

法人ネットワークホワイトペーパーシリーズ

革新的なネットワーク構築： ビジネスシーンを変革するWi-Fi 7 (全5回)

第1回 Wi-Fi 7とは？

Wi-Fi 7

Wi-Fi
6

Increased Speed
and
Capacity

Lower
Latency

Improved
Efficiency

— 目 次 —

1) はじめに	02
2) IEEE802.11とWFAの役割	03
A) Wi-Fiの通信規格を定めるIEEE802.11WG (Working Group)	
B) Wi-Fiの相互接続性を担保するWFA (Wi-Fi Alliance)	
C) IEEE802.11のドラフト版の意味	
3) 無線LAN (Wi-Fi) のこれまでの流れ	05
A) Wi-Fi 4 (11n) より前の時代	
B) Wi-Fi 4 (11n)	
C) Wi-Fi 5 (11ac)	
D) Wi-Fi 6 (11ax)	
E) Wi-Fi 7 (11be)	
4) Wi-Fi 7の特長	08
I. 高速性：MLO、4096QAM、320MHz	
II. 周波数利用効率向上：MRU、Preamble puncturing	
III. 遅延低減、ジッタ：MLO、OFDMA	
5) おわりに	11

本文書は、エレコム株式会社が、特定の商品に関する機能・性能や技術についてより深く理解をしていただくため作成した技術解説参考資料となります。当該商品の利用という目的の範囲内で自由に使用、複製をしていただけますが、当社の事前の書面による承諾なしに、改変、掲示、転載等の行為は禁止します。また、あくまで参考資料であり、内容については一切保証を致しません。なお、当社サポートセンターでは内容に関するお問い合わせは承っておりません。以下の内容をご了承いただいた場合のみご利用ください。(1)当社は、本文書によりいかなる権利の移転もしくはライセンスの許諾、またはいかなる保証を与えるものではありません。(2)当社は、本文書について、有用性、正確性、特定目的への適合性等のいかなる保証をするものではありません。(3)当社は、本文書を利用したこと、または利用しなかったことにより生じるいかなる損害についても責任を負うものではありません。(4)当社は、本文書の内容を随時、断りなく更新、修正、変更、削除することがあります。最新の商品情報については、<https://www.elecom.co.jp/>をご覧ください。



1)はじめに

日本においては2023年12月22日に電波法が改定され、日本市場へのWi-Fi 7製品投入が解禁となりました。2024年9月時点でWi-Fi 7対応製品として複数メーカーから家庭向けにはWi-Fi 7ルーター、企業向けにはWi-Fiアクセスポイントが販売開始されています。当社も法人向けWi-Fi 7対応無線アクセスポイントを発表いたしました。しかしながらPC、スマホ、タブレットのWi-Fi 7対応はこれからであり、まだ普及の段階になったとは言い難い状況です。

この背景には「ドラフト版準拠製品」という言葉に漠然とした不安を感じて購入に二の足を踏まれることがあるかも知れません。また、Wi-Fi 7に関して解説記事が多く見られるようになりましたが、Wi-Fi 7で新たに付加された機能により、具体的にどのようなメリットが期待できるか(どのようなユースケースで有用なのか)について十分な説明がなされておらず、ユーザー視点から、現在使用しているWi-Fi製品のアップグレードのタイミングをつかみきれていないことも考えられます。そこで本ホワイトペーパーシリーズでは、まず、ドラフト版の意味を、IEEE、WFA(Wi-Fi Alliance)等の組織の関係を紹介しながら説明し、ドラフト版が正規版出荷の前の暫定版という位置づけではなく、WFAで正規認証プログラムが開始されているという意味では既に正規版であることを紹介します。また、Wi-Fi 7で向上した主な機能や、ユーザーが導入する際にどのようなメリットがあるかについても詳しく解説します。Wi-Fi 7の性能を十分引きだして活用いただけるよう、その制約についても紹介します。

まず、第1回「Wi-Fi 7とは？」で、Wi-Fiに関係する機関の紹介、ドラフト版の意味、Wi-Fi 7に至る無線LANの流れ、およびWi-Fi 7の現状を紹介します。

今後、以下の内容を5回にわたってお届けする予定です。

第2回:「Wi-Fi 6 vs Wi-Fi 7」と題し、Wi-Fi 7の主要技術に対してWi-Fi 6の仕様との対比を行いながら浮き彫りにします。

第3回:Wi-Fi 7のユースケースの1つであるWeb会議に代表されるリアルタイムアプリケーションを念頭にWi-Fi 7の各機能を議論します。

第4回:別のユースケースとして、高効率・高密度(子機が1つのBSSに多く存在している場合)の場合にWi-Fi 7がどのように威力を発揮するかを見ていきます。

第5回:「デュアルバンド vs トライバンド」について議論します。現在市場に出回っているWi-Fiルーター/APは低価格性を追求した2.4GHz-5GHzの2バンド品(デュアルバンドとも言われます)、高機能を追求した2.4GHz-5GHz-6GHzの3バンド品(同トライバンド)がそのほとんどを占めています。この回では、3バンド品がどのようなユースケースでより効果を発揮するかについて説明します。

マネージ Wi-Fi 7 18700Mbps
スタンダードモデル
無線アクセスポイント

WAB-BE187-M



エレコムWi-Fi 7対応法人向け無線アクセスポイント。トライバンド対応により2.4GHz、5GHz、6GHzの周波数帯の同時通信を実現。これにより高速、低遅延の通信を実現するだけでなく、最大768台(各帯域256台)のデバイスをスムーズに接続可能。

<https://www.elecom.co.jp/products/WAB-BE187-M.html>



2) IEEE802.11とWFAの役割

A) Wi-Fiの通信規格を定めるIEEE802.11WG (Working Group)

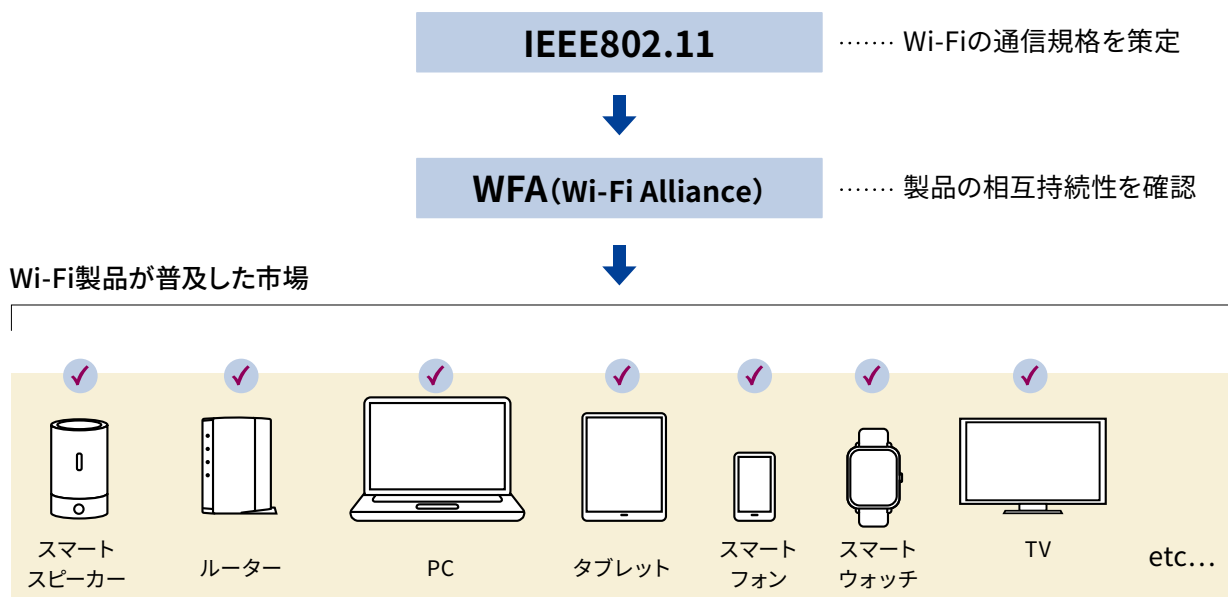
IEEE(アイトリプリー)はInstitute of Electrical and Electronics Engineersの略で、米国に本部を置く学術研究団体であり、その下部組織であるIEEE SA(Standards Association)では工業分野の標準化を行っています。さらにその下部組織であるIEEE 802委員会はLAN、MAN、PAN等の標準策定に携わっており、例えば802.3WG (Working Group)では有線LAN、802.11WGでは無線LANを扱っています。米国が母体の学会ではありますが、そこで策定された規格は実質世界の標準となっており、無線LAN系の技術規格としてIEEE 802.11が商業的に成功したといえます。

B) Wi-Fiの相互接続性を担保するWFA(Wi-Fi Alliance)

規格書が策定されても、半導体チップへの機能の実装に自由度が存在するため、無線LANの黎明期には違うメーカーの製品同士で通信がうまくできないことが度々発生していました。通信チップとしては、相互接続に支障をきたす状況は市場の発展に致命的となります。このため相互接続性を担保する団体としてWECA(Wireless Ethernet Compatibility Alliance)が1999年に設立されました。その後2003年にWi-Fi Allianceに改名し、無線LANのブランド名としてWi-Fiが採択されました。

IEEE 802.11とWFAの役割分担は、前者が規格化を行うのに対して、後者は規格が実装された製品の相互接続性を確認することにあります。

ただし、規格の中では必須機能とオプション機能が分かれています。この線引きはIEEEとWFAで必ずしも同じではないので注意が必要です。



現在様々な製品に無線LANが搭載されているが、Wi-Fi認証プログラムに準拠した製品であれば、相互接続性が担保されている。

図1 IEEE802.11ワーキンググループ、WFA、無線LAN市場の関係

その後、無線LAN技術が発展していくにつれて、多くのアルファベットの規格が出てきて、「アルファベットのスープ」と揶揄されるような事態になりました。このためWFAでは、規格の中のメインストリームを、数字を冠して呼ぶように変更し、現在に至っています。すなわち11nはWi-Fi 4、11acはWi-Fi 5、11axはWi-Fi 6、11beはWi-Fi 7となります。なおWFAとしてはWi-Fi 4より前の規格については、団体として世代定義についての正式なアナウンスは行っていません。

C) IEEE802.11のドラフト版の意味

IEEE802.11では、何年かかけてドラフト版を改定させながら規格書を完成させます。チップベンダーの立場からすると、先行者利益を得るために、なるべく早くチップを市場に投入しようとするので、規格書の完成を待たずにドラフト版に準拠したチップを出しがちです。これがWi-Fi 市場の黎明期ではしばしば混乱の原因となりました。規格化の議論が十分収束する前にチップを投入するベンダーがいて、その後チップを投入したベンダーの製品との間で相互接続性の問題が発生したのです。現在ではこのような混乱した時期は過ぎ、規格化完了前のドラフト版でも仕様が十分固まるのを待ってWi-Fi Allianceが認証プログラムの開発を始めています。例えば、Wi-Fi 7ではIEEE802.11beのDraft3.0版のタイミングで認証のテストプランが作られました。Wi-Fi 7認証プログラムの開始は2024年1月8日にWFAのホームページで正式にアナウンスされました。またそれに合わせて、日本の総務省が国内でもWi-Fi 7製品が出荷できるように電波法を2023年12月22日に改定しました(大きな改定点は、6GHzにおいて占有帯域幅が320MHzに拡張されたことです)。ドラフト版の改定が進み、最終規格書が完成した際(11beでは2024年12月規格化完了と言われています)に機能の追加、改定等が全くないという保証はありませんが、少なくともWFAの認証プログラムの必須機能に追加がなされるようなことは避けられるよう配慮されています。言い換えると、IEEE802.11WGでのドラフトの完成度が、必須機能の追加改定がこれ以上発生しなくなった段階でWFAの認証プログラムが策定されます。このため、Wi-Fi 7の認証プログラムを取得した製品は、その後、規格書が完成した後に開発されたチップを搭載した製品に対しても、必須機能での相互接続性は担保されています。Wi-Fi 6の場合も認証プログラムのRelease 2が公開されましたが、Release 1に対して必須機能の追加はありませんでした(テストプランは、古い製品との互換性に特に注意が払われていますが、新しい製品との互換性についても十分に検討されているといえます)。従って今回の場合、製品がIEEE802.11beの“ドラフト版準拠”であってもWFAが定めた“Wi-Fi 7のテストプランに準拠”しているものであれば、将来にわたって安心して使用することができると言えます。

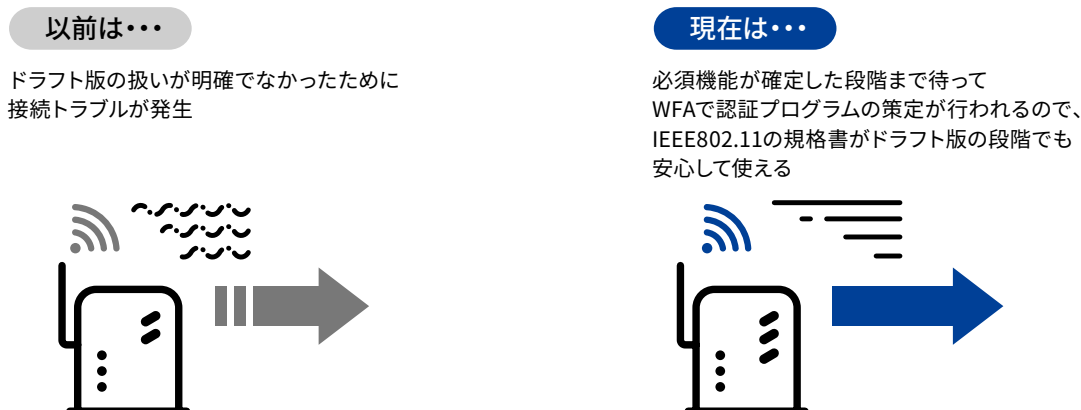


図2 IEEE802.11の規格書とWFAの認証プログラム

3) 無線LAN (Wi-Fi) のこれまでの流れ

A) Wi-Fi 4(11n) より前の時代

1997年6月にIEEE 802.11系無線LAN規格で初めてのIEEE802.11が策定され、速度は2Mbpsでした。その後1999年10月に11bが策定され、最高速度は11Mbpsになりました。当時Ethernetは10Mbps製品が普及していたため速度の面でも有線LANとの整合性ができ、無線LANの普及が加速しました。

1999年にはWFAの前身であるWECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) が設立。無線LANの技術が単にEthernet (有線LAN) の無線化にとどまらない発達を目指し、2003年にはWECAがWFA (Wi-Fi Alliance) に改名されました。また、802.11系の無線LANの製品に「Wi-Fi」というブランド名を使用することが決まり、その後Wi-Fiが無線LANの一般呼称として市場で定着しました。

11bと同時期に11aも規格化されています。変調方式にOFDMが採用され速度も54Mbpsと高速でしたが、5GHzのチップが安価にできるのに時間がかかるなどしたため、その普及は11bよりも遅れました。2003年には11aの2.4GHzバージョンともいべき11gが策定されました。

表1 Wi-Fiの進化(第4世代以降)

世代	第4世代	第5世代	第6世代	第7世代
IEEE802.11の規格名	11n	11ac	11ax	11be
規格完了時期	2009年9月	2014年1月	2021年2月	2024年9月
IEEE802.11のPAR名	HT (High Throughput)	VHT (Very High Throughput)	HEW (High Efficiency WLAN)	EHT (Extreme High Throughput)
WFAの呼称	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
空間多重度	4	8	8	8
最大物理層速度	600Mbps	6.9Gbps	9.6Gbps	46Gbps
前世代からの増加率(速度)	11.1倍	11.5倍	1.39倍	4.79倍
速度以外の特長	MIMO OFDM (区間多重、堅牢性向上)	DL MU-MIMO (多重アクセス)	UL MU-MIMO OFDMA (多重アクセスその2)	MLO (リンク多重) (高速、堅牢性向上)



B) Wi-Fi 4(11n)・・・2009年9月規格化が完了

前世代の11a/11gのOFDM技術をベースにMIMOを取り入れ飛躍的に高速性、安定性を向上させました(速度向上率11.1倍)。

MIMO OFDMの導入によって空間多重技術により速度が飛躍的に増大したと同時に(複数本のアンテナでの通信が一般化することにより)それまでの無線の脆弱性(通信品質)を大幅に改善。その後世代を経るごとにWi-Fiが進化してきていますが、MIMO OFDMの導入により画像伝送等、リアルタイムアプリケーションのためのベースができたといえます。実際それまでの無線LANは通信が脆弱なので、パケットも干渉確率を下げるために分割(フラグメンテーション)する技術があった程ですが、MIMO OFDMをベースにした11nでは逆に高速化のためにアグリゲーション(パケットを束ねて伝送すること)の手法も取り入れられました。物理速度が向上してパケット長が短くなったことにもよりますが、通信チャンネルが堅牢化しないと普及が困難な仕様といえます。

C) Wi-Fi 5(11ac)・・・2014年1月に規格化が完了

前回の規格改定と同じく、無線LAN市場の拡大化を背景に高速性が大幅に増大しました(速度向上率11.5倍)。また、スマホからインターネットにアクセスする事が一般的になったこと(親機のアンテナ数と子機のアンテナ数が異なる)などから、ダウンリンクのマルチユーザーMIMOが導入されました。一般的には親機と子機のアンテナの本数が異なる場合は、その少ない方の本数までの空間多重度しか扱えません。例えば親機が4本アンテナ(4空間多重)で子機が2本アンテナ(2空間多重)の場合、それまでのMIMOでは2多重(2倍速)までしか使えませんでした。しかし、ダウンリンクのマルチユーザーMIMOが導入され、親機の2本分のアンテナと1つの2本アンテナの子機が、また親機の別の2本のアンテナと別の2本アンテナの子機が並列に2空間多重で通信ができるようになりました。このため、親機と子機のアンテナの数が非対称でも親機のアンテナを無駄にせず利用できるようになりました(厳密にはアンテナの本数を増やすとダイバーシティ効果により距離性能等が向上するので、親機子機のアンテナの数が非対称であっても親機の余剰アンテナが全く無駄になるという事はありません)。また11acでは高速性を担保するために、遅いレガシー機器が多い2.4GHz帯ではなく、5GHz帯専用の規格となりました。

D) Wi-Fi 6(11ax)・・・2021年2月に規格化が完了

これまでは、主に1対1の通信での高速性、距離特性の改善に注目が集まっていましたが、無線LANが普及し同時に接続される端末の数が増えてくると、輻輳の抑制がより重要な課題となりました。高速性ととも、輻輳の大幅な低減が注目されるようになったのです。これを受けて、802.11でのプロジェクト名称もHigh Efficiency Wireless LANとなりました。11axの目玉技術の1つであるOFDMAも高速性に直接貢献するというよりは、マルチアクセスを円滑に行うための技術といえます。高速性は1.39倍とわずかな進化ですが、OFDMA以外の主要技術として、第5世代で導入したダウンリンクマルチユーザーMIMOをアップリンクにも拡張、近接BSS間の干渉を抑えるため、BSS Coloringを採用しています。

また、低消費電力化のためにTWT(Target Wake Time)を採用しました。これはSleepするタイミングを各子機が独立で指定できるという技術です。さらに堅牢性向上のためDCM(Dual Carrier Modulation)も導入しています。これは、2つのサブキャリアに同じ信号を載せることで、どちらかがノイズや干渉で妨害されても通信が可能となる技術です(周波数利用効率を犠牲にして堅牢性、長距離特性を向上させた)。使用する帯域については、11acでは5GHz専用でしたが、11axでは2.4GHz、5GHzの2バンドに復活しました。



2022年9月には日本で6GHz帯が無線LANに開放(開放時期は各国で異なる)され、無線LANが3バンド使用できる時代が到来しました。ただし、6GHz帯は第6世代(11ax)以降の規格製品のみが使用できます。このため、旧来(Wi-Fi 5より以前)の規格の端末は6GHz帯を使用できないというデメリットがある反面、6GHz帯には古い規格が無いためにレガシー機器と共存の為にプロトコルも必要なく、11ax以降の端末が高速で通信できるというメリットがあります。Wi-Fi 6が市場に投入された後に6GHz開放が行われたので、Wi-Fi 6かつ6GHzをサポートしている製品をWi-Fi 6Eと呼んでいます。規格上はWi-Fi 6とWi-Fi 6Eは同じ11axです。従って、Wi-Fi 6EはWi-Fi 6と別の規格というよりは、バンドとして6GHzをサポートしたWi-Fi 6という位置づけとなります。WFAのテストプランとしては、Wi-Fi 6EはWi-Fi 6 Release2に内包されています。

E) Wi-Fi 7(11be)・・・2024年12月規格化完了の見込み

Wi-Fi 7では再び高速性に注目し、最高速度は約4.8倍になりました。Wi-Fi 6ではサービスエリアに端末が多くいる場合の性能劣化を抑える技術等が規格化されましたが、Wi-Fi 7ではVR(Virtual Reality)やXR(Extended Reality)等低レイテンシー、低ジッタが必要なアプリケーションにWi-Fiが使えるよう技術が織り込まれています。また、多くの端末がチャンネルを共有できるように、周波数利用効率向上の技術も織り込まれています。

4) Wi-Fi 7の特長

I. 高速性：MLO、4096QAM、320MHz

Wi-Fi 6と比較して合計で約4.8倍高速になりましたが、それは主にQAM変調の高度化、占有帯域幅拡張、MLOで実現しています。QAM変調はWi-Fi 6の1024QAMから4096QAM、すなわちOFDMのサブキャリアに載る情報量を10ビットから12ビットに増やし、20%の高速化を実現。また占有帯域幅はWi-Fi 6の160MHzから320MHzになったので2倍になりました。MLOはMulti-Link Operationの略で、1対1通信に対して、バンドを複数束ねて送る技術です。どの位高速化ができるかは束ねるバンドの本数、またそのバンドで使用できる占有帯域幅の値で異なります。多くの文献でWi-Fi 7の最大速度は46Gbps(Wi-Fi 6の9.6Gbpsの4.8倍)となっていますが、日本の法制度下では320MHzモードの6GHz1つ、160MHzモードの5GHzを2つ使用すると実現できます。速度の増加分を合計すると、1.2倍(QAM向上からの寄与) × 2倍(占有帯域幅増加からの寄与) × 2倍(MLOからの寄与) = 4.8倍となります(ちなみにWFAからの発表を見ると2.4GHz(20MHz)+5GHz(160MHz)+6GHz(320MHz)の組み合わせで最大36Gbpsの速度が出せるとしています)。

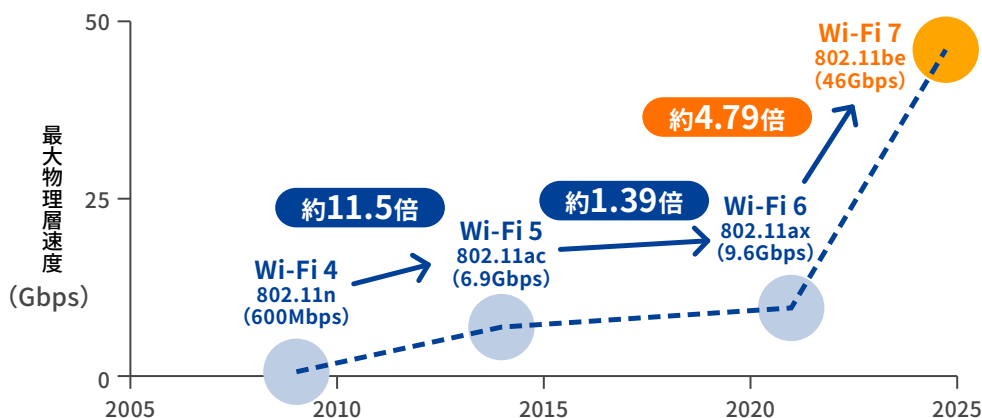


図3 Wi-Fiの速度の変遷



II. 周波数の利用効率向上:MRU、Preamble puncturing

Wi-Fi 6からOFDMAが採用されました。これにより、OFDMシンボルを構成するサブキャリアを複数に分割して、各サブキャリアの束を別の端末との通信に並行して使えるようになりました(マルチプルアクセス)。サブキャリア26本で構成する(周波数)リソースユニットを26-tone RU(Resource Unit)といい、例えば20MHzのOFDMシンボルはこれにより9分割されます(最大9個の子機と同時に通信が可能)。RUのサイズ(束ねるサブキャリアの本数)は複数あります。ただ、Wi-Fi 6では各端末に割り付けられるRUはそれぞれ1つのみでした。Wi-Fi 7からはこの制約が取れて、1つの端末に複数のリソースユニットを割り付けることができるようになりました(MRU: Multi-Resource Unit)。これにより、通信量の異なる複数の端末に割り付ける周波数資源の自由度が増し、利用効率が上がりました。MRUのコンセプトを図4に示します。

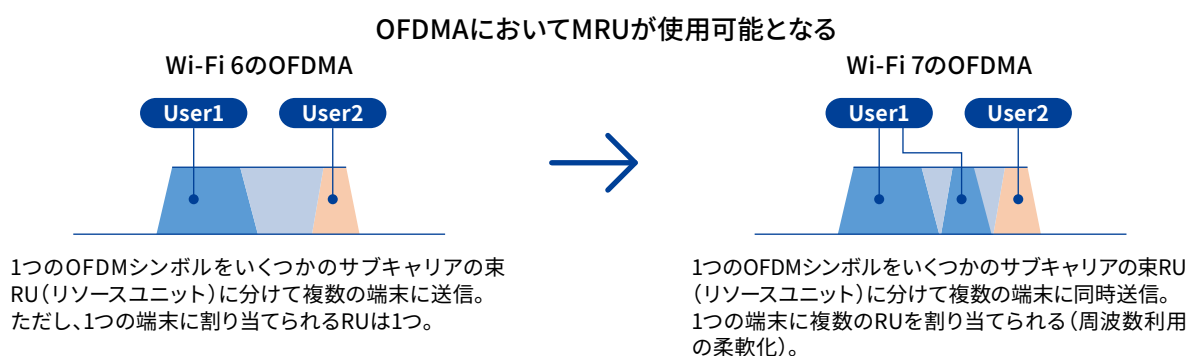


図4 Multi-Resource Unitの概念図

また周波数利用効率を上げる技術としてPreamble Puncturingがあります。これは占有帯域幅の広いチャンネルで通信している時に干渉が発生すると干渉波がある帯域から上、もしくは下の帯域が使用できなくなったのに対して、干渉波がある帯域だけ20MHz分中抜きをして残りの帯域で通信が継続できるようになったというものです。データ領域だけでなくパケットのプリアンブルの部分までその周波数帯域を除いて通信するのでPreamble Puncturing(穴あけ)という名前になっています。80MHzのモードの時に、下から3番目の20MHzチャンネルに妨害波が到来した時に、Preamble Puncturing導入前後でどのように周波数利用効率が向上するかを図5に示します。

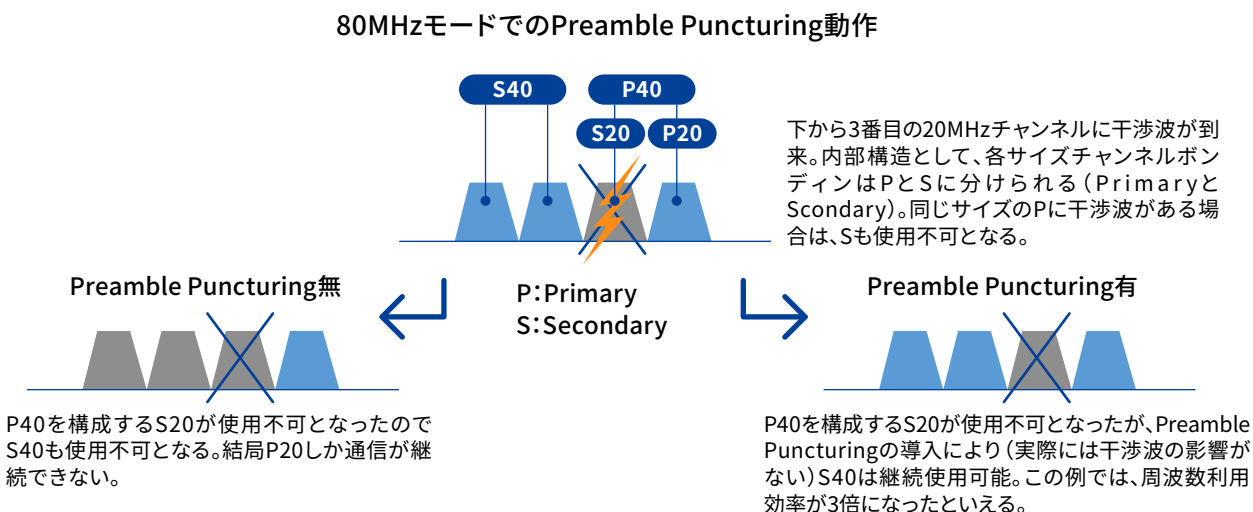


図5 Preamble Puncturing(80MHz占有帯域幅)



Ⅲ. 遅延低減、ジッタ：MLO、OFDMA

遅延とは応答のタイミングが遅れる度合い、ジッタとはそのばらつきを示します。どちらもファイルの送受信、メールのやり取りなどの際にはあまり気になりませんが、対戦型ゲームやVR/XRなどのリアルタイムアプリケーションを使用しているときは重要な指標となります。無線LANでは、CSMA/CAというアクセス方式を採用しています。複数の端末が同じタイミングで送信を行うと衝突が起こり、受信側が正しく信号を受け取ることができません。このため時間を各々違うタイミングでずらして再送します。端末数が増えるなど通信量が增大すると衝突回数が増え、送信が完了するタイミングがばらつき、かつ平均値は大きくなるためジッタや遅延が増大していきます。

この問題を解決する手段として、いくつか施策が設けられています。1つはⅡの周波数利用効率のところで紹介したOFDMAです。20MHzの帯域を用いれば同時に最大9つの通信が同時に行え、帯域を増やせばそれにつれてより多くの端末の並行同時通信が可能となります。周波数リソースを分割しているだけなので、合計の最高速度を上げるわけではないですが、大幅なジッタ、遅延改善が見込めます。OFDMAは11axから採用されていますが、11beではこのRUを1つの端末に対して複数割り当てることができるようになったため、周波数資源をより無駄なく使用することができるようになりました。ⅡのところすでにMRUについては図で説明しました。OFDMA自体は11axから採用されている技術ではありますが、遅延やジッタを改善するイメージを図6に示します。

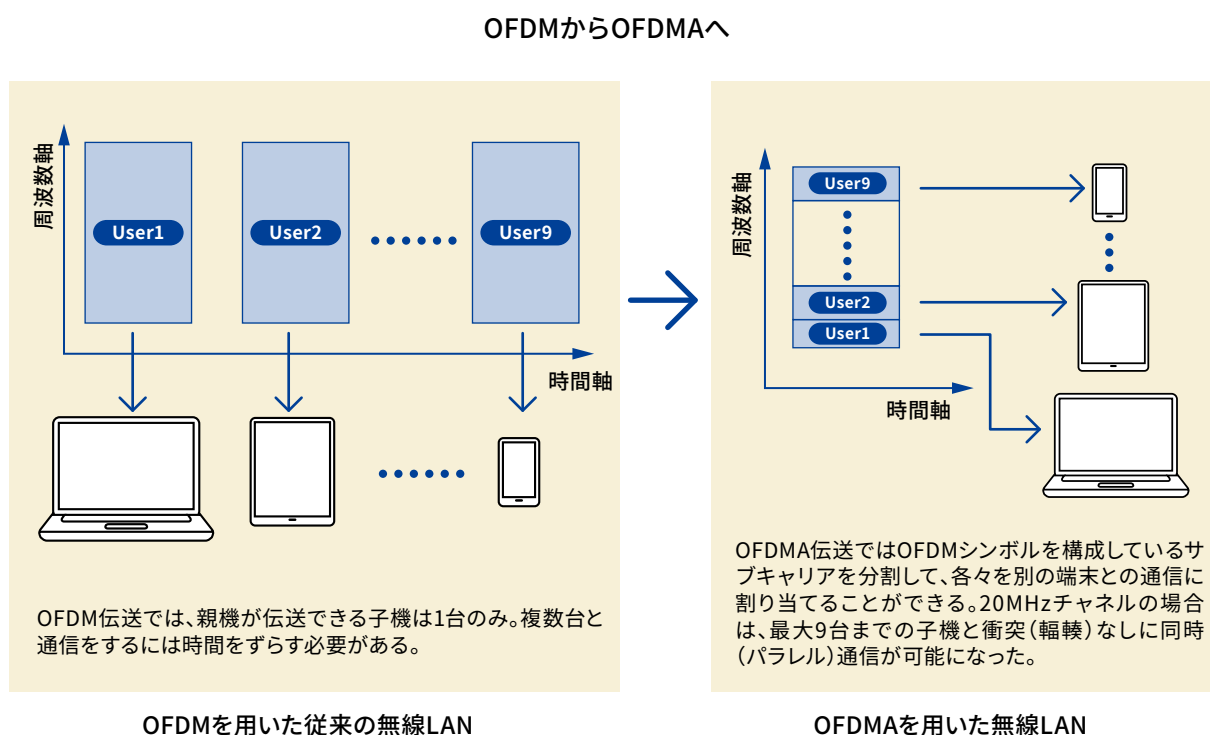


図6 OFDMからOFDMAへ(複数の端末の同時アクセスが可能となる)

一方、高速性で取り上げたMLOも低ジッタ、低遅延化に大きく貢献します。MLOが複数のバンドを束ねて通信が可能となるため、例えばストリーミングを流している際に、電子レンジを動作させるとブロックノイズが発生するなどの不具合が生じやすいですが、MLOを使って例えば2.4GHz、5GHzのバンドを同時に接続させていた場合には、5GHzのチャンネルでの通信量を増やすことでスムーズな通信が維持できます。従来の1つのバンドで通信している場合とWi-Fi 7対応APでMLOにより3バンドで通信している場合において、干渉波が到来したときの挙動について図7に示します。

Wi-Fi 7以前のAPとWi-Fi 7 APの比較

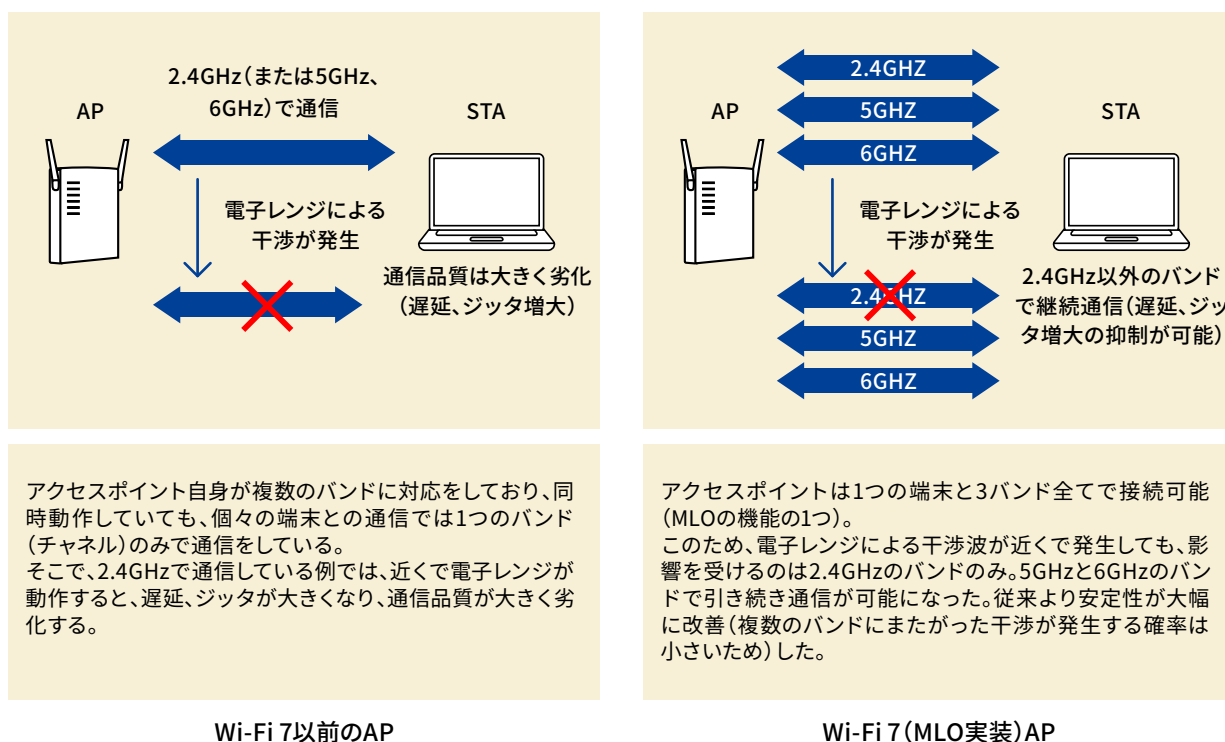
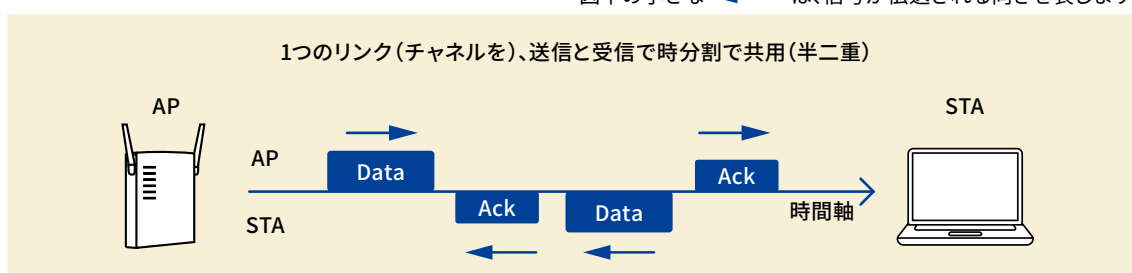


図7 MLOの採用により干渉波による影響を大幅に改善

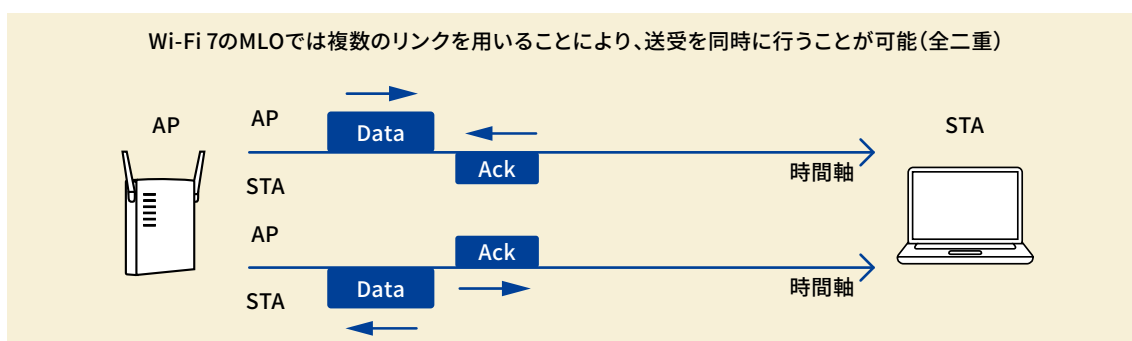
また、無線LANは半二重方式をとっており、送信している間は受信ができません(1つのチャンネルを時分割で共有するため)。しかしMLOを活用すれば送受同時通信が可能となり、送信もしくは受信の PACKET がお互い待たされることなく送ることが可能となります。これもジッタ、遅延の改善に貢献します。ただし、これはMLOでもSTR(Simultaneous Transmit & Receive)のモードが必要となります。これについて詳しくは、連載第3回で説明します。半二重を全二重の差を図8で示します。

従来の半二重通信から全二重通信へ

図中の小さな ← は、信号が伝送される向きを表します。



従来無線LANの半二重通信



Wi-Fi 7のMLOを活用した全二重通信

図8 MLOによる全二重通信

5)おわりに

Wi-Fi 7を紹介するホワイトペーパーシリーズ(全5回)の第1回目として、Wi-Fi市場を理解するために必須のIEEE802.11委員会とWFA(Wi-Fi Alliance)について紹介し、IEEE802.11beのドラフト版に準拠した製品でも、WFAの認証プログラムの正規版であることを説明しました。また、Wi-Fi 7の説明に先立ち、これまでのWi-Fiの進化について説明しました。最後にWi-Fi 7の主な機能について紹介しました。連載第2回では、Wi-Fi 7の各機能についてより詳しく説明を行います。