

## 一般論文

## 関連するSDGs

次世代スマートメーターのための  
国際標準無線通信規格 Wi-SUN FANGlobal Standard Radio Communication Specification  
Wi-SUN FAN for Next Generation Smart-Meter柏木 良夫  
Kashiwagi Yoshio

## 概要

Wi-SUN<sup>(\*)</sup> FAN (Wireless Smart Utility Field Area Network) は次世代スマートメーター向け国際無線通信規格として、2012年に仕様策定を開始し、2015年に初版の仕様を策定された。その後、異なるベンダ間の相互運用性を保つためのテスト仕様策定からテストシステム構築を経て、2019年1月に日本発米国仕様として、最初の通信規格であるWi-SUN FAN 1.0が完成した。本稿ではWi-SUN FANの概要と、これまでの当社における取組みと今後の展望について報告する。

## Synopsis

A Wi-SUN FAN is the global standard specification of radio communication for next-generation smart-meter, started in 2012 and first released in 2015. Then that to keep the interoperability between multi vendors established the test specification, test system, and then the first version of Wi-SUN FAN 1.0 was completed in Jan 2019. In this paper, we will report the overview of the Wi-SUN FAN, the effort of our Nissin Systems (NSS), and the prospect of the future.

## 1. はじめに

IoT (Internet of Things) 向けの非ライセンス無線通信として2015年頃からLPWA (Low Power Wide Area) と呼ばれるさまざまな無線通信規格が市場を賑わしている。当社では、2013年から日本発祥の業界団体であるWi-SUNアライアンスに加盟し、また、米国IEEE802.15.4センサネットワークにも参加して無線分野での研究開発を継続している。加えて、2015年から京都大学、ローム株式会社と共同でWi-SUN FANの開発に着手し、2016年11月にマルチホップ (多段中継) 可能な無線機の基礎開発に成功、2019年1月に日本発米国仕様の初となるWi-SUN FAN 1.0仕様が完成した。

## 2. Wi-SUN FANの概要

Wi-SUN FANの物理層ではIEEE 802.15.4g規格にて定められた仕様の無線ICを採用しており、国内では920MHz帯の特定小電力無線を利用し、伝送速度は50~300Kbps (bit per second) の高速通信が可能となっている。920MHz帯無線は、Wi-Fi<sup>(\*)</sup> などの2.4GHz、5GHzの周波数と比較すると伝送速度は落ちるものの回析性を持ち、見通しが良い場所であれば1km、都市部においても200~300mほどの遠距離通信が可能なが長を持っている。

また、Wi-Fiと大きく異なる点として、Wi-SUN FANの無線機は最大で24段の多段中継（マルチホップ）が可能であり、無線機をメッシュ状（網の目）に配置する事で、広範なエリアをカバーする事が可能となる点が挙げられる。図1で示すとおり、Wi-SUN FANはボーダールータ（集約機）、ルータの各ノードから成り、この例では3つのPAN（Personal Area Network）に分割して構成されている。それぞれのPANはボーダールータを介してインターネットとの通信が可能で、各PANは最大1,000台まで集約できるため、複数のPANを構成することによって数千万台以上のWi-SUN FANのネットワークを構築する事が可能となる。

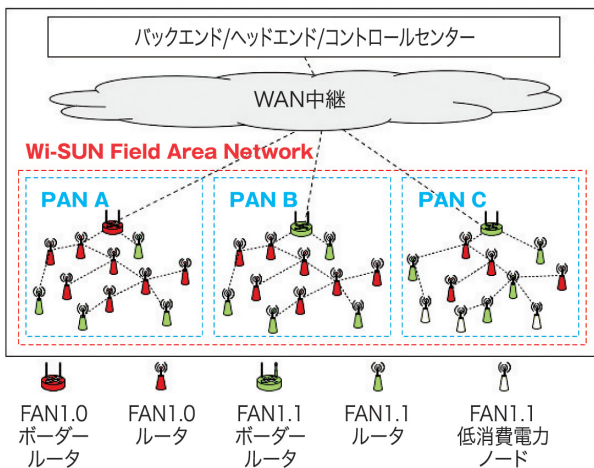


図1 Wi-SUN FANの構成例

これらの特長からWi-SUN FANの主な用途として、図2に示すとおりさまざまなIoT向けの無線通信としての利用を想定している。

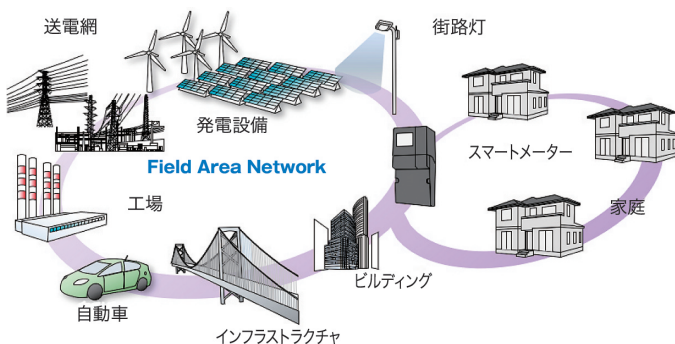


図2 Wi-SUN FANの主な用途

### 3. Wi-SUN FANの特長と技術

この章ではWi-SUN FANの特長とともに、構成する主な技術について解説を行う。

#### 3.1 国際標準通信規格のWi-SUN FAN

図3は、Wi-SUN FANのOSI（Open Systems Interconnection）参照モデルを示している。

OSI参照モデルでの各レイヤは、IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers）、IETF（Internet Engineering Task Force）などのインターネット標準のオープンな仕様を基に構成しており、単一社の仕様に依存せず、異なるベンダ間での相互接続性を保ち、複数のベンダから調達が可能となっており、長年にわたり安心した運用が可能である。特に、公共性が高い社会インフラでは、マルチベンダでシステムを構成できることは非常に重要である。また、プロトコル仕様はインターネット標準の採用により、既存のソフトウェア資産を流用することも容易となることも利点の一つである。

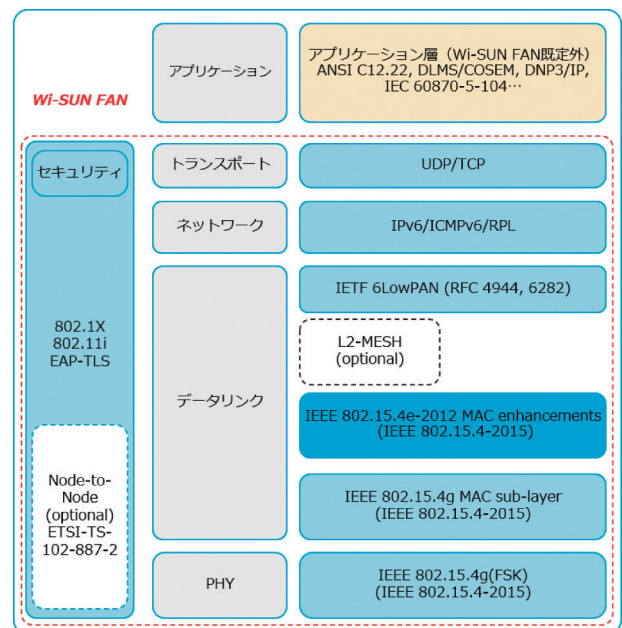


図3 Wi-SUN FANのOSI参照モデル

#### 3.2 高速通信

これまでのLPWAと呼ばれる無線通信では、通信速度が数十～数百bps程度であった。また、LPWAでは末端のデバイスから上位側に向けてセンサデータなどを送信するのが一般的であるが、Wi-SUN FANでは50～300Kbpsの双方向のIPv6通信が可能である。さらに、通信の上位層ではUDP/TCPにも対応しており、既存のアプリケーションとの高い親和性を兼ね備えている。

### 3. 3 デバイス認証と秘匿性

無線通信では秘匿性が非常に重要であるが、Wi-SUN FANではIEEE 802.1X、802.11iで策定された高度なデバイス認証と暗号であるEAP-TLS (Extensible Authentication Protocol- Transport Layer Security)、RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) の実装により、通信デバイスが互いに正当性を確認し、暗号通信による安全な運用を容易に行うことが可能である。

### 3. 4 耐電波干渉性

Wi-SUN FANでは、周波数ホッピングとよばれる機能を実装している。周波数ホッピングとは、無線周波数のチャンネルを固定するのではなく、一定の時間でPANを構成する各ノードとなる無線機（ルータとボーダールータの機能を含む）がチャンネルを切替えながら、互いに通信を行う高度な技術である。Wi-SUN FANの周波数ホッピングでは、ノード毎に疑似乱数を用いて切替えを行っている。無線周波数を固定する方法と比較して、電波干渉や周囲のノイズなど、環境の影響を受けにくい特長がある。

### 3. 5 広域面的利用と自己回復性

メッシュ状に多段中継するマルチホップの無線通信は、点と点を結ぶスター型の無線通信とは異なり、PANを構成する各ノードの適切な配置により、メッシュ型の接続形態で広範囲のエリアを面的にカバー可能である。

Wi-SUN FANのメッシュ型の無線通信は、単一障害点を排除し、冗長な配置により更に可用性を向上できる。これらの実現にはIETFで策定されたRPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) プロトコルを採用しているが、通信の更なる安定化を図るため、互換性を保ちつつ拡張することを目指して研究開発を進めている。

また、RPLプロトコルの採用によって、メッシュを構成する単一ノードの障害時などでは、各ノードは自律して障害を回避、代替えルートを再構成して自動的に回復を行う。

## 4. Wi-SUN FAN研究開発の成果

この章では、2020年度の成果について述べる。

### 4. 1 Wi-SUN FAN大規模高密度接続試験機開発

当社では、2019年度にWi-SUN FANの製品化を実現（図4）した。この時、製品化したUSB基板型無線機は56×39mmほどの小型サイズで、さまざまな機器に組込んで容易に利用可能な設計とした。

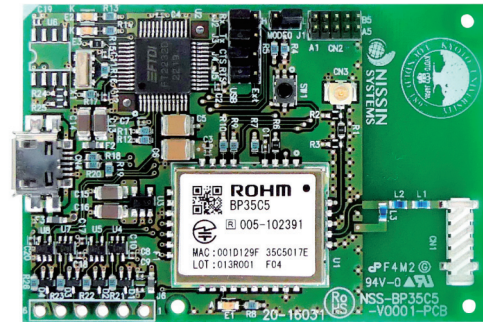


図4 製品化・販売中のUSB基板型無線機

2019年度時点では、PANあたりの収容台数が16台であったが、2020年度には、この小型の基板単体で100台まで収容できるよう改良を行い完了した。既にご購入のお客様には、内蔵プログラムのアップデートを行っていただく事により、最大100台までのPANを構成可能である。

更に、PANあたり1,000台まで収容可能となるボーダールータ（集約機）の開発を行った（図5）。これは、当社が既に販売中の屋外型IoTゲートウェイ装置に、USB基板型無線機を組み合わせたものである。具体的には、USB基板型無線機に実装されているWi-SUN FANプログラムの一部を屋外型IoTゲートウェイ装置のLinux上に搭載し、屋外型IoTゲートウェイの豊富なメモリを利用することで実現している。

屋外型IoTゲートウェイ

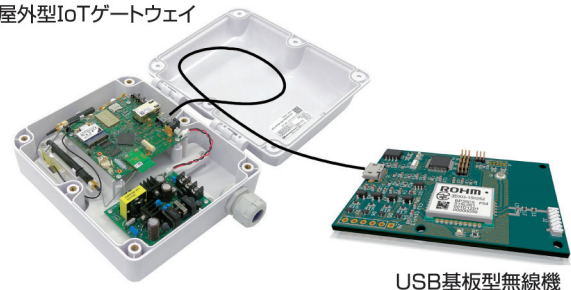


図5 1,000台収容可能な集約機

1,000台収容可能な集約器の開発に伴い、実機での確認をするために、**図6**に示す試験機の制作に着手した。またハードウェア（統合基板）の回路設計と並行して大規模高密度接続試験システムとして**図7**の制御、評価用ソフトウェアの開発を進めた。ハードウェアは、USB基板型無線機を10個搭載するとともに、小型のLinuxコンピュータも搭載しており、イーサネットを経由して小型のLinuxコンピュータから10個のUSB基板型無線機を制御できる。**図6**の環境では統合基板を10枚組合せて100台の無線機で構成している。

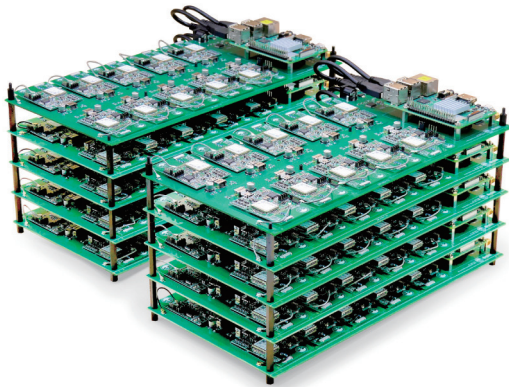


図6 USB基板型無線機を100台搭載した試験機

**図7**のソフトウェアはPC上で実行するプログラムである。ソフトウェアにはインタプリタを搭載しており、全ての無線機のさまざまな設定など、スクリプトを自在に編集して実行、ログの表示、蓄積、解析が可能となっている。この大規模高密度接続試験機を用いて、100台までのネットワーク構築時間や実際の運用を想定したさまざまな試験と評価を完了している。今後は、この試験機を500台、1,000台に増設し研究開発を継続して、実際の都市部における大規模で高密度な環境においても安定通信が可能な通信インフラの完成を目指す。

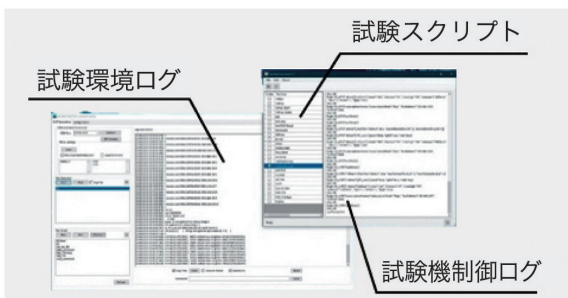


図7 無線機100台の試験実行画面

## 5. Wi-SUN FAN 1.1機能拡張

現在のバージョンはWi-SUN FAN 1.0であるが、Wi-SUN FANアライアンスは、2019年10月よりWi-SUN FAN 1.1仕様の策定を行っている。仕様の策定には、当社も積極的に参加して進めるとともに策定された仕様に追従して実装を進めている。

Wi-SUN FAN 1.1はWi-SUN FAN 1.0への後方互換性を保ちつつ、いくつかの機能拡張を行っている。Wi-SUN FAN 1.1には2021年度中に実装完了し、当社では、Wi-SUN FAN 1.1の米国認証を取得するべく進めている。Wi-SUN FAN 1.1の各改良された機能を以下に説明する。

### 5. 1 通信速度向上

Wi-SUN FAN 1.0は無線通信の変調方式として、FSK (Frequency Shift Keying) 変調を採用していたが、Wi-SUN FAN 1.1ではOFDM (直交周波数分割多重方式) と呼ばれる新しい技術を採用している。FSKでは300Kbpsまでの通信速度となっているが、OFDM対応により国内では最大1.2Mbpsの高速通信が可能となる。

当社では既に試作機を開発して基本動作を確認済みであり、評価を進めている (**図8**)。

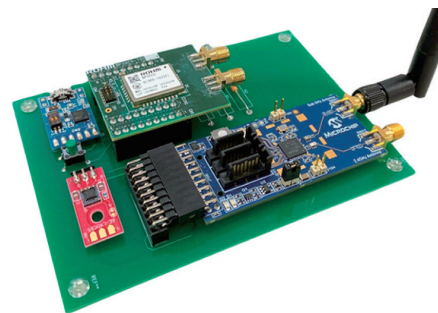


図8 FSK/OFDM対応試作機

### 5. 2 末端ノードの低消費電力化

Wi-SUN FAN 1.0では、基本的に電池駆動は想定していなかったが、Wi-SUN FAN 1.1では末端のノードにおいて電池駆動が可能なよう、低消費電力化プロトコルが実装される。当社では、京都大学から提案されたIEEE 802.15.4 CSLを基にした仕様の実装を現在進めており、評価が可能となる目標で進めている。

末端ノードの低消費電力化によって、例えば**図9**に示すようにガス、水道メータを電池駆動として次世代スマートメータを経由した共同検針が可能となることを想定している。

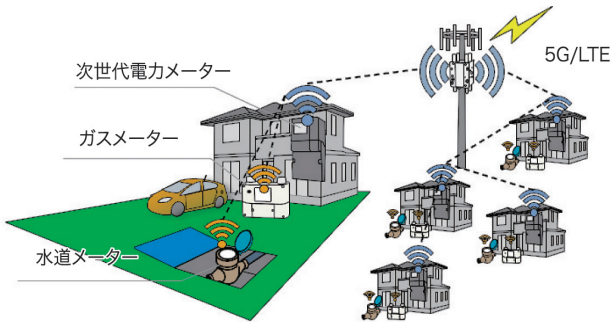


図9 次世代スマートメーターと共同検針

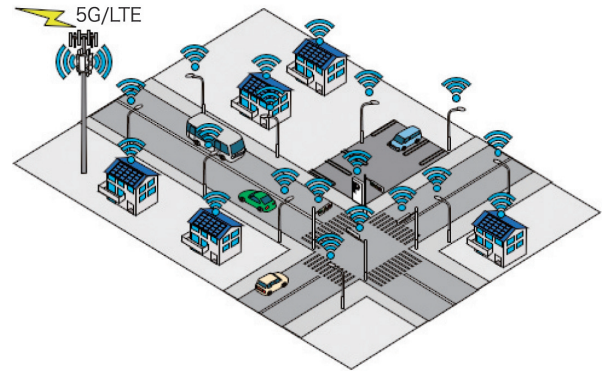


図10 通信インフラとしてのWi-SUN FANの例

### 5. 3 マルチデータレート

Wi-SUN FAN 1.0との後方互換性と柔軟性、拡張性を持たせるため、通信速度のネゴシエーションをプロトコル上で行い、対向のWi-SUN FANノードと通信速度を合わせることが可能となる機能を実装している。

この機能によって、FSK変調、OFDM方式と異なる通信速度の混在するPANの構成を行うことが可能になる。

### 5. 4 地域別対応

Wi-SUN FAN 1.0は、基本的に米国仕様であり、北米地域向けの電波法に相当するFCC (Federal Communications Commission) に合わせて設計されている。当社では、日本国内の電波法の基準となる電波産業会ARIB STD-T108に従って実装を行い、技術基準適合認定を取得して販売している。

Wi-SUN FAN 1.1では、北米だけでなく日本、欧州、ブラジルそれぞれの地域に合わせた仕様の策定が行われているが、それらは相互に互換可能であり、日本国内においても複数のベンダの相互接続性を保つことが可能となる。

各家庭内は、Wi-SUN FANを介してさまざまなサービスを楽しむことができる。例えば、図11に示すように血圧計、体重体組成計などの生体データの分析による未病発見と予防、あるいは生活習慣、行動履歴などによる「見守り」などが考えられる。

また、街全体をカバーする無線通信インフラによって家庭だけでなく、公共性の高いサービスを繋ぐことが可能となる。スマート街灯の制御・保守、駐車場の空き情報やEV充電器、交通、防犯や防災など柔軟に追加して拡張して行くことが可能である。

当社では、今後もWi-SUN FAN 1.1の研究開発を進めるとともに、上述のような大規模な社会実装を目指して行く所存である。

## 6. Wi-SUN FANの今後

当社では、Wi-SUN FANの研究開発と製品化のみだけでなく、Society 5.0に向けた取組みも進めている。Wi-SUN FANを都市OSの通信インフラと位置付けて社会実装を目指している。例えば、図10のようにスマート街灯をWi-SUN FANで接続し、街を無線通信で結ぶ通信インフラ基盤を創ることを想定している。ここでは、各家庭はスマート街灯を経由してインターネット接続を行う。

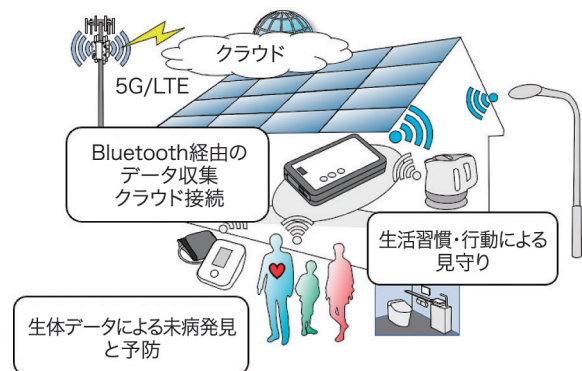


図11 家庭内でのWi-SUN FANによるサービス例

## 7. 謝辞

本研究開発の一部は総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業 SCOPE (受付番号19600002) の委託を受けたものである。

本研究を実施するにあたり、ご支援、ご協力をいただいた京都大学 大学院情報学研究科 原田博司教授にこの場を借りて深く感謝する。

### 参考文献

- (1) 柏木良夫 “Society5.0の実現に向けた大規模高密度マルチホップ国際標準無線通信システムの研究開発”、電子情報通信学会短距離無線通信研究会(2020年3月6日)
  - (2) 柏木良夫、“国際標準規格のマルチホップ・メッシュ無線ネットワークWi-SUN FANの概要と動向”、大河出版 技術雑誌 スマートグリッド(2021年1月号)
  - (3) “Society 5.0の実現に向けた大規模高密度マルチホップ国際標準無線通信システムの研究開発” (<https://w-coe.jp/project-01/>)
- (\*1) 「Wi-SUN」は、Wi-SUN Allianceの登録商標です。Wi-SUN FAN対応無線モジュールに搭載されているWi-SUN FANミドルウェアおよび評価用ツールソフトウェアの著作権その他の知的財産権は京都大学に帰属しています。
  - (\*2) 「Wi-Fi」は、Wi-Fi Allianceの登録商標です。

---

### 執筆者紹介



柏木 良夫 Kashiwagi Yoshio  
株式会社日新システムズ  
システム・ソリューション事業部  
営業統括部 室長