

無線LAN関連の国際標準化動向

山田 曉、野島 大輔 ●株式会社 NTT ドコモ

IoT 向けの IEEE802.11ah の標準化が本格化。最大約 10Gbps の IEEE802.11ax や、次世代測位方式 IEEE802.11az、携帯電話と無線LAN の融合による高速化なども議論。

■はじめに

スマートフォンやタブレット端末の普及に伴い、無線LAN 利用時のユーザ体感品質の向上が求められている。また、あらゆる“モノ”がインターネット／クラウドにつながる IoT (Internet of Things) 市場が拡大している。こうした状況を鑑み、無線LAN に関わる各標準化団体では携帯電話と無線LAN のシステム間連携機能の向上

や、高速化、用途拡大のための機能拡張などの議論を活発化させている。

本稿では、IEEE802.11 Working Group での最新動向を中心に、無線LAN に関わる標準化動向について解説する。

■ IEEE802.11 標準規格の概要

資料 4-3-1 IEEE802.11 標準規格およびグループ一覧

グループ名	標準化内容	標準化完了 (予定) 時期
IEEE802.11	2.4GHz 帯無線 LAN	1997 年 6 月
IEEE802.11a	5GHz 帯無線 LAN	1999 年 9 月
IEEE802.11b	2.4G 帯無線 LAN の高速化 (CCK)	1999 年 9 月
IEEE802.11c	MAC ブリッジ機能の追加	1998 年 9 月
IEEE802.11d	各国の電波法への対応	2001 年 6 月
IEEE802.11e	QoS サポート	2005 年 9 月
IEEE802.11f	アクセスポイント間通信方式	2003 年 6 月
IEEE802.11g	2.4GHz 帯無線 LAN の高速化 (OFDM)	2003 年 6 月
IEEE802.11h	欧州向け送信電力制御方式	2003 年 9 月
IEEE802.11i	セキュリティ方式	2004 年 9 月
IEEE802.11j	4.9GHz-5GHz の日本向け方式	2004 年 9 月
IEEE802.11k	無線リソース制御方式	2008 年 5 月
IEEE802.11n	2.4GHz/5GHz 帯の高速化 (MIMO)	2009 年 9 月
IEEE802.11p	自動車向け通信方式	2010 年 7 月
IEEE802.11r	アクセスポイント間高速ハンドオーバー方式	2008 年 5 月
IEEE802.11s	無線 LAN メッシュネットワーク	2011 年 8 月
IEEE802.11u	異種ネットワークとの相互接続方式	2011 年 2 月
IEEE802.11v	無線ネットワークマネジメント方式	2011 年 2 月

グループ名	標準化内容	標準化完了 (予定) 時期
IEEE802.11w	マネジメントフレームのセキュリティ高度化	2009 年 9 月
IEEE802.11y	US 向け 3.65GHz-3.7GHz 無線 LAN	2008 年 11 月
IEEE802.11z	端末間の直接リンク通信方式	2010 年 10 月
IEEE802.11aa	ビデオ伝送向け無線 LAN	2012 年 6 月
IEEE802.11ac	超高速無線 LAN (5GHz)	2013 年 12 月
IEEE802.11ad	超高速無線 LAN (60GHz)	2012 年 10 月
IEEE802.11ae	マネジメントフレームの QoS 対応	2012 年 3 月
IEEE802.11af	TV ホワイトスペース向け無線 LAN	2013 年 12 月
IEEE802.11ah	IoT 端末向け無線 LAN	2016 年 8 月
IEEE802.11ai	高速リンク確立方式	2016 年 9 月
IEEE802.11aj	中国向けミリ波無線 LAN	2017 年 6 月
IEEE802.11ak	無線 LAN ブリッジ方式	2017 年 3 月
IEEE802.11aq	サービスディスカバリ方式	2017 年 1 月
IEEE802.11ax	高効率無線 LAN	2019 年 3 月
IEEE802.11ay	次世代 60GHz 無線 LAN	2019 年 11 月
IEEE802.11az	次世代測位方式	2020 年 3 月

出典：著者作成

IEEE802.11 標準化は1991年から開始され、以降多くの高度化技術が標準化されている（資料4-3-1）。

現在、8個のTask Group（IEEE802.11ah、ai、aj、ak、aq、ax、ay、az）にて標準化が進められている。また、2015年9月には、2.4GHz帯にてIoT端末向けの新たな標準規格の策定を目指すLRLP（Long Range Low Power）Topic Interest Groupが立ち上がっている。

■ IEEE802.11 における無線伝送速度や周波数帯域の変遷

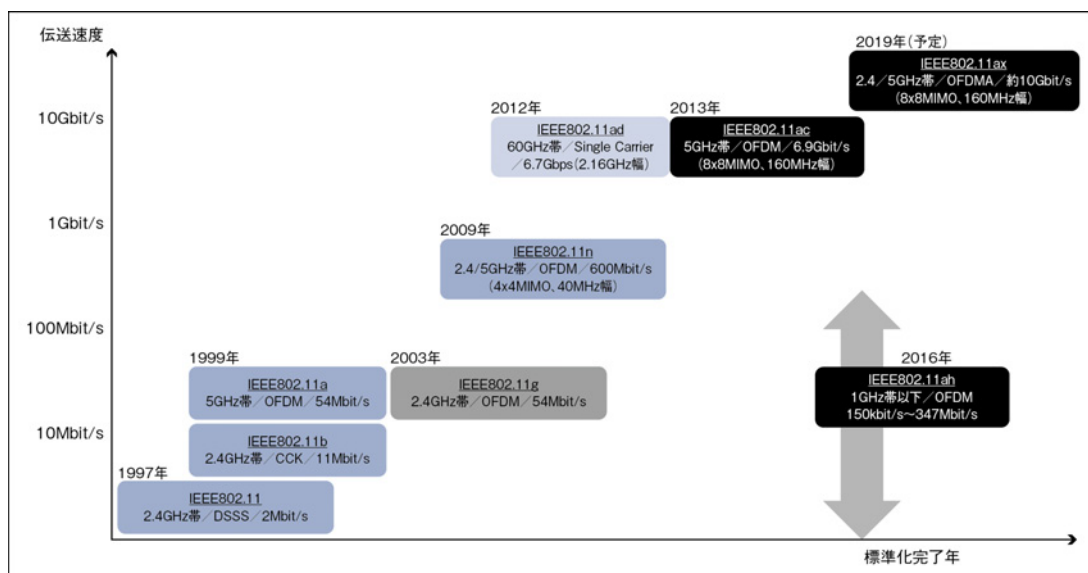
無線LAN製品ベンダにとって、無線伝送速度の高速化はユーザへアクセスポイントの買い替えを促す大きなビジネスチャンスであり、これ

まで無線LAN標準化の中心的として技術検討が進められてきた。1997年に標準化された最初のIEEE802.11規格では最大2Mbpsであったが、IEEE802.11ac規格では、仕様書上の最大伝送速度は約6.9Gbpsを達成している。また、現在標準化が進められているIEEE802.11axでは1024QAM対応による最大約10Gbpsへの対応が議論されている。

一方、IoTデバイス向けの無線LANとして標準化が進められているIEEE802.11ahでは、1GHz以下の周波数帯において、150kbps～347Mbpsを実現する。

これまでの無線伝送速度の変遷を資料4-3-2に示す。

資料4-3-2 無線伝送速度の変遷



出典：著者作成

- ・ IEEE802.11：2.4GHz 帯、DSSS、最大速度 2Mbps
- ・ IEEE802.11a：5GHz 帯、OFDM、最大速度 54Mbps

- ・ IEEE802.11b：2.4GHz帯、DSSS/CCK、最大速度 11Mbps
- ・ IEEE802.11g：2.4GHz帯、OFDM、最大速度 54Mbps

- ・IEEE802.11n: 2.4/5GHz帯、OFDM、最大速度600Mbps
- ・IEEE802.11ac: 5GHz帯、OFDM、最大速度6.9Gbps
- ・IEEE802.11ad: 60GHz帯、Single Carrier最大速度6.7Gbps
- ・IEEE802.11ah: 1GHz以下の帯域、OFDM、150kbps (1MHz幅) ~347Mbps (16MHz幅)
- ・IEEE802.11ax: 2.4/5GHz帯、OFDMA、最大速度約10Gbps

■ IoT デバイス向け無線 LAN 規格: IEEE802.11ah

これまでIEEE802.11にて規定されてきた無線LAN規格では、1Mbpsから数Gbpsまでの通信容量や、20Mbpsから160Mbpsまでの帯域幅をサポートし、市場からの様々な要求条件を満たしてきた。

一方、IoTデバイスの要求条件は“高速・大容量”ではなく、“低消費電力”、“広カバレッジエリア”、“大量な端末の同時接続”である。この新たな要求条件を満たすため、IEEE802.11では2010年にSIG-SG (Sub 1GHz Study Group) が立ち上がり、2011年11月からIEEE802.11ahとして標準化活動が開始された。IEEE802.11ahでは、既存の無線LAN規格の低速化 (150kbps~347Mbps) および狭帯域化 (1MHz~16MHz) を行い、2015年末では標準化の最終段階 (Draft 5.0) となっている。また、Wi-Fi AllianceにおいてもIEEE802.11ahデバイスの認定プログラム (Wi-Fi HaLow) の開始が発表されている。

IEEE802.11ahの主なユースケースは以下の通りである。

- メーター/センサーからのデータ収集
- ・家庭向け: ガス/電力/水道

- ・農業向け: 温度、湿度、風力、水位
- ・病院向け: 病院内での医療装置監視、血圧計などのヘルスケアデバイス
- バックホール
- ・Wi-SUNなどの近距離センサーネットワークのバックホール
- 広域無線アクセス通信
- ・1km程度までの伝送を可能とする特徴を活かした、広域の無線LANホットスポット

IEEE802.11ahは1GHz以下の周波数帯向け通信規格であり、2.4GHz帯や5GHz帯を用いるIEEE802.11a/b/g/n/acのデバイスとの相互接続が不要あることから、様々な新規機能が導入されている。また、IoTデバイスが要求する広いエリアでの無線通信を低消費電力で実現するため、物理層やパラメータの変更に加え、様々な機能追加が行われている。

●物理層の変更

資料4-3-3に、IEEE802.11ahにおける1MHz/1Stream時のMCS (Modulation and Coding Scheme) の一例を示す。

これまでのIEEE802.11のOFDMシンボル長は4.0usであったが、IEEE802.11ahにおけるOFDMシンボル長は無線伝送時の耐性強化のため、ダウンクロックにより40 us (Normal Guard Interval) または36 us (Short Guard Interval) としている。また、1MHzモードではデータ/パイロット用サブキャリア数はそれぞれ24/2としている。これらより、たとえばMCS 0では $24 \times (1/2) / 40\text{us} = 300\text{kbps}$ が実現される。

なお、資料4-3-3中のMCS 10は、半径1キロのセル実現を目的とし、1MHz/1Stream時のみに規定されている“Repetition”と呼ばれる送信方式であり、1 OFDMシンボル中に同一のデータ

ビットを2回繰り返しエンコードすることで、伝送時の耐性を高めている。

資料4-3-3では一例として1MHz／1Streamの

MCSのみを記載しているが、IEEE802.11ahでは最大16MHz幅／4Streamまで規定されている。

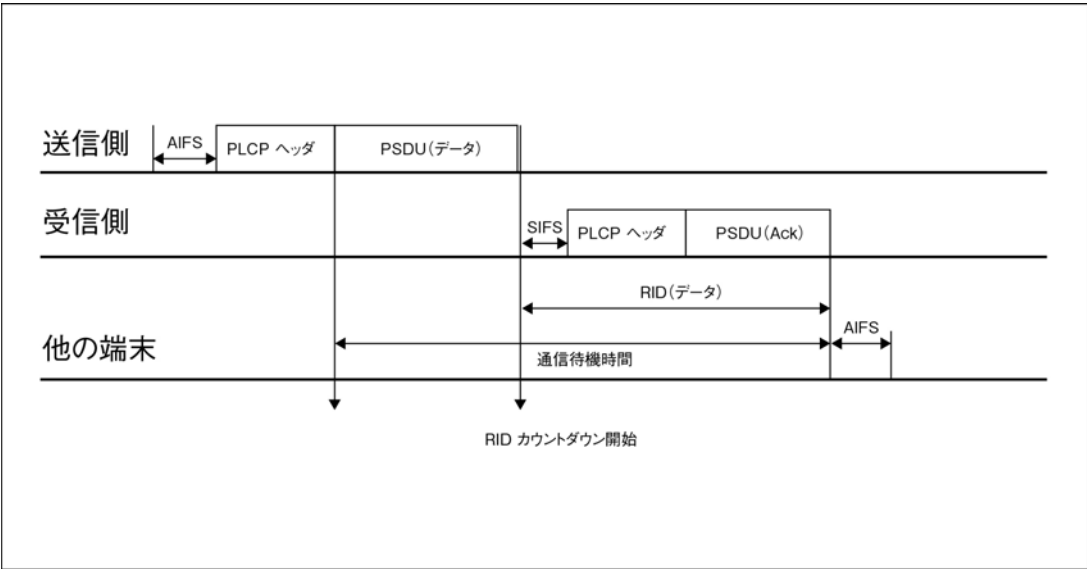
資料4-3-3 IEEE802.11ahにおけるMCS（1MHz/1Stream）

MCS Index	Modulation	R	Data Rate (kbps)	
			8 us GI (Normal)	4 us GI (Short)
0	BPSK	1/2	300	333.3
1	QPSK	1/2	600	666.7
2	QPSK	3/4	900	1000.0
3	16-QAM	1/2	1200	1333.3
4	16-QAM	3/4	1800	2000.0
5	64-QAM	2/3	2400	2666.7
6	64-QAM	3/4	2700	3000.0
7	64-QAM	5/6	3000	3333.3
8	256-QAM	3/4	3600	4000.0
9	256-QAM	5/6	4000	4444.4
10	BPSK	1/2 with 2x repetition	150	166.7

出典：著者作成

●新たな仮想キャリアセンス機構

資料4-3-4 RIDによる仮想キャリアセンス



出典：著者作成

これまでのIEEE802.11規格では、隠れ端末等に対応するキャリアセンスの補完機能として、MACヘッダ中のDurationフィールドにて送信所要時間を通知することで実現するNAV (Network Allocation Vector) による仮想キャリアセンス機構が規定されていた。しかしながらNAVはMAC層上で動作するため、FCS (Frame Check Sequence) エラー発生時などには機能しないといった問題点があった。

IEEE802.11ahではこの問題の解決のため、RID (Response Indication Deferral) と呼ばれる新たな仮想キャリアセンス機構が導入された (資料4-3-4)。

RIDでは、より伝送耐性の高い物理層にて付与されるPLCPヘッダ中の“Response Indication”フィールドから、当該フレームを受信したIoTデバイスが他デバイスの通信のために送信を待機すべき時間を算出する。これにより、MACヘッダがデコードできない場合であっても、ACKなどを効率的に保護することができる。

Response Indicationフィールドには直後に送信される以下の4種類の応答フレームが指定される。

0: No Response: ACK Policyにおいて、No ACKが指定された場合等

1: NDP (Null Data Packet): Dataフィールドを有さないフレームの応答フレーム (NDP ACK等)

2: Normal Response: ACK、BlockACK、CTS等

3: Long Response: Bidirectional ACK等

●最大アイドル時間の拡大

IEEE802.11には、一定時間 (Max Idle Period) 以上通信がなかった場合にアクセスポイントから端末に対し接続断信号 (disassociation) 信号を送信することで、端末の消費電力を低減し、

アクセスポイントのリソース管理負荷を削減する機構が規定されている。これまでのMax Idle Periodは、最大約18時間まで設定可能であったが、IEEE802.11ahでは、センサー等が長時間アクセスポイントに接続される状況を想定し、最大で5年間程度までMax Idle Periodの設定を可能としている。

●同時接続端末台数の拡大

アクセスポイントは、接続された端末をAssociation IDと呼ばれる番号により管理する。これまでのIEEE802.11規格では、Association IDフィールド長の制約により、最大で2007台まで同時接続が可能であった。一方、IEEE802.11ahでは大量のIoT端末の接続を可能とするため、Association IDフィールドをスケールリングし、最大で8191台までの同時接続を可能としている。

●スリープ時間の拡大

無線LAN端末は電池駆動時の省電力化のために、間欠受信を行う。これまでのIEEE802.11規格では最大2時間程度、スリープすることが可能であった。IEEE802.11ahでは間欠受信間隔を拡大し、約100日以上スリープすることを可能としている。

■その他IEEE802.11の状況

●次世代無線LAN規格: IEEE802.11ax

2014年5月にIEEE802.11axにて、高密度にアクセスポイントが設置された環境におけるシステムスループットの向上を目標とした次世代無線LAN規格の標準化が開始された。IEEE802.11axでは、新たにOFDMAや1024QAM、上りリンクMU-MIMO、キャリアセンスレベルをダイナミックに調整するDSC (Dynamic Sensitivity Control) の適用等が議論されている。また、IEEE802.11ac

にてスコープ外とされた2.4GHz帯を含めている。現時点では160MHz幅において最大約10Gbpsを目標として標準化が進められており、2016年7月には初期ドラフト作成の完了が予定されている。

●60GHz帯無線LANの高速化：IEEE802.11ay

IEEE802.11adの後継規格の策定を目指すグループであるNG60-SG (Next Generation 60GHz Study Group) が2014年9月に立ち上がり、2015年3月にTGayへ昇格した。MIMO等の適用により、MAC層において20Gbpsの通信速度実現を目指している。現在、チャンネルモデル、要求機能、ユースケースに関する議論が進められている。

●次世代測位方式：IEEE802.11az

2015年1月に、次世代測位方式の標準化を策定するグループであるNGP-SG (Next Generation Positioning Study Group) が立ち上がり、2015年9月に月にTGazへ昇格した。これまでの規格で規定されていた、端末-アクセスポイント間での伝搬時間を測定するFTM (Fine Timing Measurement) の適用に加え、到来角度の推定により、ショッピングモール・宅内・スタジアムなどにおいて、誤差数十cm以下の屋内向け測位の実現を目指している。

■無線LAN関連標準化の動向

●Wireless Broadband Alliance (WBA) の状況

WBAでは、通信キャリアによる無線LANホットスポットの高度化を目的とした議論が進められている。

事業者間ローミングの仕組みを規定する認定プログラムであるNGH (Next Generation Hotspot) Programでは、海外でのローミング環境下でも無線LAN利用時のユーザの利便性を携帯電話と同等レベルまで高めることを目的とした仕様の策定

を行っている。

具体的には、WBAで規定した事業者間相互接続のための技術仕様とローミング精算を規定している“WRIX”と、Wi-Fi Allianceにて規定されている、携帯電話システムと無線LANホットスポットをシームレスに接続する“Passpoint”がある。

Passpointでは、Release1とRelease2の2段階に分けた認定プログラムを策定している。Release1では、最適なネットワークの自動検出と自動選択およびセキュアな接続をサポートする。また、Release2では、契約を持たないユーザでもその場で簡単にアカウントを作成できるオンラインサインアップ機能や、プロフィールを自動的にダウンロードすることにより簡易設定を実現するプロビジョニングをサポートする。

WBAでは、NGHの認定プログラムの策定にあたり、多数のオペレータにより相互接続試験を行う“NGH Trial”が1～2年毎に実施されている。

また、通信キャリアで展開している無線LANホットスポットに求める品質や機能の要件策定を目的として、“Carrier Grade Wi-Fi”に関わる議論が開始されている。Carrier Grade Wi-Fiでは、上述のようなWRIXやPasspointだけでなく、無線LANネットワークの品質、無線LANトラヒックを携帯電話コア網 (EPC) への収容によるシステム間ハンドオーバーの実現を求める議論が行われている。

●ライセンスバンド／アンライセンスバンド間のシステム融合

3GPPではLicensed Assisted Access using LTE (LAA) や、LTE Wi-Fi Aggregation (LWA) と呼ばれる、携帯電話システムでの通信とアンライセンスバンドでの通信を束ねて高速化を目指す技術の議論が進められている (資料4-3-5)。

資料 4-3-5 システム間融合技術の比較

	Licensed Assisted Access using LTE (LAA)	LTE/Wi-Fi aggregation (LWA)	Multi-Path TCP (MPTCP)
概要			
特徴	• eNBにて、Primary Cell(ライセンスバンド)とSecondary Cell(アンライセンスバンド、下りリンクのみ)へ振り分け • LTEの無線フレームをアンライセンスバンドで送信	• eNBにて、eNB(ライセンスバンド)とAP(アンライセンスバンド、下りリンクのみ)へ振り分け • LTEのPDCPフレームをIEEE802.11上で送信	• サーバ側にてLTE向けフローとWi-Fi向けフローとを振り分け • サーバ側にてMPTCPに対応していない場合は、Proxyサーバにて振り分け
状況	• 3GPP Rel. 13にて標準化完了、Rel.14にて高度化検討予定	• 3GPP Rel. 13にて標準化中	• 韓国オペレータ(KT他)にて商用導入済み。 • iOS 7にてサポート

出典：著者作成

LAAはLTEのCarrier AggregationにおけるSecondary Cellの下りリンクを無線LANシステムにて利用されている5GHz帯にて運用可能とするものであり、2015年12月にRel.13向けの物理層仕様の策定が完了した。LAAでは既存の無線LANシステムとの同一周波数帯での共存の必要性を重視し、無線LANにおけるCSMA/CAと同等のメカニズムであるListen Before Talk (LBT)を採用している。さらに2015年12月の3GPP RAN会合では、Rel. 13にて規定されたLAAを上りリンクでも利用可能とする、“enhanced LAA”の標準化開始が承認され、2016年中の標準化作業の完了を目標としている。

LWAは、ライセンスバンドでの通信と、IEEE802.11フレームでカプセル化されたLTEフレームを結合し、大容量化を目指す技術である。これはLTEにて規定されているDual ConnectivityにおけるSecondary eNBについて無線LANアクセスポイントを利用可能とするものである。LWAは無線LANと同一周波数帯を使用

するが、LAAと異なりMAC層以下はIEEE802.11にて規定された伝送方式をそのまま用いるため、既存の無線LANシステムとの共存に関わる問題は発生しない。Rel. 13向け標準化がほぼ完了しており、Rel.14にてさらなる高度化が行われる予定である。

一方、IEEE802.11やWireless Broadband Alliance、Wi-Fi Allianceでも、LAAとの共存方式に関する議論がされている。たとえば、IEEE802は3GPP側へLiaison Letterを送付し、システム間の同一周波数帯におけるFair Sharingメカニズムの確立について提案している。また、Wi-Fi Allianceも3GPP側へ共存時の共同実験の実施を提案している。

また、IETF RFC6827にて規定されたMPTCP (Multi-Path TCP)により、携帯電話システムと無線LANシステムを融合するサービスが各社にて開始されている。MPTCPでは、サーバと端末の間でTCPセッションを複数設定することで、スループットの向上や、電波状態が悪い場合の相互

補完を実現する。

韓国のモバイル／無線LANオペレータであるKT社は、2015年7月からMPTCPにより最大スループット1.17Gbpsを提供するサービスを開始している。KT社はコアネットワーク内部に

MPTCPのプロキシサーバを設置し、MPTCPに対応していないコンテンツサーバでもMPTCP通信を可能とするサービスをユーザに提供している。また、Apple社のiPhoneでは、iOS 7にてMPTCPに対応済みである。



1996, 1997, 1998, 1999, 2000, ...

[インターネット白書ARCHIVES] ご利用上の注意

このファイルは、株式会社インプレスR&Dが1996年～2016年までに発行したインターネットの年鑑『インターネット白書』の誌面をPDF化し、「インターネット白書 ARCHIVES」として以下のウェブサイトで公開しているものです。

<http://IWParchives.jp/>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、データ、URL、名称など)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真・図の作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は掲載されていない場合があります。
- このファイルの内容を改変したり、商用目的として再利用したりすることはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用される際は、出典として媒体名および年号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレスR&D)などの情報をご明記ください。
- オリジナルの発行時点では、株式会社インプレスR&D(初期は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めました。が、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接的および間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

お問い合わせ先

株式会社インプレス R&D

✉ iwp-info@impress.co.jp