

# Wi-Fi 7の新技术 最新のワイヤレス通信を測定してみた！

無線LANビジネス推進連絡会  
技術・調査委員会 委員 西尾 由起（株式会社東陽テクニカ）



# 無線LANビジネス推進連絡会について



## ■ 無線LANの健全な普及・拡大に向けて約200企業・団体が参加/活動

- 技術・調査委員会
- 渉外・広報委員会
- 企画・運用委員会
- 00000JAPAN推進委員会

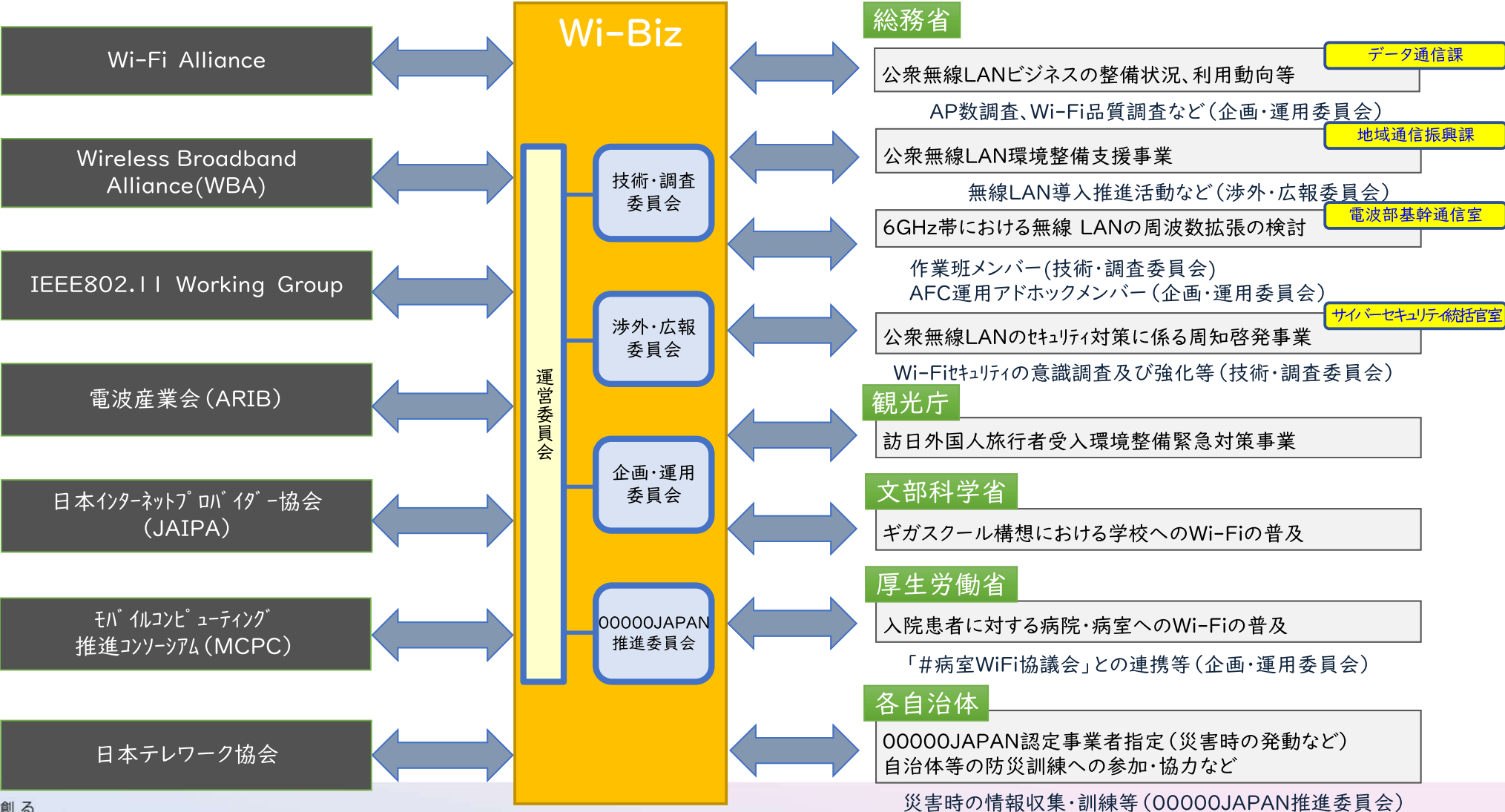
<https://www.wlan-business.org/>





# 総務省／観光庁、外部機関との連携

無線LAN関連団体とともに総務省・自治体との連携が活発化



# Wi-Fiの進化

# Wi-Fi 7 への進化



802.11n-2009: HT(High Throughput)

- 40 MHz
- 64 QAM
- 4x4 MIMO



802.11ac-2013: VHT(Very High Throughput)

- 160 MHz
- 256 QAM
- 8x8 MIMO
- DL/UL MU-MIMO



802.11ax-2021: HE(High Efficiency)

- 160 MHz
- 1024 QAM
- OFDMA
- DL/UL MU-MIMO



802.11be-現在:  
EHT(Extreme High Throughput)

- 320 MHz
- 4096 QAM
- 16 x 16 MIMO
- Multi-Link

## ■ Wi-Fi 7 Key Benefits

- Fastest Wi-Fi ever
- Better spectrum efficiency
- Connection density
- Area capacity
- Low latency



# もっと昔からWi-Fiはありましたね・・・

## Wi-Fi規格 名称早見表

規格 リリース年	新名称	規格名
2024年	Wi-Fi 7	IEEE802.11be
2020年 <small>※ 日本で利用可能と なった年は2022年</small>	Wi-Fi 6E	IEEE 802.11ax
2019年	Wi-Fi 6	IEEE 802.11ax
2013年	Wi-Fi 5	IEEE 802.11ac
2009年	Wi-Fi 4	IEEE 802.11n
2003年	—	IEEE 802.11g
1999年	—	IEEE 802.11a
		IEEE 802.11b
1997年	—	IEEE 802.11

免許不要2.4GHz帯域で利用できることも  
Wi-Fiが普及した要因の一つ

2.4GHz周波数を使用する他のデバイスも多数

干渉源となるケース  
帯域幅をより広くした通信→高スループット化

今現在は、2.4/5/6GHz帯域の利用が可能に

バッファロー様【公式】Xより

# Wi-Fi 7 主要機能

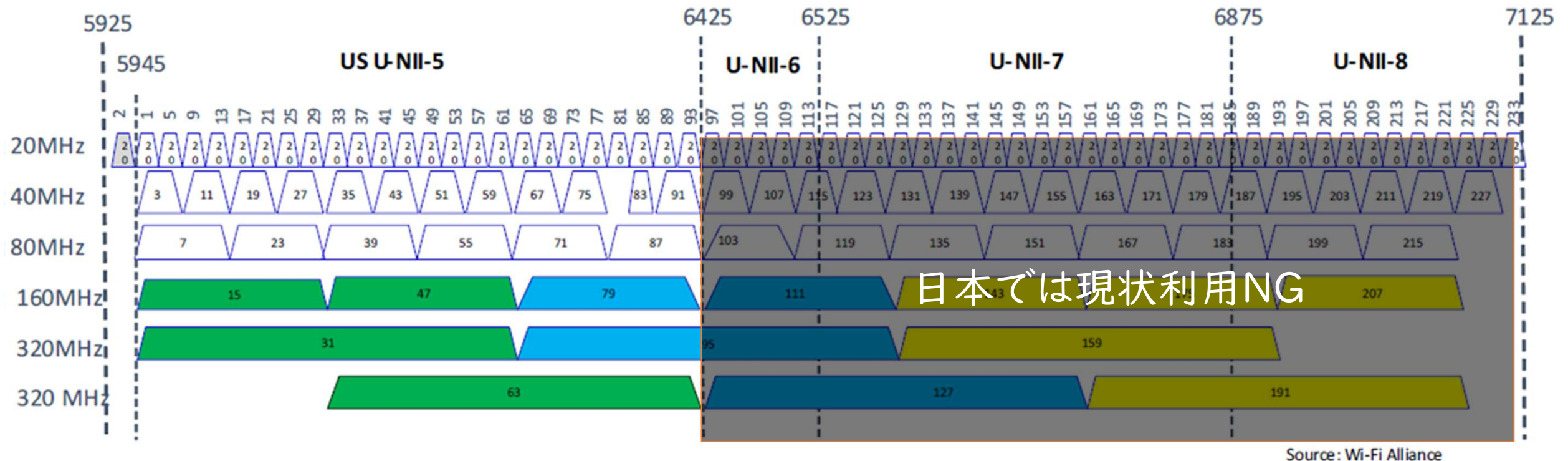
# Wi-Fi 7 主要機能

機能	
320MHz チャンネル	160 MHz の2倍のスループット
4096(4K)QAM	Wi-Fi 6 の1024 QAMよりも20%高い伝送速度
MLO(マルチリンクオペレーション)	周波数帯域全体で異なるチャンネルを組み合わせることが可能 AP間ローミングによる中断を回避 VR/AR、オンラインゲーム、クラウドコンピューティングなどのアプリケーション向けに低遅延と高い信頼性を提供
プリアンブル パンクチャリング	チャンネルを効率的に利用した通信 干渉を回避してチャンネル全体を無駄なく使用
Multi-RU (Multi-Resource Unit)	複数のRUを単一デバイスに割り当てることが可能 より効率的なリソース利用と高いスループットを実現

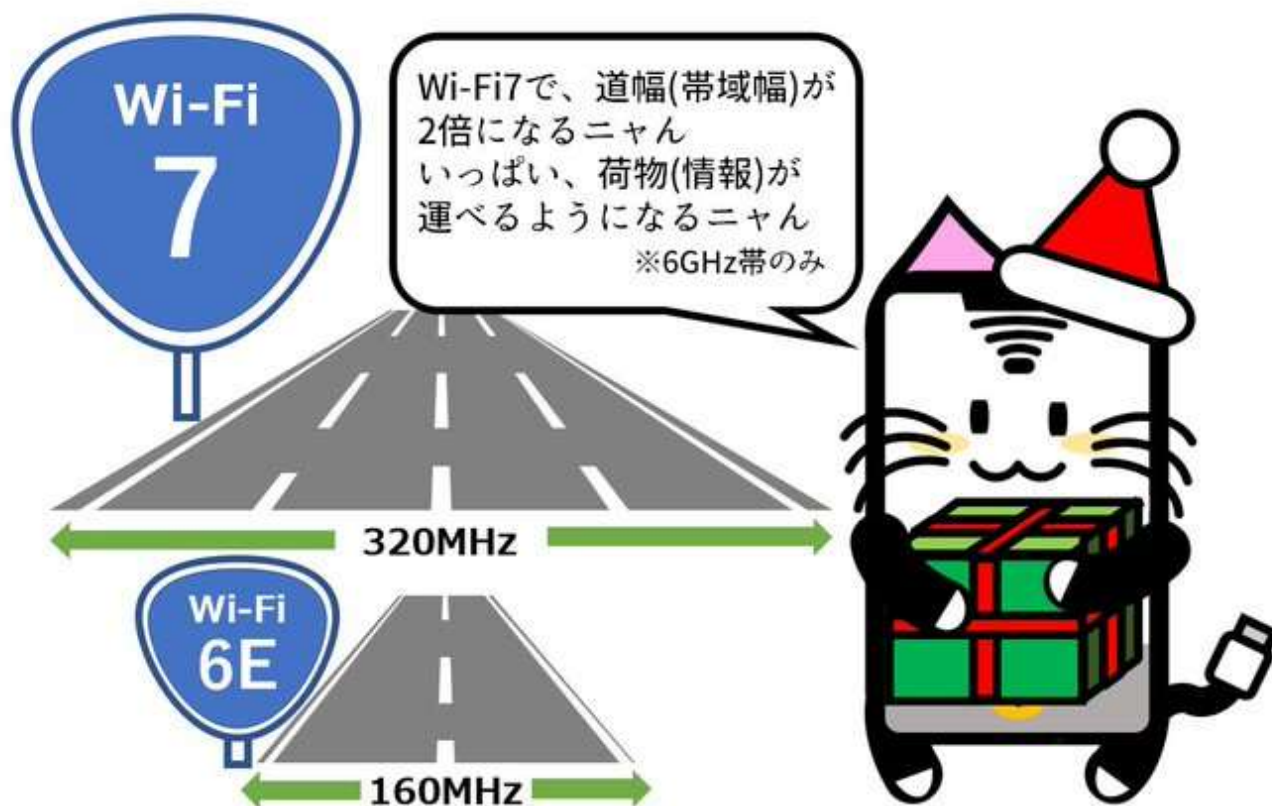


# 320MHz チャンネル幅

- 6GHz帯で320MHzチャンネル幅を規定
  - オプション機能
  - Wi-Fi 6/6Eから2倍の高速化

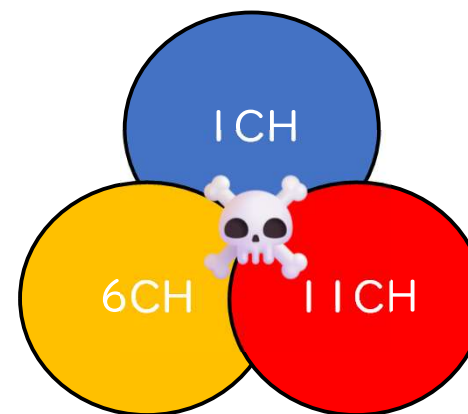


# 320MHz イメージ



X(旧Twitter) スマホにゃん博士のつぶやき@Wi\_Biz\_info より

11bのころは22MHz幅でしたね・・・  
1,6,11CHとかに分けたものでした



# 4096(4K) QAM

## ■ QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

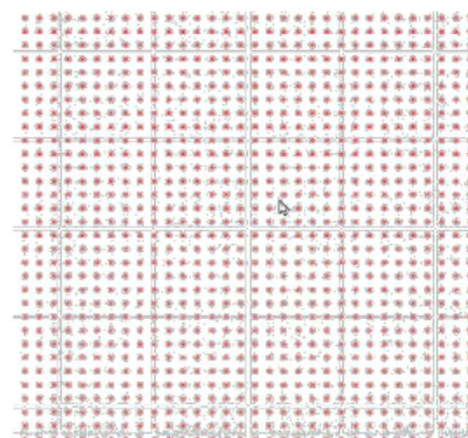
- キャリアごとに複数のデータビットを送信する変調方式
- コンステレーションポイントの数を増やすことにより、各キャリアにより多くのビットを割り当てることが可能

## ■ 4096(4K)QAM

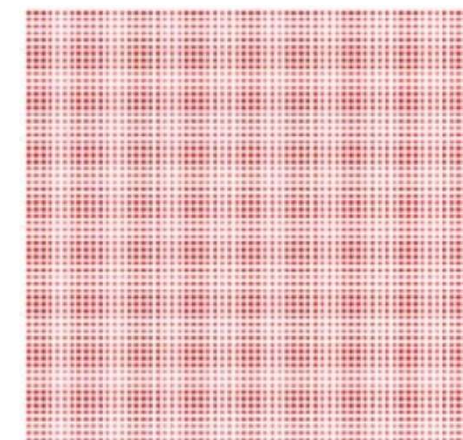
- オプション機能
- Wi-Fi 6から1.2倍の高速化
  - Wi-Fi 6: 1024 QAM
    - 10 bits/carrier
  - Wi-Fi 7: 4096 QAM
    - 12 bits/carrier

## ■ 4096QAMの課題

- コンステレーションポイントの数が増えると、復調の複雑さが増加
- 信号対雑音比 (SNR)
- 受信機の品質



Wi-Fi 6 – 1024 QAM  
10 bits per symbol



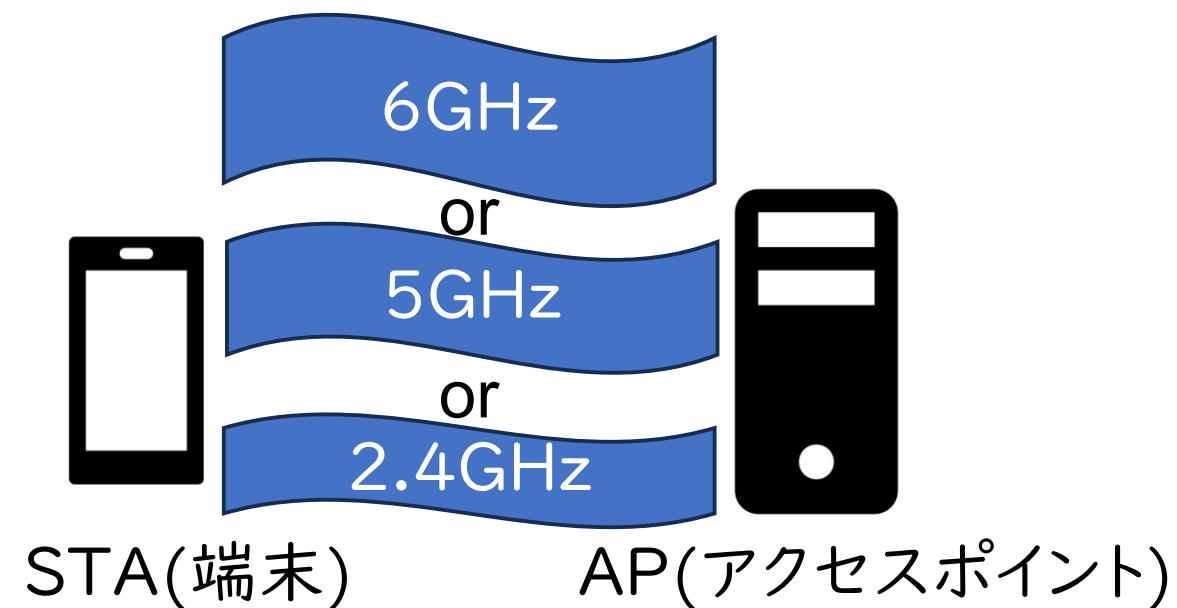
Wi-Fi 7 – 4096 QAM  
12 bits per symbol



# MLO (Multi-Link Operation)

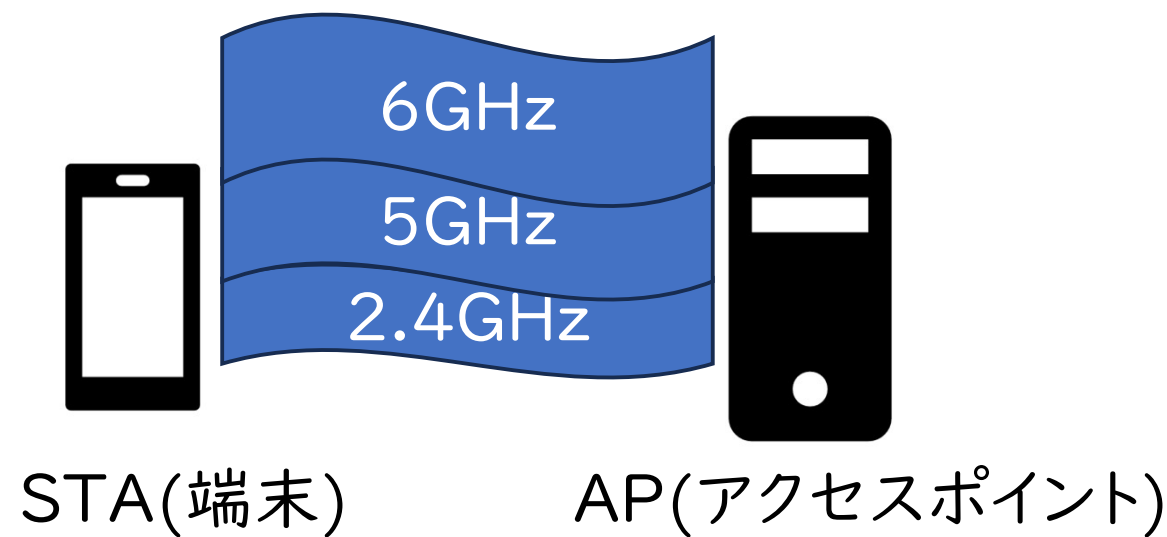
■ APと単一のSTA間で複数の周波数を同時にリンクして通信

Wi-Fi 6Eの場合



いずれか一つの周波数を使用して通信

Wi-Fi 7の場合



- MLMR (Multi-Link Multi Radio)  
複数の周波数を同時に使用して通信
- EMLSR (Enhanced Multi-Link Single Radio)  
複数の周波数で待ち受けて切り替えて使用

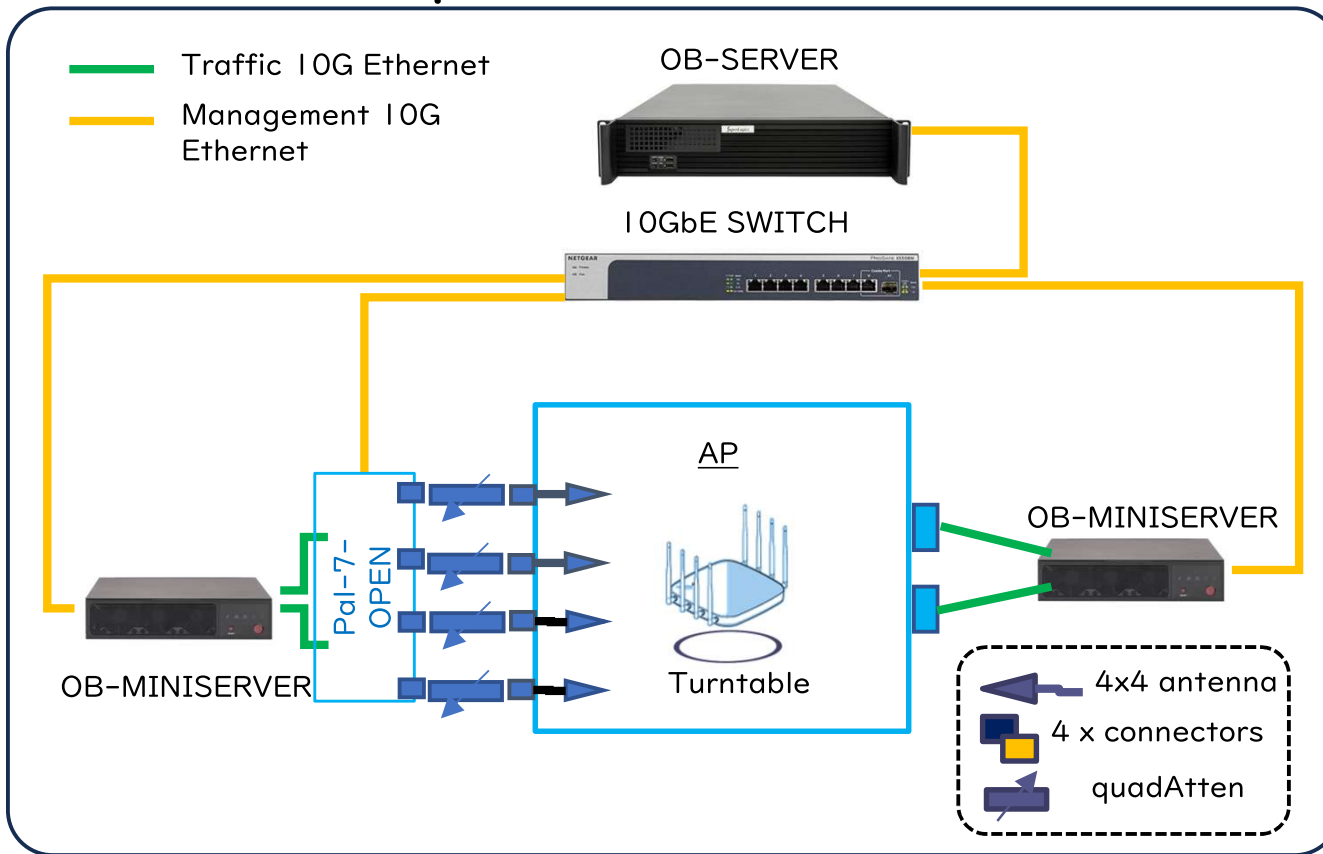


# Wi-Fi 7 パフォーマンス測定

# パフォーマンス測定環境とDUT

## ■ テスト環境

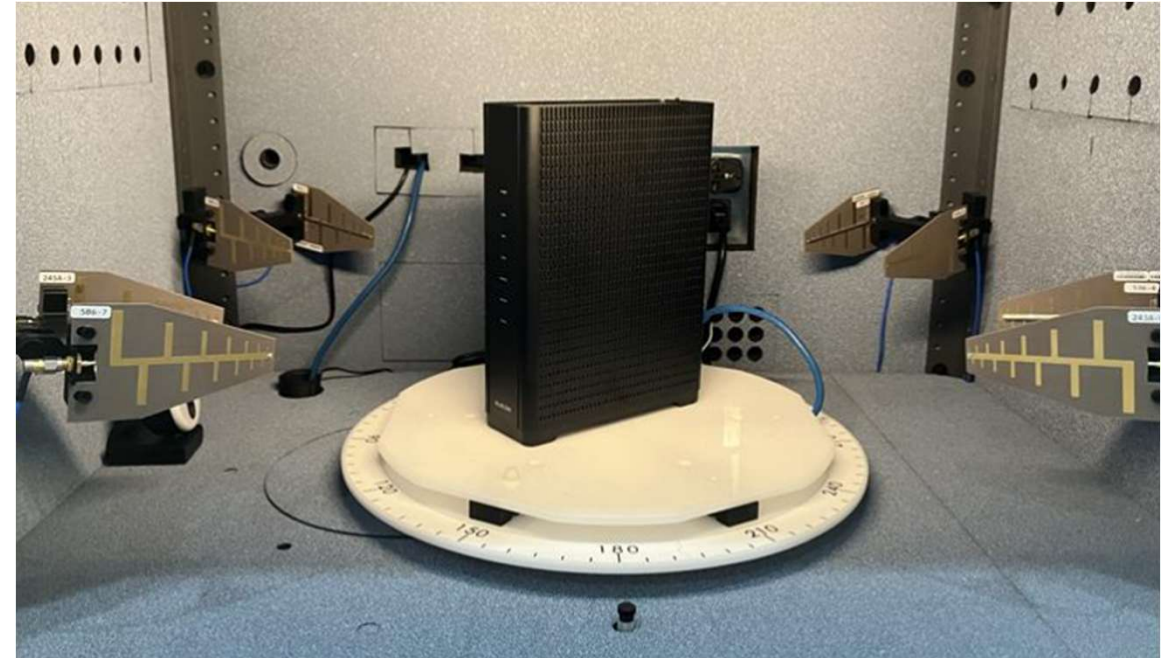
- ▣ Wi-Fi 7 対応測定機器を使用
- ▣ Spirent社 OCTOBOX



# DUT(測定対象)

## ■ DUT (Device Under Test)

- 国内メーカー製Wi-Fi 7対応AP
  - 2x2 MIMO
    - 6GHz: 5,765Mbps
    - 5GHz: 2,882Mbps
    - 2.4GHz: 688Mbps
  - 10GbE対応WANポート
  - 2.5GbE対応LANポート×3



# 最大スループットテスト



# 最大スループットテスト

## ■ Wi-Fi 7対応APの、最大転送性能を測定するトラフィックテスト

### □ 5GHz および 6GHz のDownlinkパフォーマンスをテスト

□ 5GHz: NSS=2, バンド幅=160 MHz

□ 6GHz: NSS=2, バンド幅=320 MHz    ✓ 比較のため5 GHzのみWi-Fi 6でもテストを実施

### □ TCPトラフィックを30秒間印加し、スループットを測定

(参考としたTR-398テストケース)

## ■ 6.2.2 Maximum Throughput Test

### □ STAを5パターン設定

□ IIn, I lac, I lax 2.4G&5G&6G

### □ Downlink, Uplinkをそれぞれ測定

### □ TCPトラフィックを120秒間印加

□ スループットが右表を満たす場合にPass

Table 23: The Throughput Requirement

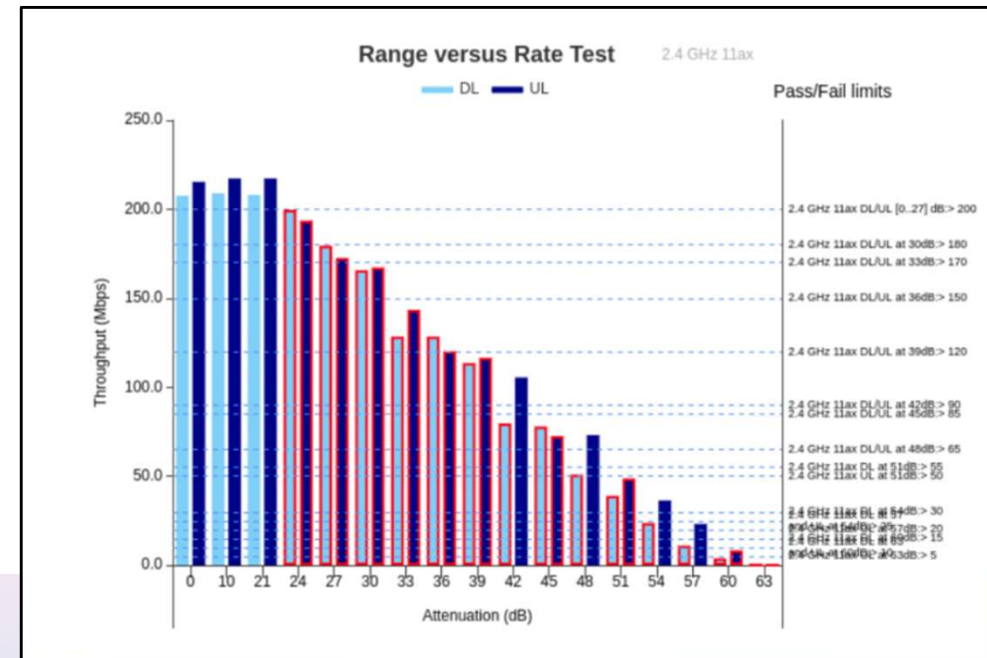
Wi-Fi configuration (DUT)	Wi-Fi configuration (Peer STA)	Bandwidth (MHz)	Downlink throughput requirement (Mbps)	Uplink throughput requirement (Mbps)
802.11n (NSS=2)	802.11n (NSS=2)	20	100	100
802.11ac (NSS=2)	802.11ac (NSS=2)	80	650	650
802.11ax (2.4 GHz, NSS=2)	802.11ax (2.4 GHz, NSS=2)	20	180	180
802.11ax (5 GHz, NSS=2)	802.11ax (5 GHz, NSS=2)	80	880	880
802.11ax (6 GHz, NSS=2)	802.11ax (6 GHz, NSS=2)	160	1500	1500

NSS: Number of Spatial Streams

# (参考) TR-398とは

- TR-398は、業界団体Broadband Forumが策定した、無線LANアクセスポイントのテストプラン
  - TR-398: Wi-Fi Residential & SOHO Performance Testing
- Wi-Fi機器のパフォーマンスについての、数少ない試験標準
  - 各テストケースの基準に応じてPass/Failを判定
- Issue 3 (2024年3月リリース)でWi-Fi 6Eに対応

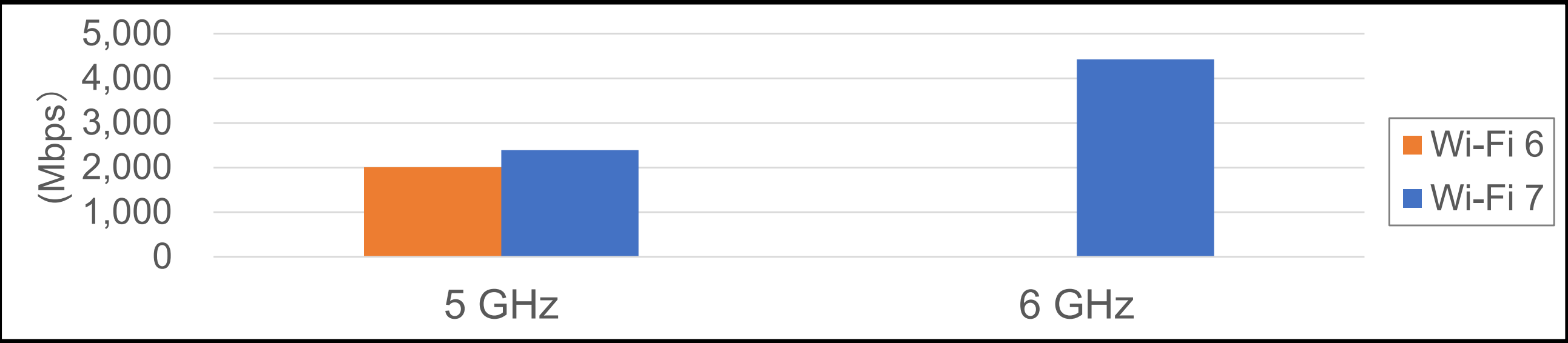
Title	Name (click for input files)	Arguments	Application	Pass/Fail	Exit Code	Test Message	HTML output	Run Time
bbf_6.1.1_receiver_sensitivity	bbf_6.1.1_receiver_sensitivity.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	2 min, 25 secs
bbf_6.2.1_max_connection	bbf_6.2.1_max_connection.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	17 mins, 7 secs
bbf_6.2.2_max_throughput	bbf_6.2.2_max_throughput.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	16 mins, 7 secs
bbf_6.2.4_dual_band_thru	bbf_6.2.4_dual_band_thru.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	44 mins, 7 secs
bbf_6.2.5_bidirection_thru	bbf_6.2.5_bidirection_thru.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	1 hrs, 53 mins, 53 secs
bbf_6.3.1_range_vs_rate	bbf_6.3.1_range_vs_rate.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	41 mins, 41 secs
bbf_6.3.2_spatial_consistency	bbf_6.3.2_spatial_consistency.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	2 hrs, 40 mins, 48 secs
bbf_6.3.3_ax_peak_perform	bbf_6.3.3_ax_peak_perform.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	31 mins, 27 secs
bbf_6.4.1_multiple_sta	bbf_6.4.1_multiple_sta.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	27 mins, 44 secs
bbf_6.4.2_multiple_assoc_c	bbf_6.4.2_multiple_assoc_c.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	36 mins, 21 secs
bbf_6.4.3_mu_memo	bbf_6.4.3_mu_memo.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	36 mins, 21 secs
bbf_6.5.1_long_term_stabi	bbf_6.5.1_long_term_stabi.py		python3	Test	Pass/Fail	N/A	Test	36 mins, 21 secs



# 結果：最大スループットテスト

■ 従来のWi-Fiと比較して、高いスループットを示した

Wi-Fi 規格	周波数	バンド幅 (MHz)	MCS	Phy Rate (Mbps)	スループット (Mbps)	Phy Rate との比較
Wi-Fi 6	5GHz	160	11	2,402	1,965	81.8%
Wi-Fi 7	5GHz	160	13	2,882	2,390	82.9%
Wi-Fi 7	6GHz	320	13	5,765	4,425	76.7%



# Wi-Fi7 角度を考慮したスループットテスト



# 角度を考慮したスループットテスト

## ■ 角度と速度の関係を測定するトラフィックテスト

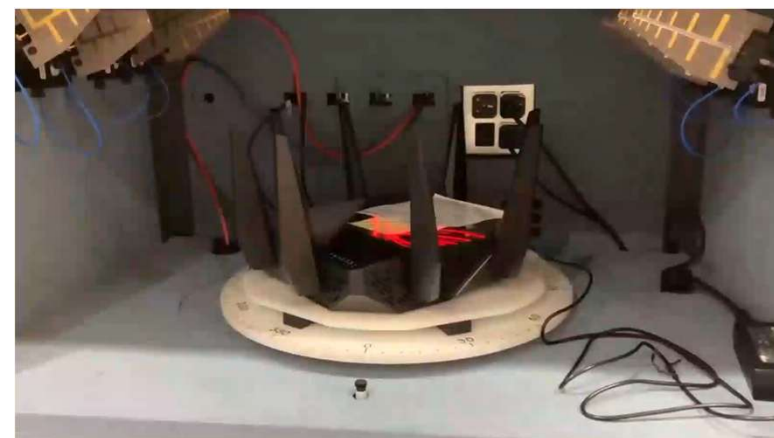
- ターンテーブル上のWi-Fi 7対応APを45度刻みで回転させ、DUTの転送性能を測定するトラフィックテスト
  - 5GHz: NSS=2, バンド幅=160 MHz
  - 6GHz: NSS=2, バンド幅=320 MHz
- TCPトラフィックを30秒間印加し、スループットを測定

(参考としたTR-398テストケース)

## ■ 6.3.2 Spatial consistency test

- Turn Tableを30度刻みで360度まで12方向測定
- 追加Attenuationを設定
- TCPトラフィックを60秒間印加

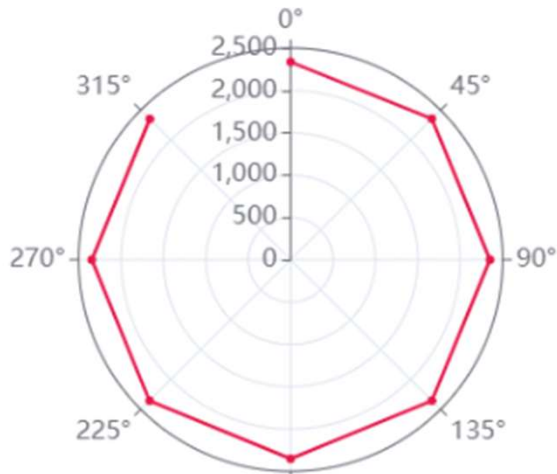
※図のAPは今回のDUTとは異なります。



# 結果：角度を考慮したスループットテスト

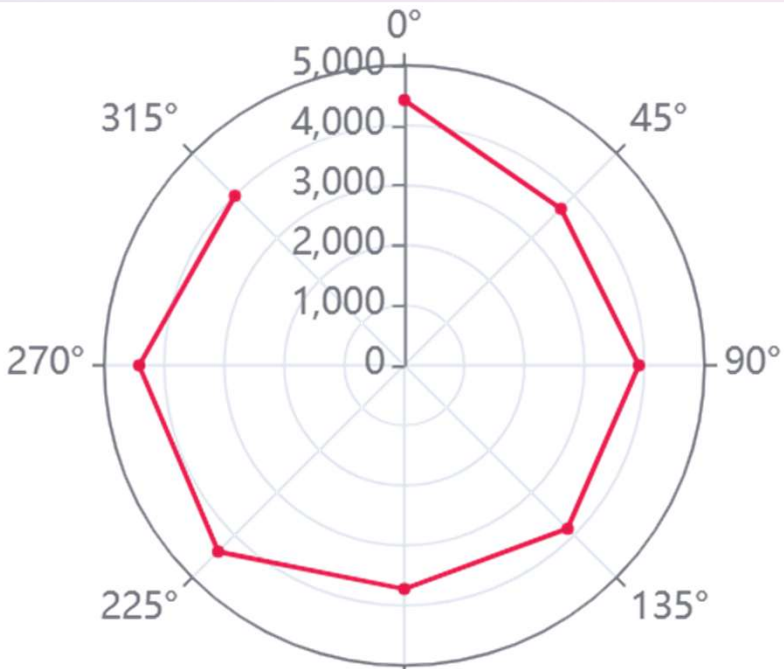
■ 6GHzにおいて、顕著な差分が見られた

5GHz



角度 ( ° )	スループット (Mbps)	AVG.との差分
0	2377.3	99.4%
45	2355.8	100.2%
90	2352.0	100.1%
135	2355.2	100.2%
180	2350.7	100.0%
225	2353.9	100.1%
270	2346.2	99.8%
315	2352.0	100.1%

6GHz



角度 ( ° )	スループット (Mbps)	AVG.との差分
0	4274.4	107.9%
45	3798.7	95.9%
90	3780.4	95.5%
135	3773.5	95.3%
180	3691.2	93.2%
225	4278.7	108.0%
270	4279.2	108.1%
315	3805.8	96.1%

# Wi-Fi7 距離を考慮したスループットテスト (MLO)

# 距離を考慮したスループットテスト

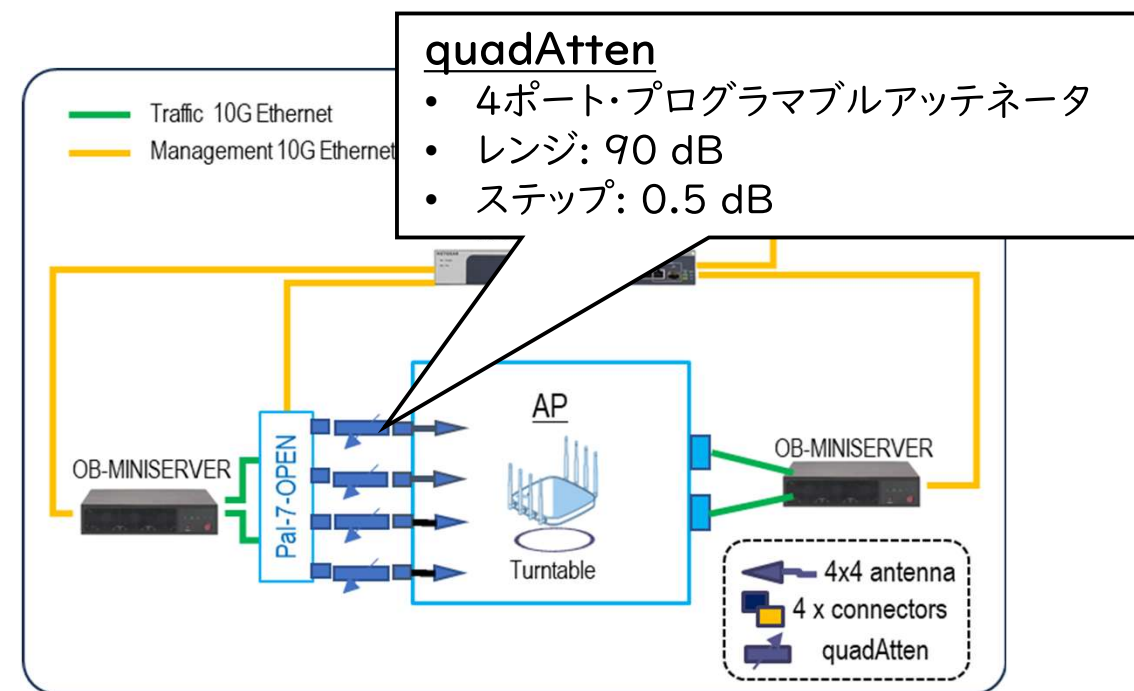
## ■ Wi-Fi 7対応APからの、距離と速度の関係を測定するトラフィックテスト

- 5GHz, 6GHz および MLO (5+6GHz) のパフォーマンスをテスト
- 追加Attenuationを設定
  - 0 dB, 10 dB, 20 dB, 30 dB, 40 dB, 50 dB
- TCPトラフィックを30秒間印加し、スループットを測定

(参考としたTR-398テストケース)

## ■ 6.3.1 Range Versus Rate Test

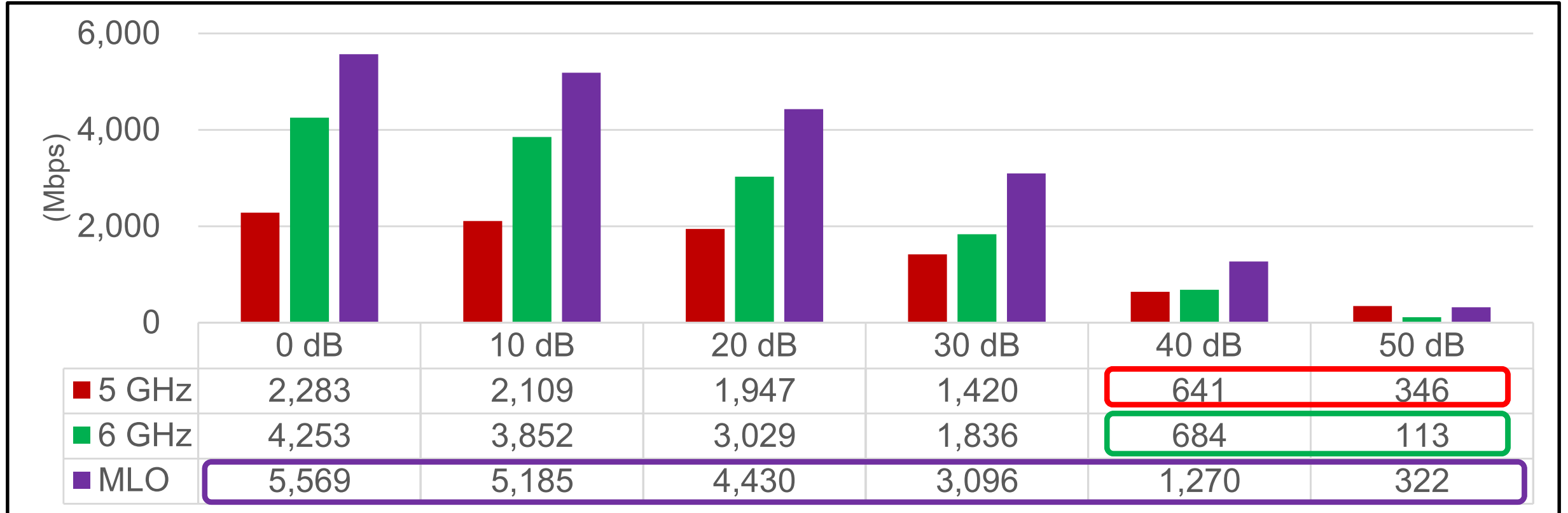
- 距離と速度の関係を測定するトラフィックテスト
- 様々な追加Attenuationを設定
  - 0 dB ~ 49 dB @2.4G (13パターン)
  - 0 dB ~ 49 dB @5G (13パターン)
  - 0 dB ~ 30 dB @6G (11パターン)
- TCPトラフィックを120秒間印加





# 結果：距離を考慮したスループットテスト

- 距離に応じてスループットが低下した
- 条件によっては5GHzのスループットが6GHzを上回る場合も
- MLOは高スループットと安定性の両面で効果が有った

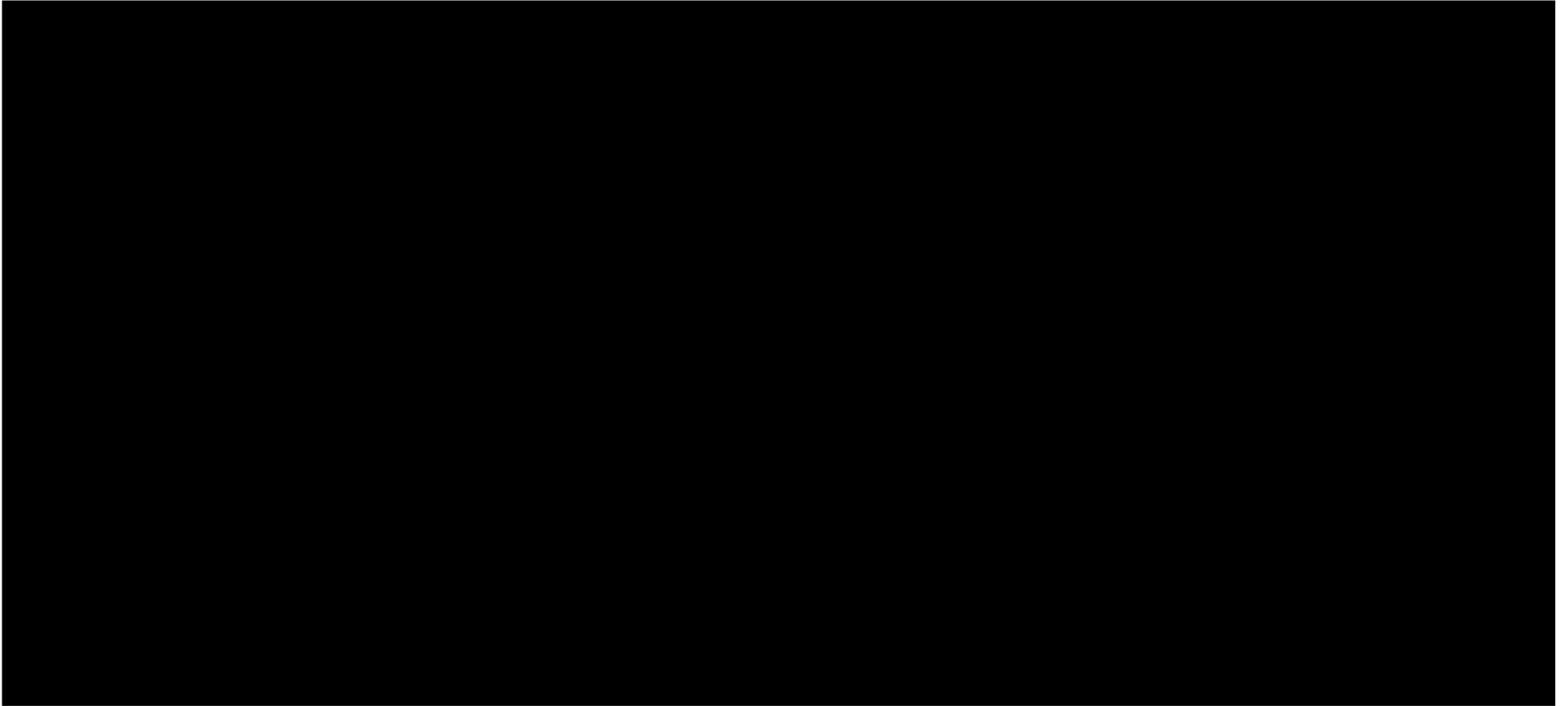


# Wi-Fi7 角度を考慮したスループットテスト (MLO)

# MLO トラフィック with ターンテーブル

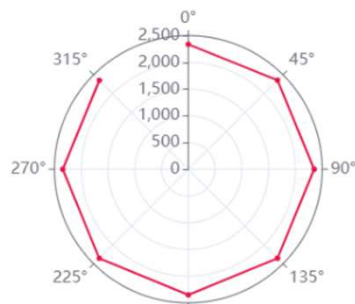
デモ

**Wi-BiZ**  
無線LANビジネス推進連絡会

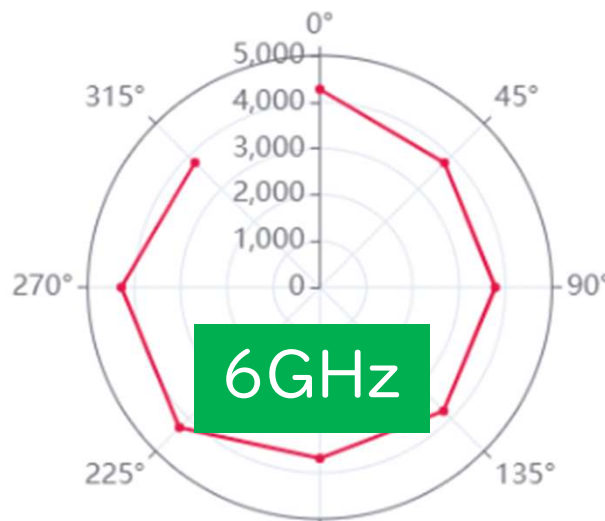


# 全結果：角度を考慮したスループットテスト

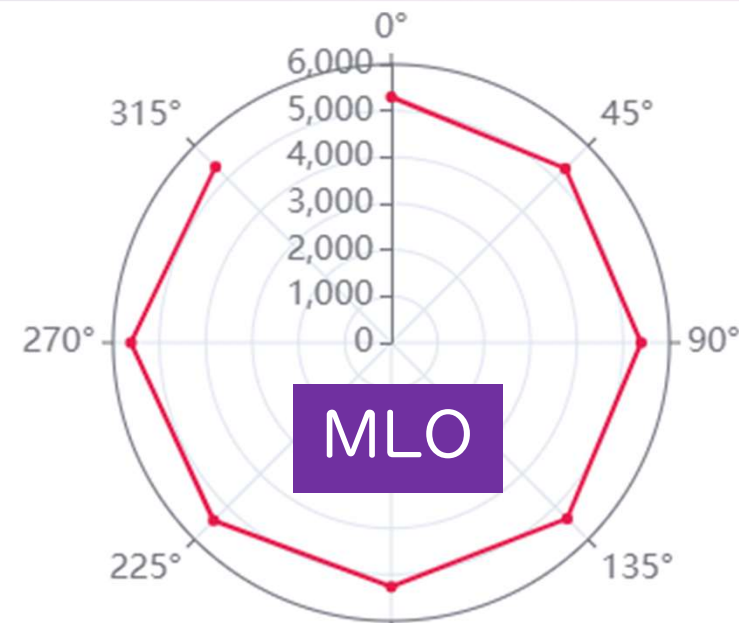
5GHz



6GHz



MLO



角度 ( ° )	スループット (Mbps)	AVG.との差分
0	2337.3	99.4%
45	2355.8	100.2%
90	2352.0	100.1%
135	2355.2	100.2%
180	2350.7	100.0%
225	2353.9	100.1%
270	2346.2	99.8%
315	2352.0	100.1%

角度 ( ° )	スループット (Mbps)	AVG.との差分
0	4274.4	107.9%
45	3798.7	95.9%
90	3780.4	95.5%
135	3773.5	95.3%
180	3691.2	93.2%
225	4278.7	108.0%
270	4279.2	108.1%
315	3805.8	96.1%

角度 ( ° )	スループット (Mbps)	AVG.との差分
0	5297.6	98.5%
45	5306.8	98.7%
90	5391.6	100.3%
135	5367.5	99.8%
180	5264.5	97.9%
225	5421.0	100.8%
270	5615.0	104.4%
315	5359.8	99.7%



## ■ 試験について

- MLOによる高スループットを確認
  - 今回はあくまでも、APの最大パフォーマンスを評価

## ■ 導入に向けた考慮点

- どの周波数帯の組み合わせとすべきか
  - 2.4GHz+5GHz+6GHz、2.4GHz+5GHz、5GHz+6GHz
- 想定される接続台数
  - 増加による変化
- 想定されるトラフィック(アプリケーション)
  - Downlink重視でOKで?
- STAの性能
  - どの周波数が利用できる?
- APのその接続先は???
- メッシュ接続
  - 同一製品の対向接続でWi-Fi7の能力を十分に生かせるのでは?

ご清聴ありがとうございました