

無線通信技術「Wi-SUN」の標準化と認証試験プロセス

Standardization and Certification Process of Wireless Communication Technology “Wi-SUN”

加藤 豊行 Toyoyuki Kato

[要 旨]

2012年1月、国際標準規格 IEEE802.15.4 に基づく 920 MHz 帯にフォーカスした近距離無線通信の技術仕様策定、相互接続性の確保、および認証プロセスの確立などを目的とする標準化団体として、(独)情報通信研究機構(NICT)の主導により Wi-SUN アライアンスが設立された。アンリツは同アライアンスの設立当初よりコントリビュータ・メンバーとして加入し、アンリツエンジニアリングおよびアンリツカスタマーサポートと共に、テスト規格の策定、相互接続試験の実施、認証試験システムの開発を行ってきた。本稿では、Wi-SUN アライアンスの標準化活動および標準規格の概要を紹介する。また国内向けスマート電力メーターの無線通信方式として採用された Wi-SUN ECHONET プロファイルについても概説する。

1 まえがき

通信・ネットワークの普及拡大により、ネットワークアプリケーションの高度化と並走する形で通信の高速化・大容量化が進んでいる。その一方では、あらゆるモノへの通信能力の付与により社会・産業インフラや生活環境を革新的に進化させる M2M(Machine to Machine)あるいは IoT(Internet of Things)が多くの注目と期待を集めている。これらの市場における通信機器には、高速化・大容量化ではなく以下の要件が求められている。

- (1) スモールサイズ
- (2) 低コスト
- (3) 低消費電力
- (4) 低速・小容量でも可
- (5) 自律動作

このような要求に応える無線通信規格の国際標準化を目的とし、IEEE802(IEEE:the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)において策定された IEEE802.15.4 標準規格(以下、IEEE802.15.4)に対して、新たな PHY(Physical layer)の仕様を追加する IEEE802.15.4g 標準規格(以下、IEEE802.15.4g)の策定が 2009 年 1 月に開始された。また、これに適応する MAC(Media Access Control layer)への追加仕様として IEEE802.15.4e 標準規格(以下、IEEE802.15.4e)の策定も同時に進められ、共に 2012 年に標準化作業を完了した。

標準化完了と同時に、標準化作業の主要な役割を担った企業・団体を中心として、Wi-SUN(Wireless Smart Utility Network)アライアンスが設立され、IEEE802.15.4 に基づく技術標準の確立と普及のための活動を推進している。

その後、日本国内スマート電力メーター向けの情報交換プロトコルとして ECHONET Lite(ECHONET: Energy Conservation and HOmecare NETwork)が採用され、そのプロトコル伝送のため

の通信方式の 1 つとして IEEE802.15.4g/e が採択された。これに際して Wi-SUN アライアンスでは国内スマート電力メーター向け通信仕様として「Wi-SUN ECHONET プロファイル」の技術規格および試験規格を策定、機器認定プログラムを制定し、すでに多数の Wi-SUN 認定取得製品が市場に提供されている。また、主に北米および南米のスマート電力メーター向け通信方式として「Wi-SUN FAN(Field Area Network)プロファイル」の技術規格および試験規格の策定も並行して進められている。さらには、HAN(Home Area Network), FA(Factory Automation), ヘルスケアなどのさまざまな分野に向けた Wi-SUN 技術標準の規格策定にも着手している。

2 Wi-SUN アライアンス

Wi-SUN アライアンスの主な活動は次のとおりである。

- (1) IEEE802.15.4 および関連規格に基づく技術標準の策定
- (2) 同技術標準に基づく認証プロセスの確立と運営
- (3) 相互接続試験イベント(IOT: Inter-Operability Testing)の計画・実施
- (4) プロモーション活動

2015 年 1 月現在、プロモータ会員 9 団体、コントリビュータ会員 58 団体、オブザーバー会員 5 団体の 70 を超える会員により活動を推進している。会員種別とそれぞれに与えられる権限は次のとおりである。

- ・プロモータ会員
上級委員会のメンバーとしてアライアンス運営に関わる事項の審議・決定に参加する権限を持つ。
- ・コントリビュータ会員
分科会等のメンバーとして規格の策定や審議・決定に参加できる。
- ・オブザーバー会員
認証機関やテストハウスなど、自ら対応製品を開発することはなく、主に規格策定や認定試験の実施・運営を担う。

2.1 Wi-SUN 技術標準の策定

Wi-SUN アライアンスにおける技術標準の策定プロセスを図 1 に示す。

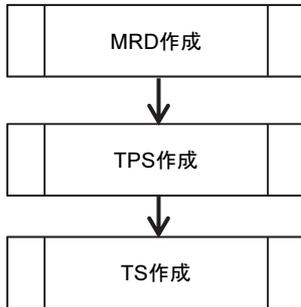


図 1 技術標準策定プロセス

(1) MRD(Marketing Requirement Document)

対象市場、適用範囲、用途・目的などを定め、技術標準策定の必要性を明確化し、またそれに対する要件、実現性、実現範囲、策定計画などの要求仕様を定義するドキュメント。

(2) TPS(Technical Profile Specification)

MRD で定義された要求仕様に対して、技術仕様の詳細を規定する文書。

(3) TS(Test Specification)

TPS で定義された技術仕様に基づいて設計・開発された機器に対する試験仕様を規定する文書。

通常は、TPS を構成する通信レイヤの各層ごとに規格適合性試験仕様書(Conformance Test Specification)と相互接続性試験仕様書(Interoperability Test Specification)の 2 種類で構成される。

通常、これらのドキュメントは、後述する「技術プロファイル(Technical Profile)」ごとに個別に作成される。

3 IEEE802.15.4 標準規格

IEEE802.15.4 は、IEEE802 委員会に設置された作業部会(WG: Working Group)である 802.15 WG によって制定された規格である。IEEE802 は、IEEE の Computer Society に属する標準化委員会で、主に LAN(Local Area Network)、MAN(Metropolitan Area Network)、および PAN(Personal Area Network)の通信技術標準の策定を行っている。表 1 に示すようにそれぞれのテーマに対して個別に作業部会(WG または TAG: Technical Advisory Group)を設立し活動している。

表 1 IEEE802 WG and TAG

部会	WG 名	分 担
802.1	Higher Layer LAN Protocols WG	MAC 層・関連プロトコル標準規格
802.3	Ethernet WG	イーサネット標準規格
802.11	Wireless LAN WG	無線 LAN 標準規格
802.15	Wireless PAN WG	無線 PAN 標準規格
802.16	Broadband Wireless Access WG	広域無線ブロードバンドアクセス(Wi-MAX 等)
802.18	Radio Regulatory TAG	電波法令・規制関連事項
802.19	Wireless Coexistence WG	異種通信技術の共存利用
802.21	Media Independent Handover Services WG	異種通信間ハンドオーバー
802.22	Wireless Regional Area Networks WG	ホワイトスペース無線通信
802.24	Vertical Applications TAG	M2M・IoT 等に対する IEEE802 横断的なテーマ

802.15 WG は、無線 PAN の技術標準化を担当し、表 2 に示す規格の標準化と改訂作業を行っている。

表 2 IEEE802.15 Wireless PAN WG 標準規格

規格名称	規格概要	状況
802.15.1	ワイヤレス PAN PHY・MAC 層(Bluetooth)	完了
802.15.2	Unlicensed Band 通信との共存	完了
802.15.3	高速ワイヤレス PAN	完了
802.15.4	低速ワイヤレス PAN	完了
802.15.5	メッシュトポロジー	完了
802.15.6	ワイヤレス BAN(Body Area Network)	完了
802.15.7	短距離可視光通信ネットワーク	完了
802.15.8	ピア・ツー・ピア通信	策定中
802.15.9	鍵交換プロトコル	策定中
802.15.10	レイヤ 2 ルーティング	策定中

IEEE802.15.4 は、低速ワイヤレス PAN といった短距離無線ネットワークに関する規格で、Wi-SUN 規格のベースとなる規格である。IEEE802.15.4 標準ファミリーについて以下に示す。

(1) IEEE802.15.4

IEEE802.15.4 は、低コスト・低消費電力の近距離無線通信向けの規格として 2004 年に初版が標準化された。その後、2007 年と 2011 年に機能拡張規格や修正規格を取り込んだ改訂版が発行され、現在、さらにその後に標準化された拡張・修正規格を反映した改訂版の作成が進められている。現時点での最新版である IEEE802.15.4-2011 の主な諸元を表 3 に示す。

表3 IEEE802.15.4の主な諸元

項目	適用
利用周波数帯(MHz)	780, 868/915, 950, 2450
変調方式	ASK, BPSK, DQPSK, GFSK, MPSK, O-QPSK
拡散方式	DSSS*1
伝送速度(Kbps)	20, 40, 100, 250, 1000
アクセス制御方式	TDMS または CSMA

*1:DSSS-PHY で O-QPSK または BPSK と共に使用される

(2) IEEE802.15.4g

IEEE802.15.4g は、既存の IEEE802.15.4 に対して SUN(Smart Utility Network)向けの PHY 仕様「SUN PHY」を追加するための修正規格(Amendment)として 2012 年に標準化された。SUN に求められる低消費電力、低データレート、屋外利用、マルチリージョン対応などの要件をもとに審議・検討が進められ、変調方式が異なる次の 3 種類の SUN PHY が規定されている。

- MR-FSK PHY(Multi-rate and multi-regional frequency keying)
- MR-OFDM PHY(Multi-rate and multi-regional orthogonal frequency division multiplexing)
- MR-O-QPSK(Multi-rate and multi-regional offset quadrature phase-shift keying)

169 MHzから2450 MHzまでの間で複数の周波数帯域をサポートし、また複数のデータ伝送レートを規定しており、利用用途・目的や利用地域の法的規制などにも応じて適切な組み合わせを選択使用する。

(3) IEEE802.15.4e

IEEE802.15.4 の利用範囲や適用領域の拡大に応じた MAC レイヤ仕様の強化・改善を目的とし、IEEE802.15.4 の修正規格として 2012 年に IEEE802.15.4e が標準化された。IEEE802.15.4g と同時期に規格策定作業が行われており、SUN PHY の利用を想定した MAC 仕様の強化・改善も取り込まれている。

IEEE802.15.4 では、アクセス制御方式として非同期型(CSMA: Carrier Sense Multiple Access)と同期型(ビーコン制御)が規定されている。IEEE802.15.4e の MAC 仕様拡張では、同期型のアクセス制御方式として、さらに DSME スーパーフレームと LLDN ネットワークの 2 種類のビーコン制御方式と 1 種類のチャンネルホッピング方式が追加された。

表4 メディアアクセス制御方式

アクセス制御	方式	標準規格	
非同期	CSMA	IEEE802.15.4-2011	
同期	スーパーフレーム		
	ビーコン制御	DSME スーパーフレーム	IEEE802.15.4e-2012
	LLDN ネットワーク		
チャンネルホッピング	TSCH ネットワーク		

CSMA: Carrier Sense Multiple Access

DSME: Deterministic and Synchronous Multichannel Extension

LLDN: Low Latency Deterministic Network

TSCH: Time Slotted Channel Hopping

4 Wi-SUN 技術プロファイル(Technical Profile)

Wi-SUN 技術標準は、基本的に下位層である PHY 層に IEEE802.15.4/4g を、また MAC 層には IEEE802.15.4/4e を採用している。上位層は機器やシステムの適用分野によって通信プロトコルが異なり、適用分野ごとに「技術プロファイル」を規定し、技術要件やプロトコルセットの詳細仕様を記載した「技術プロファイル仕様書(TPS)」を作成している。Wi-SUN 技術標準および技術プロファイルの構成は図 2 に示すようにアプリケーション層、インタフェース層、MAC 層および PHY 層で構成される。アプリケーション層(図 2 ①)はそれぞれの分野・業界の SDO(Standards Developing Organization)によって規定される。インタフェース層(図 2 ②)については、IEEE や IETF(Internet Engineering Task Force)など、ほかの SDO によって策定された既存規格の構成や適用方法などを技術プロファイル仕様として規定する。MAC 層・PHY 層(図 2 ③)については、それぞれの技術プロファイルの要件に応じた IEEE802.15.4/4g/4e の適用範囲やパラメータなどを技術プロファイル仕様として規定する。

現時点(2014 年 12 月)で策定済みあるいは策定中の技術プロファイルを表 5 に示す。

表5 Wi-SUN 技術プロファイル

プロファイル名	概要	状況
ECHONET プロファイル	ECHONET Lite プロトコルメッセージを Wi-SUN 無線通信で伝送するための技術仕様	完了
JUTA プロファイル	テレメータリング推進協議会の U-Bus Air 規格に基づくスマートガスメーター向け通信仕様	策定中
FAN プロファイル	スマート電力メーターによるマルチホップ通信仕様	策定中
RLMM プロファイル	FA, ヘルスケア, 各種センサーネットワークなど産業用途に即した通信仕様	策定中

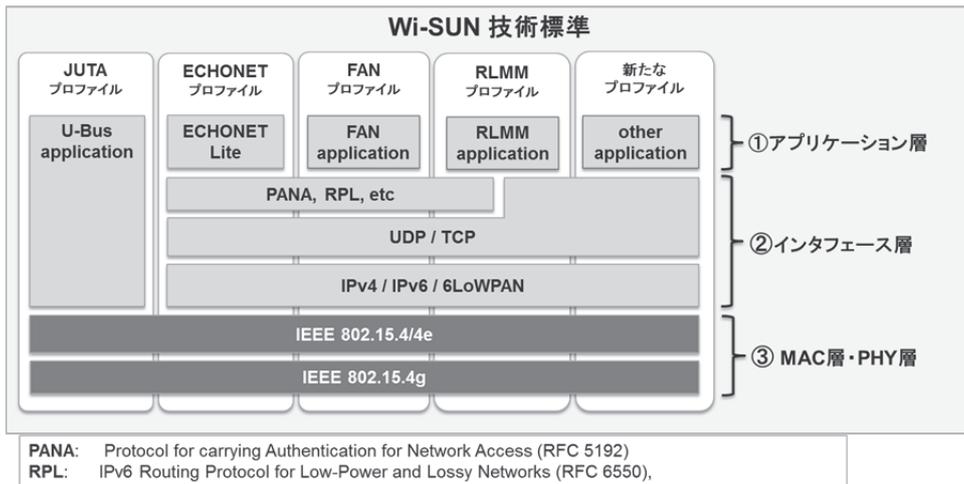


図2 Wi-SUN 技術標準および技術プロファイルの構成

Wi-SUN 技術プロファイルは、基本的に IEEE802.15.4 をはじめとして、IEEEやIETF(Internet Engineering Task Force)などのほかの SDO によってすでに規定されている標準規格を採用し、それらの組み合わせによって構成される。それらの既存の標準規格書に対して、選択可能なオプション機能やパラメータを特定し、また不足する点については独自に補完して、用途・目的に応じた無線ネットワークを実現するための技術規格を規定している。

5 Wi-SUN ECHONET プロファイル

本章では、Wi-SUN 技術プロファイルの実例として、すでに技術標準の規格策定を完了し、認証試験が開始されている Wi-SUN ECHONET プロファイルを紹介する。

Wi-SUN ECHONET プロファイルは、東京電力スマート電力メーターの B ルート通信仕様において 920 MHz 帯無線通信方式として採択され、TTC(一般社団法人 情報通信技術委員会)の JJ-300.10 “ECHONET Lite 向けホームネットワーク通信インタフェース(IEEE802.15.4/4e/4g 920 MHz 帯無線)”において方式 A および方式 C として規定されている。

5.1 スマート電力メーターB ルート通信仕様

スマート電力メーターとは、電力使用量等の情報を伝送するための通信機能とこれに付随する情報処理機能を備えた電力メーターのことである。このスマート電力メーターは2つの通信インタフェースを持ち、一方は遠隔検針やデマンドレスポンスなどを実現するための電力供給者側システムとの通信に用いられる。また、もう一方は電力受給者側の HEMS(Home Energy Management System)との通信に用いられて電力の使用量や需給トレンドなどの監視・管理を実現する。前者を A ルート、後者を B ルートと呼び、B ルート

は、スマート電力メーターと宅内の HEMS の間の情報交換を実現するための通信路である。想定されるスマート電力メーター設置・利用環境の概観と B ルートの位置づけを図 3 に示す。

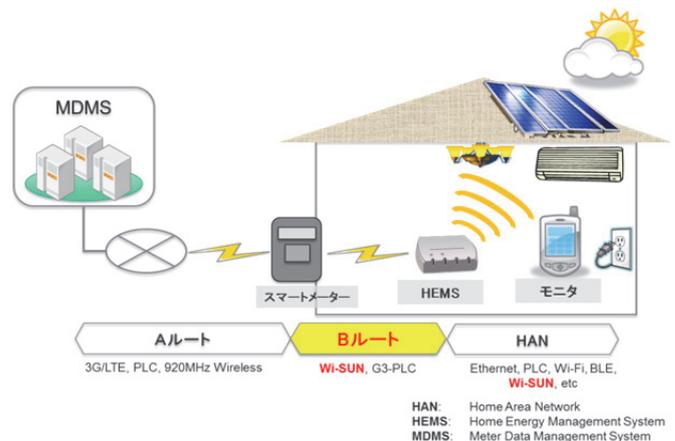


図3 スマート電力メーターの設置・利用環境

この B ルートでは、電力使用量等の情報交換に用いるメッセージ交換用のプロトコルとして、エコーネットコンソーシアムが規格策定した ECHONET Lite が採用された。また、これを伝送する通信方式として、920 MHz 帯無線通信と狭帯域電力線通信の 2 方式が採用され、それぞれの技術標準として Wi-SUN ECHONET プロファイルと G3-PLC(Power Line Communication)が採択された。Wi-SUN アライアンスでは、特にこの ECHONET Lite による情報交換を伝送するための技術仕様として Wi-SUN ECHONET プロファイルを策定した。

Wi-SUN ECHONET プロファイルでは、ECHONET Lite のプロトコルメッセージ伝送に特化した PHY 層と MAC 層の構成や使用パラメータ等を明確に規定すると共に、さらにその上位層として用いられる UDP(User Datagram Protocol), IP(Internet Pro-

ocol)および関連プロトコルとその用法等を規定している。この Wi-SUN ECHONET プロファイルのプロトコルレイヤ構成を図 4 に示す。

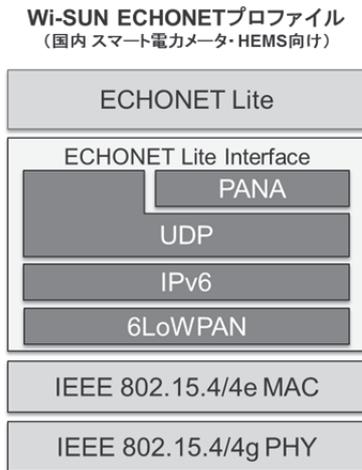


図 4 ECHONET プロファイル プロトコルレイヤ構成

5.2 標準規格の構成

Wi-SUN ECHONET プロファイルの規格構成を図 5 に示す。前述したとおり、既存の通信規格を参照規格として採用し、それらの具体的な用法を規定している。また、その結果は、TTC 規格 JJ-300.10 の方式 A と方式 C として採用されている。

本章の以降ではそれぞれの参照規格と Wi-SUN ECHONET プロファイルにおけるそれぞれの規定の内容を紹介する。

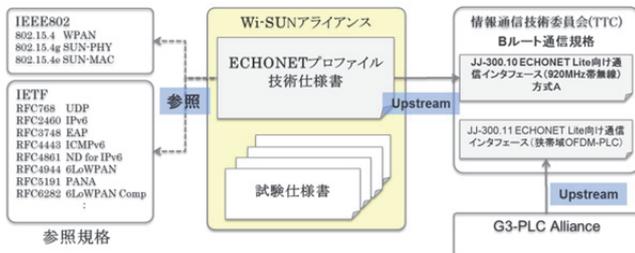


図 5 Wi-SUN ECHONET プロファイル規格の構成

5.3 IEEE802.15.4 参照規格

5.3.1 PHY 層

PHY 層は、IEEE802.15.4-2011 および IEEE802.15.4e-2012 で規定された標準規格に基づき、両標準規格で規定されている多数の機能や構成要素の中から、この Wi-SUN ECHONET プロファイルでは表 6 に示す項目・方式・パラメータ等を採用している。

表 6 Wi-SUN ECHONET プロファイル PHY 層仕様

機能・方式	選択仕様
変調方式	MR-FSK
周波数帯域	920 MHz
PSDU(PHY Service Data Unit)サイズ	255 octets
FCS(Frame Check Sequence)	2 octets
ED(Energy Detection)	有
LQI(Link Quality Indication)	有
CCA(Clear Channel Assesment)	有
データホワイトニング	有

5.3.2 MAC 層

MAC 層は、IEEE802.15.4-2011 および 802.15.4e-2012 で規定された標準規格に基づいており、PHY 層と同様、両標準規格に規定されているオプション機能や構成要素の中から必要事項を選択し、それらを Wi-SUN ECHONET プロファイルの MAC 層仕様として定義している。具体的な項目は表 7 のとおりである。

表 7 Wi-SUN ECHONET プロファイル MAC 層仕様

機能・方式	選択仕様
MAC アドレス	64 bit 拡張アドレス
アクセス制御方式	Non-Beacon モード(非同期通信)
セキュリティ	Security Level 5
ネットワークポロジ	スター型(B ルートの場合は 1 対 1)

5.4 IETF 参照規格

Wi-SUN ECHONET プロファイルでは、図 2 で示したようにネットワーク層およびトランスポート層のプロトコルとして IPv6(Internet Protocol Version6)と UDP を使用して ECHONET Lite プロトコルのメッセージを送信する。IPv6 パケットは 6LoWPAN(IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)によるヘッダ圧縮によって通信データ量を削減し、低速ワイヤレス PAN 用規格である IEEE802.15.4 ネットワークに適応させる。また、MAC 層におけるセキュリティ通信を実現するための認証機構および鍵交換の方式として PANA(Protocol for carrying Authentication for Network Access)を採用している。

ここでは、この 6LoWPAN と PANA の概要と Wi-SUN ECHONET プロファイルへの適用方法について紹介する。

5.4.1 6LoWPAN

6LoWPAN は、低速かつ最大フレーム長が短い IEEE802.15.4 ネットワーク上で IPv6 パケット交換を行うために IPv6 層と MAC 層の間に実装されるアダプテーション副層として RFC 4944(RFC: Request For Comments)に規定されている。この RFC 4944 および RFC 6282 で規定される主な事項は次のとおりである。

- (1) IPv6 ステートレスアドレス割当
- (2) IPv6 ヘッダ圧縮・伸張方法
- (3) UDP ヘッダ圧縮・伸張方法
- (4) IPv6 パケット分割・再構成方法
- (5) メッシュヘッダ定義

なお、IPv6 ヘッダ圧縮・伸張に関しては、RFC 6282 で改訂仕様が規定されている。

Wi-SUN ECHONET プロファイルでは、これらの 6LoWPAN 仕様のうち、IPv6 ステートアドレス割当、IPv6 ヘッダ圧縮・伸張、および IPv6 パケット分割・再構成を採用している。

IEEE802.15.4 は、数百～数千におよぶ多数のネットワークノードによって構成されたセンサーネットワーク環境での利用が主な用途として想定されている。ネットワーク層については、多数のネットワークアドレスの動的な割当を容易に実現できる IPv6 が適している。一方で、IPv6 のアドレス長は 128 ビット(16 octets)と、IPv4(Internet Protocol Version 4)の 32ビット(4 octets)に比べて非常に大きく、プロトコルヘッダのサイズがパケット全長の大きな割合を占めることになる。また、通常は比較的少量のデータ転送が多いことから、Wi-SUN ECHONET プロファイルでは PSDU の最大長を 255 バイトと規定しているが、これを超えるサイズのデータ転送が発生した際の対処も必要となる。このようなことから、Wi-SUN ECHONET プロファイルでは、ネットワーク層プロトコルとして IPv6 を採用すると共に、IPv6 ヘッダの圧縮とパケットの分割伝送・再結合を行うために 6LoWPAN を採用している。

5.4.1.1 6LoWPAN による IPv6 ヘッダ圧縮

初期の IEEE802.15.4 では、最大フレームサイズを 127 バイトとしていた。この IEEE802.15.4 上で IPv6 パケット交換を行う場合、IPv6 パケットヘッダの最小サイズ 40 バイトに加えて、さらに PHY ヘッダと MAC ヘッダが付加され、フレーム全長の大半がヘッダ情報で占められてしまう。特に少量の情報を伝送する際には、フレーム内容の大半をヘッダ情報が占めることになる。そこで、6LoWPAN のヘッダ圧縮を適用することで、40 バイトの IPv6 ヘッダを最小で 3 バイト程度まで圧縮している。

なお、IEEE802.15.4 は 2011 年の改訂で最大フレーム長 2047 バイトに対応しているが、IEEE802.15.4 低速ワイヤレス PAN では、競合回避や可用性向上などの観点から帯域占有時間の短縮が重要であり、Wi-SUN ECHONET プロファイルでは 6LoWPAN ヘッダ圧縮が採用されている。

図 6 に IPv6 パケットの構造を示す。このうち次の 2 つのフィールドについては、IEEE802.15.4 ネットワーク上で使用する限りにおいては省略可能である。

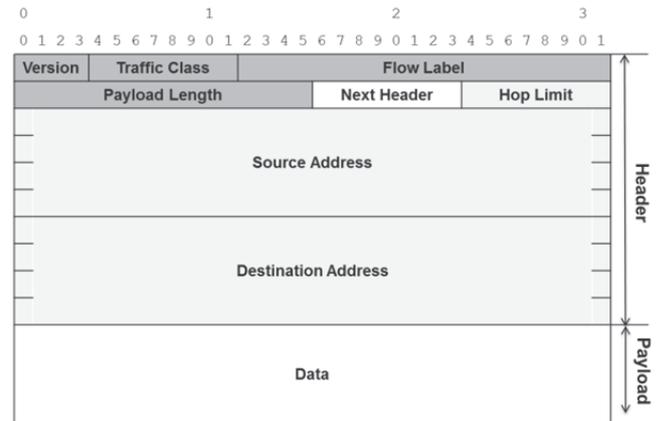


図 6 IPv6 パケット構成

- Version フィールド
IPv6 であることが自明であるため指定不要である。
- Payload Length
フレーム受信時に下位層でフレーム長が検出・判別されるため指定不要である。
また、次の 5 つのフィールドについては、下記のとおり短縮、部分省略、あるいは条件付きで省略することが可能である。
- Traffic Class および Flow Label
通常は優先度制御プロトコル・帯域予約プロトコルや下位層が提供する伝送制御機構との連携によって IPv6 パケット転送の優先度制御(8 ビット精度)・帯域制御(24 ビット精度)を実現するために用いられる。IEEE802.15.4 ネットワークにおいては高精度の優先度・帯域分類は実現困難であり、また実際に使用されることは少ない。よって Traffic Class と Flow Label を合わせてより少数のビット数に短縮する。
- Next Header
上位プロトコル種別を示すために使用するため通常は省略できないが、これが不要な場合には省略可能。

• Hop Limit

通常は IPv6 パケットのルータ中継数の上限値を 8 ビットで指定するが、この値を「1」、「64」、「255」、および「その他」の 4 種類に分類することで 2 ビットで表現できる。ただし、「その他」を指定した場合には 8 ビットの値を省略せずにそのまま付加しなければならない。

• Source Address

IPv6 のアドレス長は 128 ビットであるが、リンクローカルアドレスの場合は、上位 64 ビットには規定値である”FE80:0000:0000:0000”が使用され、また下位 64 ビットは MAC アドレスから生成される EUI-64(64-bit Extended Unique Identifier)が使用されるため、MAC ヘッダに格納されている MAC ソースアドレスからの生成が可能である。よって、ユニキャストアドレスに限り 128 ビットすべてを省略することが可能である。なお、マルチキャストアドレスの場合には、マルチキャストのスコープに応じてユニークとなる部分のみに短縮できる。

• Destination Address

Source Address と同様に省略または短縮が可能である。

RFC6282 で定義される IPv6 圧縮ヘッダ(IPHC: IP Header Compression)のフォーマットを図 7 に示す。また、この IPHC の個々のフィールドの定義を表 8 に示す。このヘッダ圧縮方式を用いることにより、例えば、ユニキャストパケットであれば 128 ビット(16 バイト)の IPv6 アドレスを圧縮ヘッダ 2 バイトと Next Header フィールド値 1 バイトの合計 3 バイトに圧縮することができる。

なお、圧縮されずに元の値の一部または全部、あるいは代替値が使用される場合には、それらの値は IPHC の後に規定の順序で付加される。この IPHC の後に続くヘッダ部分のことを in-line ヘッダと呼ぶ。



図 7 6LoWPAN IPHC フォーマット

表 8 6LoWPAN IPHC の各フィールド定義

略称	名称	ビット数	概要
TF	Traffic Class and Flow Label	2	Traffic Class と Flow Label の省略・短縮方法を指定する
NH	Next Header	1	Next Header 省略・非省略
HLIM	Hop limit	2	Hop Limit 値の省略・短縮方法を指定する
CID	Context Identifier	1	コンテキスト情報の使用有無
SAC	Source Address Context	1	送信元アドレスに対するコンテキスト情報の適用有無を指定する
SAM	Source Address Mode	2	上記 SAC 値との組み合わせにより送信元アドレスの圧縮方法を指定する
M	Multicast flag	1	宛先アドレスの種類(ユニキャスト or マルチキャスト)を指定する
DAC	Destination Address Context	1	宛先アドレスに対するコンテキスト情報の適用有無を指定する
DAM	Destination Address Mode	2	上記 M および DAC の値との組み合わせにより宛先アドレスの圧縮方法を指定する

IPv6 ユニキャストパケットをこの方式でヘッダ圧縮した場合のフォーマットを図 8 に示す。

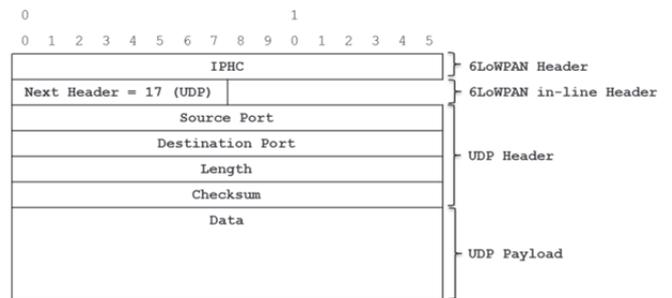


図 8 6LoWPAN による IPv6 ヘッダ圧縮後のパケット構成

5.4.1.2 6LoWPAN によるパケット分割・再構成

Wi-SUN ECHONET プロファイルでは、PSDU の最大長を 255 オクテットとしている。また、IPv6 パケットの MTU(Maximum Transfer Unit)は 1280 バイトとしている。通常のアプリケーションデータ伝送の大半は 255 オクテットを超えることはほとんどないが、上位アプリケーションの実装や挙動に応じてこれを超過する可能性が考えられる。IPv6 パケットのフレーム長が 255 オクテットを超える場合には、6LoWPAN のパケット分割・再構成方式を用いて分割送信する。

6LoWPAN では、IPv6 パケットを複数のフラグメント(断片)に分割して送信する際に用いるフラグメントヘッダとその処理方法を規定している。図 9 にフラグメントヘッダの形式を示す。

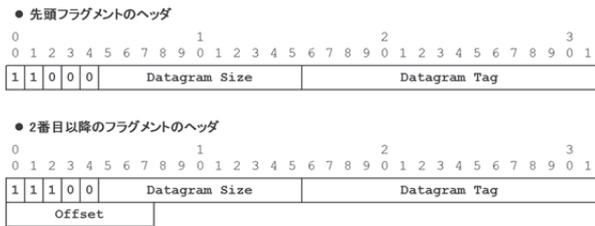


図9 6LoWPAN フラグメントヘッダ

Datagram Size フィールドには、分割する前の IPv6 パケットのバイト長をセットする。Datagram Tag は、同一 IPv6 パケットから分割されたフラグメントすべてに同一の値をセットすることによって、それらフラグメントが受信側において同一 IPv6 パケットの一部であることを識別できるようにする。2 番目以降のフラグメントには Offset フィールドを付加し、元の IPv6 パケットのどの部分そのフラグメントに含まれているかを示す。

図 10 に 6LoWPAN パケット分割による IPv6 パケット分割の例を示す。この例では 1 つの IPv6 パケットを 3 つの 6LoWPAN フラグメントに分割している。先頭のフラグメントには、フラグメントヘッダに続いて IPHC ヘッダが付加され、その後 IPv6 ペイロードの先頭部分が格納される。2 番目・3 番目のフラグメントは、フラグメントヘッダの直後に IPv6 ペイロードの続きの部分がそれぞれ格納される。

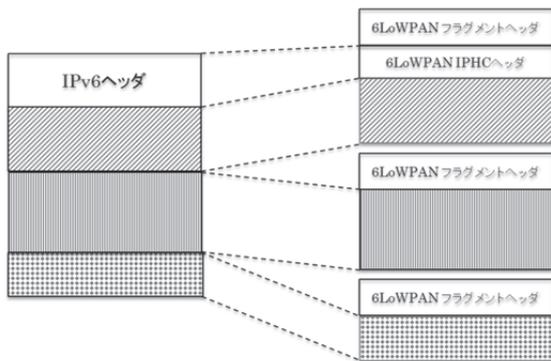


図 10 6LoWPAN パケット分割

5.4.2 PANA

従来のアクセス認証プロトコルの多くは、データリンク層で定義されている。代表的なものとして PPP(Point to Point Protocol)や EAP(Extensible Authentication Protocol)などがある。特に EAP はアクセス認証プロトコルと認証メソッドが分離されており、認証メソッドの追加・変更が容易であり、無線 LAN 等のアクセス認証方式として広く利用されている IEEE802.1X 標準規格に採用されている。

一方、昨今のネットワーク環境においては多種多様なデータリンク層の規格・方式が用いられており、それらデータリンク層の種類や構成に依存しないアクセス認証プロトコルが求められている。

PANA(Protocol for carrying Authentication for Access Network)は、通常はデータリンク層で実装される EAP 等のアクセス認証プロトコルをネットワーク層(UDP/IP)で伝送するためのプロトコルである。ネットワーク層を使用することにより、アクセス認証プロトコルのデータリンク層への依存性を排除する(図 11)。

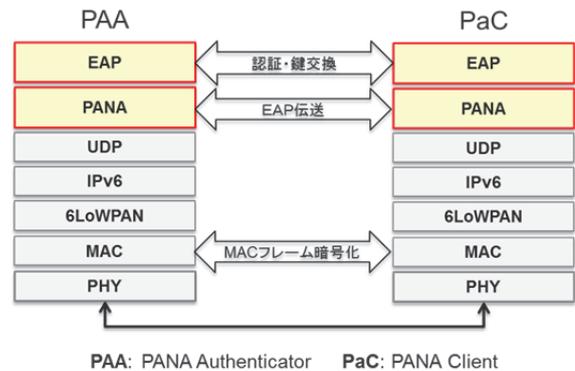


図 11 PANA プロトコルスタック

PANA はクライアント-サーバモデルのプロトコルである。クライアントを PaC(PANA Client)、サーバを PAA(PANA Authenticator)と呼ぶ。PAA は PaC に対する認証局(Authenticator)の役割を担い、認証クライアント(Supplecant)である PaC からの要求に応じて PANA セッションを確立・開始する。以降、この PANA セッション上で認証情報の交換、各種パラメータ・使用アルゴリズム等のネゴシエーションを行った後に、PANA 仕様で規定されるフレーム形式と通信シーケンスに基づいて EAP による認証プロセスや鍵情報の交換などが実行される。

Wi-SUN ECHONET プロファイルにおいては、この PANA を使用した EAP プロトコル認証によって、ネットワークに接続される端末のアクセス認証を行うと共に、MAC 層におけるフレーム暗号・復号に用いる暗号鍵の交換を実現している。

5.4.3 Wi-SUN ECHONET プロファイルの拡張

すでに述べたとおり、Wi-SUN ECHONET プロファイルは東京電力スマート電力メーターB ルートの 920 MHz 帯無線通信方式として採用され、さらには国内のすべての電力会社にも B ルートの 920 MHz 帯無線通信方式として採用される方向である。すでに技術仕様と試験仕様の策定を完了、認証試験制度も開始されており、認定取得製品も増加している。

その次のステップとして、HAN 向けの仕様拡張が進められており、すでに HEMS と宅内家電機器との間の 920 MHz 帯無線通信について技術仕様の策定を完了し、認証試験仕様の作成が進められている(2015 年 2 月現在)。2015 年度前半には、HAN 対応拡張仕様正式に Wi-SUN ECHONET プロファイルに加えられ、認証試験

プロセスも確立されて、スマート電力メーターの設置数の増加と共に、Wi-SUN 対応の家電機器の増加につながる事が予想される。

6 認証制度

6.1 認証試験

Wi-SUN アライアンスが制定する認証試験の主要要素は次のとおりである。

- ・ 承認(Approval)された認証試験仕様書
- ・ 認定(Certification)を受けた認証試験装置(TE: Test Equipment)および基準端末(CTBU: Certified Test Bed Unit)
- ・ 認定(Certification)を受けたテストラボ

6.2 認証試験仕様

Wi-SUN 認証試験は、規格適合性試験(Conformance Test)と相互接続性試験(Interoperability Test)に分類される。

規格適合性試験は、被試験機(DUT: Device Under Test)を認定試験装置(TE)と対向接続し、規格適合性試験仕様に基づいた試験を実施する。

相互接続性試験は、2 台の被試験機を対向接続し、相互接続性試験仕様に沿って通信動作を確認することにより、異機種が混在する実際のネットワーク環境において正しい通信動作が可能であることを確認する。Wi-SUN 認定試験においては、対向接続の一方に基準端末(CTBU)を使用することによって、被試験機に対する相互接続性確認の客観性を担保する。

規格適合性試験と相互接続性試験のシステム構成を図 12 に示す。なお、規格適合性試験と相互接続性試験は、それぞれレイヤごとに試験仕様と実施要項等が規定されている。

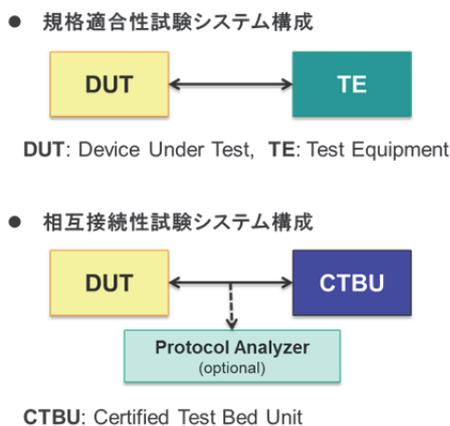


図 12 認証試験システム構成

6.2.1 Conformance Test Specification

PHY 層, MAC 層, および Interface 層のそれぞれに対して、個別に規格適合性試験仕様(Conformance Test Specification)が定義されている。WI-SUN ECHONET プロファイルの規格適合性試験項目概略を表 9, 表 10, および表 11 に各層の試験項目を一覧する。

表 9 PHY 層 規格適合性試験項目

分類	項目
Transmitter Test	Modulation Quality
	Transmitter Frequency Offset
	Transmitter Adjacent Channel Power Ratio
Receiver Test	Receiver Sensitivity Test
	Adjacent / Alternate Channel Rejection Ratio
Frame Encoding	Packet Test

表 10 MAC 層 規格適合性試験項目

分類	項目
ED Scan	ED Scan
Active Scan	Active Scan with EBR command
Command Frame	Command Frame Reception
Data Transmission	Direct Mode Unicast Transmission
	Broadcast Frame Transmission
Data Reception	Direct Mode Unicast Reception
	Broadcast Frame Reception
Security	Direct Mode Unicast Transmission and Reception
	Broadcast Transmission and Reception

表 11 Interface 層 規格適合性試験

分類	項目
Adaptation Layer	6LoWPAN Header Compression /Decompression
	6LoWPAN Fragmentation /Defragmentation
Network Layer	ICMPv6
	Neighbor Discovery
	Multicast Packet Transmission
Security Configuration	PANA Authentication
	PANA Re-authentication

6.2.2 Interoperability Test Specification

Interoperability Test(相互接続性試験)については、PHY 層と上位層(MAC 層および Interface/Adoptation 層)の2種類の試験仕様が定義されている。

表 12 相互接続性試験項目

レイヤ	項目
PHY	パケット送受信 指定/選択パラメータ: ・パケットサイズ ・伝送レート ・データホワイトニング ・FCS モード ・周波数帯域
	PANA Authentication
	ICMPv6 Echo Request and Response over 6LoWPAN
	UDP Unicast Packet Transmission over 6LoWPAN
	UDP Multicast Packet Transmission over 6LoWPAN
	Bi-Directional Data Transmission with MAC security
PANA Re-authentication	

6.3 認証試験装置

Wi-SUN 認証試験に用いる試験装置もまた Wi-SUN アライアンスから認証試験装置として認定を受けたものを使用しなければならない。アンリツのベクトル信号発生器 MG3710A とシグナルアナライザ MS2830A は、Wi-SUN IEEE802.15.4g PHY 認証試験装置として認定を取得している。

Wi-SUN[®] certified
PHY Test Equipment



MG3710A ベクトル信号発生器



MS2830A シグナルアナライザ

また、アンリツエンジニアリングが開発した Wi-SUN プロトコルテストシステム ME7051A が Wi-SUN ECHONET プロファイルの MAC 層および Interface 層の認証試験装置としてアライアンスより認定を取得している。

Wi-SUN[®] certified
Enet Protocol Test Equipment



ME7051A
Wi-SUNプロトコル
テストシステム

2014年4月より Wi-SUN ECHONET プロファイル機器認定試験が開始されており、認証試験機関ではこれらアンリツ製の認定試験装置を使用して多数の Wi-SUN 対応機器に対する認証試験が実施されている。

6 むすび

アンリツならびにアンリツエンジニアリング、およびアンリツカスタマーサポートは、Wi-SUN アライアンスに同アライアンス設立当初より加入し、認証試験規格書等の策定・編集、および試験機ベンダーとしての IOT イベント(相互接続試験イベント)への参加など、数々の活動に参画してきた。これと並行して ME7051A 等の認証試験装置の開発・検証なども進めた。これらの活動により、B ルート通信試験の認証・導入開始に対してささやかながらも貢献できたものと感じている。今後、さらに M2M・IoT を支えるコア技術としてホームネットワークや各種センサーネットワークなどの普及や活用が活発になるが、Wi-SUN 対応通信システムの相互接続性の確認など新たな計測・試験ソリューション提供を通じて Wi-SUN の発展に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 一般社団法人 情報通信技術委員会:
“ECHONET Lite 向けホームネットワーク通信インタフェース (IEEE802.15.4/4e/4g 920MHz 帯無線)”, TTC 標準 JJ-300.10
- 2) 一般社団法人 情報通信技術委員会:
“HEMS 下位層プロトコルに対応するセキュリティ機構”, TTC TR-1051
- 3) 一般社団法人 情報通信技術委員会:
“HEMS-スマートメーター(B ルート)通信インタフェース実装詳細ガイドライン”, TTC TR-1052
- 4) JSCA スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会:
“HEMS-スマートメーター(B ルート)運用ガイドライン [第 1.0 版]”
- 5) 一般社団法人 エコネットコンソーシアム:
“スマート電力量メータ・HEMS コントローラ間アプリケーション通信インタフェース仕様 仕様適合性認証申請の概要 第 2 版”
- 6) IEEE Std 802.15.4™-2011: “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks— Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”
- 7) IEEE Std 802.15.4g™-2012 (Amendment to IEEE Std 802.15.4™-2011): “Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - Amendment 3: Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Data-Rate, Wireless, Smart Metering Utility Networks”
- 8) IEEE Std 802.15.4e™-2012 (Amendment to IEEE Std 802.15.4™-2011): “Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - Amendment 1: MAC sublayer”
- 9) Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J., and D Culler,
“Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks”, IETF RFC4944, September 2014
- 10) Hui, J., and Thubert, P., “Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks”, IETF RFC6282, September 2011
- 11) Forsberg, D., Ohba, Y., Patil, B., Tschofenig, H. and Yegin, A.,
“Protocol for Carrying Authentication for Network Access (PANA)”, IETF RFC5191, May 2008
- 12) Yegin, A. and Cragie, R., “Encrypting the Protocol for Carrying Authentication for Network Access (PANA) Attribute-Value Pairs”, IETF RFC6786, November 2012
- 13) アンリツエンジニアリング(株) 加藤, “センサーネットワーク無線の最新標準化動向とテスト技法”, 計測展 2014OSAKA 講演資料, November 2014

執筆者



加藤 豊行
アンリツエンジニアリング(株)
新市場開拓部

公知