



Wi-Fi 7の特徴・進化のポイント

一般社団法人 無線 LAN ビジネス推進連絡会 (Wi-Biz)
ヤマハ株式会社

すずき しゅんたろう
鈴木 俊太郎



1. いよいよ普及が始まるWi-Fi 7

Wi-Fi^{*1}は、今日では私たちが日常的に使用するスマートフォン・PCで当たり前に搭載され、広く認知され普及している無線LANシステムの技術である。特にコロナ禍以後、リモートワークにおけるビデオ会議やクラウドの利用の際に、Wi-Fiの恩恵（あるいはWi-Fiへの不満？）を感じる人は多いのではないだろうか。加えて、Wi-Fiを利用するアプリケーションは広がりを見せており、いままでにないユースケースでの利用が期待されるところだ。

そのような中で、Wi-Fiの相互接続性試験方法の策定を行うWFA (Wi-Fi Alliance: Wi-Fi アライアンス) は2024年1月、Wi-Fi 7の認証プログラムを開始した。これを受け、日本国内でも早速Wi-Fi 7対応製品が発売され始めており、今後普及が進んでいくものと予想される。本稿ではWi-Fi 7について、その特徴・進化のポイントを技術的な側面から概説する。また、Wi-Fi 7において重要な技術である320MHzチャンネルを利用可能な6GHz帯の日本・諸外国における現在の対応状況について報告する。

Wi-Fi 7の技術解説に入る前に、Wi-FiにおけるIEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers: 米国電気電子学会) 及びWFAの役割と、その策定の経緯を

整理する。

無線LANの技術仕様は、IEEEの標準化組織IEEE-SA (Standards Association) の作業班IEEE 802.11WG (Working Group) にて標準規格の策定が行われている。策定された標準規格は「IEEE 802.11xx (xxはアルファベットによるナンバリング) 規格」として出版される。(本稿では以後「IEEE 802.11WG」を「11WG」、「IEEE 802.11xx 規格」を「11xx」と略記する。) 表1に示したように、11WGにおいてその標準化の目的や必要性をまとめた文書であるPAR (Project Authorization Request) のタイトルを見返すと、その歩みが分かりやすい。7世代目の標準規格である11beはEHT (Extremely High Throughput) と銘打ち、11axと比べて更なる高速化を主眼に置いたタイトルになっている。11beは、本稿を執筆中の2024年5月現在、2024年12月の標準化完了を目標に、技術仕様の策定を行うTG (Task Group) の活動の中のスポンサー・バロットと呼ばれるプロセスで、規格文書の最終調整が行われている。

他方でWFAは、11WGが策定した標準規格をベースに機器の相互接続性試験方法の策定を行い、Wi-Fiのマーケティングを担う業界団体である。WFAは、IEEE 802.11規格の認証テストに合格した機器に「Wi-Fi (世代番号)」

■表1. 無線LAN技術における主なIEEE 802.11規格とWFA認証プログラム

世代	IEEE 802.11の規格名	IEEE 802.11のPAR名	WFAの認証プログラム名	利用する周波数帯	最大通信速度
第1世代	11-1997	(省略)	-	2.4GHz帯	2Mbps
第2世代	11a	Higher Speed PHY Extension in the 5GHz Band	Wi-Fi CERTIFIED a	5GHz帯	54Mbps
	11b	Higher Speed PHY Extension in the 2.4GHz Band	Wi-Fi CERTIFIED b	2.4GHz帯	11Mbps
第3世代	11g	Further Higher Data Rate Extension in the 2.4GHz Band	Wi-Fi CERTIFIED g	2.4GHz帯	54Mbps
第4世代	11n	HT (High Throughput)	Wi-Fi CERTIFIED n (Wi-Fi 4)	2.4/5GHz帯	600Mbps
第5世代	11ac	VHT (Very High Throughput)	Wi-Fi CERTIFIED ac (Wi-Fi 5)	5GHz帯	6.9Gbps
第6世代	11ax	HEW (High Efficiency WLAN)	Wi-Fi 6	2.4/5GHz帯	9.6Gbps
			Wi-Fi 6E	2.4/5/6GHz帯	
第7世代	11be	EHT (Extremely High Throughput)	Wi-Fi 7	2.4/5/6GHz帯	23Gbps*
第8世代	11bn	UHR (Ultra High Reliability)	(Wi-Fi 8)	未定	未定

※ 6GHz帯 320MHzチャンネル帯域幅における単一リンクの最大通信速度

*1 「Wi-Fi」はWi-Fi Allianceの登録商標



の認定を与えている。Wi-Fi 7の現在の認証プログラムは、11beの標準化がまだ完了していないことから分かるように、11beのドラフト版の仕様をベースとしている。Wi-Fi 6の認証プログラム以前もそうだったように、IEEEから11beの正式版が出版された後、WFAからWi-Fi 7認証プログラムの更新が発表される可能性は高いだろう。

11be策定の経緯は、11beのPARの中身を読むのが分かりやすい。11beのPARを一部抜粋して要約すると、次のような文が含まれている。「動画のトラフィックは無線LAN環境における支配的なトラフィックタイプであり続けるだろう。4K及び8K映像（非圧縮のレートが20Gbps）の出現によりスループット要件は常に進化している。」「レイテンシが5ミリ秒以下であることが求められるゲーミングのような新しいアプリケーションが急増する。」「ユーザーは無線LANにおいて、スループットの向上、遅延とジッターの低減を期待している。」前述したように11beは高速化に主眼を置いたPARのタイトルになっているが、PARの中身を見ると遅延やジッターの低減といった高信頼化の要求も含まれているのである。

■表2. IEEE 802.11beの主要技術と特徴

	高速化 (スループット向上)	高信頼化 (遅延、 ジッターの改善)
320MHzチャンネル帯域幅	○	-
Preamble Puncturing	○	○
4K QAM	○	-
1024 Aggregation	○	-
MRU	○	○
R-TWT	-	○
MLO	○	○
EPCS Priority Access	-	○

次章以降で解説する11beの各技術について、高速化と高信頼化のどちらの要求に応える技術なのかを表2にまとめた。11beに高速化と高信頼化の大まかに2種類の要求があることが分かったところで、本題の各技術の概説に入っていこう。

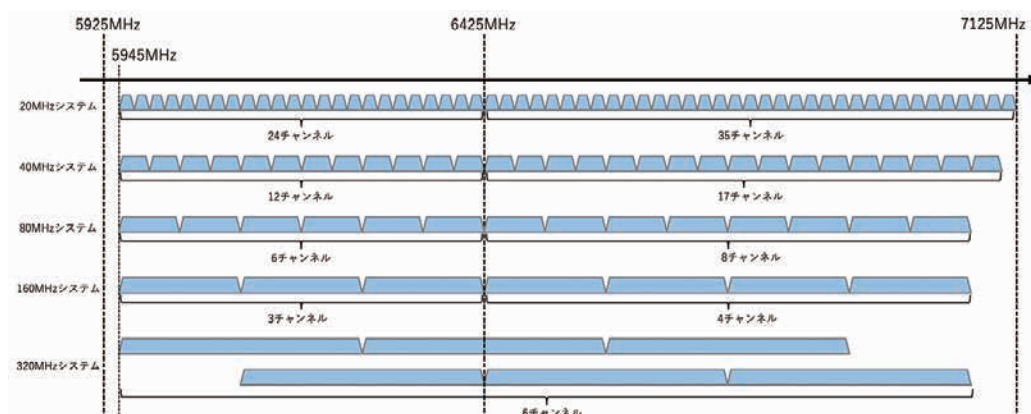
2. 802.11beにおける従来規格からの拡張技術

本章では、11beにおいて11ax以前の従来規格から拡張された主要な技術について解説する。

2.1 320MHzチャンネル帯域幅

11beでは最大チャンネル帯域幅の拡張として、320MHzチャンネル帯域幅が使用可能となった。320MHzチャンネルは6GHz帯のみで使用可能だ。図1に米国におけるチャンネル配置を示す。6GHz帯の日本・諸外国における現在の対応状況については後でまた触れるが、米国では既に5925-7125MHz帯が制度化され、図に示した6つの320MHzチャンネルが利用可能になっている。日本では2022年9月に実施された電波法施行規則の改正により、5925-6425MHz帯が利用可能になった。さらに2023年12月の改正により、5925-6425MHz帯における320MHzチャンネルの利用が制度化されたため、2024年5月現在では2つのチャンネルが利用可能だ。ただし、図から分かるように320MHzチャンネルは互いにオーバーラップしているため、320MHzチャンネル帯域幅として同時使用可能なのは1つのチャンネルのみである。

320MHzチャンネル帯域幅では、11axで利用可能な160MHzチャンネル帯域幅と比べて、2倍の高速化となる。11beではオプション機能として規定されているが、11beの真価を発揮するために、6GHz帯を搭載する無線AP（Access Point：アクセスポイント）や無線端末では、対応する機器が多くなるのではないかと期待する。



■図1. 米国における6GHz帯のチャンネル配置



2.2 Preamble Puncturing

Preamble Puncturing（プリアンブル・パンクチャリング）は周波数リソースの柔軟な割当てを可能にする技術である。11ac以前には規定されておらず、11axではオプション機能だったが、11beでは必須機能として規定された。

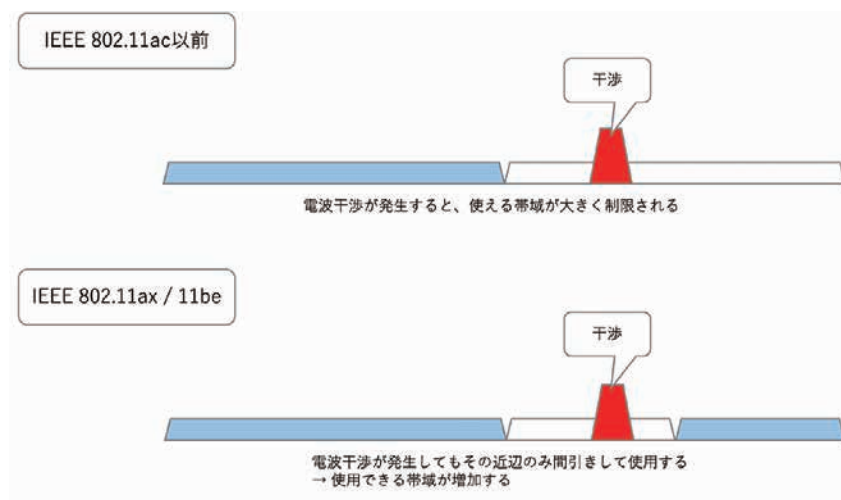
図2にPreamble Puncturingのイメージ図を示す。Preamble Puncturingを用いない場合、連続する20/40/80/160MHzチャンネルの伝送形態のみが可能であった。例えば、Preamble Puncturingを用いていない状態で、広帯域な80MHzチャンネルを使用していたとき、そのチャンネルに狭帯域な20MHz幅の干渉が到来した場合、干渉を回避して自動的にチャンネル帯域幅を縮退させ、20MHzチャンネルまたは40MHzチャンネルを使用することになっていた。これに対して、Preamble Puncturingを用いた状態で同様の状況になった場合、20MHz+40MHzのブロックを同時利用し、60MHz幅相当の伝送レートを確保できるようになった。つまり、広

帯域チャンネルを分断する狭帯域干渉が存在する場合に、当該周波数領域のみをデータ伝送に用いないことにより、他の無線LANへの干渉を回避しつつ、可能な限りの広帯域伝送を実現できるようになったのだ。

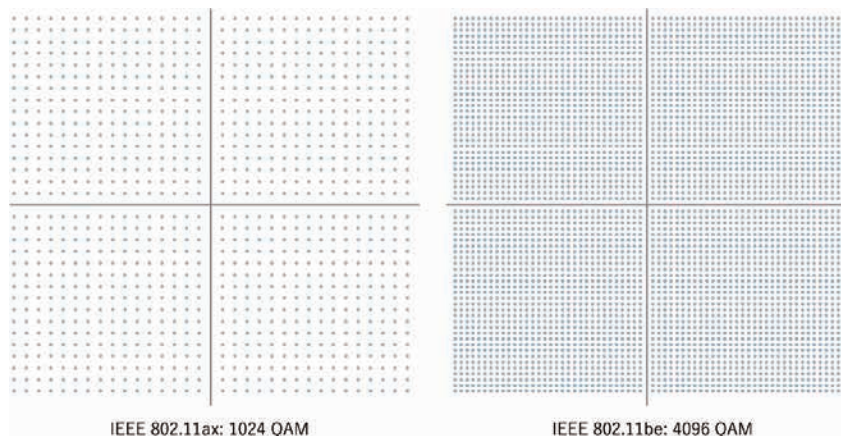
Preamble Puncturingの対象となるチャンネル帯域幅は80/160/320MHz、対象の周波数は5/6GHz帯である。前述したように、6GHz帯の320MHzチャンネルは互いにオーバーラップしているが、320MHzから80MHzブロック分ずつをパンクチャリングすることで、干渉を回避しながら隣り合う240MHz帯域幅を使用可能となる。Preamble Puncturingは、320MHzチャンネル帯域幅との組合せでも効果を発揮すると言える。

2.3 4K QAM

11beでは最大変調多値数の拡大として、4K QAM（4096 Quadrature Amplitude Modulation:4096 直交振幅変調）が使用可能となった。QAMは、デジタル信号を無線で伝



■ 図2. Preamble Puncturing



■ 図3. 4K QAMによる変調多値数の拡大



送可能なアナログ信号に変換する変調方式の一つで、電波の位相と振幅を変化させることで各伝送に多くのデータを組み込み、スペクトル効率を向上させる技術だ。2進数のデジタルデータは正方形のグリッドに配置され、1シンボル当たり2のbit数の累乗分だけ伝送可能となる。その最大変調多値数は世代を重ねるたびに進化を続けており、11nでは64 ($=2^6$) QAM、11acでは256 ($=2^8$) QAM、11axでは1024 ($=2^{10}$) QAMが使用可能だったが、11beでは4096 ($=2^{12}$) QAMが使用可能となった。11beでは11axと比べて2bit分多く伝送可能なので、1.2倍の高速化が実現される。

4K QAMは11beでオプション機能と規定されており、前述の320MHzチャンネル帯域幅よりも高速化への寄与は低いものの、差異化技術として搭載する機器も多くなるのではないだろうか。なお、4K QAMを使用可能な伝送レートは、無線APと無線端末の間の信号強度が強いときにのみ適用され、目安として10m以内の近距離通信時に有効であることが報告されている。特定のユースケースで効果を発揮する技術になるだろう。

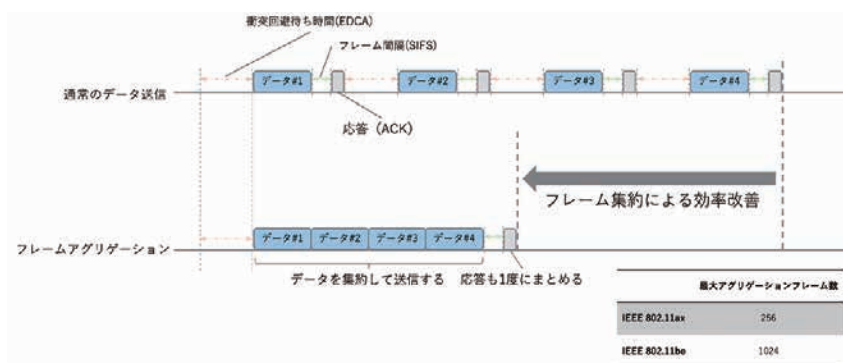
2.4 1024 Aggregation

11beではフレームアグリゲーション（フレーム集約）の技術が拡張された。複数のデータフレームを1つのフレームに集約して伝送するフレームアグリゲーションの技術は従来規格からあったが、その最大フレーム数が11axの256から、11beでは1024まで拡張された。図4に示したように、フレーム集約することで応答を削減できるため、オーバーヘッドが減り実効スループットの改善に寄与する。なお、1024フレームでのアグリゲーションはオプション機能として規定されており、送受信間で事前に利用可能であることを確認できた場合に使用される。

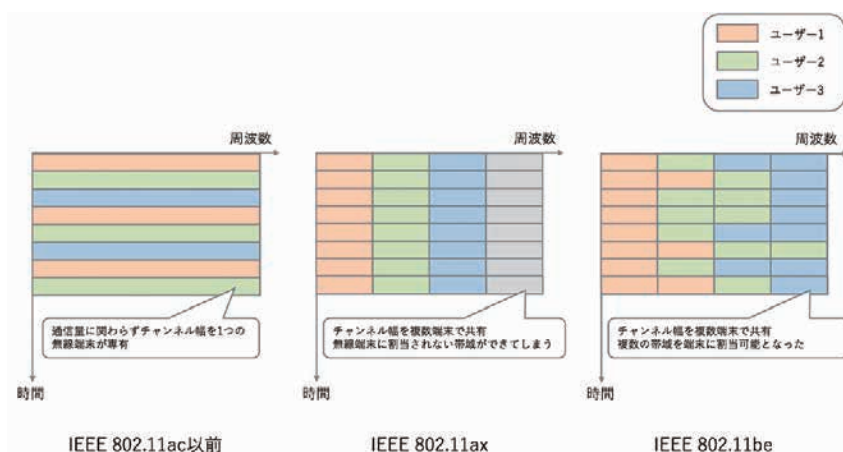
2.5 MRU

MRU (Multiple Resource Unit) は、11axから導入されたOFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access: 直交周波数分割多元接続) を、より柔軟に利用するための技術仕様である。MRUは11beで必須機能として規定されている。

11ac以前では20MHzチャンネル帯域幅を1つの無線端末



■ 図4. 1024 Aggregationによる効率化



■ 図5. MRUによる効率化



が専有していたが、11axで導入されたOFDMAにより、複数の無線端末が利用可能なチャンネル帯域幅を共有し1つの無線APと同時に送受信することを可能にした。OFDMAは、11axにおける最も重要な技術の一つだと言えるだろう。

OFDMAにおけるチャンネル帯域幅を細分化したデータ伝送を行う周波数ブロックのことをRUと呼ぶ。MRUは、無線端末当たり複数のRUを割当て可能とした技術仕様である。図5に、MRUによってOFDMAの利用が効率化するイメージを示した。11axでは、無線端末当たりのRUの割当ては1つのみだったため、図のように使えない部分があった。11beにおけるMRUの導入により、無線端末当たり複数のRUを割当て可能になったため、使えなかった部分が使えるようになったというわけだ。OFDMA伝送時の1ユーザー当たりの伝送レートを高速化でき、またユーザーによって干渉を受けるRUが異なる場合には、干渉を避けるRUを選択することによってロバストに伝送できる。

2.6 R-TWT

R-TWT (Restricted Target Wake Time) は、11axから導入された省電力化機能であるTWTの新しい運用モードである。R-TWTは11beではオプション機能として規定されている。

11axにおけるTWTの運用モードには、Individual TWTとBroadcast TWTの2つがあった。Individual TWTは、無線APに接続している各無線端末が、独立していつスリープしてスリープ解除するのか、その間隔をスケジューリングできる運用モードである。また、Broadcast TWTは、無線APに接続しているあらかじめ決められた無線端末のグループ単位で、一斉にスリープ・スリープ解除する間隔をスケジューリングする運用モードである。

11beでは、既存のTWTの2つの運用モードに加えて、R-TWTを規定した。既存のTWTの目的が省電力化であったのに対

し、R-TWTの目的は低遅延化である。R-TWTでは、周期的に発生する低遅延伝送が求められるトラフィックの送信機会を優先して獲得させる。R-TWTは、あらかじめスケジューリングされた通信期間のうち、一定期間の送信権を優先的に低遅延トラフィックに割り当てることで非低遅延トラフィックとの競合を低減し、低遅延トラフィックをより確実に送信することができる機能である。ゲーミングなど低遅延が求められるユースケースで効果が期待できるだろう。

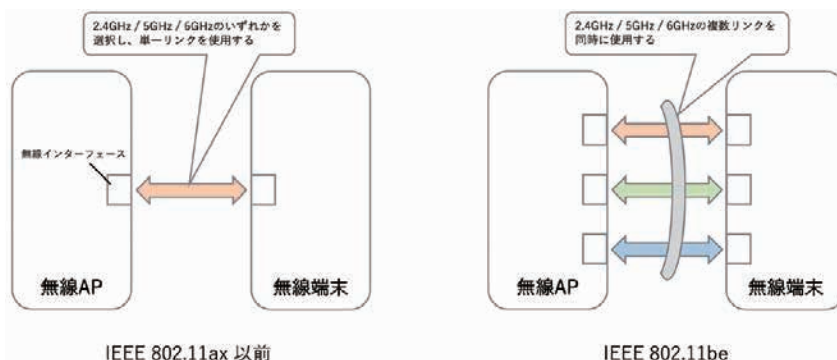
3. 802.11beにおける新規技術

本章では、11beにおける主要な新規技術について解説する。

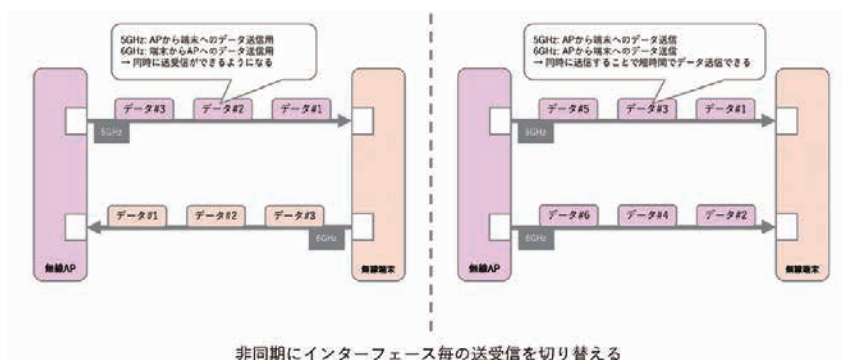
3.1 MLO

MLO (Multi-Link Operation) は、複数のリンク（伝送路）を用いた平行伝送技術である。11beの最も重要な技術の一つであり、無線APでは必須機能として規定されている。MLOを扱う無線APや無線端末等の機器のことをMLD (Multi-Link Device) と呼び、単一の機器に物理的または論理的な複数の無線インタフェースを搭載しているものとする。図6にMLO未使用時及び使用時のイメージを示した。11ax以前は2.4/5/6GHzの周波数帯をそれぞれ独立に通信に使用していたが、11beで導入したMLOではそれらをまとめて通信に使用することで高スループット、低遅延・低ジッターを実現できる。MLOには、STR (Simultaneous Transmit and Receive) モード、NSTR (Non-Simultaneous Transmit and Receive) モード、EMLSR (Enhanced Multi-Link Single Radio) などの複数のモードがある。

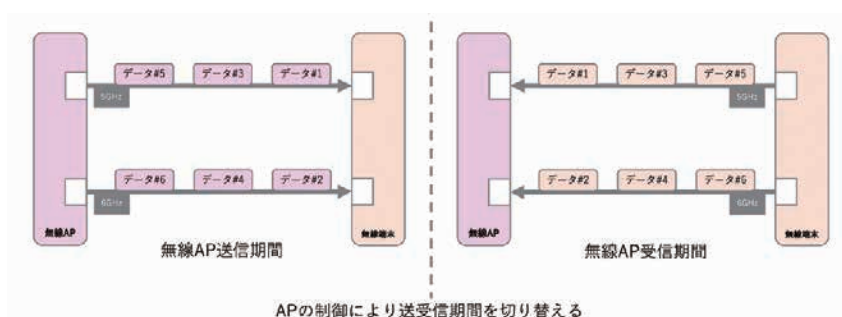
各周波数帯でそれぞれ送信と受信が行える場合は、STRモードが有効利用できる。STRモードのイメージを図7に示した。例えば5GHz帯を送信用に、6GHz帯を受信用に使い分けたり、5GHz帯と6GHz帯の両方を送信用にしたりできる。複数の周波数帯を同時かつ非同期に通信に使用する



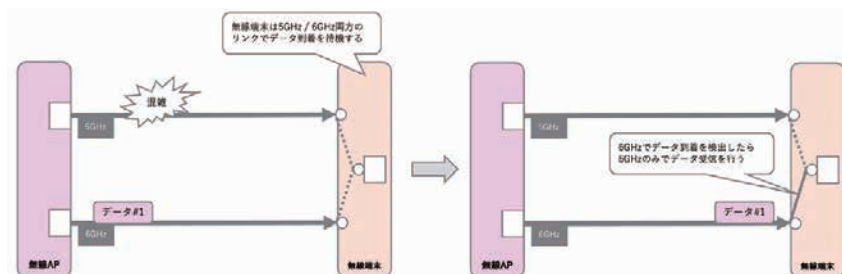
■図6. MLO



■図7. STRモード



■図8. NSTRモード



■図9. EMLSRモード

ことにより、高スループット、低遅延・低ジッターを実現でき、STRモードが利用できることが理想的である。日本国内で既に発売されているWi-Fi 7対応ルーターでは、STRモードによって2.4GHz帯（2アンテナ、40MHz帯域幅）、5GHz帯（4アンテナ、160MHz帯域幅）、6GHz（4アンテナ、320MHz帯域幅）を同時に使用し、1度の伝送で14000Mbps以上の実効スループットを観測したことが報告されている。

複数のリンクが十分に分離されておらず、一方のリンクが他方のリンクの干渉となってしまうような状況では、STRモードがうまく機能しない場合がある。そこでNSTRモードやEMLSRモードが設けられている。

NSTRモードは、一方のリンクが他方のリンクの干渉になってしまうような状況で、リンク間の送信状態と受信状態が混在しないよう、無線AP側の制御により送信期間を同

期させるモードである。図8にNSTRモードのイメージを示した。例えば、5GHz帯及び6GHz帯を同期して同時に送信に使用することで、送信状態と受信状態の混在を避けるといった形だ。NSTRモードは自己干渉を避けながら、11ax以前の単一のリンクでの伝送と比べて高速・低遅延な通信を実現する。

EMLSRモードは、複数のリンクを用いて通信を同時に待ち受け、通信の要求を受け取ったときに単一のリンクでデータの送受信を行うモードである。EMLSRモードのイメージを図9に示した。例えば、まず無線端末側が5GHz帯及び6GHz帯で無線APからの通信を同時に待ち受ける。その後6GHz帯で無線APからの通信の要求を受け取ったときに、6GHz帯でのスループットを向上させるために5GHz帯での通信の待ち受けを止め、6GHz帯でのみデータの受信を行



うといったことが可能である。EMLSRモードでは、特にある周波数帯が混雑しているような状況の場合に、11ax以前の単一のリンクでの伝送と比べて高速化・低遅延化の効果が期待できるだろう。また、筐体のサイズや発熱などの制約で多数のアンテナを搭載できないスマートフォンなどの無線端末では、まず複数の周波数帯についてそれぞれ少数のアンテナを用いて同時に通信を待ち受けし、その後通信の要求を受け取ったときに論理的に周波数帯を切り替え、待ち受けに使っていたアンテナをデータの送受信にまとめて使うことが可能となったことで、アンテナの数を削減できるといった利点もあるだろう。

3.2 EPCS Priority Access

EPCS Priority Access (Emergency Preparedness Communication Service Priority Access: 緊急警報用通信サービス優先アクセス) は、緊急警報を優先的に送信できるように一部認証ユーザーの送信アクセス権を優先する仕組みである。一部の認証ユーザーとは、例えば、米国におけるNSEP (National Security&Emergency Preparedness: 国家安全保障・緊急事態準備) が挙げられる。避難所などの環境下において、あらかじめ認証された無線端末に対し、緊急通報の通信を優先できる。現時点で筆者は、日本におけるユースケースがあるかどうかは把握できていない。

4. IEEE 802.11beとWi-Fi 7認証プログラムの差異

2章・3章では、11WGが策定した11beの標準規格の中でどの機能が必須機能・オプション機能と規定されているかということに触れてきた。一方で、WFAが策定したWi-Fi 7認証プログラムの詳しい内容は、WFA会員のみが参照できる非公開情報であり、本稿では触れられない。しかしなが

ら、WFAのサイト内にあるWi-Fi認証に合格した機器の掲示ページにおいて、どのような検査項目がWi-Fi 7認証プログラムに含まれているか、ということは公開されている。本稿ではこの公開情報を用いて、11beと現在のWi-Fi 7認証プログラムの差異に触れてみたい。

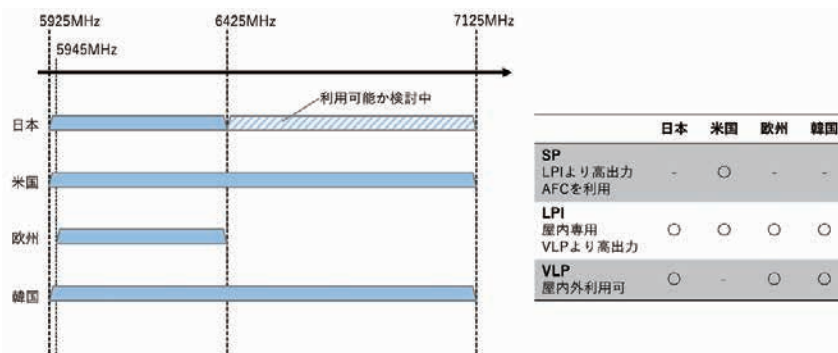
例えば、上述した11beの機能のうち、R-TWTは現在のWi-Fi 7認証プログラムの検査項目に含まれていない。したがって、Wi-Fi 7認証に合格した機器だからといって、必ずしもR-TWTに対応しているとは限らないということである。11beにおけるオプション機能や、Wi-Fi 7認証プログラムにおけるオプション機能、そもそもWi-Fi 7認証プログラムにおいて検査項目となっていない機能は、機器メーカーによって対応するかどうか判断が分かれるだろう。Wi-Fi 7導入における機器選定をする際は、メーカーから公開される機器の仕様表等を確認して、どの機能に対応しているかを確認して欲しい。

前述したように、11WGにおける11beの策定はドラフト版の最終調整段階で、まだ正式版の文書ではない。IEEEから11beの正式版が出版された後、WFAからWi-Fi 7認証プログラムの更新が発表されると予想されるため、Wi-Fi 7認証プログラムの今後の動向にも注目したい。

5. 6GHz帯の各国の対応状況

Wi-Fi 7において重要な技術である320MHzチャンネルを利用可能な6GHz帯の日本・諸外国における現在の対応状況について報告する。最新の情報は、WFAのサイトで確認することができる^{*2}。ここでは2024年5月時点での状況を解説する。

図10に、日本国内及び代表的な諸外国における6GHz帯無線LANの対応状況を示した。6GHz帯における送信電力はその弱い順に、屋内外使用可能なVLP (Very Low Power)、



■図10. 日本・諸外国における6GHz帯無線LANの対応状況

*2 参照: <https://www.wi-fi.org/regulations-enabling-6-ghz-wi-fi>



屋内のみで可能なLPI (Low Power Indoor)、条件付きで屋内外使用可能なSP (Standard Power) の3種類のモードが規定されており、各国の法令で使用可能な周波数帯域が定められている。日本国内では、6GHz帯のうち5925–6425MHz帯はVLP及びLPIで使用が認められている。一方、6GHz帯無線LANの高出力化と周波数拡張については、後述するAFC (Automated Frequency Coordination) システムの妥当性の確認・検討と日本のAFC機能に求められる技術的要件が検討されており、筆者の所属する一般社団法人無線LANビジネス推進連絡会 (Wi-Biz) も検討に参画している。

代表的な諸外国の状況を簡単にまとめる。欧州では5945–6425MHz帯の使用が既に認められている。6425–7125MHz帯の使用については、ドイツ・イギリス・フランスなど欧州内のいくつかの国で検討されている。米国ではAFCの利用を前提に、SPを含めて5925–7125MHz帯の使用が認められている。韓国ではVLP及びLPIで5925–7125MHz帯の使用が認められている。

先に触れたAFCについて解説する。AFCとは、主管庁が一元的に管理するデータベース情報を用いて、利用可能な周波数や出力を計算する仕組みである。図11にAFCのイメージを示した。ここでは米国のFCC (Federal Communication Commission : 米国連邦通信委員会) におけるAFCの運用手順を記載する。AFCシステムは、SPの無線APの登録と認証を行い、当該無線APに対して利用可能な周波数や送信出力の情報提供を行う。まずAFCシステムは、ある場所で運用されるSPの無線APの運用が停止されるまで、当該無線APの登録情報をデータベースに保管する。SPの無線APは1日に1回、利用可能な周波数と周波数ごとの最大送信電力の情報を得るため、AFCシステムにアクセスを行

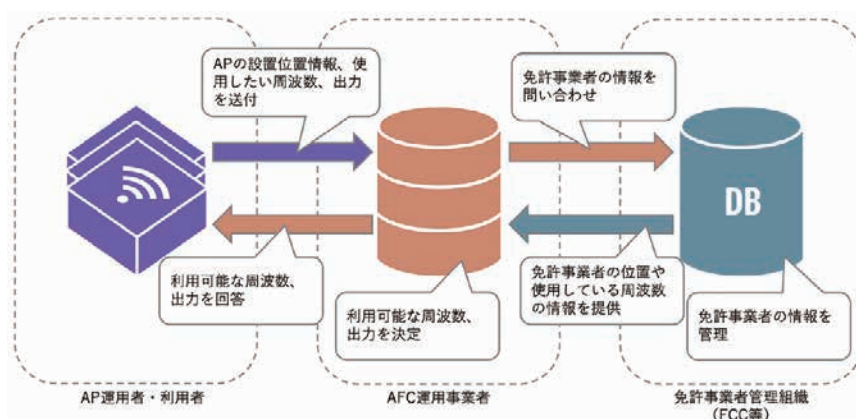
う。AFCシステムは、当該無線APが登録のあった場所で、利用可能な周波数と周波数ごとの最大送信電力を決定し、その情報を無線APに提供する。この仕組みにより、既存事業者と周波数的に共存しながら、6GHz帯でSPを用いてWi-Fiを利用できるのである。

AFCシステムとデータベースは、各国の主管庁により認定登録された事業者によって運用される。米国のFCCは、既に民間企業複数社を認定事業者として登録している。日本における議論の中では、米国のように民間企業がAFC事業者となるのか、もしくは国または国が指定する第三者機関がAFC事業者となるのかも含めて、検討段階である。

6. Wi-Fi 8に向けて

今回は、Wi-Fi 7のベースとなった11beの標準規格策定の経緯から振り返り、Wi-Fi 7に含まれる主要技術の特徴・進化のポイントを解説した。Wi-Fi 7はWi-Fi 6/6Eと比べてさらに高速化・高信頼化を遂げ、私たちの日常的な使用シーンはもちろんのこと、いままでにないアプリケーションでの利用が期待できるだろう。

冒頭の表1で示したように、Wi-Fi 7の次の世代の標準規格の策定が11WGで始まっている。次世代の標準規格である11bnは、2023年11月からTGとして活動を開始した。2024年5月現在、2028年5月の標準化完了を目標に、技術選定の真っ最中である。11bnはUHR (Ultra High Reliability) と銘打ち、より信頼性の高い無線LANシステムの技術とする方向で検討が進んでいる。WFAからWi-Fi 8という名前が発表されているわけではないが、11bnがWi-Fi 8認証プログラムのベースとなると予想されている。ますます誰もが使いやすいWi-Fiになることを期待し、今後の動向に注目したい。



■図11. AFC