

## Wi-Fi の最新技術動向

人見 高史 ●シスコシステムズ合同会社 テクニカルソリューションアーキテクト

**IEEE 802.11ac はドラフト規格で導入・普及フェーズに。TV ホワイトスペースを活用するスーパー Wi-Fi は検討段階。Hotspot2.0 はサムスンとアップルが対応し本格導入へ。**

### ■無線 LAN と IEEE 802.11、Wi-Fi の関係

2013年11月に発売された iPad Air の仕様には、「Wi-Fi (802.11a/b/g/n)、デュアルチャネル (2.4GHz/5GHz) と MIMO」との記載がある。ラップトップ PC への標準実装と近年のスマートフォンの急速な普及に伴い、「無線 LAN」や「Wi-Fi」という言葉の認知度は高まってきた。しかし、その正確な意味を知るには IEEE 802 委員会と Wi-Fi Alliance について理解しなければならない。

さまざまな無線の伝送規格を規定するために、IEEE 802 委員会は、無線の伝送距離に応じて以下のようなワーキンググループを設置している。「無線 LAN」とは、IEEE 802.11 の伝送規格に従った比較的近距离伝送を目的とした無線技術の総称である。

- 1) IEEE 802.15 WPAN (無線 PAN: Personal Area Network) : Bluetooth、ZigBee、Wi-SUN 等。伝送距離 : 10m 程度
- 2) IEEE 802.11 WLAN (無線 LAN) : Wi-Fi 等。伝送距離 : 150m 程度
- 3) IEEE 802.16 WMAN (無線 MAN) / BWA (Broadband Wireless Access) : WiMAX 等。伝

送距離 : 5km 程度

- 4) IEEE 802.22 WRAN (無線 RAN : Regional Area Network) : 中長距離地域無線。伝送距離 : 100km 程度

一方「Wi-Fi」とは、業界団体 Wi-Fi Alliance (WFA) の認証試験に合格した製品につけられる認証ブランドの名称である。無線 LAN 製品が出始めた当初、IEEE 802.11 規格の仕様の曖昧さや、相互接続試験の仕組みがなかったことから、IEEE 802.11 に準拠しながら異なるベンダー間での接続性が担保されないという問題が発生した。

そのため 2003 年、WFA は無線 LAN 製品の相互接続性認証プログラム「Wi-Fi CERTIFIED」を発表し、Wi-Fi 認証を取得した製品に Wi-Fi CERTIFIED ロゴの使用を許可するマーケティングを推進した。この Wi-Fi 認証によりユーザーは安心して各ベンダーの無線 LAN 製品を購入できるようになり、無線 LAN が世界中に普及する大きな原動力となった。

WFA が実施している認証プログラムには、Wi-Fi (802.11a/b/g) in single or multi-band (2.4GHz、5GHz)、Wi-Fi-n (802.11n)、Wi-Fi-ac (802.11ac)、WPA / WPA2 -Enterprise / Personal のコア認証プログラムがある。それに加

え、Passpoint (Hotspot2.0) や、Miracast (Wi-Fi Display)、WMM (Wi-Fi Multimedia) などのオプション認証プログラムがある。また2013年9月には、60GHz帯無線を使用する「WiGig (802.11ad)」を発表し、2014年にその認証プログラムの開始を予定している。

WFAの認証プログラムの技術仕様は、IEEE 802.11規格に準拠しているとはいえ、実装上の明確化やWFA独自の機能拡張を行った仕様もあり、無線LAN実装における事実上の標準規格になっている。

## ■ IEEE 802.11 規格

IEEE 802.11 ワーキンググループは、さらにタスクグループに分かれている。各タスクグループでは、802.11a/b/g/n/acなどの伝送の高速化や、802.11e/h/k/p/r/s/uなどの高機能化、802.11iのような情報セキュリティといった規格を定めている。

主なタスクグループとその規格内容を、資料4-3-5に示す。「標準活動」の欄に「ACTIVE」と記載されているもの以外は、標準化活動が完了したタスクグループである。

資料4-3-5 IEEE 802.11 委員会の主なタスクグループ (2013年10月時点)

タスクグループ	規格内容	標準規格	標準化活動
802.11	2.4GHz スペクトラム拡散 (DSSS、FHSS) 伝送速度: 2Mbps	IEEE Std. 802.11-1997	
802.11a	5GHz OFDM (直交周波数分割多重) 伝送速度: 54Mbps	IEEE Std. 802.11a-1999	
802.11b	2.4GHz CCK (Complementary Code Keying) 伝送速度: 11Mbps	IEEE Std. 802.11b-1999	
802.11e	MAC 層のサービス品質 (QoS) の規定	IEEE Std. 802.11e-2005	
802.11f	マルチベンダ AP 間の interoperability: IAPP (Inter AP Protocol)	2006年に取り下げ	
802.11g	2.4GHz OFDM (直交周波数分割多重) 伝送速度: 54Mbps	IEEE Std. 802.11g-2003	
802.11h	5GHz 帯既存システム (衛星、気象レーダ) との DFS、TPC による共存手順	IEEE Std. 802.11h-2003	
802.11i	WPA、WPA2、EAP などのベースとなった MAC 層のセキュリティと認証の規格	IEEE Std. 802.11i-2004	
802.11j	802.11a を日本の電波法の 4.9GHz-5GHz 周波数に適合させるための規格	IEEE Std. 802.11j-2004	
802.11k	無線帯域の使用を効率よく管理するため、ネットワーク内で電波リソース情報を交換する規格	IEEE Std. 802.11k-2008	
802.11m	802.11 メンテナンスのためのタスクグループ。各タスクグループの仕様を 802.11 本体に取り込む	Std. 802.11-2012	ACTIVE
802.11n	2.4GHz、5GHz MIMO-OFDM 伝送速度: 600Mbps	IEEE Std. 802.11n-2009	
802.11p	ITS 等、5.850-5.925GHz を使用する車-車、車-路間の通信の規格	IEEE Std. 802.11p-2010	
802.11r	鍵情報、セッション情報を通知し、AP 間的高速ローミングを実現する	IEEE Std. 802.11r-2008	
802.11s	無線 LAN 機器がアドホックにメッシュネットワークを構築する	IEEE Std. 802.11s-2011	
802.11u	Hotspot2.0 の基盤技術。GAS、ANQP を用いてアソシエーションを張る前に Network 情報を入手	IEEE Std. 802.11u-2011	
802.11ac	5GHz Downlink MultiUser-MIMO。伝送速度: 1.3Gbps	draft D 7.0	ACTIVE
802.11ad	IEEE802.15.3c をベースに、60GHz 帯で 7Gbps の伝送速度。伝送距離 10m	IEEE Std. 802.11ad-2012	
802.11af	スーパー Wi-Fi。UHF 帯の TV ホワイトスペースを利用した無線 LAN 向けの規格	draft D5.0	ACTIVE
802.11ah	1GHz 以下の周波数帯におけるセンサーネットワーク、スマートグリッド向けの無線 LAN 規格	draft R15	ACTIVE
802.11ai	Wi-FILS。リンクセットアップ時の認証の高速化により 10ms の高速接続を実現する	draft D 1.0	ACTIVE
802.11ak	802.11 の無線 LAN リンクを 802.1Q 内のブリッジとして動作させる規格	draft 5C	ACTIVE
802.11aq	サービス情報を広報してアソシエーションを張る前にサービスディスカバリーを行う	draft R7	ACTIVE

出典: 筆者作成

802.11 の伝送規格は物理層とデータリンク層の MAC 副層からなる。2.4GHz と 5GHz の周波数帯における無線 LAN の物理層の伝送高速化は、次のように発展してきた。

- ・ 802.11: 2.4GHz 帯のスペクトラム拡散 (伝送速度: 2Mbps)
- ・ 802.11b: CCK による DSSS の高速化 (伝送速度: 11Mbps)

- ・ 802.11a/g: OFDM による周波数効率向上 (伝送速度: 54Mbps)

- ・ 802.11n: マルチパスを利用した高速化 (伝送速度: 600Mbps)

- ・ 802.11ac: 下りの MultiUser-MIMO (伝送速度: 1.3Gbps / 6.9Gbps)

802.11ac 規格の標準化はまだ完了していない。ただし、ほぼ仕様が確定したことから、

1
2
3
4
5

2013年6月にWFAが802.11acのドラフト規格(D5.0以降)に基づくWi-Fi CERTIFIED acの認証プログラムを開始した。これにより、2013年夏頃から802.11ac(draft)準拠のスマートフォンやラップトップPCが続々と市場に登場してきた。無線LAN高速化の動きは、すでに802.11acの導入・普及フェーズに入ったといえる。

資料4-3-5にあるように、IEEE 802.11委員会において現在アクティブな活動としては、1つには、802.11af「Wireless LAN in the TV White Space」や、802.11ah「Sub 1GHz」、802.11ak「Enhancements For Transit Links Within Bridged Networks」のような、無線LANの適用領域を広げる取り組みがある。また、802.11ai「Fast Initial Link Set-up」や802.11aq「Pre-Association Discovery」のように、無線LAN利用の利便性を向上させる動きもある。さらに、新たな活動として、駅や繁華街など無線LAN端末の密度が高い環境においても高い伝送効率を実現するHEW(High Efficiency WLAN)タスクグループの立ち上げ準備も行われている。

本稿では、このような最近のIEEE 802.11委員会の活動の中から、TVホワイトスペースの活用技術として注目を集めているスーパーWi-Fi 802.11afと、アップルのiOS 7で採用されて普及と活用が期待されているHotspot2.0(WFA Passpoint、IEEE 802.11u)について解説する。

## ■ TVホワイトスペースを活用する「スーパーWi-Fi」

伝播特性に優れたテレビ放送用の周波数帯域には、時間や地域を限定すると、使用されていない帯域(TVホワイトスペース)がある。

2010年に米FCC(Federal Communications Commission)は、このTVホワイトスペースを「スーパーWi-Fi」サービスに利用することを承

認した。スーパーWi-Fiとは、「Wi-Fiよりも長い伝送距離、速い通信速度、高い信頼性を持つ、免許不要」の新しい無線ブロードバンドサービスのことを指す。

日本においても、総務省ホワイトスペース推進会議が「TVホワイトスペースを利用した無線ブロードバンド」の実現に向けて技術検討や運用調整の検討を行っている。

IEEE 802委員会はTVホワイトスペースを活用するための3つの規格を策定している。冒頭で述べた無線RAN向けの「802.22」と、TVホワイトスペースのWi-Fi利用を目的とする「802.11af」、802.15.4のセンサー系システムをTVホワイトスペースで運用するための「802.15.4m」である。

3つのうち、802.22は、人口密度の低いルーラルエリア向けのブロードバンドサービス用に設計された規格だ。地方のデジタルデバイドを解消することを目的とする。無線を使うため、ケーブル回線を引き回すのに比べると投資コストを低く抑えられる。さらに、テレビ放送用の電波を使うため、最大100キロメートル程度まで広範囲にサービスを提供できる。既存のテレビ放送への電波干渉を抑えるために、コグニティブ無線の技術をIEEE規格として初めて採用した。

なお、802.22は「スーパーWi-Fi」の一つと呼ばれる場合もあるが、Wi-Fiとは異なる技術である。

## ■ IEEE 802.11af 規格

802.11afは、TVホワイトスペースの周波数帯域におけるチャンネルアクセスと共用条件に対応するように、802.11物理層とMAC副層を拡張した規格である。多重化方式はOFDM、チャンネル帯域幅は6MHz/7MHz/8MHz、その伝送速度は約20~30Mbpsで、伝送距離は100~500

メートル程度である。

### ●位置情報から最適な周波数を取得

802.11afの最大の特徴は、地域ごとのテレビ周波数チャンネル情報を格納するホワイトスペースジオロケーションデータベース（GDB）の存在を前提としている点である。802.11afでは、GPS位置情報機能を備えた機器が、GDBから空きチャンネルマップや利用条件の情報を取得して最適なチャンネルを利用するための、MAC副層を規定している。

TVホワイトスペースは、テレビ放送用の周波数帯域の空き周波数帯を利用する。そのため、既存のテレビ放送に影響を与えないことが最大の課題である。米国FCCの規定では、漏れ電波の許容範囲は-55dBと非常に厳しいものになっている。そのため当初、米国のスーパーWi-Fiでは、運用周波数帯にテレビ放送電波が存在するかをセンシングして、干渉を自動回避すること（スペクトラムセンシング）を要求していた。しかし、この厳しい規制に合格する機器開発は困難を極めた。そのため、FCCはスペクトラムセンシングを断念し、GDBによる空きチャンネルの検索を義務づけた。

### ●構成要素とメッセージ

802.11afのネットワークは、以下の構成要素からなる（資料4-3-6）。

- 1) Geo-location Database (GDB) : 地域ごとのテレビ周波数チャンネル情報を格納するデータベース
- 2) Registered Location Secure Server (RLSS) :

アクセスポイント (AP) の配下にある複数の STA の干渉を防止するためのローカルデータベース

3) Geo-location Database Dependent (GDD) entity : GDB から入手する情報により動作する装置

4) GDD enabling STA : GDB にアクセスしてその場所でのテレビ周波数の使用チャンネルと利用条件の情報を入手し、配下の GDD dependent STA の運用チャンネルを制御する。具体的には Wi-Fi の AP を指す

5) GDD dependent STA : GDD enabling STA によって制御される STA。運用チャンネルを GDD enabling STA もしくは RLSS から入手する

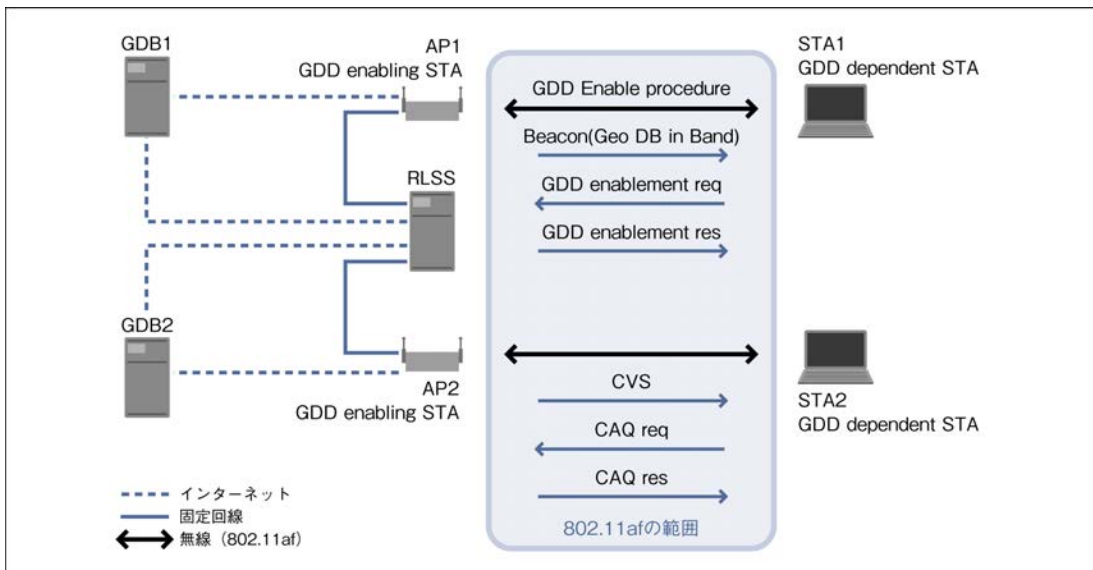
これらの 802.11af 構成要素間には、以下のような MAC 副層の論理メッセージが規定されている。

a) GDD Enable 手順 : GDD enabling STA が、TV ホワイトスペースの空きチャンネルを使って GDD Enabling Beacon Signal を GDD dependent STA に送り、GDD enablement req / res の交換によって GDD のネットワークを構築する。

b) CAQ (Channel Availability Query) : CAQ の手順により、GDD dependent STA が空きチャンネルマップの形で利用可能なテレビ周波数帯域の情報を入手する。

c) CVS (Contact Verification Signal) : CVS は、GDD enabling STA が自分の配下にどの GDD dependent STA が存在するかを確認するために送信される。一方、GDD dependent STA は自分が最新の空きチャンネルマップを保持しているかどうかを確認できる。

資料4-3-6 802.11afの論理メッセージ



出典：筆者作成

IEEE 802.11afに加え、資料4-3-6左側のジオロケーションDBを利用するために、IEEE 802.19.1「TV White Space Coexistence」に基づくTVBD (TV Band Device) 間の共存方式と、IETF RFC6953「Protocol to Access White-Space Databases」準拠のデータベースアクセス手順を用いることが検討されている。

### ●ジオロケーションDBの有効利用

TVホワイトスペースの活用には、高効率なデジタル化を進める地上波テレビ放送事業から一旦認可した周波数帯域を取り上げる側面もある。そのため、米国においても通信と放送で利害の不一致があり、スーパーWi-Fi利用に関する法整備はまだ進んでいない。

また、日本は米国に比べて国土が狭く、都市部においてテレビ放送用周波数帯域は高密度に利用されていて、TVホワイトスペースが少ない。そのため、802.11afもルーラルエリアでの利用が主体になると予想される。

こうした背景から日本での802.11afの活用はまだ検討段階であるが、電波干渉を防ぐためのジオロケーションDBの考え方は、TVホワイトスペースだけでなく他の無線システムにおいても有効利用を図れる可能性を秘めている。

### ■次世代公衆無線LAN「Hotspot2.0」

スマートフォンや携帯電話を使用する際に、ユーザーIDやパスワードを入力する必要はないし、移動するたびに接続する携帯事業者の基地局を探す手間もかからない。海外へ行った際には国内の携帯事業者とローミング契約を結んだ海外事業者のネットワークに自動的に接続され、その料金精算も自動的に行われる。また同じ基地局のセル内にいる他の利用者から、通信内容のぞき見られたり攻撃を受けたりする恐れもない。このような、携帯の世界で当たり前のように行われてきたことが、公衆無線LANでは実現されてこなかった。

スマートフォンの普及により、モバイルデータ

トラフィックは急増している。これに対処するため、携帯のモバイルコアから家庭内無線LANや公衆無線LANにモバイルデータトラフィックをオフロードすることは、携帯事業者にとって最優先課題であった。そのため、各通信事業者は、数10万局の公衆無線LANのアクセスポイント(AP)を国内に設置してきた。

が、一時期のWi-Fiオフロードのハイブ(誇張される時期)は、現在では過ぎ去ったように見える。特に、屋外の公衆無線LANのオフロード効果は期待されたほどでなかった。携帯事業者が無線LAN接続のためのソフトを配布しても、ユーザーにとっては、使い勝手の悪い無線LANよりも、3GやLTEの携帯網に接続する方が容易であった。そのため、携帯事業者の設備投資は、3G網のオフロード先でもあるLTE網の拡充に向かった。

しかし、携帯事業では、ライセンスバンドという有限の電波資源を使い、基地局周辺の不特定多数のユーザーにサービスを提供しなければならない。その中で、今後ますます急増するモバイルデータトラフィックに対処するには、LTE/LTE-Advancedなどのマクロセルと、無線LANなどのマイクロセルの両者を有効に活用する、「Heterogeneous Network」の構築が必須である。そのためにも、この「公衆無線LANの使いにくさ」を解消する必要がある。

「Hotspot2.0」とは、これらの公衆無線LANの課題を解決するためにWFAが主導して規定した次世代公衆無線LANの名称である。

公衆無線LANサービスでログインの際のユーザー認証の手間を省く試みは、2003年に規定されたWISPr1.0(Wireless Internet Service Provider Roaming1.0)に始まる。その後、次世代公衆無線LAN規格を巡り、Hotspot2.0を推す

WFAと、WISPrを推すWireless Broadband Alliance(WBA)とが争ってきた。

2011年6月に両者が歩み寄り、WBAがNGH(Next Generation Hotspot)プログラムにHotspot2.0を全面的に取り入れる形で決着した。NGHでは、ネットワーク選択や認証などの無線LAN機器間の接続仕様にHotspot2.0を採用し、無線LAN事業者間の相互接続や料金精算ではWBAのWireless Roaming InterEXchange(WRIX)に準拠する。無線LAN機器の相互接続に実績のあるWFAと、無線LAN事業者間のローミングに実績のあるWBAの、両者の得意な技術を採用した折衷案といえる。

## ■ Hotspot2.0の機能

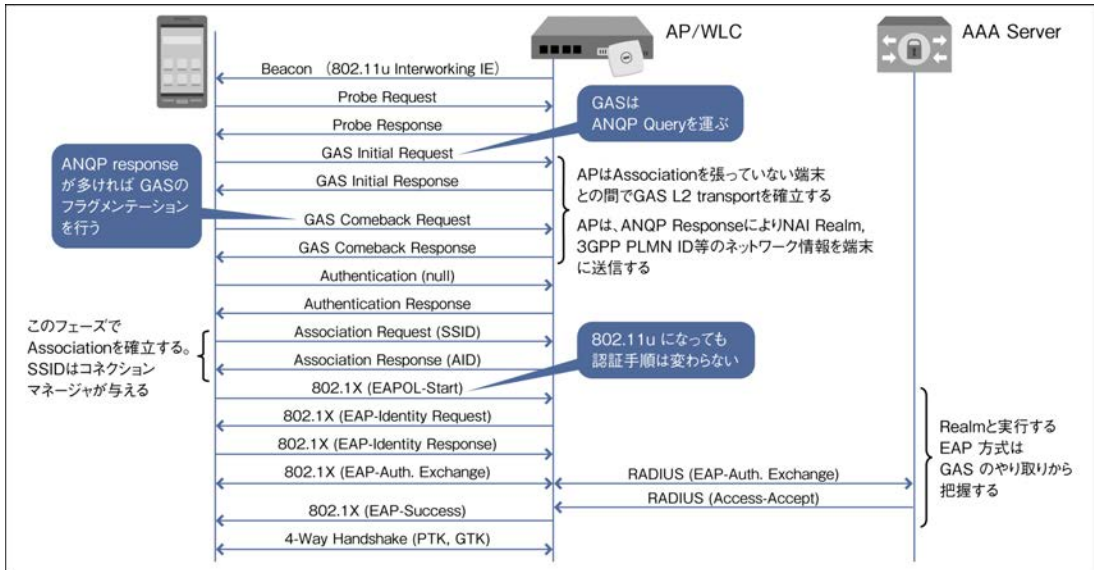
現在規定されているHotspot2.0の機能は、以下の3つに大別される。

- ・IEEE 802.11uのネットワークの検出・選択機能によるAPの自動選択
- ・WPA2-Enterpriseに基づくセキュリティ機能の向上
- ・EAP-SIM/AKA/TLSの認証機能によるリンク接続時の自動認証

ネットワークの検出・選択は、802.11uに規定されたGeneric Advertisement Service(GAS)とAccess Network Query Protocol(ANQP)によって実現される。GASは、802.11u対応のAP/無線LANコントローラと端末との間に、広報プロトコルフレームのレイヤー2トランスポートを提供する。ANQPは、GASの上で端末がAPからネットワークの情報を入手するためのプロトコルである。

GASとANQPを用いたHotspot2.0のリンク確立のシーケンスを、資料4-3-7に示す。

資料 4-3-7 Hotspot2.0のシーケンス



出典：筆者作成

- ・ Beaconには 802.11u interworking IEが含まれ、端末は Venue Typeや Access network type (private 網や課金等) などの情報を見て ANQP の Query を行う AP を選択する
- ・ GAS / ANQP を用いて、端末は NAI Realm list (EAP-TLS / TTLS) や、3GPP Cellular Information List (EAP-SIM / AKA のための PLMN ID)、Network Authentication type, Roaming consortium list などのネットワーク情報を取得する
- ・ 取得した情報をもとに、認証を行う事業者と接続する最適な AP を決定し、アソシエーションを張る
- ・ AP との接続は、WPA2-Enterprise の 802.1X による認証と AES の暗号化によってセキュリティが保たれる
- ・ 802.1X の認証では EAP-SIM / AKA / TLS が利用可能なため、ユーザーが ID やパスワードを入力することなくネットワークとの認証が行われる

WFA では、Hotspot2.0 の仕様を複数リリース

に分けて規定している。2012年6月には、リリース 1 仕様に基づき Wi-Fi CERTIFIED Passpoint の認証プログラムが始まった。また、Hotspot2.0 準拠を表す名称として「Passpoint」が用いられるようになった。

1) リリース 1 : Technical Specification Version 1.0.0 (2012年5月)

- ・ 802.11u ANQP 拡張 (WFA 独自の ANQP 情報要素)

- ・ ネットワーク選択
- ・ セキュリティ

2) リリース 2 : WFA\_HS2-0\_Technical\_Specification\_R2\_V3 (2014年完了予定)

- ・ オンラインサインアップ
- ・ プロバイダーポリシー
- ・ OMA DM / SOAP-XML を用いた認証やポリシーのプロビジョニング

さらに、リリース 3 に向けての検討も始まり、「常に最適なネットワーク接続」を目標に Hotspot2.0 の機能拡張を図っている。

## ■ Hotspot2.0 導入の課題

2013年にはサムスンの Galaxy S4が端末として Passpoint 認証を取得し、さらにアップルが iOS 7での Passpoint サポートを表明した。このように Hotspot2.0 普及の気運が高まっている。

しかし、その本格利用にはまだ課題も多い。802.11uも Hotspot2.0もさまざまなネットワーク情報を端末に運ぶ枠組みに過ぎず、それらの情報をどのように活用してユーザーの利便性を高めるかは、個々の通信事業者と機器ベンダーに委ねられている。

さらに、端末が接続するネットワークを選択する際に考慮しなくてはならない事柄として、通信事業者が事前に配布するポリシー（3GPP ANDSF、WFA Management Object）や、ユーザーがスタティックに端末に設定するポリシー、リアルタイムなネットワーク環境（RSSI等）がある。これらをどのように組み合わせてネットワークを選択するかは、端末に実装される Connection Managerの作りに依存する。その Connection Managerを、ユーザーが Google Play や App Store のようなオープンなマーケットから自由に入手するのか、それとも通信事業者や端末ベンダーが配布するのかも不透明である。

このような通信事業者や端末ベンダーの枠にとらわれない Hotspot2.0 活用のための仕組みができて、ようやく使い勝手の良い次世代公衆無線 LAN Next Generation Hotspot が実現するのであろう。





1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014

## [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～2014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。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の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](mailto:iwp-info@impress.co.jp)