

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4回 より多くの端末収容を実現するWi-Fi 7  
【高効率・高密度の実現】

A central graphic featuring the text 'Wi-Fi 7' in a large, bold, yellow font. Below it, 'Wi-Fi 6' is written in a smaller, white font. The background is a dark blue and purple gradient with numerous bright, multi-colored light trails radiating outwards from the center, creating a sense of speed and technology.

Wi-Fi  
7

Increased Speed  
and  
Capacity

Lower  
Latency

Improved  
Efficiency

## — 目 次 —

1) はじめに .....	02
2) 規格値としての通信容量を上げることによる収容端末数の増加 .....	02
3) 収容端末数と旧規格の子機の存在の関係 .....	04
4) 輻輳、干渉低減による収容端末数の増加 .....	09
A) MLO (Multi-link Operation) .....	09
B) OFDMA .....	09
C) Preamble Puncturing .....	10
D) MU-MIMO .....	10
5) まとめ .....	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

第4回目となる本稿では、アクセスポイント(以下、APと称する)がBSS(Basic Service Set)<sup>\*1</sup>を構成した際に、Wi-Fi 7でどのように収容端末台数が増やせるかを見ていきます。

まず初めに、規格上の最大通信速度が、バンドごとにどのような値となるかを確認します。例えば、この値が現在使用している製品に対して倍になれば、収容可能な最大子機数も単純に倍になります。次にBSSを構成する際に、親機のAPの性能だけでなく、BSSに収容される子機がどのようなものであるかによって、どの程度ネット合計の速度に影響してくるかを見ます。最後に、これまで紹介してきたWi-Fi 7を中心とした無線LANの新しい規格によって、どのようにネットの速度を改善できるかを議論します。

## 2) 規格値としての通信容量を上げることによる収容端末数の増加

収容可能最大端末を増やすには、最大速度を上げる事、輻輳などを低減し実質的な利用効率を上げる事が重要となりますが、まず、最大速度がどのように向上してきたかを見ます。図4-1に、11n(Wi-Fi 4)以降の各規格の物理層速度(理論値)進化のグラフを各バンドに対して示します。灰色が2.4GHz、青色が5GHz、橙色が6GHz帯です。通常、各規格の速度の向上を議論するときには、バンドを分けずに規格毎に、最大値をとれるパラメータを用いて比較します。しかし本稿では、1つのAP(BSS)でどのように端末収容率を上げていけるかを見るので、通常よりも分解能を上げて、バンドごとに速度を見ていきます。また、図4-1を計算する際に、ストリーム数は2本に、帯域幅は各バンドで設定することができる最大値(すなわち2.4GHzでは40MHz、5GHzでは160MHz、6GHzでは320MHz)にしてあります。11ac以降の規格値の最大ではMIMOのストリーム数は8ですが、実際の市場では、親機は4ストリーム、子機は2ストリームが主流だからです。MIMOのストリーム数はバンドに依存せず、速度と比例関係にあるので、例えば4ストリームにご興味のある方は、図4-1に記載の値を2倍にいただければ、4ストリームの場合の速度の変遷のグラフとなります。また各バンドの値に注目しているので、Wi-Fi 7(11be)でもMLOによる速度増加はカウントしていません。デュアルバンド、トライバンドのAPにご興味のある方は、それぞれのバンドの値を足し合わせていただければと思います。

\*1 BSSとは、無線LANネットワーク内での基本的な通信単位であり、通常1つのAPとそれに接続された端末で構成されます。



<図4-1からわかること>

まず、グラフの中で一番傾きが急なのは(つまり速度向上率が高いのは)、6GHzの速度が2.4Gbpsから5.8Gbpsに増加する所です。これは主に占有帯域幅の最大が160MHzから320MHzに拡張されたことにより、帯域幅が倍になった分、電力密度は半分になり距離特性は落ちますが、AP近くの子機が320MHzモードで高速通信を行う事により、チャンネルの使用時間を別の端末に開放することができる為、実効的に収容端末数を増やす事ができます。

次にバンド毎の違いについて見てみます。

2.4GHzは、規格が進化しても速度の増加は他の2バンドに比べてあまり高くありません。これは占有帯域幅が11nで40MHzになった後、頭打ちになっている事が主たる理由です。この為、電波特性上、最も障害物に対する回り込みがしやすい等のメリットはありますが、速度的には他のバンドに比べて期待できません。また、ISMバンド\*2で干渉を受けやすいという事もあり、2.4GHz帯無線LANの子機が無視できない比率で存在することを考えると、無線LANの接続口としては必須ですが、ネットワークのトラフィック管理の観点からは、あくまで5,6GHz帯のバックアップの位置づけと考えるほうが良いかも知れません。

次に5GHzですが、規格が新しくなることにより2.4GHzに比べると順調に速度を上げてきていますが、傾きが鈍化しています。これは、占有帯域幅が160MHzで頭打ちになっているからです。

最後に6GHzです。無線LAN用に使用できる帯域が、日本でも連続な帯域として500MHz(ガードバンド含む)あるので、320MHzモードが使用できます。6GHzの開放は2022年9月に11ax(Wi-Fi 6)の規格完了後でしたので、11axは320MHzモードを使えませんが、その後の規格の11beになり320MHzが使えるようになりました。以上をまとめると、3バンドでサポートする速度が大きく異なっており、図4-1を見てもわかるように、子機収容台数を上げるには、6GHzを中心にしたマルチバンドAPの導入が効果的と言えます。速度向上には、最大占有帯域幅の増加が大きく寄与しています。その意味では、2.4GHzはあまり速度向上を期待できません。また、周波数幅を増やせばそれに比例して速度を上げることができますが、一方で、干渉する確率も高くなります。干渉回避には後述するように、Wi-Fi 7で本格的に導入されたPreamble Puncturingが大きな役割を果たすこととなります。

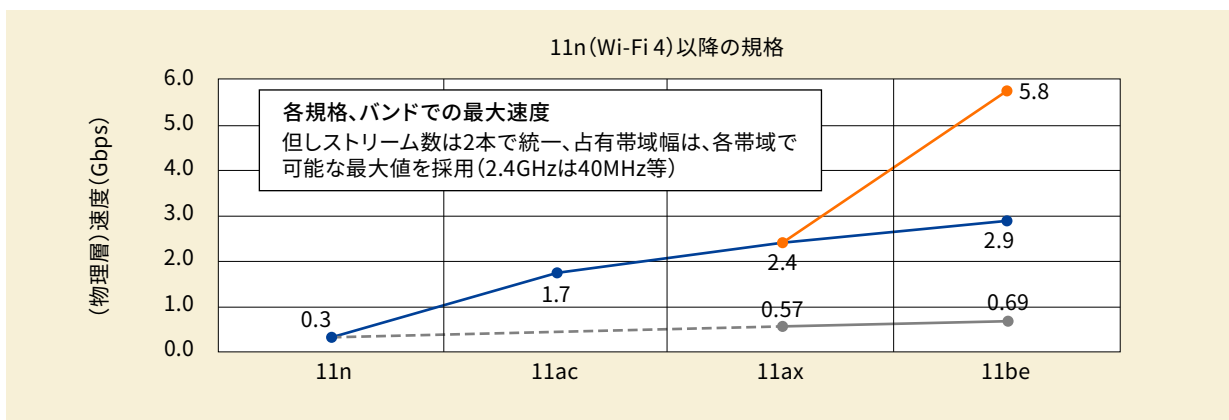


図4-1 11n (Wi-Fi 4) 以降の規格速度 (2ストリーム) の進化

\*2 ISMバンド (Industrial Scientific and Medical band) は、本来は通信以外の、工業・科学・医療の目的に使用するために設けられた周波数帯で、現在は混信を容認することを前提に、無線LANやBTのような無線通信にも使用されています。

### 3) 収容端末数と旧規格の子機の存在の関係

無線LANの規格が新しくなると、性能が向上しBSSの端末収容数も向上します。しかし実際のオフィス環境では、APを更新した際に子機もすべて更新させるという事は現実にはなかなか難しく、新しいAPが構成するBSS下に複数種類の規格の子機が存在することになります。

古い規格の子機がBSSに混じると、全体の性能が劣化するという事は自明とも言えますが、どの程度低下するかは条件によって大きく変わることもあり、あまり議論されていません。そこで、以下に典型的な2つのシナリオでどの程度ネット (APが取り扱う通信の合計) の速度の変わるかを見ていきます。

表4-1 各バンドに対応する無線LAN規格とその物理速度(2ストリーム) (Gbps)

	11b	11g	11a	11n	11ac	11ax	11be
2.4GHz	0.011	0.054		0.30		0.57	0.69
5GHz			0.054	0.30	1.7	2.4	2.9
6GHz						2.4	5.8

表4-1に2.4GHz帯、5GHz帯、6GHz帯に存在することができる、各規格の物理速度をまとめます。2)との議論に一貫性を持たせるために、ストリーム数は2(アンテナ2本)、占有帯域幅は各帯域で許されている最大の値で最大速度を計算しています。表で数字が無いところは、その帯域ではその規格の無線LANの通信が許可されていないことを示します。

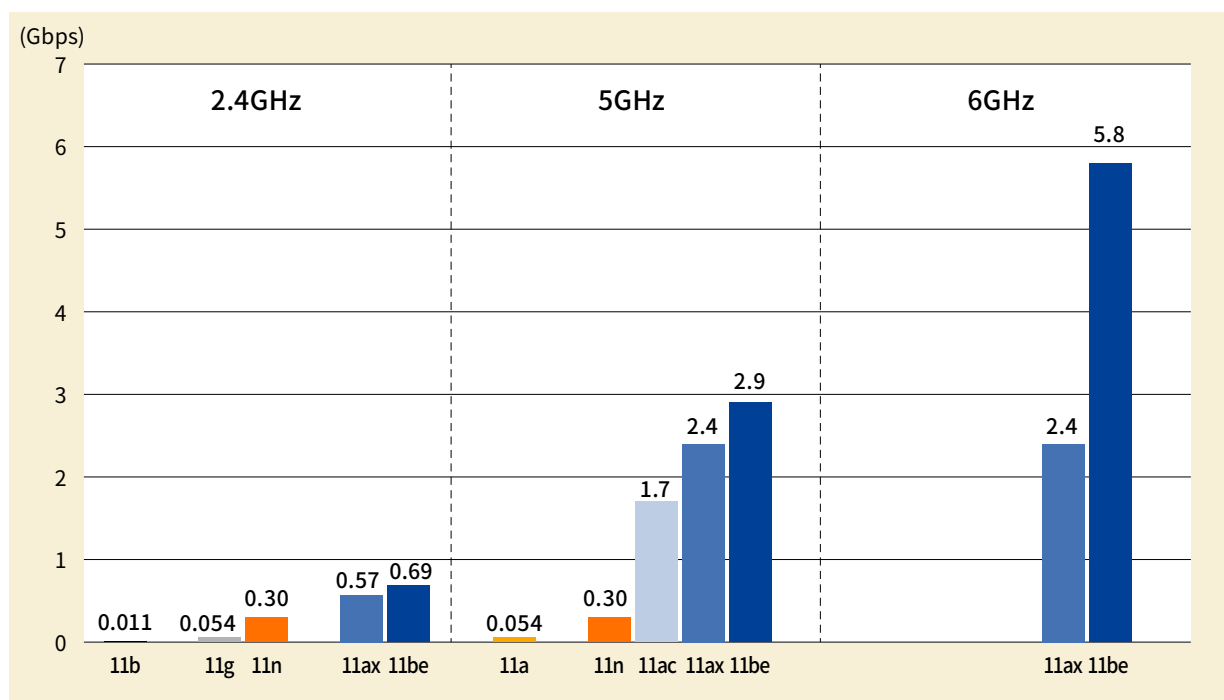


図4-2 各バンドを使用できる無線LAN規格と2ストリーム時の最高速度



表4-1をグラフ化した図4-2においてバンド間の比較をすると、周波数が高くなるにつれて通信速度が大きくなっていることがわかります。これは周波数が高いという事が理由ではなく、2)で触れたように周波数が高いほど割り当てられている周波数が広く、占有帯域幅を大きくできることが理由です。図4-2を見ると、古い(レガシー)端末がいればいるほど、ネットのスループットは劣化してしまうという事は直感的に理解できます。

ここで、異なった規格の端末が混在する影響についてもう少し定量的に見てみたいので、冒頭でお伝えしたように典型的な2つのシナリオで、ネット速度について簡単な計算をしてみたいと思います。シナリオの1つは、各端末で同じデータ量を送る場合です。この場合は、遅い端末は一定のデータ量を送るのに長い時間がかかるので、ネットの平均速度は速度の遅い端末に大きく足を引っ張られます。もう1つは、各端末に同じ時間だけチャンネル使用权を与えるものです。この場合は、遅い端末に足を引っ張られて大幅にネット速度が低下することを避けられますが、遅い端末ほど送れるデータ量は小さくなります。これはいわゆるATF (Air Time Fairness) 機能\*3をOnにした状態といえます。また今回は、規格の異なった端末がBSSに混在する時に、どのような影響があるかの傾向を見るのが目的ですので、計算にあたり各規格の端末は1台(か0台)とし、通信は規格値最大の速度で行うこととしました。

上記の条件のもと、ネット速度を測定した例を表4-2に示します。

表4-2 複数規格の端末がBSSに存在する場合のネット速度例 (Mbps)

#	バンド	11b	11g	11a	11n	11ac	11ax	11be	等データ量割り付け時の ネットスループット		等時間割り付け時の ネットスループット	
		11	54	—	300	—	573.5	688	Mbps	11beで規格化	Mbps	11beで規格化
1	2.4GHz	○	○		○		○	○	43	6%	325	47%
			○		○		○	○	160	23%	404	59%
					○		○	○	459	67%	521	76%
							○	○	626	91%	631	92%
								○	688	100%	688	100%
6	5GHz	—	—	54	300	1733.4	2402	2882				
				○	○	○	○	○	216	7%	1474	51%
					○	○	○	○	856	30%	1829	63%
						○	○	○	2238	78%	2339	81%
							○	○	2620	91%	2642	92%
10							○	2882	100%	2882	100%	
11	6GHz	—	—	—	—	—	2402	5765				
							○	○	3391	59%	4084	71%
12							○	5765	100%	5765	100%	

\*3 エレコム製法人無線APでは、ATFを「平等通信機能」として提供しています。



表の左側は、BSSに接続された端末の規格、並びに速度 (Mbps) を示しています。表の右側に、2つのシナリオについてネットの計算結果を示します。また、左部で○がついているものは、計算をする際に、その端末が接続されていることを示します。

例えば、2.4GHzの1行目では、11b, 11g, 11n, 11ax, 11beに○がついています。これは、その行の右側に示す速度の結果を計算する際、上記5つの規格の端末がBSSに接続されていることを示します。その次の行は、1番古い規格である11bを除いたBSSのネット速度を計算しています。この様に、1段下がるごとに古い規格のものから外していき、最後は11beのみとなります。5GHz、6GHzも同様な計算をしています。計算結果には、ネット平均スループットの値とともに、11be (Wi-Fi 7) の端末のみで通信した際の値で規格化した値 (%) を示しています。百分率を見ることで、混在していない時に比べて、どの位速度にオーバーヘッドが生じるかがわかりやすくなります。

図4-3左に、複数規格の端末が存在しているBSSのイメージ図、右に典型的な各端末のチャンネルアクセスモードを示します。右上段は端末の通信速度には関係なく、チャンネルアクセス権利が同じの場合 (等データ量通信)、右下段は端末ごとのチャンネルアクセス“時間”を同じにした場合のイメージ図を示します。

右図上を見ると、速度の遅い端末ほどチャンネルを使用している時間が長くなるので、ネットの平均スループットが低くなってしまふことがわかります。それに比べて、右図下では端末の速度にかかわらず同じ時間が割り付けられるので、平均スループットは単純に各端末の速度の相加平均となります。

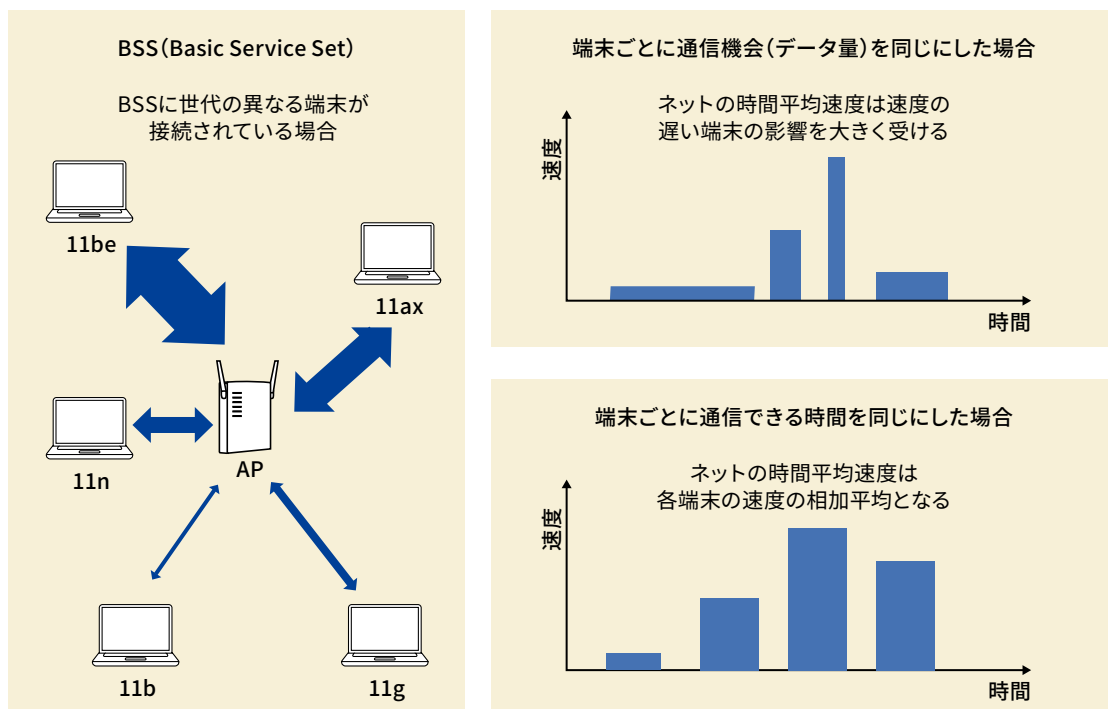


図4-3 BSSに複数の規格の端末が混在して接続されている場合

バンドの違い、規格の違い、2つのシナリオの違いを分かりやすく見るために、表4-2の結果をグラフ化したものを、図4-4に示します。

図4-4は、バンドごとに等データ量通信(橙)と等時間通信(青)を示しています。バンドごとに分かれてはいますが、縦軸のスケールは同じにしているので、ネット速度を直感的にも比較できます。

図を見ると、6GHzはWi-Fi 7の320MHzが使用できるので、5GHz帯に比べると、ベースが倍速になっています。また、6GHzは前世代の11ax(Wi-Fi 6)以降の端末しか接続できないので、旧規格の端末の存在による速度劣化は限定的です。一方、2.4GHzと5GHzは縦軸(ネット速度軸)のスケールは5GHzの方が4倍強大きいですが、全体の傾向は似ています。高さが違うのは、2.4GHzの占有帯域幅が40MHzまでなのに対して、5GHzは4倍の160MHzまで使用できるためです。次に、混在のしかたによる等データ量通信と、等時間通信を比べてみます。青色と橙色の線の比較になります。より古い規格の端末が存在している時に、両者の乖離が大きく見られました。一方で、その乖離は2.4GHzでは11n以上、5GHzでは11ac以上で小さくなっていることがわかります。これは、各バンドで使用可能な占有帯域幅が、その規格以上で変わっていない(2.4GHzでは40MHz、5GHzでは160MHz)ことが一番の理由です。等時間通信(ATF機能ON)にすると、旧規格端末混在の影響を限定的にできることがわかります。

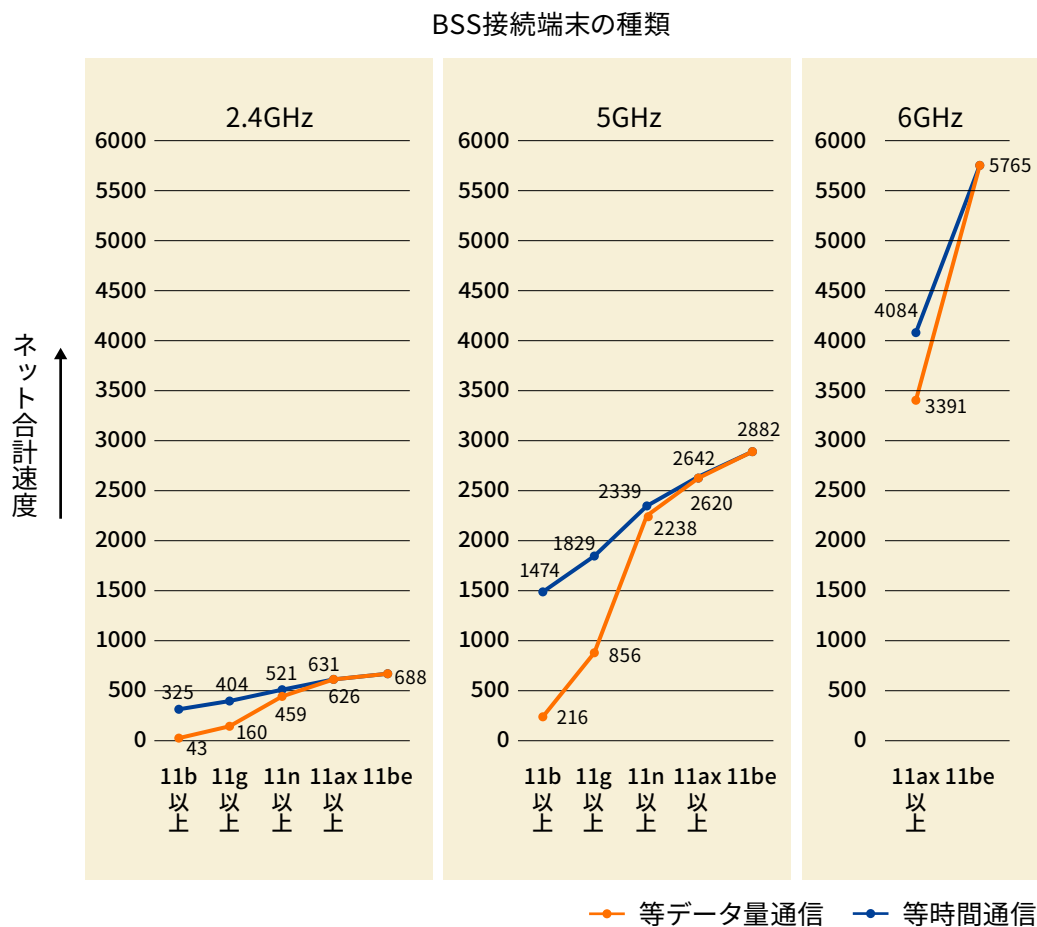


図4-4 BSSに複数の規格の端末接続時のネット速度のオーバーヘッド



収容端末数の増加検討に対する子機側の注意点として、以下の通りとなります。

- 6GHzは、11ax(Wi-Fi 6)より以前の規格の端末が存在しない為、端末の規格が混在することによる速度劣化は限定的です。11beで320MHzモードを使用しない場合は、速度差は高々20%程度となり、問題となる場面は限定的になります。
- 5GHzでは、なるべく新しい規格の端末を使用したほうが良いですが、11ac以降では単純計算では11beのみに比べて78%の速度劣化に収まるので、投資コストとのバランスを考えると、許容範囲と言えるかも知れません。11nや11aが混在してくる場合は、速度低下が大きくなるので、端末の交換、(端末の最低スループットを考慮しながら)ATF機能の採用を考えたほうが良いかも知れません。
- 2.4GHzは、無線LANとしては当初から使用可能なバンドであり、周波数も全体域の中で1番低いため、障害物の回り込み特性も他のバンドより大きいという利点があります。しかしそのために、まだ古い規格の製品がオフィスに残っている可能性があります。プリンタ等のオフィス用品の無線LANの規格をチェックして、古い規格のものはレンタルやリース等をうまく利用して、新しい規格対応のものに変えることも検討すると良いと思います。

ここまで、規格が異なるために最大速度が異なる子機が、同一BSSに接続した際の問題点について見てきました。しかし、同じ規格でもAPからの距離によって端末の通信速度は変わります。1台のAPでなるべく多くの端末を収容しようとする、BSSのカバーエリアぎりぎりまで子機を配置したくなりますが、その場合、通信速度は大幅に落ちるので、ネットの速度は逆に低下してしまいます。無線の到達距離には、余力を残しておいた方がネットの速度は高く維持できます。

まとめると、BSSの端末収容数を上げるためには、できれば2.4GHzは11n以上、5GHzは11ac以上の子機に限定します。古い規格が混在する場合(もしくはWLANの到達距離ぎりぎりに端末を配置せざるを得ない場合)はATF等の機能を用いて速度の遅い端末の影響を抑えます。6GHzは11axと11beしか使用できず、しかも後述の様に両方OFDMAに対応しており、同時複数通信が可能なので、可能であれば6GHzを中心にネット環境が構築できれば収容台数を多くすることができます。



#### 4) 輻輳、干渉低減による収容端末数の増加

本章では、思い通りに速度が出ない(収容端末を増やせない)時に主要因の1つとなる輻輳、干渉低減がWi-Fi 7でどのように改善されるかを見ます。技術的な内容は、第3回のホワイトペーパーでご紹介していますので、そちらもご参照ください。ここでは、収容端末数増加の視点からポイントをご紹介します。

##### A) MLO (Multi-link Operation)

Wi-Fi 7で新規導入された、バンドを束ねる技術です。これにより、端末との1対1の通信の最大速度を上げることができます。また使用するバンドの混み具合、無線品質の状況によってマルチバンドの重みづけをリアルタイムで行う事により、通信の安定化が可能となります。また、セルエッジであるバンドが隣と干渉しているときは別のバンドで通信するなど、全体的なマルチバンド通信の効率を上げることができます。

例えば従来のトライバンドAPでも切り替え方式でなくコンカレント(同時動作)方式であれば、各バンドに端末を接続させることにより、各バンドを合計したスループットに見合う端末を接続させることが可能ですが、各バンドでトラフィックが変動したり、干渉が発生した場合、特定のバンドで通信品質が劣化します。MLOを使用すれば、端末がダイナミックに(遅延なく)バンド間を移動できるため、APの潜在能力(この場合は端末接続数)を最大限有効活用することができます。ダイナミックとは、一例をあげると、無線LANでは干渉等によりパケットが喪失した際に再送をしますが、MLOを使用すると、再送は(干渉により再度パケットが喪失するのを避けるため)別のリンクを使って送ることが可能です。再送を抑えることにより、ネットの実効スループットの劣化を抑えることが可能です。

##### B) OFDMA

OFDMAの導入自体は、本稿2)で見たようなネットの最大(物理層)速度を上げることには貢献してはおりません。しかし、同時通信により輻輳を大幅に低減し、実質的な子機収容密度の上限を上げることに貢献します。例えばWi-Fi 7では占有帯域幅がWi-Fi 6の160MHzから320MHzに拡張されましたので、OFDMAを用いれば、1台当たりのデータ量の割り当てを減らさずにWi-Fi 6の倍の端末と同時通信が可能です。また、RUの最小である26-tone RUを320MHzに適用すれば、原理上144の同時通信が可能となります。さらに、Wi-Fi 7はOFDMAにMRU(RUを複数1つの端末に割り付ける技術)ができるようになったので、取り扱うデータ量が異なる多くの端末が接続されている状況下でも、効率的に周波数リソースの割り当てができるようになりました。



### C) Preamble Puncturing

Wi-Fi 6ではオプションの扱いでしたが、Wi-Fi 7では必須機能となりました。これにより例えば、OBSSや他システムからの干渉波が到来した際に、干渉を起こすサブチャネルのみをくり抜いて通信ができるようになりました。これは、320MHz等、広い占有帯域幅を使った通信には、大変有用となります。広い帯域幅の通信ほど、干渉を受けやすいからです。広帯域通信で干渉波を受けるとPreamble Puncturingの技術を使えない以前のWi-Fiでは、例えば160MHzの帯域幅を使用して通信をしていた場合、干渉波が20MHzの帯域に収まる場合でも、Primary/Secondary チャネルの配置によっては、占有帯域の半分が停波、または、それ以下の帯域での通信になってしまいました。これがPreamble Puncturingを利用することで、干渉波があるサブチャネルだけピンポイントで停波し、残りの帯域で通信を継続することが可能となりました(連載第2回のPreamble Puncturingの項参照)。干渉波が到来してきた時にその影響を最小限にできるので、端末数が多い時でも、周波数リソースを有効に活用できます。

### D) MU-MIMO

親機と子機のアンテナの本数が違う場合に、MU(マルチユーザー)-MIMOを使用することにより、並列接続数を増やし、輻輳確率を下げる(結果的に接続台数を多くする)事が可能です。MIMOでは、SU(シングルユーザー)-MIMOでもMU-MIMOでも高い通信効率を確保するためには、アンテナ相関を低くしておくことが重要です。これはMIMOの原理として、複数のアンテナを用いて複数の信号を空間伝送させた場合、受信側でその信号の分離をするために、複数のアンテナを受信側に設け、受信することにより信号を分離復号している為です。アンテナの相関が高い(距離が近く、2本のアンテナで受ける信号がほぼ同じになってしまう)と信号の分離がうまくいきません。そこで、MU-MIMOを使用して所望のスループットが出ない場合は、端末間を離したり、APから見て複数の端末が一直線上にならない等の調整をすると性能が改善する可能性があります。DL-MIMOはWi-Fi 5で、UL-MIMOはWi-Fi 6で導入されました。世代が1つ進み、Wi-Fi 7では、よりMU-MIMOが定着してくると思われます。



## 5) まとめ

連載第4回の本稿では、ユースケースとして1つのBSSに多く端末が接続している状況に注目し、Wi-Fi 7の技術を活用してどのようにより多くの端末接続ができるようになるかを見てきました。また古い規格の端末がBSSに接続されている場合に、ネットの速度がどの程度劣化するかを典型的な2つのシナリオで評価し、可能であれば端末(子機)はWi-Fi 5以降のものを使用すればネット速度の大幅な劣化を抑えられ結果的に接続台数を多くできる事を見てきました。実際の接続環境ではBSSサービスエリアの中心にいる端末、エリアエッジにいる端末、また各規格の端末の数にも分布があり、統一的に議論することは困難ですが、本稿の事例によってイメージだけでもつかんでいただければ幸いです。

また、同時並列通信を可能にし、端末収容数の向上に貢献する技術としてOFDMAとMU-MIMOを、周波数の無駄を最小限に抑えて干渉波の影響を除去する技術としてPreamble Puncturingについて説明しました。前者はCSMA/CAの限界を解き放つ技術として、後者は規格の進化により広帯域化したチャネルを干渉波が存在する環境下でも大幅な劣化なく使用していくために今後ますます重要になってくると思われます。

連載第5回の最終回ではトライバンドAPとデュアルバンドAPの比較をWi-Fi 7(MLO)や6GHz帯の導入の観点から整理をしてみたいと思います。

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**



エレコム製の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>

