

4-3 短距離無線通信技術

Short Range Wireless Communications

原田博司

Abstract

携帯電話に代表される移動通信システムの進展とともに積極的に開発されてきたのが無線 LAN (Local Area Network) 及び無線 PAN (Personal Area Network) である。本稿では特に電波を用いた無線 LAN, 無線 PAN に焦点を当て、その変遷、今後の進化の方向性、主な技術課題をまとめる。

キーワード：無線 LAN, 無線 PAN, IEEE 802.11, IEEE 802.15, 動向

1. はじめに

携帯電話システムに代表される移動通信システムは、今や個人のビジネス、娯楽から安全、安心確保のための情報収集、発信のための重要な基幹ツールとなっている。しかし、移動通信システムは多くの利用者を収容するため、大規模であり複雑である。また、各利用者に対して帯域を潤沢に確保できるとは限らない。

この問題を解決するために、利用者個人の周囲いわゆるローカルエリアで自営ネットワークを構築し、簡単にインターネット接続や、個人のためのパーソナルネットワークを構築できるようにしたものが無線 LAN (Local Area Network) 及び無線 PAN (Personal Area Network) である。

2. 無線 LAN

2.1 標準化が行われる背景

1980 年代、コンピュータのパーソナル化に伴い、各コンピュータを有線ネットワークで接続を行うための規

格化が行われた。その代表が、イーサネット等の名前で見られる IEEE 802.3 規格により標準化されたパケット伝送、及び ATM (Asynchronous Transfer Mode) 伝送を用いたものである。これらの伝送方式により、会社内、学校等のローカルエリアで自営のコンピュータネットワークを構築する LAN が普及した。その後パーソナルコンピュータ (PC) も小形、軽量化され、ラップトップ、ノートブックタイプと準静止ながら移動を行うものが増えたため、無線を用いた LAN の実現への期待が 1990 年代に出てきた。

無線 LAN は、基本的には各端末 (STA: Station) はアクセスポイント (AP: Access Point) を介して通信を行う。AP は有線ネットワークを介してインターネットに接続される。当時、検討されていた無線 LAN は二つあり、無線でイーサネットフレームを送るイーサネット系無線 LAN、もう一つは無線で ATM フレームを送るワイヤレス ATM であった。前者は主に 1990 年 7 月に設立された米国 IEEE 802.11 ワーキンググループ (以下 IEEE 802.11 とする)^{(1), (2)}において、後者は欧州 ETSI BRAN (Broadband Radio Access Network) プロジェクト⁽³⁾にて HyperLAN という名前で標準化が行われていた。

2.2 無線 LAN の標準化

IEEE 802.11 における主な標準化を表 1 にまとめるが、まず、1997 年 IEEE 802.11 標準規格が制定された。

原田博司 正員：フェロー 京都大学大学院情報学研究所通信情報システム専攻
E-mail: hiroshi.harada@i.kyoto-u.ac.jp
Hiroshi HARADA, Fellow (Graduate School of Informatics, Kyoto University, Kyoto-shi, 606-8501 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.100 No.8 pp.813-818 2017 年 8 月
©電子情報通信学会 2017

表1 IEEE 802.11 における主な標準化プロジェクトとその特徴

番号	主な特徴	番号	主な特徴
11a	5 GHz 帯, OFDM 最大 54 Mbit/s	11w	管理フレームのセキュリティ
11b	2.4 GHz 帯, CCK, 最大 11 Mbit/s	11y	米国 3650-3700 MHz 対応
11d	各国のレギュレーション対応, ローミング	11z	ダイレクトリンクのための機能拡張
11e	MAC 層 QoS 関連の機能拡張	11aa	AV ストリーミング用機能拡張
11f	AP 間ローミングプロトコル	11ac	5 GHz 帯, 最大 6.93 Gbit/s, 帯域拡張, MIMO, MU-MIMO
11g	2.4 GHz 帯, OFDM, 最大 54 Mbit/s	11ad	60 GHz 帯, 最大 6.8 Gbit/s
11h	11a の欧州 5 GHz 帯対応	11ae	管理フレームの優先度管理
11i	リンク層セキュリティ	11af	TV 帯ホワイトスペース対応
11j	日本 5 GHz 帯対応	11ah	1 GHz 以下 (サブギガ帯) センサネットワーク対応
11k	電波リソース測定, 交換技術	11ai	高速初期リンクセットアップ
11n	2.4, 5 GHz 帯, 高速化, MIMO 採用, 最大 600 Mbit/s	11aj	11ad の中国周波数帯対応
11p	車々間通信	11ak	無線 LAN 間のブリッジ方式
11r	高速ローミング	11aq	Pre-Association discovery
11s	メッシュネットワーク技術	11ax	11 ac の拡張, 高密度無線 LAN
11u	外部ネットワークアクセス, 相互接続	11ay	11 ad の拡張, 最大 20 Gbit/s (目標)
11v	ネットワーク管理, 負荷情報移行管理	11az	次世代測位方式

IEEE802 委員会での標準化は、一般的に物理層とデータリンク層の標準化が行われる。この IEEE 802.11 においてはデータリンク層プロトコルとして CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) を採用した。また、物理層として直接拡散方式 (DSSS) を用い、2 Mbit/s 程度の伝送速度が実現できた。しかし、有線系ネットワークの速度の増加に伴い、より高速な無線 LAN が必要となった。そこで 1997 年に IEEE 802.11a 及び 11b の標準化が開始され、共に 1999 年に標準化が終了する⁽²⁾。参考までに、802.11 の直後に添え字としてアルファベットが付くものは、その直前の数字の標準化の改正 (Amendment) を行うという意味である。

802.11a と 11b の主な違いは、周波数と伝送方式、伝送速度で、前者が主に 5 GHz 帯を用いて OFDM 方式により最大 54 Mbit/s を伝送するのに対し、後者は、主に 2.4 GHz 帯を用いて DSSS を基本とした CCK (Complementary Code Keying) により最大 22 Mbit/s を実現するものである。また後者は、ベースとなる標準規格 IEEE 802.11 との強い後方互換性が要求された。

一方、ETSI BRAN においては、1996 年に Hiper-LAN/1 の標準化を行った。これは、FSK, GMSK を用いて、最大 23 Mbit/s の伝送速度を達成するものであった。更に、IEEE ワイヤレス ATM を実現する Hiper-LAN/2 の規格化を行った。この HiperLAN/2 は IEEE 802.11a と同様に OFDM 方式を用いて最大伝送速度 54 Mbit/s までは同じであったが、MAC 層プロトコルが TDMA をベースにした Dynamic TDMA であった。これは ATM 伝送に親和性が高いということと、再送等も容易にでき、移動体への通信等が仮に出てきた場

合、高品質な通信が期待できるというところからであった。

IEEE 802.11 系, Hyper LAN 系共に性能的には甲乙付けがたい状況であったが、IEEE 802.11b を搭載した低価格の無線 LAN カードが登場し、更に大手コンピュータ会社による IEEE 802.11b を搭載した製品が登場した。また、IEEE 802.11 標準をベースに相互接続性のある技術仕様策定、試験方法策定、並びに認証を行う団体 WECA (後の Wi-Fi アライアンス) が立ち上がったこともあり、無線 LAN の主流が IEEE 802.11 系に移っていく。この Wi-Fi アライアンスでの標準製品は、商品名 Wi-Fi の名前で全世界に広がることになる。

その後、2.4 GHz で 11b との共通部分も保ちつつ OFDM を用いて伝送を行う 11g (2003 年)、2.4 GHz と 5 GHz 両方に対応し、両周波数帯の複数チャネルを束ねて利用するチャネルボンディング及び複数アンテナで別々の情報を送受信させ伝送容量の増大を目指す MIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送を用いて最大 600 Mbit/s の伝送を実現する 11n (2009 年)、更に多くのチャネルボンディング、オプションながらマルチユーザ MIMO を用いて最大 6.9 Gbit/s の伝送を可能にする 11ac (2014 年)、ミリ波 (60 GHz 帯) を用い、最大 6.8 Gbit/s の伝送を可能とする 11ad (2013 年)⁽⁴⁾ の標準化に続く。現在、マイクロ波帯を用いて 11ac の更なる高速化を目指す 11ax⁽⁵⁾、ミリ波において 11ad を拡張し 20 Gbit/s を実現する 11ay⁽⁶⁾ の標準化が行われている。

2.3 無線 LAN の標準化, 商用化から見えること

この 1990 年代の無線 LAN の標準化は、その後の短

距離無線通信ビジネスの成功のための大きな条件を提供する。それは以下の四つの条件である。

- ① 標準仕様は性能よりも、安価に作るができること。
- ② 標準化においては、米国、欧州、アジアの企業が入っていること。(特にチップベンダの参加)
- ③ 標準化終了時に複数の企業がその標準仕様が搭載されたチップを開発していること。
- ④ 各無線機製造メーカー間の相互接続性試験方法の策定、機器認証を行う団体(アライアンス)があること。

3. 無線 PAN

3.1 標準化が行われる背景

1990年代後半の無線LANの研究、開発、標準化の急速な進展及びパーソナルコンピュータに対する周辺機器の多様化に伴い、無線LANのようにAPを介することなく直接通信により、簡単に接続する需要が高まってきた。これが無線PANである。この普及促進にも、研究、開発以外に標準化が必要になり、1999年にIEEE 802.11から独立する形でIEEE 802.15ワーキンググループ(以下IEEE 802.15)が立ち上がった。

3.2 無線PANの標準化

IEEE 802.15における主な標準化は表2にまとめる。短距離無線通信のアプリケーションイメージは様々であるため、IEEE 802.11のように、全て添字が英語のプロジェクトだけではなく、.15の後に更に数字を付けて、カテゴリー分けをはっきりし、その後修正が必要である場合は、更に英語の添字を付けて追加の標準化を行う。表2において、802.15の標準化は大きく分けて四つに分類できる。表3に示すように最大伝送速度が数Mbit/s

程度の低速無線PAN、最大伝送速度が10Mbit/s以上の高速無線PAN、アプリケーションに特化した無線PAN、両方のPANに利用できる共通技術である。

低速無線PANの例として、Bluetoothとして商用化されている802.15.1、及びWi-SUN、ZigBeeの名前で商用化されている802.15.4が挙げられる。高速無線PANの例として、UWB(Ultra-wideband)の名前で知られる802.15.3が挙げられる。アプリケーションに特化した無線PANはBody Area Network(BAN)で知られる802.15.6、可視光通信(VLC:Visible Light Communication)で知られる802.15.7等が挙げられる。共通技術の標準化としてはメッシュネットワークの方式を標準化した802.15.5、Key Management Protocolを標準化する802.15.9、データリンク層でルーティングを行う802.15.10等が挙げられる。この中でも実際に大きなビジネスにつながっているのは低速無線PANである。また、注目すべき標準化は、高速無線PANである。

3.3 低速無線PAN

低速無線PANのうちIEEE 802.15.4における標準化を表3にまとめる。主な使用目的は、工場等で用いられるセンサネットワークにおけるセンサからの情報収集及び管理サーバからの各種機器制御(アクチュエーション)である。2003年に制定された最初のIEEE 802.15.4においては、物理層としてO-QPSK(Offset-QPSK)変調によるDSSS方式を採用し、周波数として、868MHz、915MHz、2.4GHz等が、伝送レートは、最大250kbit/sまでの伝送が可能である。また物理層のペイロード長は127Byteであり、IEEE 802.11系と比べて短いものであった。MAC層には、同期方式と、非同期方式がある。同期方式は、ビーコンを用いてスリープレームと同期し、通信を行う方法、及び非同期方式として無線LANと同様にCSMA/CAを用いる方法が採用された。

表2 IEEE 802.15における主な標準化プロジェクト

プロジェクト	内容
802.15.1	Bluetoothの仕様をベースにしたWPAN
802.15.2	802.11 LAN との共存
802.15.3	高速 WPAN (20 Mbit/s or greater)
802.15.4	低速 WPAN
802.15.5	メッシュトポロジーへの対応
802.15.6	BAN (Body Area Networks)
802.15.7	短距離可視光通信
802.15.8	端末間通信ネットワーク (PAC:Peer Aware Communications)
802.15.9	鍵管理プロトコル (KMP:Key Management Protocol)
802.15.10	OSI7層モデル第2層におけるルーティング法 (L2R)
802.15.12	802.15.4の複数リンクレイヤの制御法

表3 IEEE 802.15.4 における主な標準化プロジェクト

プロジェクト	内容
802.15.4a	物理層の追加, 修正 (UWB 等)
802.15.4b	IEEE 802.15.4 MAC 層に関する機能追加, 修正
802.15.4c	中国の周波数帯 (314-316 MHz, 430-434 MHz, 779-787 MHz) に対応した物理層
802.15.4d	日本の周波数帯 (950 MHz) に対応した物理層
802.15.4e	IEEE 802.15.4 MAC 層に関する機能追加, 修正 (SUN, 向上向け等)
802.15.4f	アクティブ RFID のための物理層
802.15.4g	スマートグリッド, スマートメータリング用物理層
802.15.4j	2360-2400 MHz 帯で行う医療用 Body Area Network (MBAN)
802.15.4k	重要インフラに対する低消費電力モニタリングシステム用物理層
802.15.4m	TV 帯ホワイトスペース (54-862 MHz) 用物理層
802.15.4n	中国の Medical Band で利用可能な物理層
802.15.4p	鉄道通信, 制御用物理層
802.15.4q	超低出力物理層
802.15.4r	無線による測位技術
802.15.4s	スペクトルのリソースの測定法
802.15.4t	高速伝送に適した物理層 (2 Mbit/s)
802.15.4u	インドの周波数帯 (865-867 MHz) に対応した物理層
802.15.4v	その他諸外国の周波数に対応した物理層

この標準化が終了後, 表3に示すように IEEE 802.11 と同様に多くの追加修正が行われた。UWB 方式及び CSS (Chirp Spread Spectrum) の物理層方式を追加した 15.4a⁽⁶⁾, 中国市場向けの物理層を追加した 15.4c, 日本市場向けの物理層を追加した 15.4d, 15.4 を用いたアクティブ RFID 用の仕様を制定した 15.4f である。

日本においては, 主に 2.4 GHz 帯を用いて ZigBee アライアンスが製品を出し, 普及促進を行った。しかし, 無線 LAN のような爆発的な台数出荷にはつながらなかった。主な理由としては, 基本的に複数企業が供給するほど大量導入を行うアプリケーションがなく, その結果, 相互接続性が十分担保されていなかったこと, また, 電源が十分確保できない環境に対して, 低消費電力で実現できる無線 PAN が実現できていなかったこと等が挙げられる。企業が本格的に製造体制を整えるためにはやはり最低でも 1,000 万以上の出荷が期待されるころであった。

このような状況を打破したのが, 通信機能を電気, ガス, 水道等のメータに持たせ, 使用量を収集し, その結果を基に使用量の制御を行い, エネルギー消費量の削減を実現するスマートメータの導入である⁽⁷⁾。特に電力量計のスマートメータの導入は, 2016 年 4 月にスタートした電力自由化とともに, 普及が促進された。このスマートメータ用の通信ネットワークを SUN (Smart Utility Network) と呼ぶ。東京電力管内だけでも 2,700 万台のメータがあり, これは一つの携帯電話会社の利用者数にも匹敵する数である。また, この 1,000 万台を超える数は一つの企業では製造できないため, 複数企業に

よる製造が必要となり, 結果として相互接続性のある, 低消費電力な 802.15.4 をベースにした標準仕様が必要になった。これに対応した物理層の標準が 802.15.4g であり, データリンク層の標準が 802.15.4e である。ここで 802.15.4e は, SUN 用だけではなく, 2003 年に制定され, 2006 年に機能追加, 修正された IEEE 802.15.4 の MAC 層での問題点も修正, 機能追加がされている。

802.15.4g では, FSK, O-QPSK, OFDM の三つの方式が採用された。後述する高速無線 PAN の標準化の教訓から, IEEE 標準化においては, 標準化プロジェクト自身がなくなならないように一つの方式に絞ることなく, また強制規格 (マダトリ規格) を増やすことなく, 多くの任意規格 (オプション規格) を記述し, まず標準化を円満に終了させる方向性になってきた。そして, 業界団体であるアライアンスが, 多くの任意規格の中から各種アプリケーション実現に必要な規格を抜き出し, 必要であるならば別の規格団体の標準も加え, 作りやすく相互接続性のある業界標準規格を作る方向性になってきた。この 15.4g, 15.4e をサポートする Wi-SUN アライアンスにより, この標準は全世界に普及し, 特に日本においては, 電気用スマートメータ⁽⁸⁾, ガス用スマートメータ⁽⁹⁾の標準方式として採用されている。

この 15.4g, 15.4e の標準化終了後, 15.4 規格の BAN への拡張 (15.4j), 数 km から数十 km 程度のエリアのインフラ等のモニタリングへの物理層機能追加 (15.4k), 54~862 MHz の TV 帯における周波数共用, いわゆる TV 帯ホワイトスペース通信として 15.4 を利用するための機能追加 (15.4m) 等の標準仕様が制定された。

表4 IEEE 802.15.3 における主な標準化プロジェクト

プロジェクト	内容
802.15.3a	高速 WPAN の物理層方式の拡張 (UWB) (プロジェクト終了せず)
802.15.3b	IEEE 802.15.3 MAC 層に関する追加, 修正
802.15.3c	ミリ波を用いた物理層
802.15.3d	100 Gbit/s を達成する物理層
802.15.3e	高速近接通信のための物理層

3.4 高速無線 PAN

高速無線 PAN のうち IEEE 802.15.3 (以下 15.3 とする) における標準化を表 4 にまとめる。15.3 は元来 2.4 GHz 帯において OFDM 方式を用い最大 54 Mbit/s の無線 PAN を実現する規格である。15.3b ではその MAC 層規格を制定している。この規格も大きなアプリケーションを生む変革点が見いだせなかったが、2002 年に米国 FCC が 3.1~10.6 GHz において、-41.3 dBm/MHz の出力であれば通信可能である UWB 方式の利用を促進し始めたため、これに呼応した規格化 15.3a が行われた。この UWB による高速無線 PAN の実現のため、DSSS 方式及び OFDM 方式を用いた方式が提案された。しかし、標準仕様を一つに絞ろうとしたため、承認に必要な投票数が集まらず 2006 年に解散する。これは標準仕様の一本化を行うべきという標準化に対する考え方に大きな影響を与えた。

次に、大画面高精細テレビとセットトップボックスとの間やスマートフォンと大容量コンテンツサーバとの間の Gbit/s を超える超高速ファイルダウンロードの実現のために、ミリ波帯 (60 GHz) を用いて最大 5.6 Gbit/s の無線 PAN を実現する規格、15.3c が 2009 年に制定された⁽⁴⁰⁾。この標準化は、シングルキャリア方式、OFDM 方式を併記する形で標準化したため、標準化自身は終了した。しかし、この標準化終了時に 2.3 に記述する複数の企業がその標準仕様が搭載されたデバイスを開発してはならず、また各無線機製造メーカー間の相互接続性試験方法の策定、機器認証を行うアライアンスも活動が十分されておらず、「標準化は成功するが普及促進ができない」という問題が出た。この 15.3c で制定された標準は、別 WG のミリ波無線 LAN 標準で 11ad に受け継がれ、標準化も普及促進団体も出てきたが、安定動作し、安価なミリ波デバイスがまだ十分供給されておらず、普及促進途上となっている。

その後 15.3 においてはミリ波より更に高周波数帯も使い 100 Gbit/s の無線 PAN を実現する 15.3d、高速の近接通信を実現する 15.3e が標準化されているが、2.3 の条件を満たすものが少なく、普及促進途上となっている。

3.5 無線 PAN の標準化, 商用化から見えること

Bluetooth, Wi-SUN, ZigBee 等の低速無線 PAN の商用化成功の鍵として、共通して言えることは、2.3 ①~④に示したとおりである。

更に高速無線 PAN の標準化から見えることは、無線デバイス、チップ開発の動向を踏まえ標準化を開始、終了させる必要性があり、研究開発が十分行われ、十分市場形成ができるアプリケーションが登場し始め、アライアンス等のサポートも得られることが見え始め標準化を行うことが必要であると考えられる。また、15.3c と 11ad の関係のように、ほぼ同じ通信方式の標準化がある場合は、どちらかがとう汰されていくことになる。

4. 今後の進化の方向性

無線 LAN 及び無線 PAN は、携帯電話系システムと同じ速度、同じ領域をターゲットにすると、携帯電話系システムとの間で生存競争が始まり、どちらかがとう汰される。これを回避し、共存するために次の方向性に向かうと考えられる。

まず無線 LAN は、高速化と高周波数有効利用率という二つの方向性が考えられる。まず高速化に関しては、今後 10 Gbit/s を超えるコンテンツが個人で利用可能な、安価に製造可能な物理層、MAC 層通信方式の本格的な研究、開発、標準化が行われていく。特にダウンリンクだけではなく、個人が情報を発する時代であるため、アップリンクの伝送容量の増大化、高信頼化が必要になる。

次に高周波数有効利用率に関しては、無線 LAN が求める準静止利用に適した 6 GHz 以下のマイクロ波帯においては、更なるブロードバンド化に伴い、ますますの周波数のひっ迫が予想される。特に現在の無線 LAN においても異システムだけでなく同一システム間の電波干渉が問題視されており、電波干渉を抑制できる高周波数利用効率機能を具備する必要がある。

一方無線 PAN においては、無線 LAN を超える超高速無線 PAN と低消費電力広域低速無線 PAN の必要性がますます高まると考えられる。超高速無線 PAN に関しては、数十 Gbit/s から 100 Gbit/s の伝送速度を実現する短距離、近接通信の実現が必要になる。

また、低速無線 PAN に関しては、15.4g, 15.4e を用いて、マルチホップを利用して SUN を実現する以外に、SUN より低速でその代わりマルチホップなしに、数 km の通信エリアを確保しようとする農業、防災用途、低速メータリングの用途の LPWA (Low Power Wide Area) 通信の実用化が検討されている。今後は更なる低消費電力、広域性、更にマルチホップ等のサポートも可能な高信頼な低消費電力広域低速無線 PAN が開発されていくものと考えられる。

5. 主 な 課 題

高速無線 LAN に関しては、より周波数有効利用率を向上させる技術が必要になる。現在は、MIMO 技術という空間的な要素を用いて高速化を図っているが、今後は全二重 (Full Duplex) 通信導入を視野に入れた研究開発が進むものと思われる。更に準ミリ波帯及びミリ波帯の電波伝搬の特徴を利活用した空間的な多重技術等も必要になる。周波数としてはミリ波帯においては、あらゆる機器に搭載しても安定に動作するデバイスの研究開発が必要になる。またテラヘルツ帯の本格利用も必要になる。低速無線 PAN においては、低消費電力が求められるので、電源供給及び CPU 等への負担を極限まで抑えることができるデバイス構成技術、更にこの開発したデバイス構成技術と連動して低消費電力が実現できる MAC 層通信方式、多段中継方式の研究が進むものと考えられる。

6. 最 後 に

本稿では、無線 LAN、無線 PAN の変遷、今後の方向性、技術課題をまとめた、802.11a, 11b 若しくは HyperLAN2 が標準化されていた頃は、日本でも電波産業会 (ARIB) 内に技術仕様を日本から発信し、IEEE, ETSI-BRAN 等に提案する動きがあった⁽³⁾。また、802.15.3c, 802.15.4g 等も日本からの提案が標準物理層、MAC 層仕様に大きく反映された。今後重要になることは、大きな市場を形成できる無線通信仕様に日本からどれくらい提案を行っていけるかということである。そのためには、企業、大学はこの標準化の歴史を学習し、次に起こり得る事象を予測し、プロアクティブに研究、開発戦略を立て、行動に移すことが重要である。

文 献

- (1) 足立朋子, “無線 LAN の標準化動向とそこから見えること,” 信学技報, SRW2016-40, pp. 43-48, Aug. 2016.
- (2) 守倉正博, “IEEE 802.11a 無線 LAN の研究開発と標準化,” 信学通誌, no. 12, pp. 66-73, March 2010.
- (3) 太田現一郎, “マルチメディア移動アクセスシステム MMAC の標準化とそこから見えること~第 5 世代移動通信システムにおける無線技術研究開発への期待~, ” 信学技報, SRW2016-41, pp. 49-54, Aug. 2016.
- (4) 本塚裕幸, 坂本剛憲, 高橋和晃, “5G での活用を睨んだ 60 GHz 帯無線標準化及び実用化動向,” 信学技報, SRW2016-103, pp. 195-200, Aug. 2016.
- (5) 井上保彦, “IEEE 802.11ax 無線 LAN の標準化動向とその先の展望,” 信学技報, SRW2016-42, pp. 55-60, Aug. 2016.
- (6) E. Karapistoli and F-N. Pavlidou, “An Overview of the IEEE 802.15.4a Standard,” IEEE Commun. Mag., vol. 48, no. 1, pp. 47-53, Jan. 2010.
- (7) 原田博司, “スマートユーティリティネットワーク: 概要と標準化動向,” 信学技報, SR2010-48, pp. 57-64, Oct. 2010.
- (8) 神田 充, “スマートメーターの普及動向と今後の展開~スマートメーター通信システム・通信方式・試験/検証・連携~, ” 信学技報, SRW2015-57, pp. 37-42, March 2016.
- (9) 川田拓也, “Wi-SUN 技術を活用したガススマートメーターの研究開発と将来展望,” 信学技報, SRW2016-79, pp. 65-68, March 2017.
- (10) 加藤修三, 荘司洋三, 原田博司, 安藤 真, 池田秀人, 大石泰之, 川崎研一, 高橋和晃, 豊田一彦, 中瀬博之, 丸橋建一, “IEEE802.15.3c ミリ波 WPAN に関する研究開発と標準化活動,” 信学技報, RCS2006-278, pp. 175-178, March 2007.

(平成 29 年 4 月 7 日受付 平成 29 年 4 月 17 日最終受付)



原田 博司 (正員: フェロー)

平 7 阪大大学院工学研究科博士後期課程了。同年郵政省通信総合研究所 (現国立研究開発法人情報通信研究機構) 入所。以来、無線通信方式に関する研究、開発、標準化に従事。平 26 京大大学院情報学研究科教授、現在に至る。IEEE 802.15.4g, 802.15.4m, 1900.4 及び TIA TR-51 副議長。IEEE Dyspan Standards Committee 議長等を歴任。平 17 年度本会業績賞受賞。博士 (工学)。