

IEEE 802.11ax 6 GHz Band に対応した MT8862A オプション開発

長谷川拓 Taku Hasegawa, 笠置崇裕 Takahiro Kasagi, 堀 信也 Shinya Hori, 佐藤翔一 Shoichi Sato

〔要 旨〕

約 20 年ぶりに Wireless LAN 用の新しい周波数帯として 6 GHz Band の追加が世界各国で検討され、開放が進んでいる。6 GHz Band の追加により周波数リソースの逼迫が解消し、より安定した高速大容量通信が実現できることが期待される。アンリツはワイヤレスコネクティビティテストセット MT8862A を通じ顧客へ RF 性能評価ソリューションを提供してきた。このたび IEEE 802.11ax の 6 GHz Band および 160M Bandwidth へ対応するハードウェアオプションおよびソフトウェアオプションを開発した。

1 まえがき

IoT の普及に伴い、スマートフォン、ノートパソコンをはじめとした情報通信端末に加えて家電、車載機器、産業機器、センサ機器など WLAN(Wireless LAN)の搭載分野は広がりを見せている。また IEEE 802.11ac や IEEE 802.11ax 等の高速規格に対応した機器も年々増加しており各機器の高速化、広帯域化も同時に進んでいる。

一方で、搭載機器の増加や広帯域化により周波数リソースが逼迫し、通信速度の低下や、接続が不安定になるなどの課題が発生している。その課題解決のために、約 20 年ぶりに新しい周波数帯として 6 GHz Band の追加が世界各国で検討され、開放が進んでいる。

アンリツでは、ワイヤレスコネクティビティテストセット MT8862A (以下、MT8862A)を WLAN の RF 送受信特性測定ソリューションとして提供してきた。WLAN の実動作状態で測定可能なネットワークモードと製造ライン等で使用されるダイレクトモードに対応しており OTA(Over The Air)測定や Conducted 測定に広く使用されている。

急速に高まる 6 GHz Band の RF 測定需要に応えるため、MT8862A の機能拡張として追加オプション MT8862A-002 RF 周波数 6 GHz、MT8862A-010 拡張 RF ハードウェア、MX886200A-030 160 MHz 帯域幅オプションの開発を行い、ネットワークモードとダイレクトモードの両方で使用可能な 6 GHz Band の RF 測定機能をサポートした。ここでは MT8862A の 6 GHz Band 対応における開発方針、開発の詳細、および主要な規格について述べる。



図 1 ワイヤレスコネクティビティテストセット MT8862A

2 WLAN の周波数帯

長年 WLAN の周波数帯としては 2.4 GHz Band と 5 GHz Band が使用されてきたが、近年の広帯域通信に対応した端末の普及により周波数リソースが逼迫してきている。

2.4 GHz Band では 14 channel しか定義されておらず 5 MHz 間隔で重なって配置されているため、20 MHz 帯域幅でも実際に同時に使用できる Channel 数は図 2 に示すとおり最大 3 channel のみとなっている。さらに 40 MHz 帯域幅に至っては同時に 1 channel しか使用できず、重なり合う 20 MHz 帯域と協調して通信する必要があるため、効果的に運用できる環境は限られる。

2.4G Band Channel

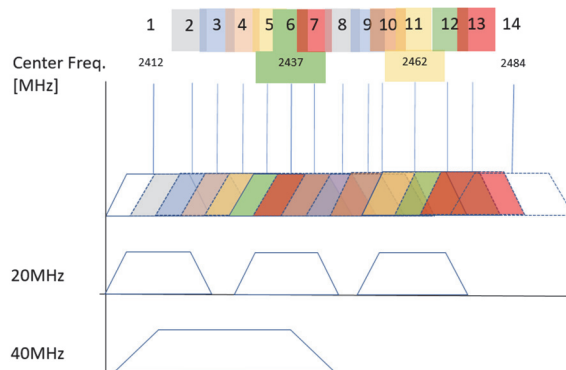


図 2 2.4 GHz Band の Channel 配置

5 GHz Band は図 3 に示すとおり 2.4 GHz Band と比較して広帯域であり 80 MHz 帯域幅では 7 channel が使用可能だが、160 MHz 帯域幅は 3 channel のみであり、160 MHz 帯域幅非対応の WLAN デバイスも多く存在している。

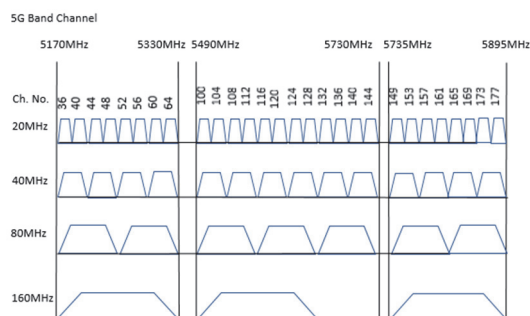


図3 5GHz Band の Channel 配置

今回新たに追加される 6 GHz Band は図 4 に示すとおり最大 80 MHz 帯域幅で 14 channel, 160 MHz 帯域幅でも 7 channel の同時通信が可能となる。既存の 2.4 GHz Band や 5 GHz Band をあわせた channel 数の 2 倍程度の channel が新たに開放される。

3 開発方針

MT8862A 6 GHz Band 対応の開発方針について述べる。

3.1 既存ハードウェアからの拡張性

既存の MT8862A についても、一部のモジュール交換により 6 GHz Band 対応へアップデート可能な構成にするため、RF ユニット部およびフロントエンドユニット部といった最小限の変更で済むよう設計した。また、既存の MT8862A とのハードウェアの違いを内部のソフトウェアおよび FPGA 回路で吸収し、ファームウェアのインストーラを共通化した。これにより、ユーザは既存の MT8862A と全く同じ手順でファームウェアを更新することができる。

3.2 ハードウェア性能の改善

今後の IEEE 802.11be での 4096QAM 対応等も見据え、EVM 性能を改善した。設計目標として信号発生器の EVM は-41 dB、信号解析側の残留 EVM は-44 dB とした。

3.3 6 GHz Band と並行して 160 MHz 帯域幅に対応

160 MHz 帯域幅はその帯域幅の確保の難しさから 5 GHz

Band では対応していない端末が多く MT8862A も対応を見送っていた。6 GHz Band の開放に伴い多くの端末が 160 MHz 帯域幅へ対応することが想定されることから、今回 6 GHz Band の対応とあわせて 5 GHz Band, 6 GHz Band とともに 160 MHz 帯域幅にも対応させることとした。

4 ハードウェア

MT8862A 6 GHz 対応のハードウェア変更箇所について述べる。

4.1 RF ユニット部

ベースバンド信号で搬送波を直交変調し、RF 周波数の WLAN 信号をフロントエンド部に受け渡す送信部と、WLAN 信号をフロントエンド部から受け取り IF 周波数へ変換する受信部で構成される。従来のハードウェアでは 2.4 GHz Band と 5 GHz Band のみに対応していたが今回 6 GHz Band まで対応した。

RF ユニットは社内類似製品の設計資産を生かし、回路を流用することで開発期間の短縮化および部品コスト削減を行った。流用にあたり MT8862A 独自となるフロントエンド部に合わせてレベルダイヤを最適化した。

4.2 フロントエンドユニット部

RF ユニット部からの WLAN 信号のレベル増減を行いコネクタへ出力する送信部と、WLAN 信号を受信し RF ユニット部へ送出する受信部で構成される。RF ユニット部と同様に従来ハードウェアでは 2.4 GHz Band と 5 GHz Band に対応していたが、今回 6 GHz Band まで対応した。

信号発生器の出力レベルが高いとき、出力 EVM はフロントエンド部送信経路の OIP3(Output third-order Intercept Point)が支配的となる。そこで送信経路の Power Amplifier は最新の高 OIP3 の部品を新規で採用した。この部品は社内類似製品と共用とし部品コスト削減を行った。最終的な EVM 性能としては設計目標の-41 dBを達成した。

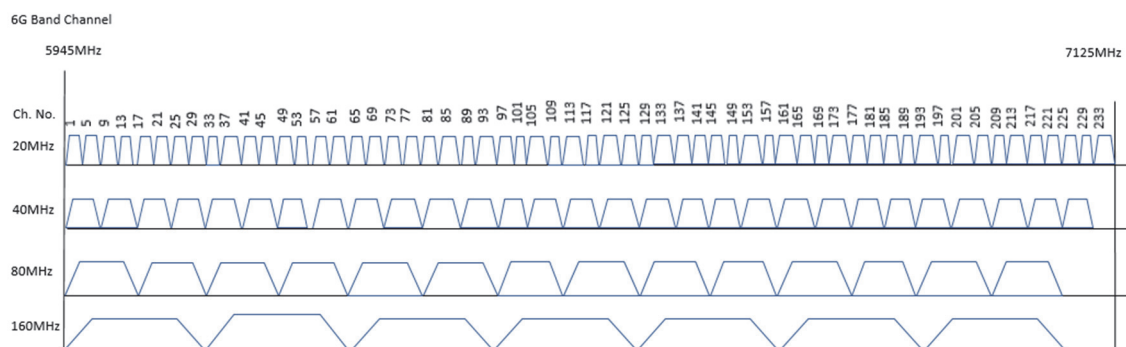


図4 6GHz Band の Channel 配置

信号解析側では入力信号が低いとき、フロントエンド部受信経路の NF(Noise Figure)による SNR(Signal to Noise Ratio)悪化が残留 EVM に対して支配的となる。そこで受信経路に切り替え可能な LNA(Low Noise Amplifier)を追加した。LNA は社内類似製品で実績のある部品を採用した。

また、周波数範囲を 6 GHz Band まで拡張したことによる RF 経路の周波数特性 160 MHz 帯域幅対応、変調波形のクレストファクタ増加により受信部のダイナミックレンジが狭くなることを避けるため、IF 経路に Digital Step Attenuator を設け、周波数ごとに ADC 入力レベルを最適化した。

最終的な EVM 性能としては多くの条件では設計目標の-44 dB を達成した。厳しい条件である 6 GHz Band かつ 160 MHz 帯域幅では周波数やレベルしだいでは-42 dB となった。

5 ソフトウェア

MT8862A 6 GHz 対応のソフトウェア変更箇所について述べる。

5.1 Application 部

Application 部は GUI やリモートコマンド操作に従って信号出力や測定・解析を行う実行部である。

今回 WLAN 送信測定機能、受信測定機能、WLAN シグナリングシステムの制御について 6 GHz Band 対応および帯域幅 160 MHz 対応を行った。

160 MHz の Spectrum Mask 測定については±240 MHz までの測定に対応した。

5.2 WLAN シグナリング部

IEEE802.11ax では、6 GHz Band 固有のプロトコルが規定されている。これまで 2.4 GHz Band、5 GHz Band においては 11ax に対応していないデバイスとの互換性を維持する必要がありプロトコルの大幅な見直しが困難であった。一方、6 GHz Band は 11ax 対応端末のみが使用できる帯域のためその制約がなく、いくつかの固有仕様が追加されている。MT8862A はこれらの固有仕様に対応し、従来の Band と同等の接続性を維持するため、主に以下の機能を追加した。

(1) Unsolicited Broadcast Probe Response

従来の帯域では、各 STA(Station)が AP(Access Point)をスキャンするために送信する Broadcast Probe Request と、その応答として AP が送信する Probe Response が Channel の使用率を圧迫することが課題となっていた。これを解消するために、6 GHz Band では Broadcast Probe Request 送信が制限されてい

る。その代わりに AP が能動的かつ周期的に Unsolicited Broadcast Probe Response を送信することで Channel の使用率を圧迫することなく STA がスキャンを行う方式が推奨されている。

MT8862A AP モードでは使用帯域に 6 GHz Band が選択された場合、ユーザに意識させることなく自動的に Unsolicited Broadcast Probe Response を使用する。これにより STA がスムーズに MT8862A を検出できるよう動作する。

(2) Channel Switch

6 GHz Band は 5 GHz Band の倍以上の帯域幅を持っており、STA がすべての Channel をスキャンしていると時間がかかる。そのため、6 GHz Band では 20 MHz 帯域幅の Preferred Scanning Channel(PSC)が定義されており、STA は PSC だけをスキャンすることでスキャン時間を短縮することが推奨されている。この場合、STA は AP を検出した 20 MHz 帯域幅の PSC で接続し、PSC に隣接する PSC 以外の Channel (Non-PSC)とあわせて 80 MHz 帯域幅、160 MHz 帯域幅の通信を行う。

一方で RF 測定器としては周波数ごとの測定結果を提供するために Non-PSC だけを測定する機能も必要となる。常に PSC に接続している状態ではこれを実現できないため、MT8862A AP モードでは接続された STA を任意の Non-PSC で再接続させる Channel Switch 機能を搭載する。一旦 PSC で接続された STA に対して、IEEE802.11 に規定される Channel Switch Announcement frame を送信することで Non-PSC に移動させることができる。

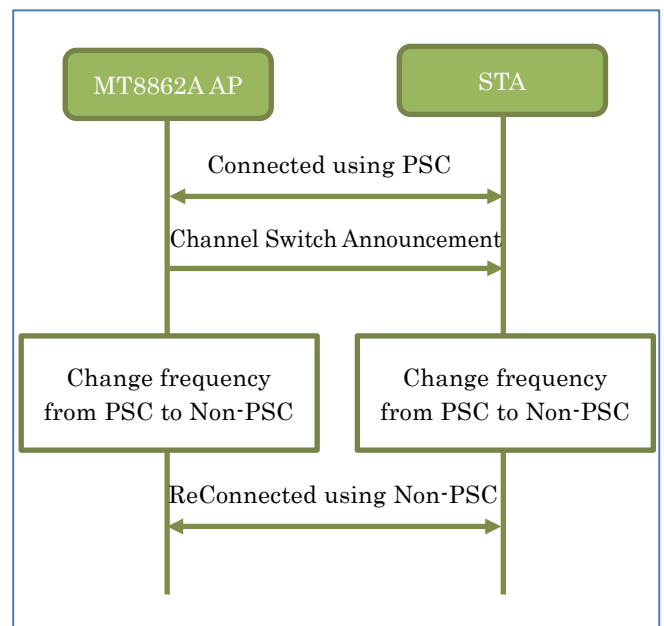


図 5 Non-PSC への Channel switch シーケンス

(3) WPA3 Hash-to-Element

WPA3(Wi-Fi Protected Access 3)のセキュリティをより強固にするために、Wi-FiアライアンスはPWE(Password Element)の算出アルゴリズムとして、従来の“hunting-and-pecking”を改善したHash-to-Element(H2E)を追加している。H2Eは2.4 GHz Band、5 GHz Bandでの使用は任意だが、6 GHz Bandでは必須となる。MT8862AはWPA3 H2Eをサポートするが、加えてH2E未対応のデバイスを測定するために従来の“hunting-and-pecking”もあわせてサポートする。

6 主要規格

表1と表2にMT8862A 6 GHz Band 対応の主要規格を示す。

7 拡張された測定機能

6 GHz Band への対応については、2.4 GHz Band や 5 GHz Band と同等の測定機能を 6 GHz Band でも実現した。測定結果の一例として 6 GHz Band での EVM 測定時の Constellation 結果を図6に示す。この Constellation は中心周波数 6455 MHz、Input Level -10 dBm にて、IEEE802.11ax の MCS11 信号を測定した際の結果であり EVM は-43.77 dB であった。

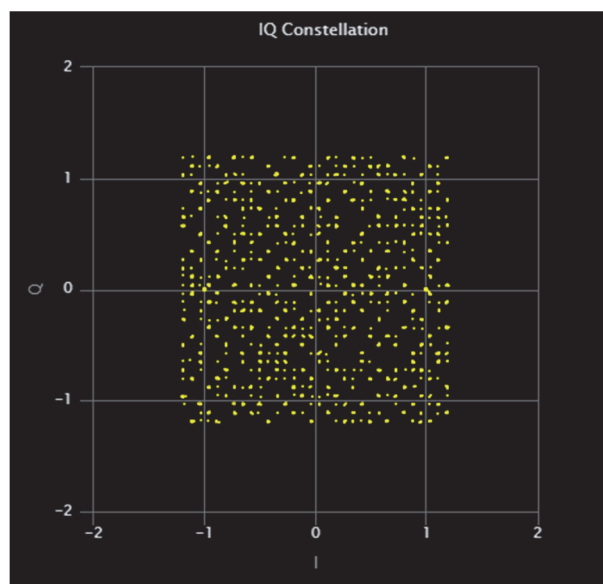


図6 6 GHz Band の 1024QAM Constellation 例

160 MHz 帯域幅への対応については、従来 80 MHz までだった測定機能を 160 MHz 帯域幅まで拡張した。拡張例として IEEE 802.11ax 160M の Spectrum Mask 測定結果を図7に Unused tone Error 測定結果を図8に示す。

図7と図8は中心周波数 6505 MHz、Input Level -10 dBm

にて、IEEE802.11ax の 160M 帯域幅信号を測定した結果である。

Spectrum Mask は IEEE 802.11ax で規定されている±240 MHz までの測定に対応した。

Unused tone error 測定は 160M 帯域での最大 RU(Resource Unit)数である 74 まで対応した。

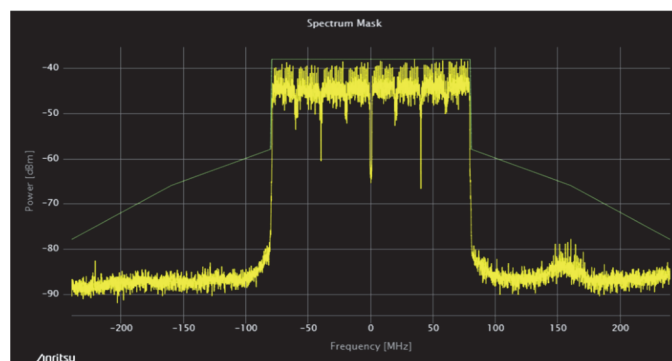


図7 160M 帯域幅信号の Spectrum Mask 測定例

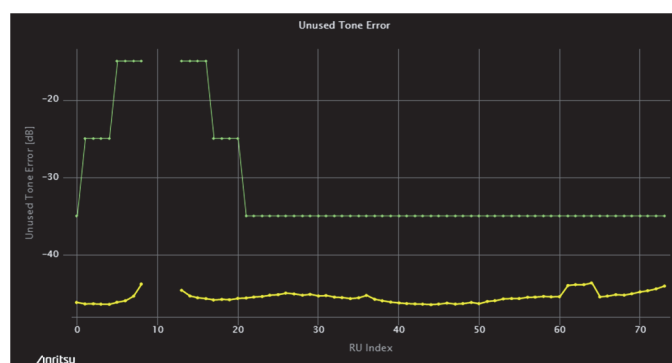


図8 160M 帯域信号の Unused tone error 測定例

8 むすび

今後増えていく 6 GHz Band の無線 LAN 機器の測定ソリューションとして MT8862A の 6 GHz Band 対応および 160M 帯域幅対応を実施した。本開発により、新たに MT8862A を購入する顧客のみならず、既に MT8862A を購入済みの顧客に対してもハードウェアアップデートにより 6 GHz Band の RF 測定機能を提供する。

今後も追加される新しい規格への対応など、WLAN 機器を開発・製造する顧客からの要求に応えるためのさまざまなソリューションの提供に継続して取り組み、WLAN 機器の普及と発展に貢献していく。

参考文献

1) IEEE Standard 802.11-2020
“Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”

2) IEEE Standard 802.11ax-2021
“Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN”

3) 木原, 増原, 柳本, 笠置, 井上, 岩本, 根上: “IEEE 802.11ac WLAN ネットワークモードに対応した MT8862A ワイヤレスコネクティブティテストセットの開発”, アンリツテクニカル 93 号, pp.1-7(2018.3)

執筆者



長谷川 拓
通信計測カンパニー
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



笠置 崇裕
通信計測カンパニー
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



堀 信也
通信計測カンパニー
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



佐藤 翔一
通信計測カンパニー
モバイルソリューション事業部
第 2 商品開発部

表 1 MT8862A の 6 GHz Band 対応の主要規格

受信部	周波数範囲	MT8862A-001 搭載時: 2.4 GHz~2.5 GHz, 5.0 GHz~6.0 GHz MT8862A-002, 010 搭載時: 6.0 GHz~7.3 GHz
	周波数設定分解能	1 Hz
	レベル設定範囲	-65~+25 dBm
	レベル設定分解能	0.1 dB
	レベル確度	測定条件: CW, Measurement Bandwidth: 160 MHz, 20°C~30°C, 設定レベル以下の入力信号, かつ直線性誤差の影響を除く, Cal 実行後 2.4 GHz ≤ 周波数 ≤ 2.5 GHz ±0.7 dB (-30 dBm ≤ 設定レベル ≤ +25 dBm) ±1.0 dB (-50 dBm ≤ 設定レベル < -30 dBm) 5.0 GHz ≤ 周波数 ≤ 6.0 GHz ±0.7 dB (-30 dBm ≤ 設定レベル ≤ +25 dBm) ±1.0 dB (-50 dBm ≤ 設定レベル < -30 dBm) 6.0 GHz < 周波数 ≤ 7.3 GHz ±0.7 dB (-30 dBm ≤ 設定レベル ≤ +25 dBm) ±1.0 dB (-50 dBm ≤ 設定レベル < -30 dBm)
送信部	周波数範囲	MT8862A-001 搭載時: 2.4 GHz~2.5 GHz, 5.0 GHz~6.0 GHz MT8862A-002, 010 搭載時: 6.0 GHz~7.3 GHz
	周波数設定分解能	1 Hz
	レベル設定範囲	-120~0 dBm
	レベル設定分解能	0.1 dB
	レベル確度	出力設定: CW 20°C~30°C, 出力レベル: ≥ -110 dBm, Cal 実行後 ±1.0 dB, ±0.7 dB(typ.) (2.4 GHz ≤ 周波数 ≤ 2.5 GHz) ±1.3 dB, ±1.0 dB(typ.) (5.0 GHz ≤ 周波数 ≤ 6.0 GHz) ±1.3 dB, ±1.0 dB(typ.) (6.0 GHz < 周波数 ≤ 7.3 GHz)
	信号純度	高調波: ≤ -25 dBc

Typ.値は参考データであり規格としては保証していません。

表 2 MX886200A の 6 GHz Band 対応の主要規格

周波数範囲	周波数範囲	2.4 GHz 帯: 2412 MHz～2484 MHz (MT8862A-001 搭載時) 5 GHz 帯: 5180 MHz～5825 MHz (MT8862A-001 搭載時) 5180 MHz～5885 MHz (MT8862A-001, 002, 010 搭載時) 6 GHz 帯: 5955 MHz～7115 MHz (MT8862A-001, 002, 010 搭載時)
振幅測定	入力レベル範囲	-50～+25 dBm
	入力レベル確度	Cal 実行後, 20°C～30°C ±0.7 dB (-30 dBm ≤ 入力レベル ≤ +25 dBm) ±1.0 dB (-50 dBm ≤ 入力レベル < -30 dBm)
	帯域幅	40 MHz/20 MHz (802.11n), 20 MHz (802.11a/b/g), 160/80/40/20 MHz (802.11ac, MX886200A-001, 030 搭載時), 160/80/40/20 MHz (802.11ax, MX886200A-002, 030 搭載時)
EVM	測定範囲	-20～+25 dBm
	残留 EVM	OFDM (802.11ac 160MHz 帯域幅, MX886200A-001, 030 搭載時): < -44 dB(nom.) (-10 dBm ≤ 入力レベル, 20 パケットの平均, チャネル推定: Full packet, MCS9) OFDM (802.11ax, MX886200A-002 搭載時): < -42 dB(nom.) (-10 dBm ≤ 入力レベル, 20 パケットの平均, チャネル推定: Full packet) OFDM (802.11ax 160 MHz 帯域幅, MX886200A-002, 030 搭載時): < -44 dB(nom.) (-10 dBm ≤ 入力レベル, 20 パケットの平均, チャネル推定: Multi packet, MCS11)
RF 信号発生器	レベル設定範囲	-120～0 dBm (Aux Out コネクタ) -120～0 dBm (Main 1/2 コネクタ, 周波数 ≤ 6 GHz かつ Channel Band 2.4 GHz/5 GHz) -120～-5 dBm (Main 1/2 コネクタ, 周波数 > 6 GHz もしくは Channel Band 6 GHz)
	EVM	802.11ac: ≤ -37 dB rms (5180 MHz～5885 MHz, Long GI, チャネル帯域幅 80 MHz, 20° C～30° C) ≤ -41 dB rms(nom.) (5180 MHz～5885 MHz, Long GI, MCS9, チャネル帯域幅 160 MHz, 20° C～30° C) 802.11ax: ≤ -40 dB rms(nom.) (5180 MHz～5885 MHz, 0.8 μs GI, チャネル帯域幅 80 MHz, 20° C～30° C) ≤ -41 dB rms(nom.) (5180 MHz～5885 MHz, 0.8 μs GI, MCS11, チャネル帯域幅 160 MHz, 20° C～30° C) ≤ -41 dB rms(nom.) (5995 MHz～7115 MHz, 0.8 μs GI, MCS11, チャネル帯域幅 160 MHz, 20° C～30° C)

Nominal(nom.)値は設計値であり、規格としては保証していません。