

Oct 2020



Hewlett Packard
Enterprise

いまさら聞けない Wi-Fi 6

日本ヒューレットパッカーード株式会社
Aruba事業統括本部
池田 豊

アジェンダ

- Wi-Fi6技術の構成要素
- Wi-Fi6ユースケース(デモ動画)
- Wi-Fi6と5Gの違い
- まとめ

802.11 の進化

2009年

802.11n
(Wi-Fi4)



2013年

802.11ac
(Wi-Fi5)



2019年

802.11ax
(Wi-Fi6)



- ✓ MIMO (最大 4 ストリーム)
- ✓ チャンネルボンディング
- ✓ フレームアグリゲーション

- ✓ 8 ストリーム MIMO
- ✓ マルチユーザー MIMO (DL)
- ✓ 80MHz, 160MHz
- ✓ 256 QAM

- ✓ OFDMA
- ✓ UL マルチユーザ送信
- ✓ 1024 QAM

HT

High Throughput

VHT

Very High Throughput

HE

High Efficiency

802.11ax(Wi-Fi6) の特徴

- 802.11n/ac では「比較的クリーンな環境におけるピークデータレートの向上」に主眼が置かれていた
- Wi-Fi 機器が広く普及したことにより、混雑時に期待通りのスループットが得られないケースが増加
- 802.11ax では方向転換し、「**混雑した環境での平均スループット(ピークレートではなく、安定して通信できるスループット)の向上**」をタスクグループ設立時にゴールとして定義

The 802.11ax shall provide at least one mode of operation capable of achieving at least **four times improvement** in the **average throughput per station** in a **dense deployment scenario**, while maintaining or improving the power efficiency per station.

- IoT 機器で必要とされる以下のような要件もサポート
 - 低データレート、省電力、長距離通信

802.11進化のイメージ

ピークレートUP

802.11n
(Wi-Fi4)

ピークレートUP

802.11ac
(Wi-Fi5)

ピークレートUP

高効率化

長距離

802.11ax
(Wi-Fi6)

省電力

低レート, 20MHz only

より多様化する Wi-Fi の
用途に対応

11ax(Wi-Fi6) 新機能

| 目的 | 技術要素 |
|-----------|---|
| ピークレートの向上 | より狭い OFDM サブキャリア間隔による、効率的な周波数利用 (+12.5%[20MHz]) |
| | より高度な変調方式 : 1024 QAM (+25%) |
| 混雑時の効率向上 | MU-MIMO 端末数増加 : 4 → 8 |
| | アップリンク MU-MIMO |
| | OFDMA による同時アクセス (UL/DL) |
| | BSS Color を使用した Spatial Re-use |
| 省電力 | Target Wake Time |
| | 20MHz のみサポート端末の許容 |
| 通信距離の延長 | より長いガードインターバル (11ac最大0.8 μ s → 11ax最大3.2 μ s) |
| | Extended Range フレーム形式 |
| | Dual Carrier Modulation |

物理レイヤー比較

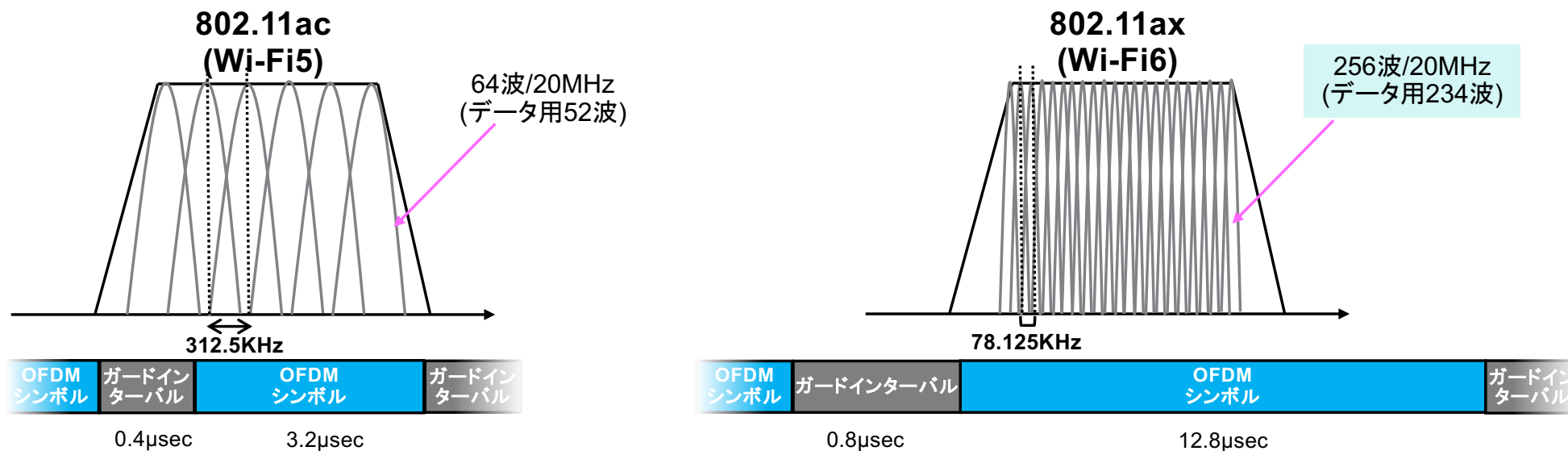
| | 802.11ac (Wi-Fi5) | 802.11ax (Wi-Fi6) |
|-----------------------------------|--|--|
| 周波数帯 | 5GHz | 2.4GHz と 5GHz |
| チャネル幅 | 20~160MHz | 同じ |
| OFDM サブキャリア間隔/数 | 312.5kHz (64波/20MHz) | 78.125kHz (256波/20MHz) |
| データ用サブキャリア (20MHz/40MHz/80MHz) | 52 / 108 / 234 | 234 / 468 / 980 |
| OFDM シンボル周期 | 3.2 μ s | 12.8 μ s |
| ガードインターバル | 0.4 μ s / 0.8 μ s | 0.8 μ s / 1.6 μ s / 3.2 μ s |
| 最高変調方式 | 256 QAM | 1024 QAM |
| マルチユーザ伝送 | DL MU-MIMO | DL/UL MU-MIMO, DL/UL OFDMA |
| MU-MIMO 最大端末数 | 4 | 8 |
| 最大PHYレート | 433 Mbps (80MHzチャネル, 1ss) 6933 Mbps (160MHzチャネル, 8ss) | 600 Mbps (80MHzチャネル, 1ss) 9608 Mbps (160MHzチャネル, 8ss) |

サブキャリア

– サブキャリア周波数間隔を4分の1に縮小し、サブキャリア数を4倍に

– シンボル周期は4倍に延長 (3.2 μ sec \rightarrow 12.8 μ sec)

– ガードインターバル(遅延波によるシンボル間の干渉を防ぐためのしきみ) 0.4 μ sec \rightarrow 0.8 μ sec



✓ より効率的に周波数を利用

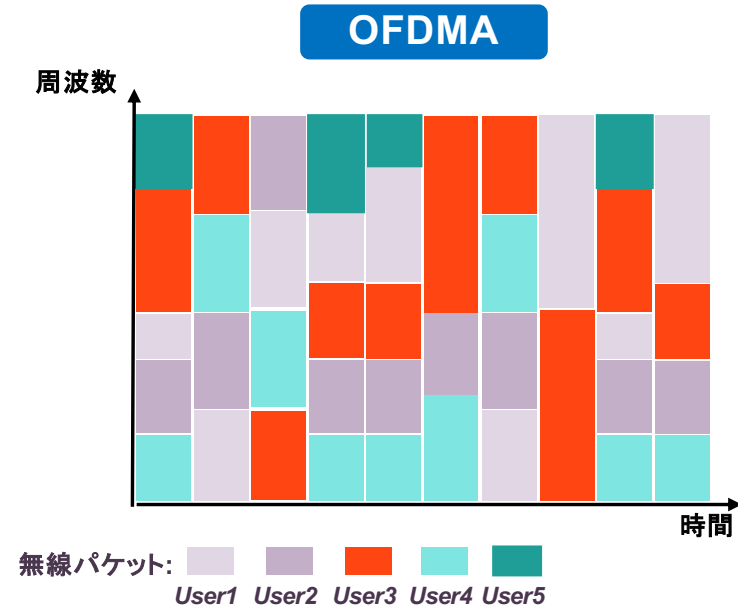
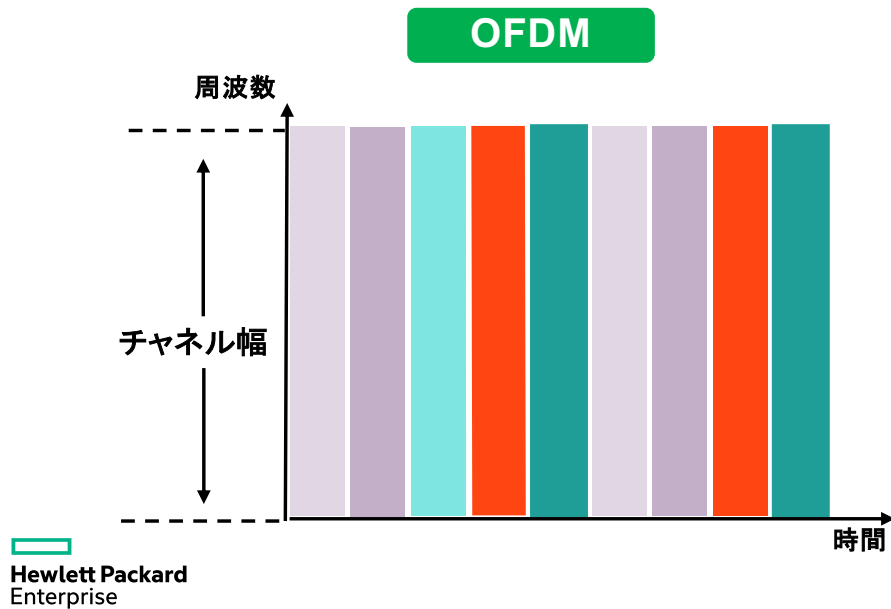
➢ 20MHz チャンネルではデータ伝送に使用できる周波数帯域 +12.5%

✓ OFDMA によるきめ細かいサブチャネル(RU)割り当てが可能

✓ ガードインターバルのオーバーヘッド減 (約11% \rightarrow 6%)

OFDMA

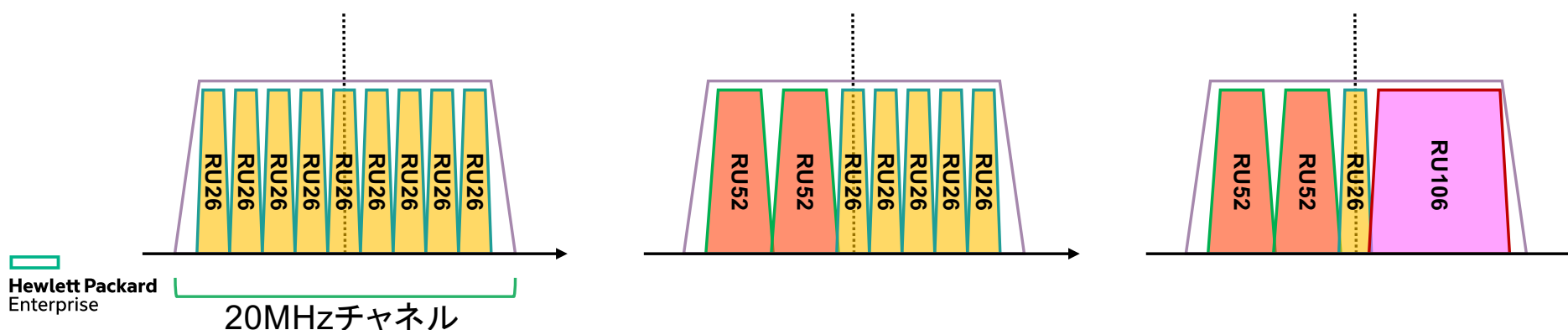
- チャンネルをさらに周波数方向に分割した「RU (Resource Unit)」を各端末に割り当てる
- RU 同士は干渉しないので同時通信が可能
- 4G(LTE) で採用されている技術を利用
- 使用するチャンネル幅は小さくなるため、1端末が使用する PHY レートは落ちる



OFDDMA RU (サブチャネル) の割り当て

- 20MHz チャンネルは最大 9 つ、80MHz チャンネルは最大 37 の RU (サブチャネル) に分割可能
- 異なるサブチャネル幅を混在させることが可能

| RU | RU26 | RU52 | RU106 | RU242 | RU484 | RU996 |
|----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| サブキャリア数 | 26 | 52 | 106 | 242 | 484 | 996 |
| 周波数幅 | 2MHz | 4.1MHz | 8.3MHz | 18.9MHz | 37.8MHz | 77.8MHz |
| パイロット信号 | 2 | 4 | 4 | 8 | 16 | 16 |
| データ用サブキャリア数 | 24 | 48 | 102 | 234 | 468 | 980 |
| 最大PHYレート (1SS) | 11.8Mbps | 23.5Mbps | 50.0Mbps | 143.4Mbps | 286.8Mbps | 600.5Mbps |



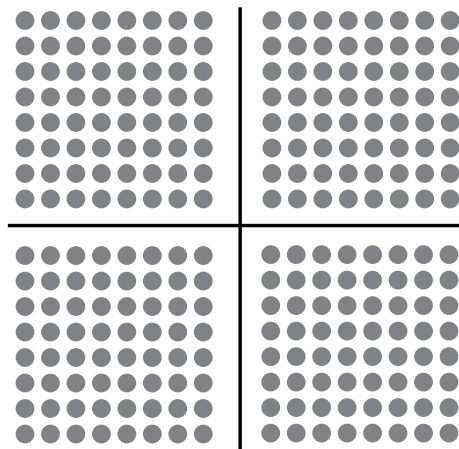
1024 QAM

- OFDM 1 シンボルあたり 10 ビット伝送
 - 256 QAM に比べビットレートが 25%向上
- 256 QAM よりさらに 6dB 高い SNR が必要
 - AP との距離が非常に近い端末においてのみ、1024 QAM の恩恵が見込める

| MCS | 変調方式 | コーディング比 |
|-----|----------|---------|
| 0 | BPSK | 1/2 |
| 1 | QPSK | 1/2 |
| 2 | QPSK | 3/4 |
| 3 | 16 QAM | 1/2 |
| 4 | 16 QAM | 3/4 |
| 5 | 64 QAM | 2/3 |
| 6 | 64 QAM | 3/4 |
| 7 | 64 QAM | 5/6 |
| 8 | 256 QAM | 3/4 |
| 9 | 256 QAM | 5/6 |
| 10 | 1024 QAM | 3/4 |
| 11 | 1024 QAM | 5/6 |

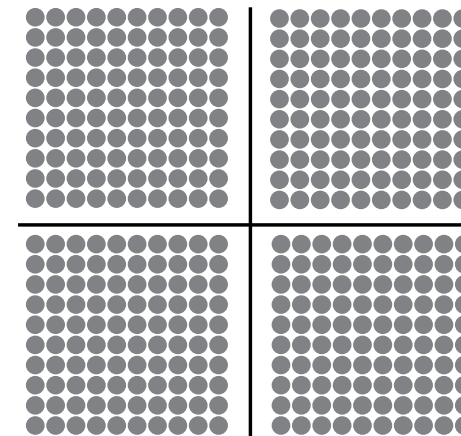
802.11ac

256 QAM



802.11ax

1024 QAM



11ac最大:
433Mbps

$$\text{最大PHYレート (80MHz, 1ss, SGI)} : 10 \times \frac{5}{6} \times \frac{(1/0.0000136)}{1,000,000} \times 980 = 600.5\text{Mbps}$$

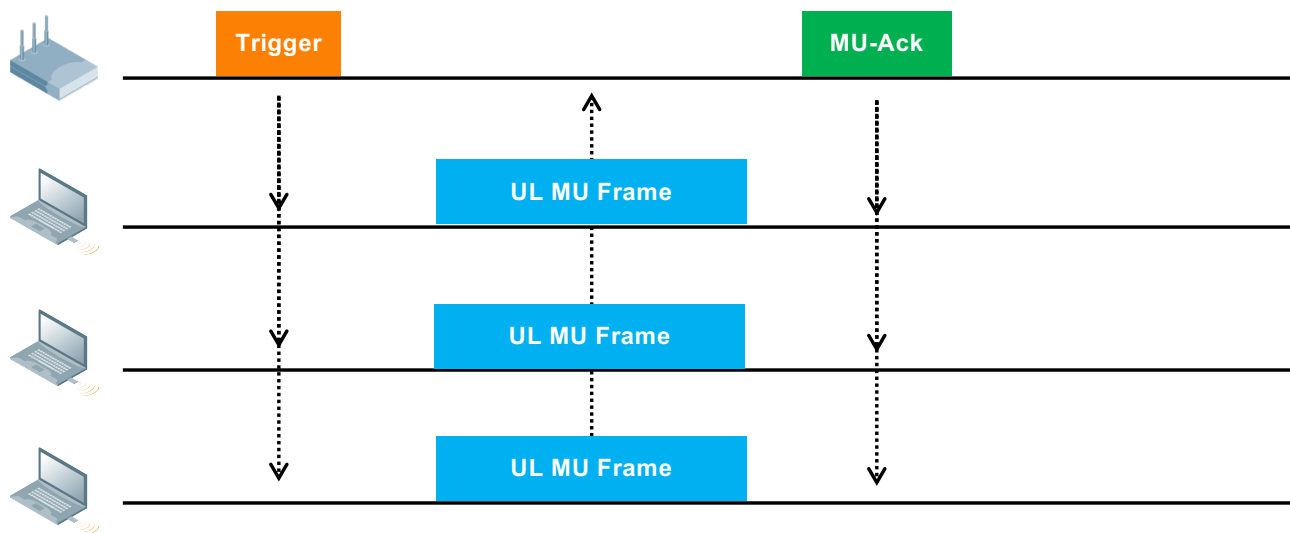
MCS11 伝送ビット数

秒間シンボルレート
13.6μs/シンボル

80MHz データサブキャリア数

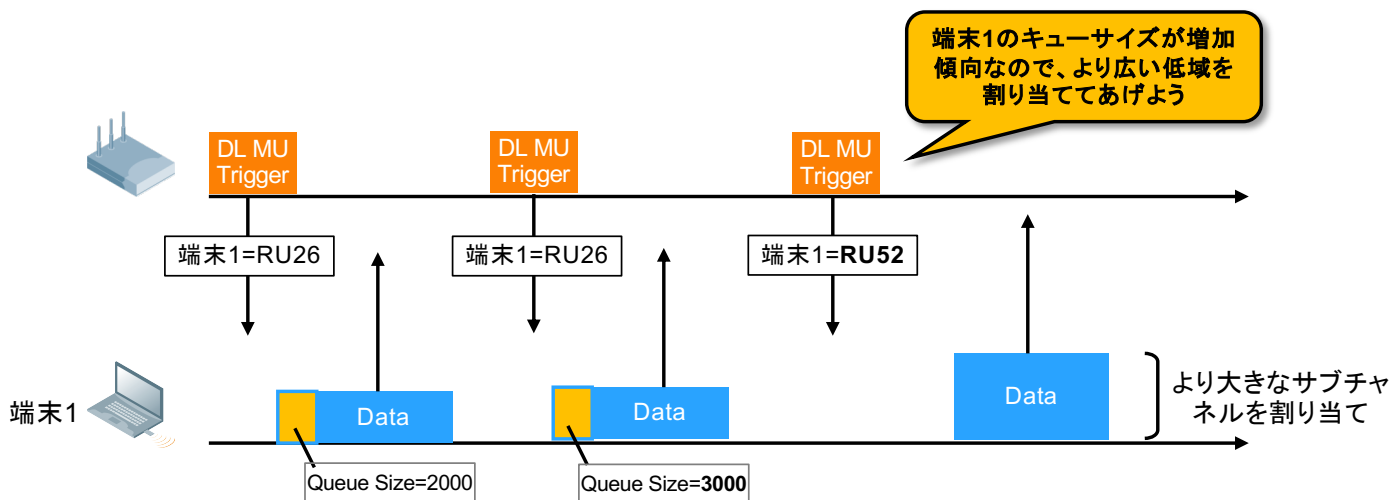
アップリンクマルチユーザ伝送

- ダウンリンク (AP → 端末) 方向の通信に加え、アップリンク方向もマルチユーザ同時送信が可能に
 - マルチアクセス方式として MU-MIMO または OFDMA を利用
- AP がスケジューリングを実施し、必ず AP が送信するトリガフレームをきっかけに送信開始しなければならない
 - スケジューリング...どの端末が、どれぐらいの長さのフレームを、どのサブチャネルを使って送信するかを AP が決定
- トリガフレームには端末の packets 送信方法を細かく指定されている
 - マルチユーザフレーム送信時間、サブチャネル、MCS、ストリーム数、RSSI (AP における受信信号強度)



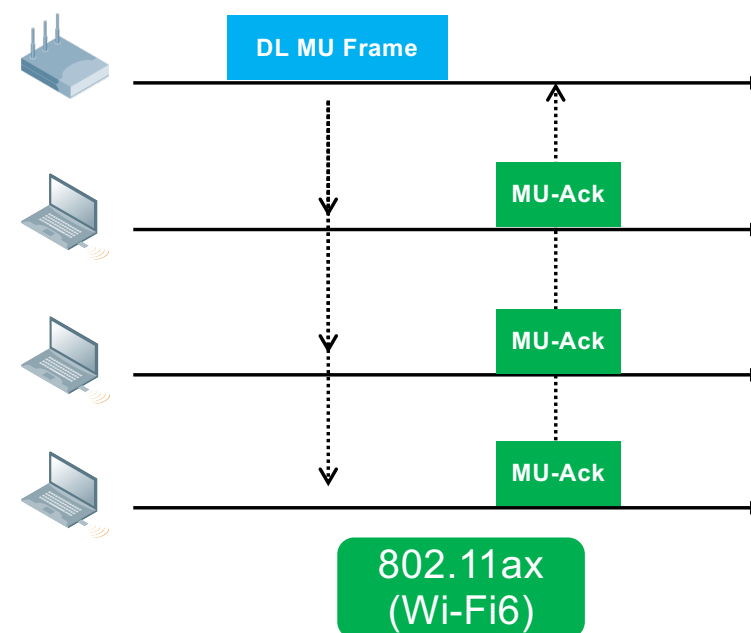
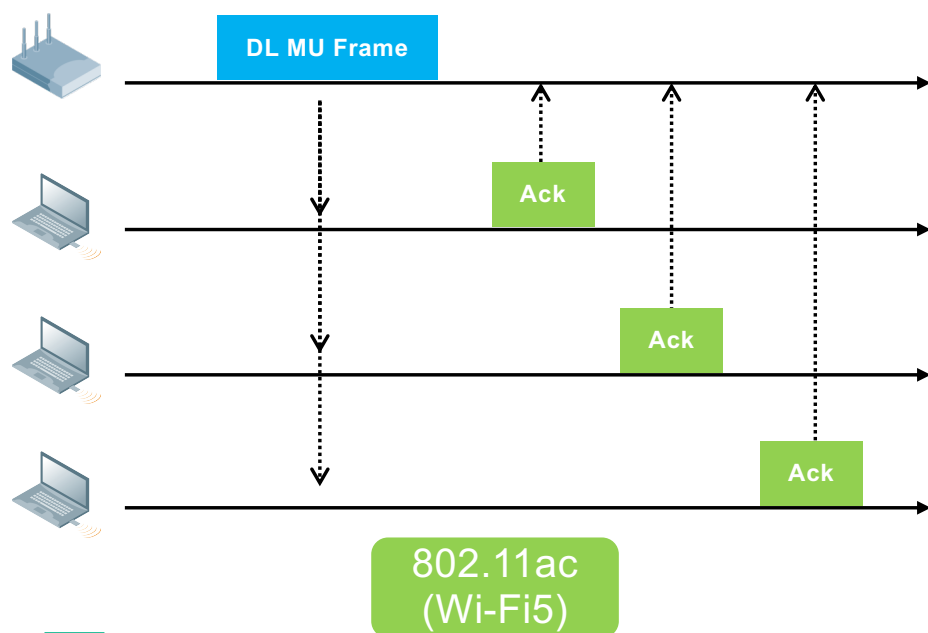
スケジューラ

- アップリンクマルチユーザ通信は、AP によってスケジューリングされる
 - どの端末をマルチユーザ送信グループに割り当てるか
 - マルチユーザ送信する端末にどれぐらいのリソースを割り当てるか
- AP は常に端末のトラフィック量やキューサイズを監視し、最適なスケジューリングを行う必要がある
- 端末の状態を通知するためのサブフィールドを規定
 - Queue Size サブフィールド ... 端末の送信バッファサイズ(=送信待ちとなっているバイト数)を AP に通知
 - Bandwidth Query Report サブフィールド ... 端末側で使用したい 20MHz サブチャネルを AP に通知 (36~48 の 80MHz のうち、端末から見て 40 と 48 がクリーンな場合、それを AP に通知できる)



ダウンリンクマルチユーザ通信のパフォーマンスも改善

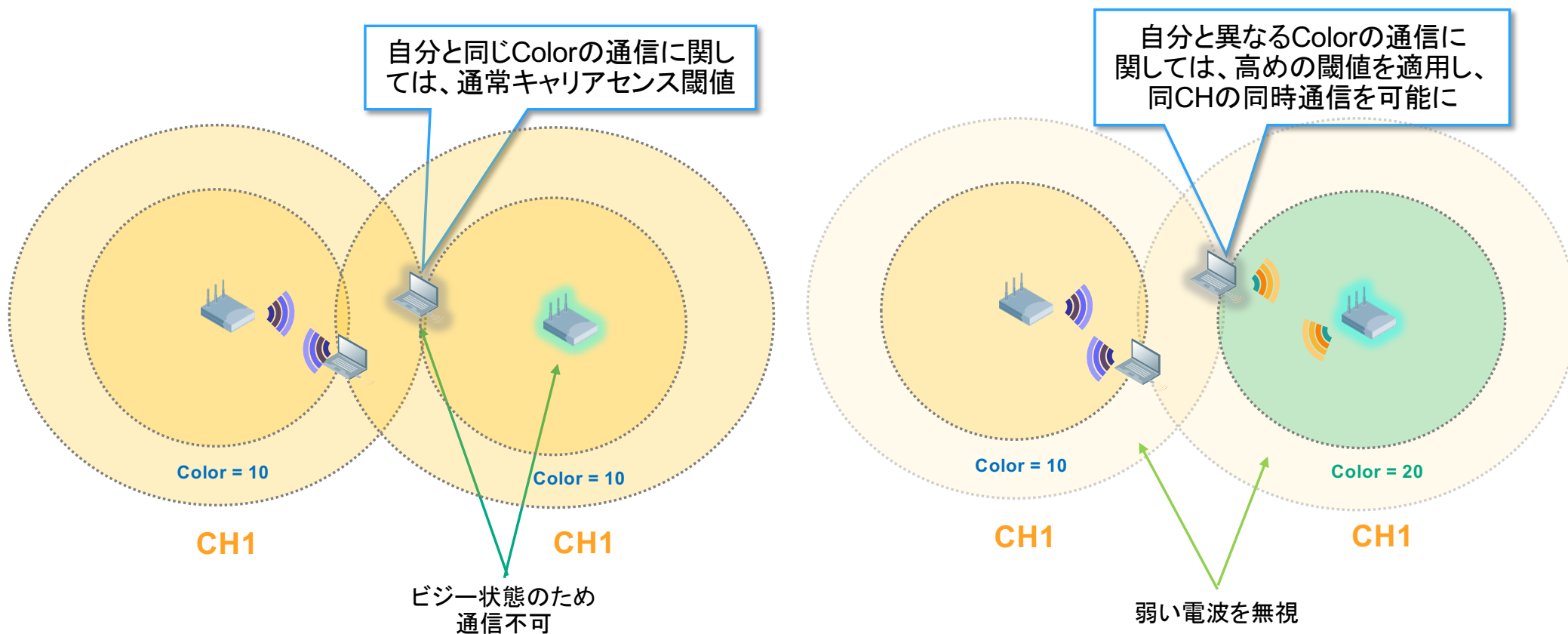
- 11ac(Wi-Fi5) ではダウンリンクの MU-MIMO をサポートしていたが、Ack は個別に送信される
- 11ax(Wi-Fi6) では Ack も同時に送信できる



BSS Coloring と Spatial re-use

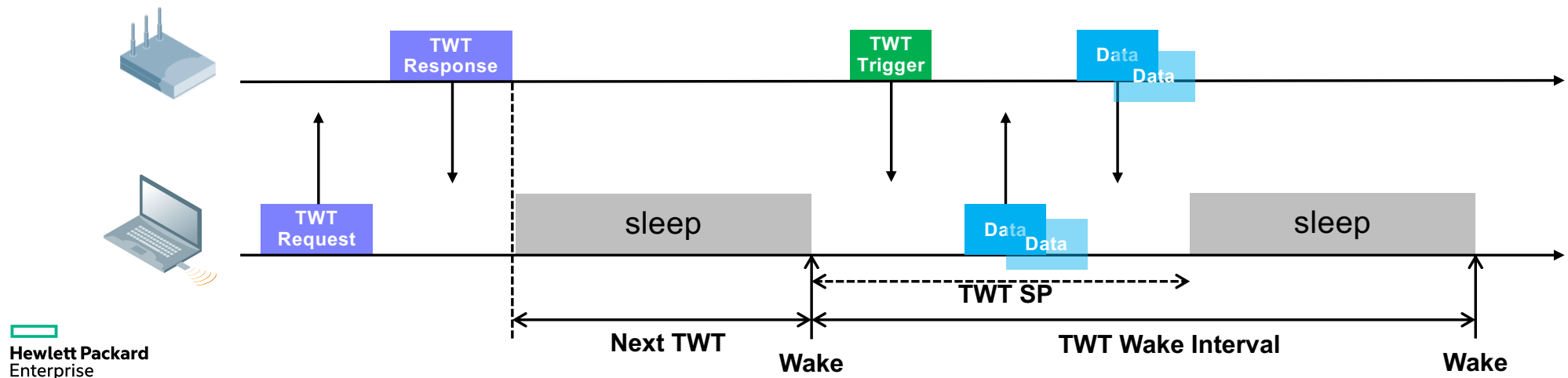
- 6 ビットの BSS カラー値 (1~63)
 - ビーコンの HE Operation element で通知
 - パケットのプリアンブル(HE-SIG-A)で通知 → MAC ヘッダ(BSSID) を受信する前に識別可能
- BSSカラーはランダムに割り当てるが以下の理由で変更する
 - コンフィグ変更
 - コリジョンの検知時
- フレームにつけられたカラーによって、Power Detection 閾値を使い分ける
 - 閾値は -82dBm~-62dBm の間を送信出力によって変化させる
 - 送信出力が大きい場合は、より小さな閾値を使用
 - カラーが異なる → Overlapping BSS(OBSS)とみなし、閾値を上げる(=弱い電波は無視する)

BSS Coloring 概念図



Target Wake Time

- 802.11ah で提案されたパワーセーブの新しい方式を流用
- めったにデータを送受信しないような 特殊なIoT デバイスを想定
 - TWT によるスリープ中の端末は DTIM ビーコンを受信する必要がない
- Wake-up する周期と長さを端末とAPでネゴシエーション
- AP 主導で Wake-up タイミングを決めるため、端末ごとにタイミングを分散させることができ、衝突を回避
- マルチユーザー送受信にも対応 (複数端末を同時に wake-up させ、同時にパケットを配送)



長距離通信

- 最長ガードインターバル 0.8 μ sec \rightarrow 3.2 μ sec
 - 長距離伝送時の遅延波の影響を抑える
- Extended Range フレーム形式
 - プリアンブルのフィールドを繰り返すことで、エラー耐性を上げる
- Dual Sub-Carrier Modulation
 - サブキャリアをコピーし、同じものを2つ送信
 - 低 MCS のみ使用可能 (MCS0~4)
 - 周波数効率は半分になるが、エラーレートが改善し、距離が延長

Wi-Fi6 端末40台 動画再生検証 (Wi-Fi6 AP使用: Aruba AP-515)

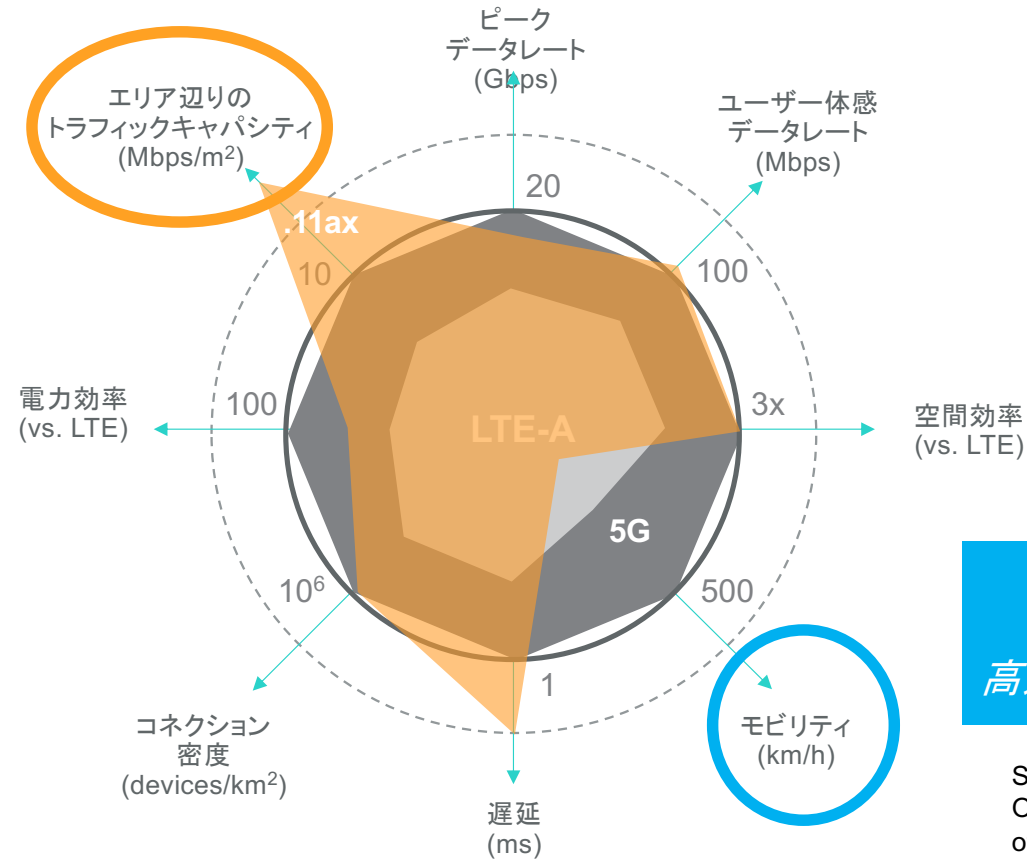


Wi-Fi6 端末40台 動画再生検証 (11ac AP使用: 企業向け他社製品)



Wi-Fi6 と 3GPP(5G)技術の比較

Wi-Fi は
インドアの高密度環境に強く
より低遅延

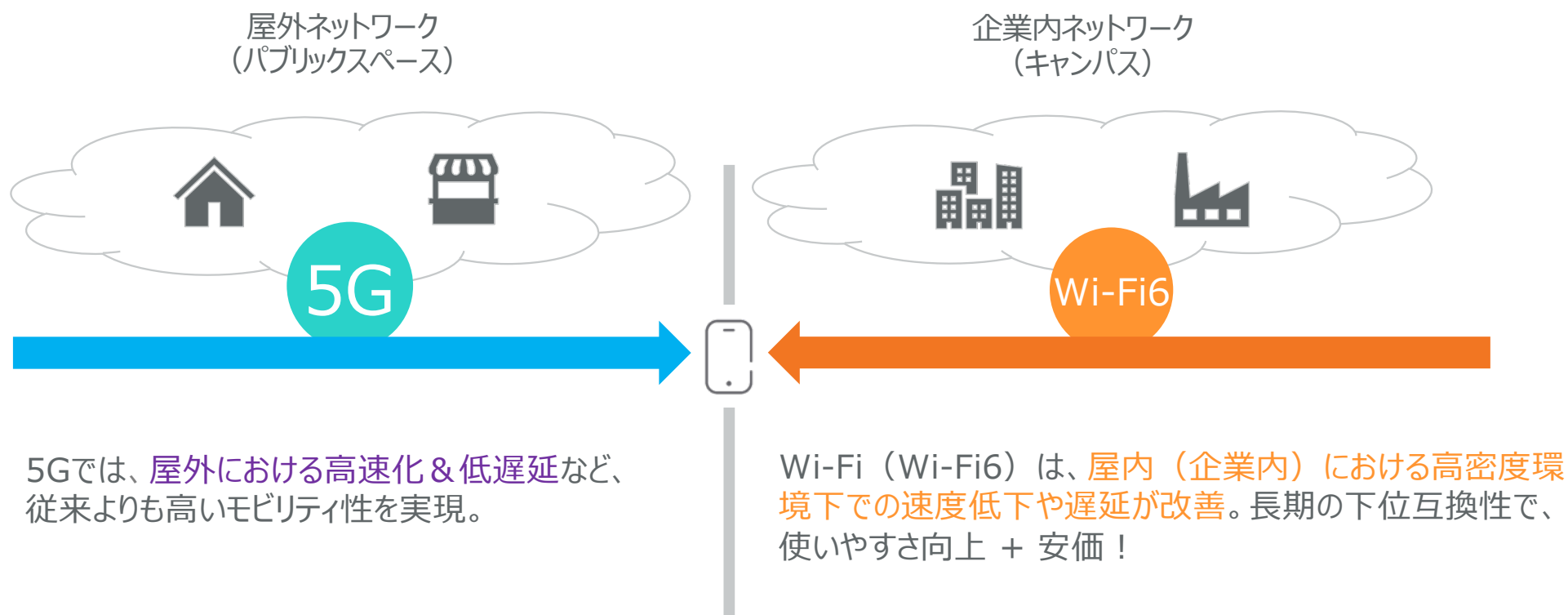


5G は
カバーエリアの広さと
高速移動でのローミングに強い

Source: WBA, "5G Networks: The Role of Wi-Fi and Unlicensed Technologies," Sept 2017

Source: ITU-R, "IMT Vision – Framework and Overall Objectives for the Future Development of IMT for 2020 and Beyond," Sept 2015.

5GとWi-Fi6のユースケースは異なるが、融合した活用が可能



まとめ

- Wi-Fi6は従来型の進化(ピークレートの向上)ではなく、
実環境に近い用途を想定したHigh Efficiencyな進化！
- 5G(ローカル5Gも)とWi-Fi6はお互いの強みを生かして共生します！
- Wi-Fiのエンジニアもっと増やしたい！



Hewlett Packard
Enterprise

Oct 2020

Thank you