ジャパン HPより)

今後は、この新しく策定されたSEP2.0を、無線のZigBee (IEEE 802.15.4) やWi-Fi (IEEE 802.11)、Z-Wave (独自プロトコル)、有線のBPL (Broadband over Power Line、高速電力線通信。IEEE 1901-2010規格。通称：PLC) などの複数の通信媒体上でIPプロトコルを使用して、システムの構築が行われていくと想定されている。しかし、SEP2.0で扱うデータについて、どのようにセキュリティを強化していくかなど、解決すべき課題もあるとのこと。

### 付録Ⅲ 産業系通信プロトコルの例

この節では、産業系ネットワークの通信プロトコルとして普及しているModbusとEtherCATの概要を述べる。

#### III.1 Modbus

Modbusは、1979年に米Modicon社により策定された、工場の生産ラインなどで使われる自動制御装置であるプログラマブルロジックコントローラ（PLC）向けのシリアル通信プロトコルである。現在、プロトコル仕様は、<http://modbus.org/> で公開されており、無料で使用可能である。また、実装も比較的容易なので、産業系機器の通信プロトコルとして広く普及している。

Modbusは、OSI参照モデルのアプリケーション層に該当し、データリンク層・物理層には、通常RS-232CやRS-485といったシリアルケーブルが利用されるが、イーサネットも利用可能である。イーサネットを使用する場合は、Modbus TCPと明示する場合もある。

通信方式は、シングルマスタ・マルチスレーブ方式である。スレーブには一意なアドレスが与えられ、マスタがスレーブのアドレスを指定して、リクエストを送信し、該当するスレーブがレスポンスを送信する。リクエストをブロードキャスト送信することも可能である。マスタ・スレーブ方式の通信は、コントローラに相当するマスタが通信のタイミングを支配しているので、スレーブである機器が状態情報などをマスタに自発的に送信することはできない。そのため、マスタが定期的に機器の状態を確認する必要がある。Modbus TCPは、マスタ・スレーブ方式の他に、ピアツーピア方式にも対応しており、双方が自由に通信可能である。

メッセージフレームは、リクエストとレスポンスともに、アドレス、ファンクションコード、データ、エラーチェックの4個の部分から構成される。アドレスは、マスタからスレーブへのリクエストの場合は、送信先スレーブのアドレスで、スレーブからのレスポンスの場合は、レスポンスを送信するスレーブのアドレスである。ファンクションコードは、マスタが要求する機能を表すコードで、仕様により規定されているもの以外に、独自コードも利用可能である。データは、ファンクションに対応するパラメータや処理結果であり、存在しない場合もある。データのフォーマットは、機器ベンダが定義可能なため、異なるベンダの機器同士の接続には、注意が必要である。エラーチェックは、メッセージフレームが破損していないかをチェックする符号である。アドレスとエラーチェックは、下位の伝送方式に依存する。

アドレス (1バイト)	ファンクションコード (1バイト)	データ (0～252バイト)	エラーチェック (2バイト)
----------------	----------------------	-------------------	-------------------

図 付3-1 Modbusメッセージフレームの形式

Modbusのデータモデルは、入カステータス、コイル、入力レジスタ、保持レジスタの4種類のデータ領域から構成される。各データ領域の定義は以下の通りである。

表 付3-1 Modbusのデータモデル

データ領域名	データ型	読み書き特性
入カステータス	ブール型	読出しのみ可
コイル	ブール型	読み書き可
入力レジスタ	符号なし16ビット整数	読出しのみ可
保持レジスタ	符号なし16ビット整数	読み書き可



Modbusに準拠した機器は、メモリと上記の4種類のデータ領域とを対応付けておく。マスタ側のアプリケーションは、それぞれの領域内のアドレスを指定して、データの読み書きを行うことで、機器の状態を取得したり、制御を行うことが可能である。

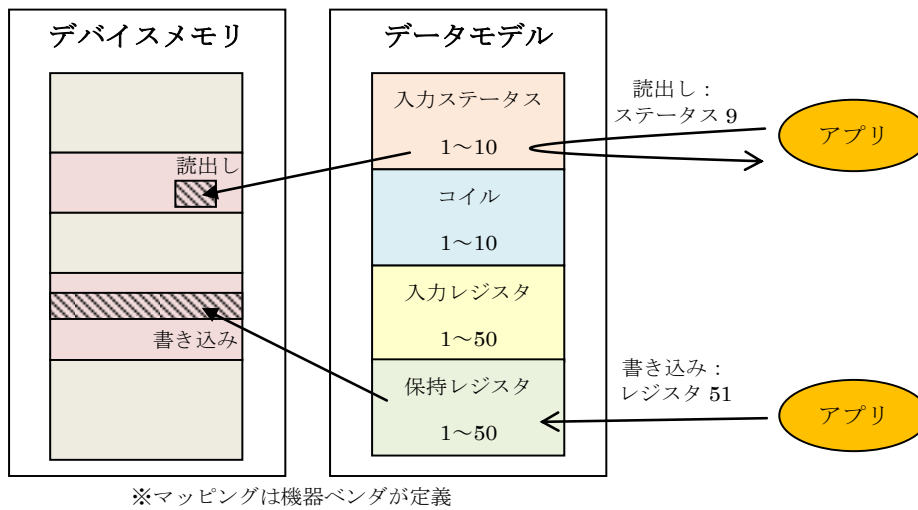


図 付 3 - 2 Modbusのデータモデル

### III.2 EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology)

EtherCATは、2003年に独Beckhoff Automationが開発した通信プロトコルであり、産業系機器の中でも、特に高いリアルタイム性が要求されるものに利用される。現在、プロトコル仕様はETG (EtherCAT Technology Group、<https://www.ethercat.org/>) により管理されているが、仕様を参照・利用するためには、会員になる必要がある(会費無料)。2016年7月現在、世界で約3800社がETGに参加している。

EtherCATは、OS参照モデルのデータリンク層に該当し、IEEE 802.3のイーサネット規格に準拠する。イーサタイプは、0x88A4を使用する。アプリケーション層のプロトコルには、産業ロボットや自動車などのCAN (Controller Area Network ) アプリ packets をカプセル化するCAN application protocol over EtherCAT (CoE)、ファイル転送 packets をカプセル化するFile Access over EtherCAT (FoE)、イーサネット packets をカプセル化するEthernet over EtherCAT (EoE) などがある。

配線方法は、デジチェーン型が一般的だが、スター型やリング型などに対応し、最大で65535台の機器と接続可能である。通信方式は、オンザフライ方式である。すなわち、コントローラに相当するマスタが送信するEtherCATフレームは、機器に相当するスレーブすべてを経由し、折り返して、再びマスタに戻ってくる。その際、各スレーブは、EtherCATフレーム内の自分宛のデータを入力として受信し、処理を行い、EtherCATフレーム内の自分用の領域を出力データで更新するという方式である。そのため、ネットワーク内を流れる packets 数は少なく、コリジョンも発生しないため、リアルタイム性が高い。



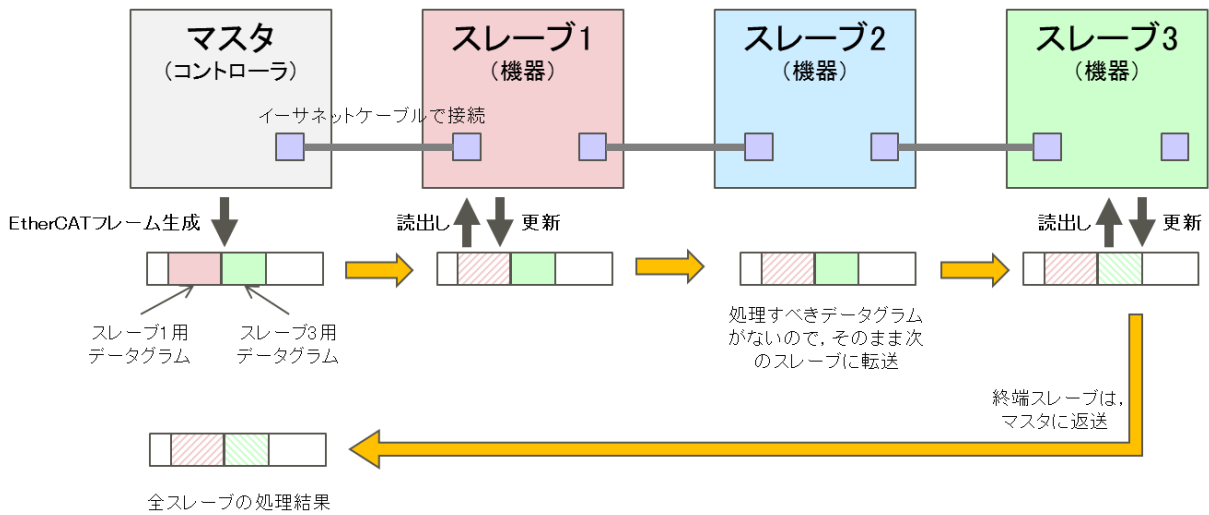


図 付 3 - 3 オンザフライ方式

EtherCATフレームの基本構造はEthernetフレームそのまま、Ethernetデータ部にEtherCATデータを含む。下図のEtherCATテレグラムのデータ部分は、複数のスレーブのアドレスとデータを含み、所定のスレーブによって読出され、更新される。

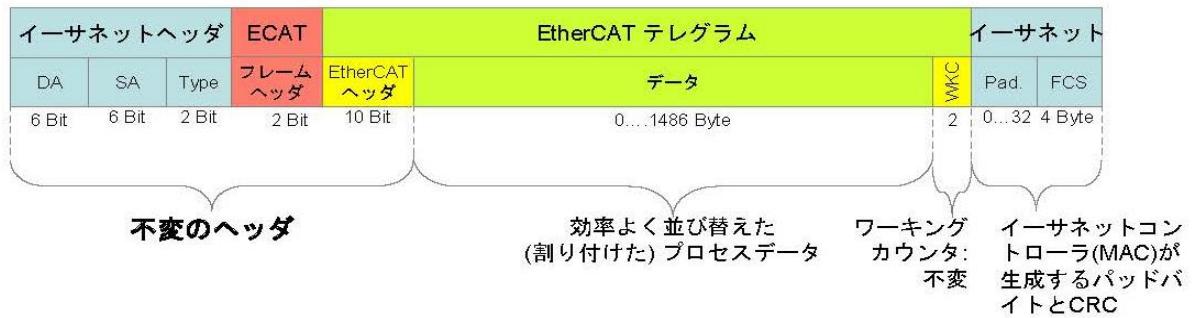


図 付 3 - 4 EtherCATフレームの構造 (ETG公開ドキュメントより)



規格名称 (通称)	標準名 (規格番号)	標準化団体名	規格の概要	周波数帯	参加企業数	標準化状況	スマートグリッドへの 適用レベル	今後の方向性	変復調方式	伝送速度	伝送距離	セキュリティ 認証	セキュリティ 暗号化方式	誤り訂正	ネットワーク構成	MAC方式	IPサポート	包含するOSレイヤ	参考文献
Wi-Fi	IEEE802.11 IEEE802.11b IEEE802.11a IEEE802.11g IEEE802.11n IEEE802.11ac IEEE802.11ah	IEEE	Wi-Fi (wireless fidelity) は、Wi-Fi Alliance によってIEEE802.11シリーズ (IEEE802.11a/IEEE802.11b) を利用した無線 LAN 機器間の相互接続性を保証されたこと (Wi-Fi Certified) を示す、ブランド名である。	2.4GHz帯 2.4GHz帯 5.2/5.3/5.8GHz帯 2.4GHz帯 2.4/5.2/5.3/5.8GHz帯 5.2/5.3/5.8GHz帯 920MHz帯		1997年6月 1999年10月 1999年10月 2003年6月 2009年9月 2014年1月 2016年9月	消費電力の観点から、センサ部分を含む装置に組み込み、電池駆動にて常時接続を行うようなケースにおいては課題あり。	商用電源から常時電力が供給されているような機器に実装することは可能と考えられる。	DSSS DSSS/OFDM OFDM OFDM OFDM	最大2Mbps 最大11Mbps 最大54Mbps 最大54Mbps 最大300Mbps 最大1.3Gbps (WiFi Alliance Wave1、Wave2で3.5Gbpsを検討。) 150kbps/1MHz幅	100m 100m 100m 100m 100m	EAP-TLS (IEEE802.1x)	WEP64/128/152bit WPA-PSK(TKIP/AES) WPA2-PSK(TKIP/AES)	CC (畳込み符号) ビタビ複合方式 シンボル内インターリーブ	ベースステーション/ノードホックMDS	CSMA-CA CSMA-CA CSMA-CA CSMA-CA CSMA-CA	TCP/IP TCP/IP TCP/IP TCP/IP TCP/IP	物理層/MAC層 物理層 物理層 物理層 物理層/MAC層 物理層/MAC層	IEEE Std 802.11 IEEE Std 802.11b IEEE Std 802.11a IEEE Std 802.11g IEEE Std 802.11n IEEE Std 802.11ac <a href="http://www.wi-fi.org/">http://www.wi-fi.org/</a>
Bluetooth	Bluetooth5	Bluetooth SIG	数mから数十m程度の距離の情報機器間で、電波を使い簡易な情報のやり取りを行うのに使用される。当初エリクソン、インテル、IBM (現 レノボ)、ノキア、東芝の5社によって策定され、現在は9社がプロモーター企業となっている。IEEEでの規格名は、IEEE 802.15.1である。2.4GHz帯を使用してPC(主にノートパソコン)等のマウス、キーボードをはじめ、携帯電話、PHS、スマートフォン、PDAでの文字情報や音声情報といった比較的低速のデジタル情報の無線通信を行う用途に採用されている。	2.4GHz ISM帯	約30000社	2016年度中に Bluetooth5をリリース予定			周波数ホッピングスペクトラム 拡散方式  ※周波数ホッピングについて 広帯域(2402~2480MHz)の中に1MHz毎に79個のチャンネルを設定し、周波数ホッピング方式 (FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) により、毎秒1600回のチャンネル切り替えを行いながら通信を行う。	[ドメイン] [対 称] [非対称 (下/上)] 1. x, 2. x 432 kbps 723. 2kbps/57. 6kbps 2. x+EDR 1306. 9kbps 2178. 1kbps/177. 1kbps 3. x 432. 6kbps 723. 2kbps/57. 6kbps 3. x+EDR 1306. 9kbps 2178. 1kbps/57. 6kbps 3. x+HS 24. 0Mbps 4. x 1. 0Mbps 5. x 2. 0Mbps	電波強度 (出力) のクラスによる。 [クラス] [出力] [距離] class1 100mW 100m class2 2. 5mW 10m class3 1mW 1m	Bluetoothプロファイル (GAP: Generic Access Profile) にて実施。  Bluetoothプロファイル (GAP: Generic Access Profile) にて実施。	前方エラー訂正 (FEC: Forward Error Correction) にて実施しており、1/3レートFEC、2/3レートFEC、自動再送 (ARQ: Automatic Repeat reQuest) などがあ	ペアリング (ボンディング、組み合わせ)	キャリアセンス無し	v4.2以降で6LowPAN対応	Layer1~2物理層、データリンク層	○ <a href="http://www.bluetooth.com/">http://www.bluetooth.com/</a> ○無線化.com ○Wikipedia Bluetooth	
DECT	EN 301 406 EN 300 175-1*8 TS 102 939-1*2  ARIB STD-T101	ETSI  ARIB	デジタルコードレス電話規格として、ETSIで1992年に制定され、2010年には国内でも制度化された。10/12MHz向け超低消費電力規格DECT ULEもETSIで2013年に制定された。	欧州: 1880~1900MHz 米国: 1920~1930MHz 日本: 1893.5~1906.1MHz	DECT企業 44社 ULI AllianceにてDECT ULE認証実施 ULI/ライアンス 79社	2012年1月設立 2012.4Q基本仕様策定 2015.4Q拡張仕様策定 (中継、経路選択機能、省電力機能を含む宅内網 (HAN: Home Area Network) 対応) Cisco、ローエ、富士通の社	電池駆動が可能。特にDECT ULEでは、スリープ時に数mAの低消費電力であり、1次電池で数年の電池寿命を実現できる。	6LowPANでのIPネットワーク接続 プロファイルの拡張	GSFK/ BPSK/ QPSK/ 8PSK/ 16QAM/ 64QAM	1.152Mbps~6.912Mbps	300m	DSAA/DSAA2(AES128) DSC/DSC2(AES128)/CGM(AES128)	一般的に誤り訂正機能は無く、ARQ/Selected ARQによる誤り制御のみ	コンセンサレータとノードによるスター構成、中継器を加えたツリー構成が可能	キャリアセンス、DCS (Dynamic Channel Selection)	6LowPAN 対応でのサポートを検討中	ETSIではレイヤ1~3を規定、ULEAで4~7を規定	<a href="http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies-dect">http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies-dect</a> <a href="http://www.meti.go.jp/press/2012/03/27-1.html#techology">http://www.meti.go.jp/press/2012/03/27-1.html#techology</a> <a href="http://www.uliance.org/specifications">http://www.uliance.org/specifications</a>	
ZigBee	IEEE802.15.4/4d/4g/4e	ZigBee Alliance	PAN(Personal Area Network)に分類され、ネットワークプロトコルとして、スタートアップ、メッシュをサポートすることで市場の様々な要求に対応する。通信速度は250kbpsと、BluetoothやUWB (Ultra Wide Band) 等と比べて低いものの、低消費電力である点が大きな特徴。	2.4GHz帯、sub-GHz帯	約400社	標準化完了 認証開始 新サービス対応等 が検討されている	Smart Energyプロファイル がユーザーのエネルギー 環境を管理等に利用されている	ZigBee 3.0普及推進、IoT に関するThread Group 等との連携強化など。	GFSK, OFDM, DSSS	50kbps, 100kbps, 200kbps, 400kbps	1hop数kmまで			マルチホップ	802.15.4e	ZigBee IP Thread	ZigBee Allianceは主に3~7層を規定、1~2層はIEEE802.15.4を始めとした規定を利用する。	<a href="http://www.zigbee.org/about_zigbee">http://www.zigbee.org/about_zigbee</a> <a href="http://www.zigbee.org/">http://www.zigbee.org/</a>	
Wi-SUN	IEEE802.15.4g/4e	Wi-SUN Alliance	JUTAにおいて電源をとることが困難なガス・水道メーターの無線通信規格として標準化されており、ネットワーク上の全ての装置が電池駆動のルーターとして動作するよう低消費電力動作に特化した仕様となっている。また相互接続性を確保するため、Wi-SUN AllianceにおいてもJUTA Profileとして標準化がすすめられている。	920MHz帯	Promoter Member companiesは現在、米アナログ・デバイス、村田製作所、NIOT、オムロン、ルネサスエレクトロニクス、ミシubishi、スピン、ネットワーク、Cisco、ローエ、富士通の社	2012年1月設立 2012.4Q基本仕様策定 2015.4Q拡張仕様策定 (中継、経路選択機能、省電力機能を含む宅内網 (HAN: Home Area Network) 対応) Cisco、ローエ、富士通の社	消費電力の観点から、電池駆動も可能な仕様を検討中。	FAN (Field Area Network) の仕様書を公開した。これ以外にも複数の認証プログラム準備中	Filtered-2FSK					802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks — Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)	ベース規定 なし	有り		<a href="http://www.nict.go.jp/press/2012/03/27-1.html">http://www.nict.go.jp/press/2012/03/27-1.html</a> <a href="https://www.wi-sun.org/">https://www.wi-sun.org/</a>	
U-Bus Air	IEEE802.15.4g	JUTA Wi-SUN Alliance	JUTAにおいて電源をとることが困難なガス・水道メーターの無線通信規格として標準化されており、ネットワーク上の全ての装置が電池駆動のルーターとして動作するよう低消費電力動作に特化した仕様となっている。また相互接続性を確保するため、Wi-SUN AllianceにおいてもJUTA Profileとして標準化がすすめられている。	920MHz	80社以上	2010年 JUTAにおいて標準化完了 2016年 Wi-SUN AllianceとJUTAにおいて設立し、Joint-WGにおいて標準化活動を継続	電池駆動が可能。	都市ガス・LPガス事業および水道事業にけるスマートメーター用無線装置としての普及が見込まれる。現在、JUTAにおいてセキュリティ機能の追加に関して検討がなされている。	GFSK	100kbps	屋外において30m程度を想定	ネットワーク層以下において実施する方針で検討が進められている	ネットワーク層以下において実施する方針で検討が進められている	最大50台のメッシュネットワーク	独自	無し		<a href="http://www.teleme-r.or.jp/u-bus/en/index.html">http://www.teleme-r.or.jp/u-bus/en/index.html</a> <a href="http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/01107_02.pdf?search=%3D%2BUbus%20Air%27">http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/01107_02.pdf?search=%3D%2BUbus%20Air%27</a>	
Z-Wave	Z-Wave	Z-Wave ALLIANCE <a href="http://z-wavealliance.org/">http://z-wavealliance.org/</a>	Z-Waveはサブギガ帯を使用した無線通信方式です。日本は2012年7月から920MHz帯の使用が可能になりました。2.4GHz帯と比較して到達距離が長く、回折性が高いので障害物を回りこんで通信できるという特徴があります。	865.22MHz(インド) 868.42MHz(ヨーロッパ/中国/UAE/シンガポール/南アフリカ) 869.0MHz(ロシア) 908.42MHz(アメリカ/カナダ/メキシコ) 915~917MHz(イスラエル) 919.7MHz(韓国) 919.82MHz(香港) 921.42MHz(オーストラリア/ニュージーランド/ブラジル) 922~926MHz(日本/台湾)	375社 2016年1月時点	2012年7月(日本)	1,500のZ-Waveロゴ認証済みの製品を出荷 (2016年1月時点) ホームオートメーション・ホームセキュリティ用途のセンサーデバイスに多数採用実績あり		GFSK	100kbps	最大 30m	Z-Wave セキュリティコマンドクラスにて実施	Hardware AES 128 セキュリティエンジン搭載	N/A	最大 232個	ITU-T G.9959	N/A	Z-Waveはトランスポート・ネットワーク層 (3と4層) を規定	<a href="http://z-wavealliance.org/">http://z-wavealliance.org/</a> <a href="http://www.nict.go.jp/press/2012/03/27-1.html#techology">http://www.nict.go.jp/press/2012/03/27-1.html#techology</a> <a href="http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/01107_02.pdf?search=%3D%2BUbus%20Air%27">http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/01107_02.pdf?search=%3D%2BUbus%20Air%27</a>
G.wnb	G.9959	ITU-T SG15 Q4	本文 表2~3参照																
特定小電力無線		ARIB	ライフスタイルやビジネスシーンが多様化し、近距離間での簡易連絡用のコミュニケーション手段を求め声が強くなった現代、比較的狭いサービスエリアにおける無線通信の需要は増加している。こうした背景から、「特定小電力無線局」に対する制度が作られ、総務省で定める一定の条件を満たした無線設備であれば無線従事者資格も無線局免許も必要とせず、広く一般人が利用できる。 1989年(平成元年)に制度化され、放射される電波の強さ(空中線電力)は1W(当初は10mW)以下と総務省告示に定められている。	855.22MHz(インド) 868.42MHz(ヨーロッパ/中国/UAE/シンガポール/南アフリカ) 869.0MHz(ロシア) 908.42MHz(アメリカ/カナダ/メキシコ) 915~917MHz(イスラエル) 919.7MHz(韓国) 919.82MHz(香港) 921.42MHz(オーストラリア/ニュージーランド/ブラジル) 922~926MHz(日本/台湾)	約230社	各用途の周波数帯毎に制定され、最近では、スマートメーター用途として920MHz帯も追加された。	各社にてスマートメーター用インテグレーションに採用され、実用化されたところがある。また、消費電力について、ボタン電池レベルで稼働する機器は既に多数ある。	950MHz帯が割り当てられているスマートメーター向けでは、920MHz帯に移行することが決定している。	周波数変調、位相変調など(電波の型式による)	1.2~9.6kbps、100kbpsなど(周波数による)	数10m~数km	無線設備、および上位レイヤにて考慮が必要。	無線設備、および上位レイヤにて考慮が必要。	無線設備、および上位レイヤにて考慮が必要。	キャリアセンス	無し	レイヤ1~2	○NICT 独立行政法人 情報通信研究機構プレスリリース「スマートメーター用 無線国際標準規格IEEE802.15.4eに準拠！ 新たな周波数920MHz帯・小型・省電力「無線機」を開発」 <a href="http://www.nict.go.jp/press/2012/03/27-1.html#規格認定団体「Wi-SUN」">http://www.nict.go.jp/press/2012/03/27-1.html#規格認定団体「Wi-SUN」</a> ○総務省 近畿総合通信局「小電力無線局の概要」 <a href="http://www.soumu.go.jp/soutsu/kinki/dempa/radio/bijaku/gaiyou.html">http://www.soumu.go.jp/soutsu/kinki/dempa/radio/bijaku/gaiyou.html</a> ○OKI(オキエール)レビュー「センサネットワーク向け900MHz帯の標準化動向」 <a href="http://www.oki.com/jp/otr/2011/n218/pdf/218_r29.pdf">http://www.oki.com/jp/otr/2011/n218/pdf/218_r29.pdf</a> ○スマートハウス標準化検討会 <a href="http://www.meti.go.jp/press/2011/02/20120224007/20120224007-2.pdf">http://www.meti.go.jp/press/2011/02/20120224007/20120224007-2.pdf</a> ○経済産業省 <a href="http://www.fed.or.jp/tech/2009/smartgrid1.pdf">http://www.fed.or.jp/tech/2009/smartgrid1.pdf</a> ○ARIB STD-T1「 ○Wikipedia 特定小電力無線局	
UWB (Ultra Wide Band)	802.15.3a/4a	IEEE		米国 3.1GHz~10.6GHz 日本 3.4~4.8GHz、7.25~10.25GHz 22~29GHz			PAN/ BANとして、健康機器や医療機器との通信等への応用が検討されている。		MB-OFDM DS-UWB CSM	320Mbps (目標: 480Mbps以上) 40Mbps	10m								
PHS				1.9GHz帯		日本国内規格	テレメータリングへの応用が進められている。		PIAFS	32~64kbps	100m~数km								
WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Accessの略称	IEEE 802.16-2004	IEEE		UQコミュニケーションズ:2595~2625MHz		2004年:据え置き型(CPE)の新しい無線技術として標準化			OFDM/OFDMA/QPSK/16QAM/64QAM			EAP	RAS-CC BTC/CTC (Option)	RAS-CC BTC/CTC/LDPC (Option)	Request/G rant			IEEE 802.16-2004	
mobile WiMAX (WiMAX Release 1.0)	IEEE 802.16e-2005	IEEE	WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) とは無線通信技術規格である。	地域WiMAX: 25825~25925MHz	2010年現在、160カ国395,000メンバーが活動中	2005年:モバイル用途を追加した仕様を標準化(差分仕様書) 2009年:今までの修正仕様をまとめて「本化」 2011年:更なる高速化、モビリティを追加したAdvanced仕様を標準化	センサ部分を含んだスマートグリッド用装置として電池駆動にて常時接続を想定した場合、消費電力的に課題あり。	WiMAX Advance(日本でWiMAX2と呼称)	OFDM/OFDMA/SOFDMA/QPSK/16QAM/64QAM	40Mbps	1~5km			Request/G rant	TCP/IP	レイヤ3	IEEE 802.16e-2005  IEEE 802.16-2009		
WiMAX Release 2.0	IEEE 802.16m-2011	IEEE																IEEE 802.16m-2011	
WiMAX Release 2.1	IEEE 802.16m-2011 Additional Elements	IEEE																IEEE 802.16m-2011 Additional Elements	