

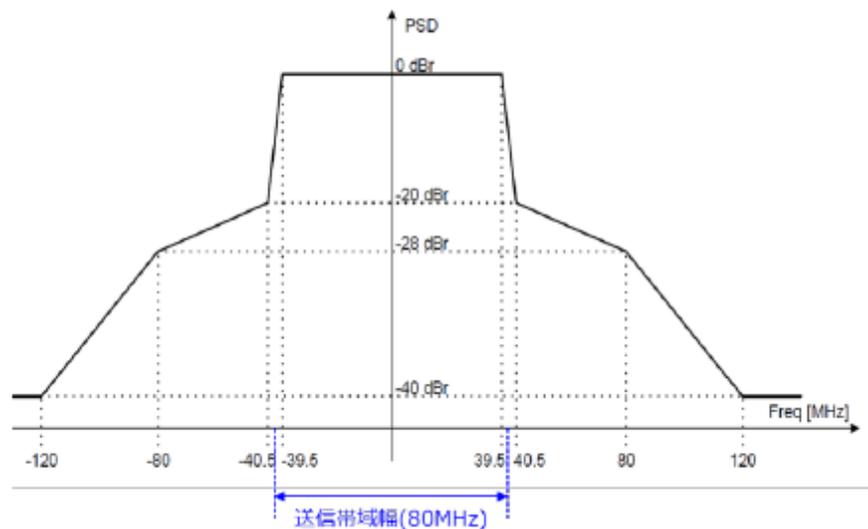
DFS高度化においてパルクチャリング領域の電力が 他システムへ与える影響について

2026年1月15日

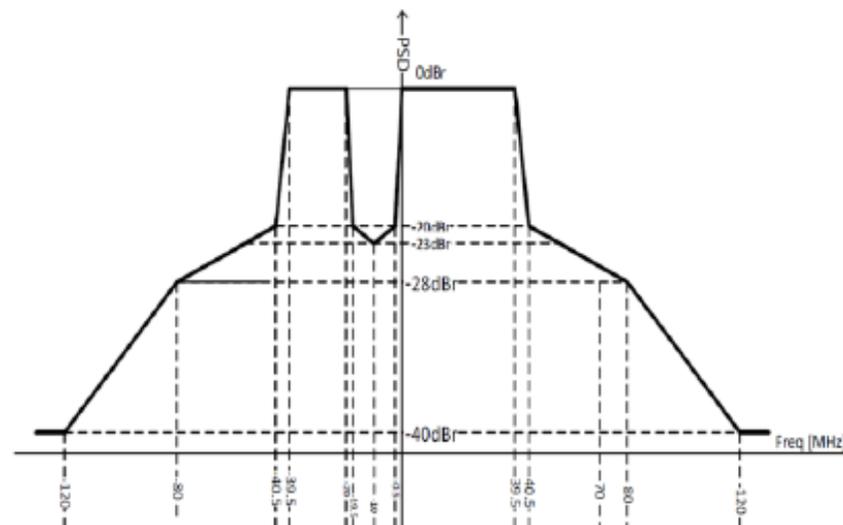
ARIB 無線LANシステム開発部会

経緯

- 第12回作業班（令和6年7月22日開催）において、パンクチャリングを5 GHzのレーダーとの共用、及び、6 GHz帯のAFCへの適用を可能とするため、制度整備の要望が提出された。
- 第13回作業班では、パンクチャリング部分の電力が他システムへ与える影響について議論が行われた。
- 本資料では、パンクチャリング部分の技術的条件案について、第13回作業班での検討手法を踏襲して周波数共用検討結果を踏まえて説明する。パンクチャリングされた部分をパンクチャリング領域と定義する。
- パンクチャリング領域とは、IEEE 802.11ax及び802.11beで規定されるPreamble Puncturing機能により、20 MHz単位で構成されるチャンネルブロックのうち、干渉や利用不可のため送信を行わない部分を指す。



パンクチャリングブロックがない場合の80MHz幅スペクトルマスク



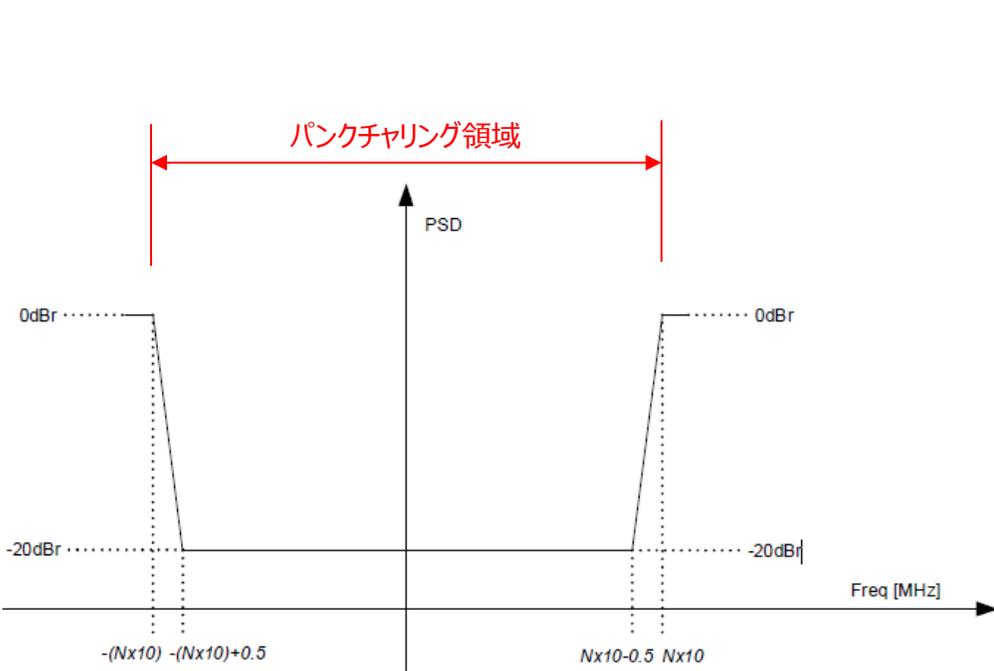
パンクチャリングブロックがある場合の80MHz幅スペクトルマスク

80 MHz幅チャンネルのパンクチャリング

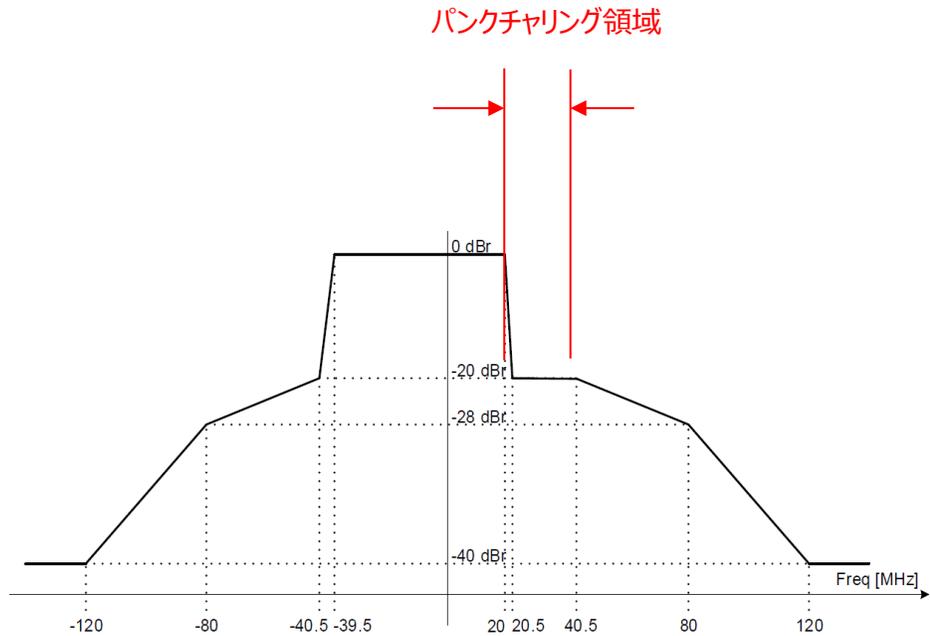
パンクチャリング領域の技術的条件案

- ARIB無線LANシステム開発部会において、IEEE 802.11-2024 (11ax)、IEEE 802.11be-2024、及びETSI EN 303 687 V1.1.1 (2023-06)を検討した結果、日本におけるパンクチャリング領域の技術条件はIEEE 802.11-2024 (11ax)をベースとして、パンクチャリングしたチャンネルの電力を**-20 dBr/1 MHz**（送信周波数帯域の端部から1MHz以上離れた領域のみに適用）とすることが適当であるとの結論に至った。
- 理由
 - 現在の制度の範囲で利用が可能なパンクチャリングは、占有帯域幅が規定されている基本送信チャンネル (80 MHz、160 MHz、320 MHz) の一部を使用しない運用である。この考え方を踏襲しパンクチャリングした部分のみの電力を規定する
 - 作業班資料12-2に記載されている通り、他システムとの共用にはパンクチャリング部分の技術基準を規定する必要があるとされていることにも合致する
 - パンクチャリング領域に802.11axベースの規定を適用する理由は以下の通り
 - 802.11beのパンクチャリング部分の規格は、パケットの種類、パンクチャリングの送信パターンに応じて規定されている。これをベースに技術基準を策定してしまうと、法令が過度に複雑化する
 - 複雑な法令に対する認証試験は複雑になる可能性があり、無線LANの認証試験を簡素化していくという方向性に反する
 - 技術基準が標準規格と異なる規定となることはあり得る
 - -20 dBrが適用されない、送信周波数帯域内の端部からの離調周波数については、802.11ax、802.11beで使用されている数値の中で一番大きい1 MHzを採用 (ETSIの規格も1 MHzが使用されている)

802.11ax標準規格におけるパングチャリングを行う場合のスペクトルマスク例



送信帯域の端ではない20 MHzサブチャネルをN個パングチャした場合のスペクトルマスクの例

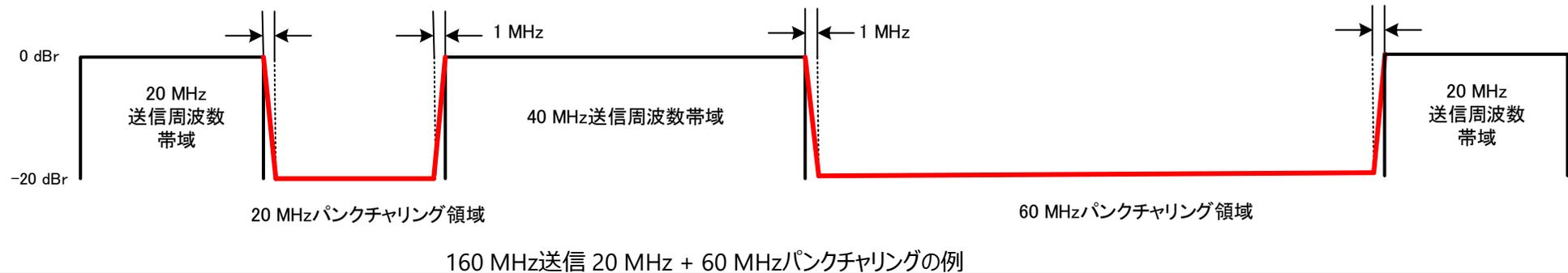
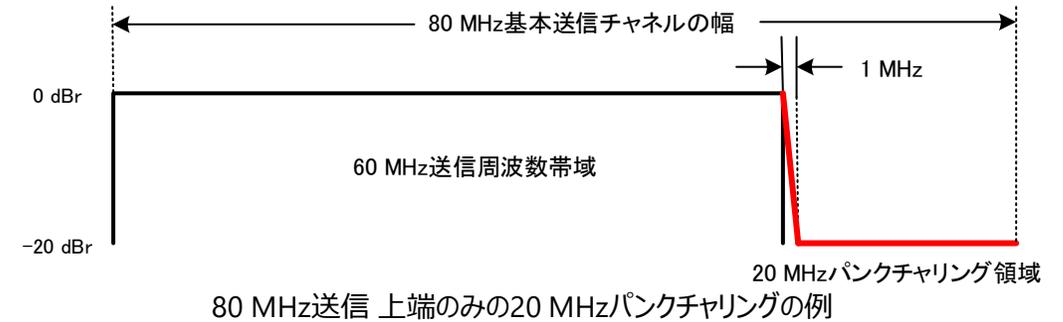
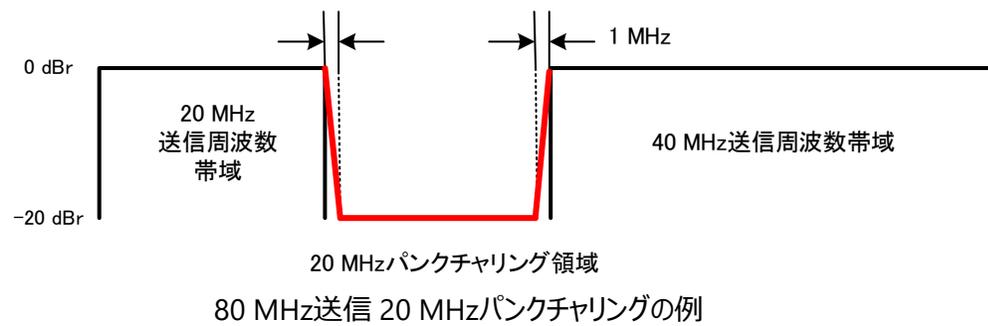


送信帯域の端で20 MHzサブチャネルをパングチャした場合のスペクトルマスクの例

参照: IEEE Std 802.11ax-2021

技術的条件案

- パンクチャリング領域の許容値
 - 当該使用中の送信周波数帯域の端部から1MHz以上離れた領域は-20 dBr/1 MHzとする
 - パンクチャリング領域が基本送信チャネルの端に来る場合は、-20 dBr/1 MHzが適用される範囲は基本送信チャネル端までとする
 - 送信周波数帯域内の端部から1MHzまでの領域はdB単位で線形補間とする



パンクチャリング領域の与干渉に対する検討

- 作業班13-2の資料では、11beのマスクを前提に共用検討が行われた。ここでは同様の手法を用いて11axのマスクで再検討を行う。
 - パンクチャリングを用いる場合の当該帯域には、キャリアセンスを行わない形で電力が放射される。その影響度合いについて隣接チャンネル漏洩電力との相対比較を行った。
 - 現行制度において、キャリアセンスを行わない帯域において最大出力となるのは隣接チャンネル。隣接チャンネル漏洩電力の許容値は帯域幅によらず-25dBr/(チャンネル帯域幅)と規定されている。(次隣接チャンネル漏洩電力は-40dBr/(チャンネル帯域幅))
 - パンクチャリングを行った周波数ブロックの漏洩電力が隣接チャンネル漏洩電力を下回れば、これまでの共用条件（既存システム及び802.11無線LAN同士）を満足すると考えられる。
 - 5/6GHz帯における隣接チャンネル漏洩電力の最も厳しい条件は、20MHzチャンネル送信の場合の隣接チャンネルである。
→-2dBm/20MHz (=23dBm/20MHz -25dBr)
 - パンクチャリングは80MHz/160MHz/320MHzチャンネルに対して規定されており、パンクチャリングブロックの漏洩電力が最大となる場合（最悪ケース）は、周波数あたりの送信電力密度の最も大きい80MHzチャンネルで20MHzブロックがパンクチャリングされている場合である（P5の80MHzのパンクチャの例参照）。
 - 11axにおけるスペクトルマスクを基にすると、当該のパンクチャリング領域の電力は相対値で約-15.16 dBrとなる(スペクトルマスクを基に積分計算を実施した結果：計算方法は付録参照)。(作業班13-2で使用した数値-19.7 dBrより4.55 dB高い)
⇒80MHzチャンネルにおける最大電力密度は17dBm/20MHzであるため、パンクチャリング領域の電力は絶対値で約1.84 dBm/20MHz。
(作業班13-2では-2.7dBm/20MHz)
- ⇒現行制度における隣接チャンネル漏洩電力の最大値(-2dBm/20MHz)を3.84 dB上回る。

作業班13-2の検討との比較

項目	作業班13-2 802.11beベースの検討*	802.11axベースの検討
a. 許容干渉量** (これ以下の干渉量でないと判定としてNGという数値)	- 2 dBm/20 MHz	- 2 dBm/20 MHz
b. パンクチャリング領域の相対干渉量	- 19.7 dBr	-15.16 dBr
c. 80MHzチャンネルパンクチャリング領域の電力の絶対値	- 2.7 dBm/20 MHz	1.84 dBm/20 MHz
許容干渉量との差分 (c - a) (この値がマイナスであれば、干渉が許容干渉量以下)	- 0.7 dB/20 MHz	3.84 dB/ 20 MHz

*作業班13-2の検討は付録を参照

**許容干渉量は検討の基準として用いられる数値であり、これを満たさない場合が必ずしも即座に有害な干渉が発生するという条件ではない

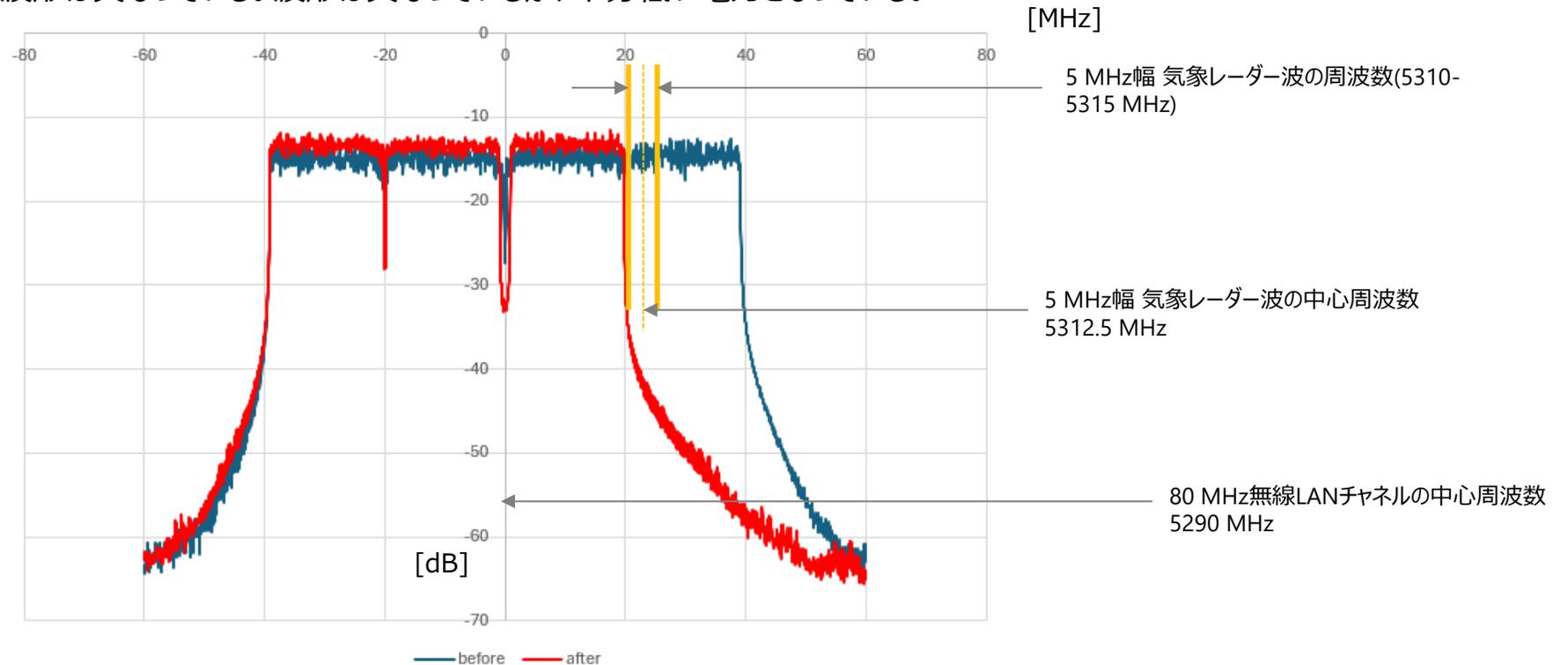
許容干渉量との差分に対する考察

- 11axのマスクをベースに20 MHzのパンクチャリング領域の電力を計算すると-15.16 dBr(付録の計算方法参照)となるが、送信周波数帯域の端部から1MHzまでのエネルギーの寄与が大きい。
 - レーダーの帯域はパンクチャリングの最小単位である20 MHzより狭い(5 MHz)ため、送信周波数帯域の端部から1MHzまでの帯域が両端で重なることはありえない。片方からの端部から1MHzを-20 dBrとして計算すればパンクチャリング領域の電力は-16.93 dBrとなり、許容干渉量との差分が+2.07 dBまで減少する。
- -15.16 dBrを求めるにあたり支配的な電力はチャンネル端からの1 MHzに集中している。実際の波形ではチャンネル端の電力の減衰の仕方はパンクチャリングを使用しない通常の基本送信と変わらない。(P9パンクチャリングを行った場合のスペクトルマスク比較例を参照)したがって、無線LANの信号とレーダーが隣接する場合の影響の度合いは、パンクチャリングを行わない場合と同じである。
- 実際の実装では送信スペクトルマスクは802.11axに対してマージンを持つため、許容干渉量との差分が+2.07 dBであるものの、実力値を考慮すれば十分なマージンをもって許容干渉量を下回る。
 - 実装ではスペクトルマスクの規定ぎりぎりまで電力が満たされ送信されることはない
 - 送信マスクはスプリアス等の不要輻射の上限であり、送信エネルギーが常に満たされるという前提の規定ではない
 - 製造マージンがなくなるため非現実的
 - P12-14のパンクチャリングを行う場合の規格に対するマージンの実測例(1) - (3)を参照をすると、11axの規格に対して10 dB以上のマージンがあることがわかる (測定に使用した無線機以外の実装においても同様な傾向となる)
- 上記の理由により、5.3 GHz帯、5.6 GHz帯のどちらにおいても、パンクチャリング部分の電力を802.11axベースとしたパンクチャリング領域の許容値を- 20 dBr (帯域の両端は1 MHzをdB単位での線形補間) としてもレーダーとの周波数共用は問題ない。
- 現在、免許されている5.3 GHz帯のレーダーでは無線LANの送信周波数帯域の端部から1MHzに重なるものは確認されていない。この条件を前提とした場合、パンクチャリング領域の電力は- 20 dBr一律と考えることができる。
 - この場合、パンクチャリング部分の電力は現行制度における隣接チャンネル漏洩電力の最大値 (-2dBm/20MHz)を1 dB下回るため、周波数共用の問題はない。(詳細な考察については、P10を参照。)

パンクチャリングを行った場合のスペクトルマスク比較例

送信周波数帯域内の端部から1MHzまでの領域（dB線形補間の部分）の比較

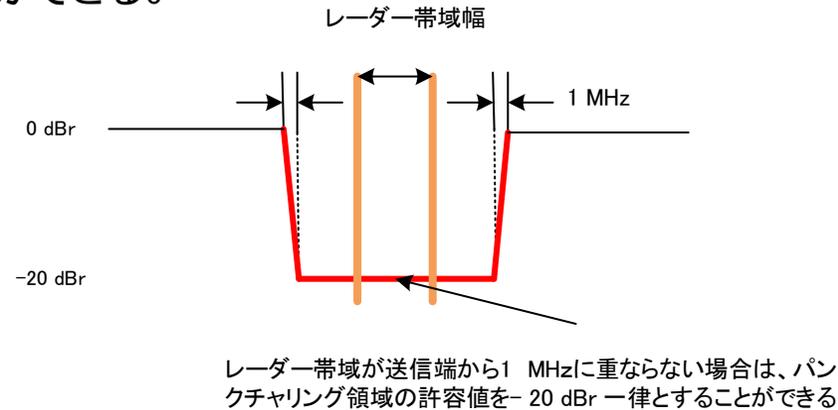
- 80 MHzの送信(中心周波数 5290 MHz)を行っている波形（濃青）の+ 40～41MHzと、中心周波数5312.5 MHz、帯域幅5 MHzのレーダー波を検出しパンクチャリングを行った波形（赤）の+ 20～21 MHzの部分とを比較するとほぼ同じである。
- それぞれの送信の場合において使用されているベースバンドフィルターが同じであるため、パンクチャリング領域には隣接チャネル領域に適用されるようなフィルター特性とはなっていない。このため80 MHzの送信を行っている波形（濃青）の+41～60 MHzと、パンクチャリングをした波形(赤)の+21～40 MHz部分との波形は異なっている。波形は異なっているが、十分低い電力となっている。



中心周波数5312.5 MHz のレーダー波を検出してパンクチャリングを行った波形

パンクチャリング領域が-20 dBr 一律となる場合の検討

- 下図に示す通り、レーダーの帯域が、送信周波数帯域内の端部から1MHzまでの領域と重ならない場合は、パンクチャリング領域の許容値を-20 dBr 一律とすることができる。



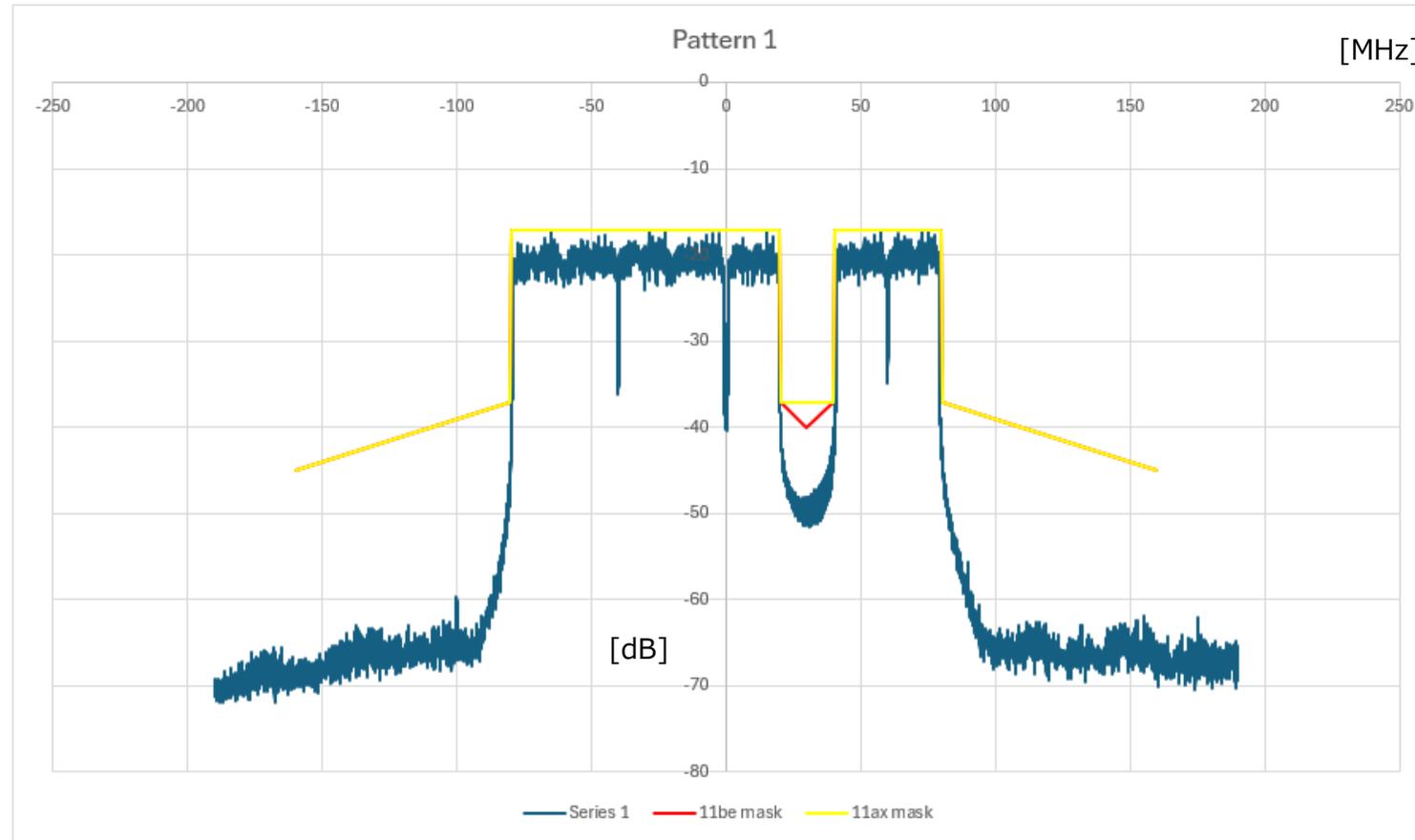
- パンクチャリング領域の許容値を-20 dBr一律として、P6の検討に当てはめると：
 - 5/6GHz帯における隣接チャネル漏洩電力の最も厳しい条件は、20MHzチャンネル送信の場合の隣接チャネルである。
→-2dBm/20MHz (=23dBm/20MHz -25dBr) (P6再掲)
 - パンクチャリングは80MHz/160MHz/320MHzチャンネルに対して規定されており、パンクチャリングブロックの漏洩電力が最大となる場合（最悪ケース）は、周波数あたりの送信電力密度の最も大きい80MHzチャンネルで20MHzブロックがパンクチャリングされている場合である（P5の80 MHzのパンクチャの例参照）(P6再掲)
 - パンクチャリング領域の電力は相対値で-20 dBrであるので、80MHzチャンネルにおける最大電力密度は17dBm/20MHzから、パンクチャリング領域の電力は絶対値で-3 dBm/20MHz。（作業班13-2では-2.7dBm/20MHz）
 - 現行制度における隣接チャネル漏洩電力の最大値(-2dBm/20MHz)を**1 dB下回る**。（作業班13-2の数値をも下回る）

⇒上記を整理したものをP11の表に示す。

パンクチャリング領域が-20 dBr一律とした場合との比較

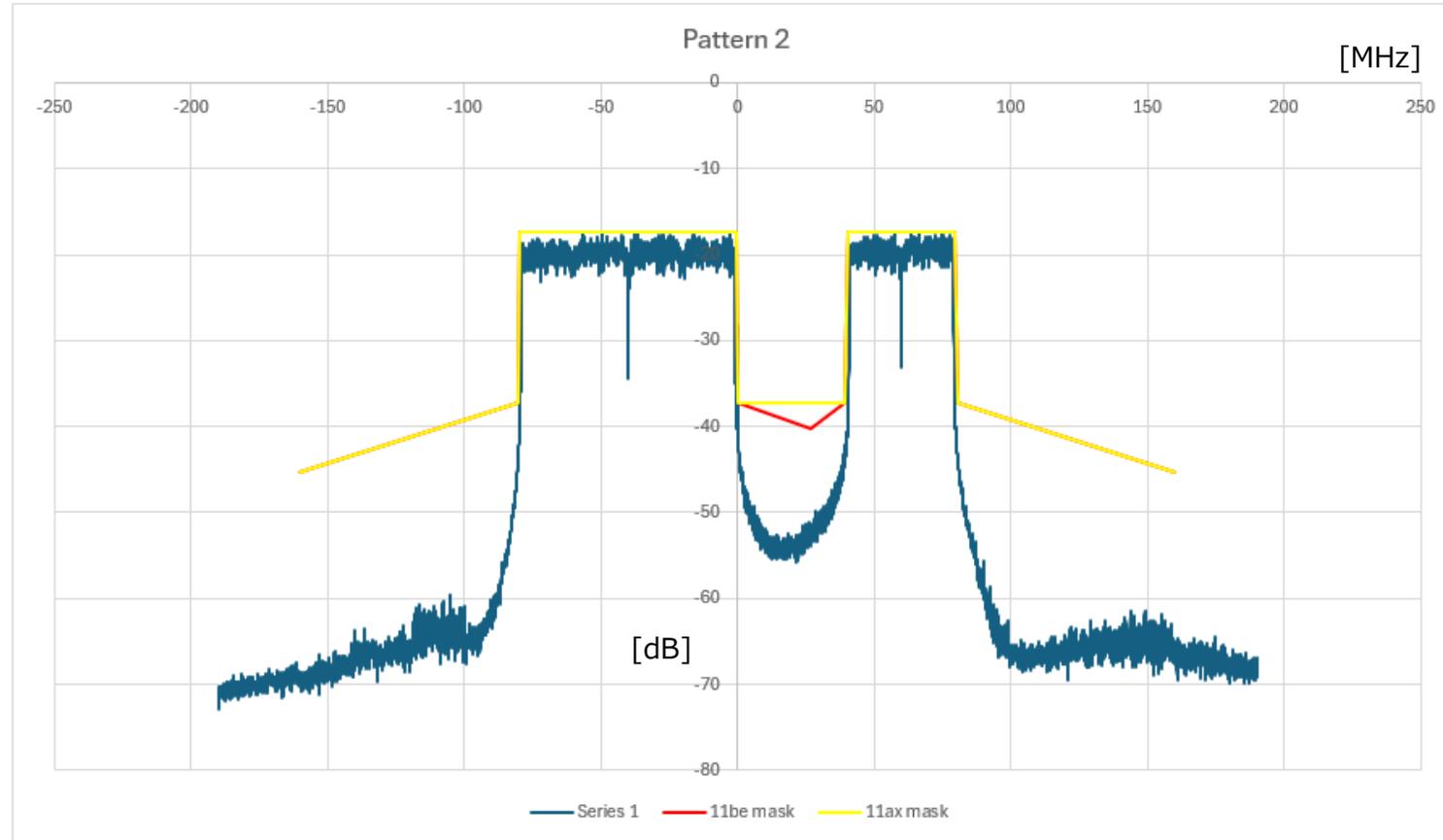
項目	作業班13-2 802.11be ベースの検討*	802.11axベースの検討	-20 dBr一律
a. 許容干渉量** (これ以下の干渉量でないと判定としてNGという数値)	- 2 dBm/20 MHz	- 2 dBm/20 MHz	- 2 dBm/20 MHz
b. パンクチャリング領域の相対干渉量	- 19.7 dBr	-15.16 dBr	- 20 dBr
c. 80MHzチャンネルパンクチャリング領域の電力の絶対値	- 2.7 dBm/20 MHz	1.84 dBm/20 MHz	- 3 dBm/20 MHz
許容干渉量との差分 (c - a) (この値がマイナスであれば、干渉が許容干渉量以下)	- 0.7 dB/20 MHz	3.84 dB/ 20 MHz	- 1 dB/20 MHz

パンクチャリングを行う場合の規格に対するマージンの実測例 (1)



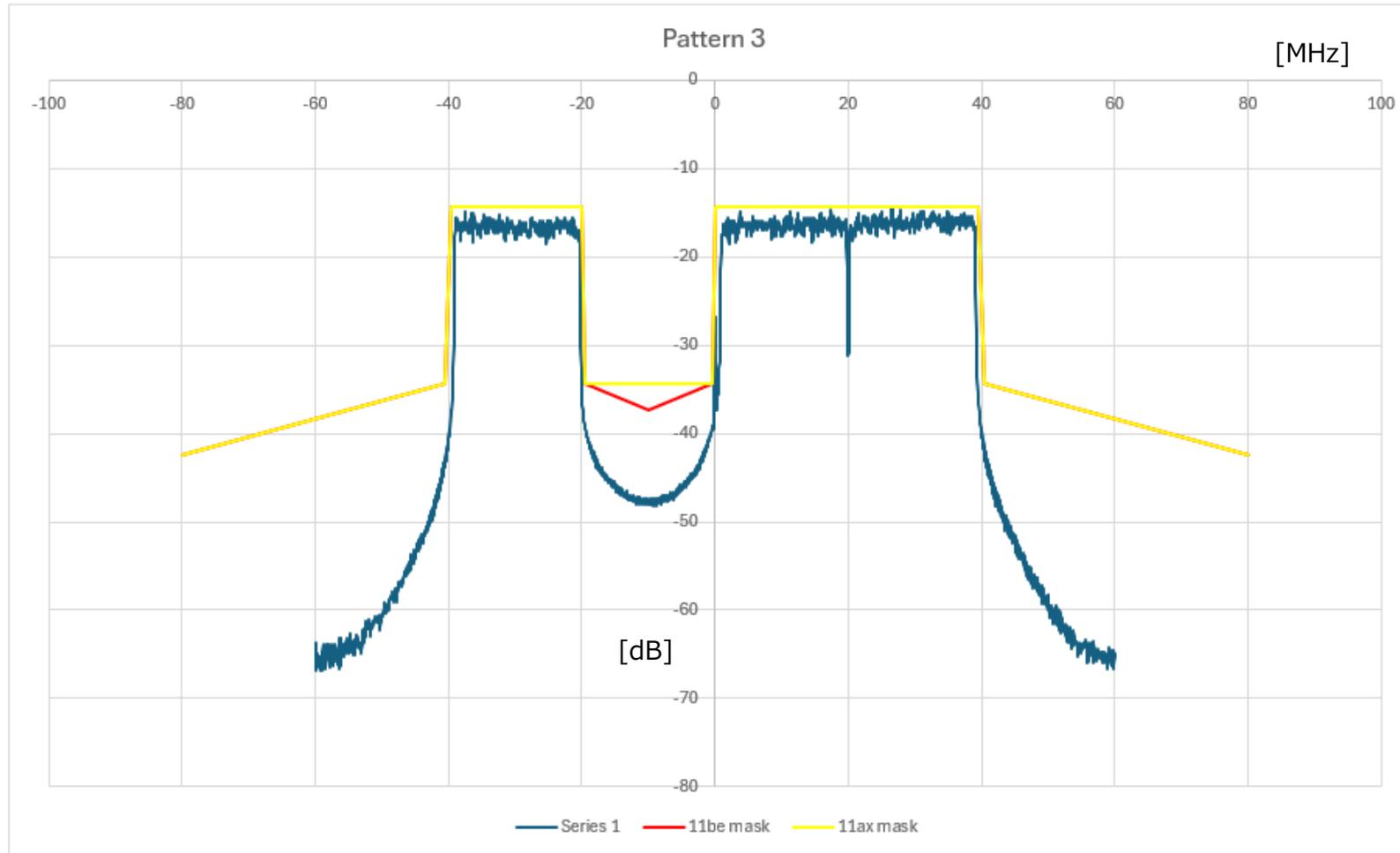
W52+W53、160 MHzチャンネル 20 MHz パンクチャリング

パンクチャリングを行う場合の規格に対するマージンの実測例 (2)



W52+W53、160 MHzチャンネル 40 MHz パンクチャリング

パンクチャリングを行う場合の規格に対するマージンの実測例(3)



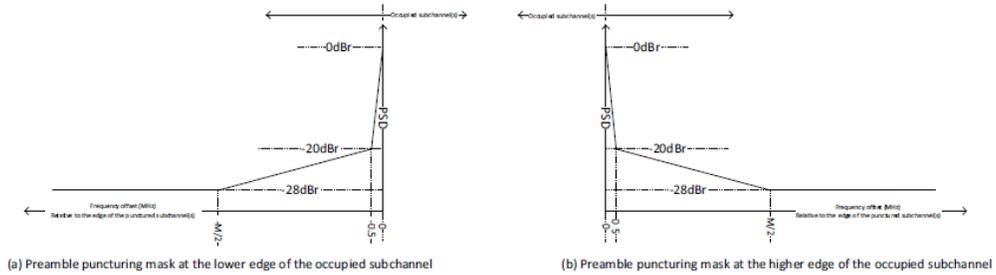
W53、80 MHzチャンネル 20 MHz パンクチャリング

ARIB標準化の方針

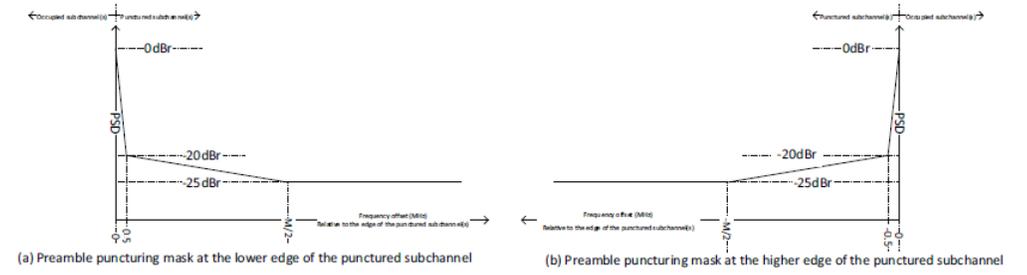
- ETSIの標準規格では802.11beベースが採用されていることもあり、グローバル展開される無線LAN機器の今後のパンクチャリングの実装は厳しい方の値である802.11be標準規格に準拠することが見込まれる。
- これに従い、ARIB標準規格でも最新の802.11beの規格が参照される予定であり、日本国内での今後の実装は802.11beを満足するようになる。
- 802.11beの規格は、802.11axよりも厳しいマスクが採用されているため、802.11axベースの技術的条件を満たす。

付録

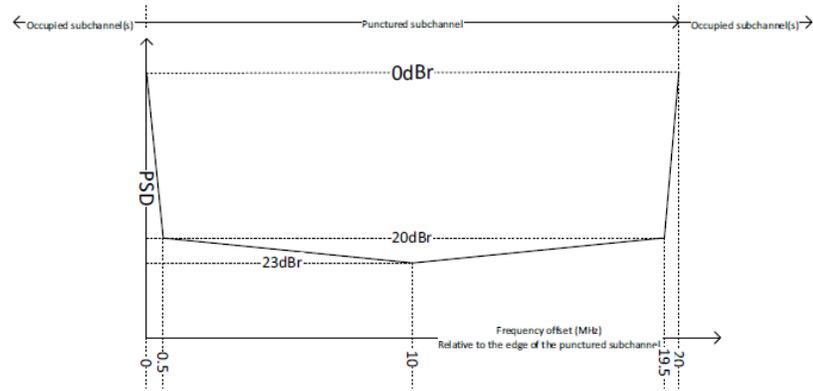
802.11beにおけるパングチャリングを行う場合のスペクトルマスク例



EHT PPDU送信時に端の20 MHzサブチャネルをパングチャリングした場合のスペクトルマスク

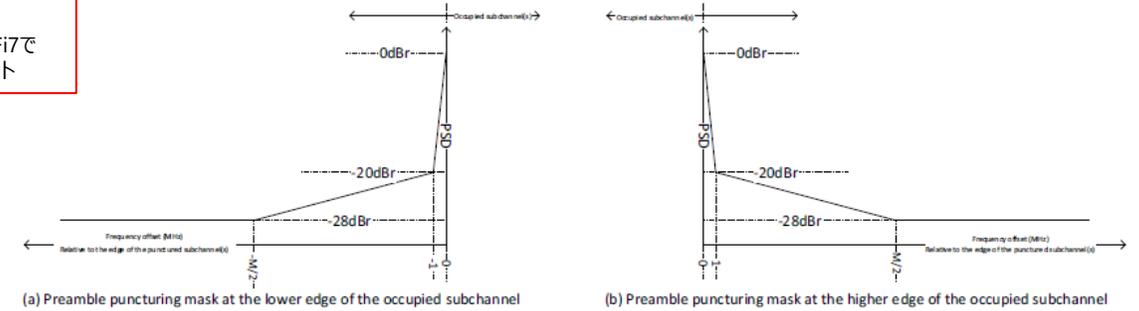


EHT PPDU送信時に端ではない周波数領域で40 MHz以上をパングチャリングした場合のスペクトルマスク

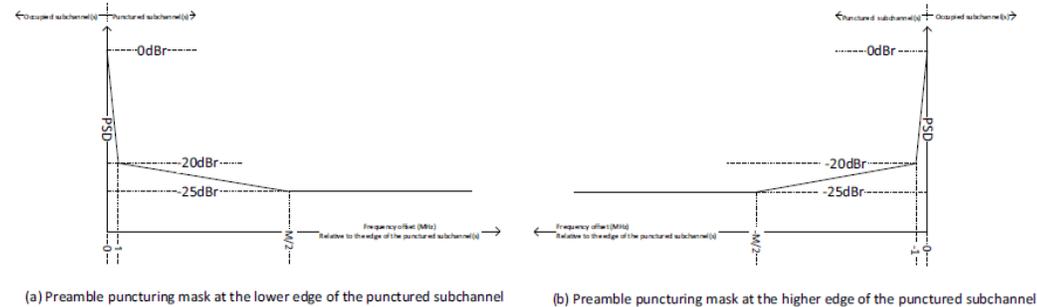


EHT PPDU送信時に端ではない周波数領域で20 MHzのパングチャリングをした場合のスペクトルマスク

EHT(Extremely High Throughput) PPDUはWiFi7で定義されるパケットフォーマット

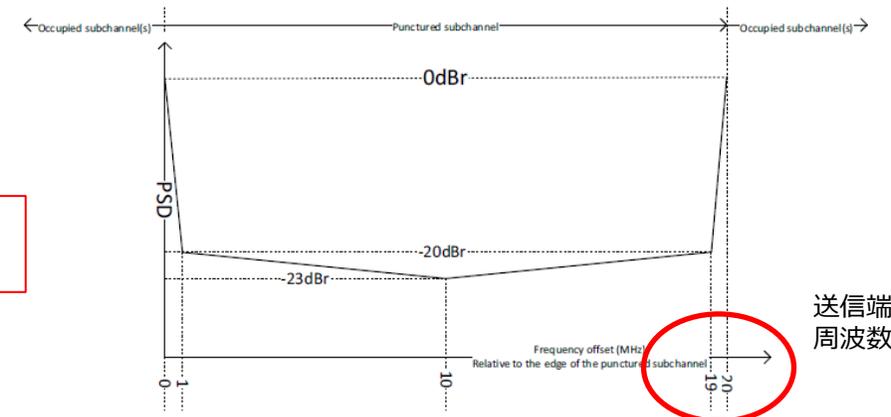


non-HT duplicate PPDU送信時に端の20 MHzサブチャネルをパングチャリングした場合のスペクトルマスク



Non-HT duplicate PPDUは802.11a/b/gで定義されたフォーマット

non-HT duplicate PPDU送信時に端ではない周波数領域で40 MHz以上をパングチャリングした場合のスペクトルマスク

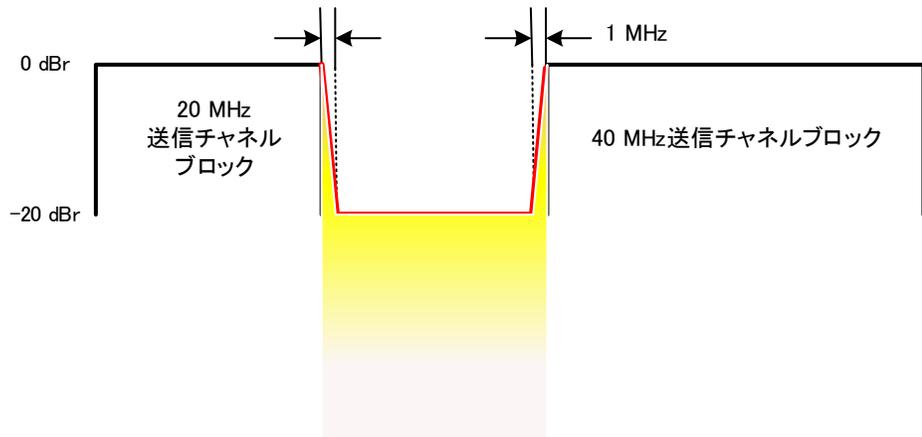


送信端部からの離調周波数が1 MHz

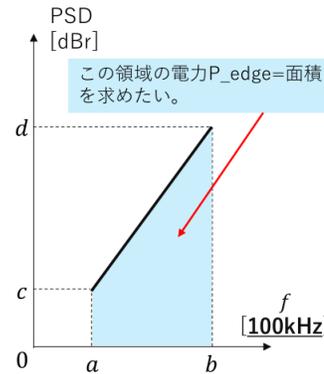
non-HT duplicate PPDU送信時に端ではない周波数領域で20 MHzのパングチャリングをした場合のスペクトルマスク

パンクチャリング部分の合計電力計算（相対値）

- P5で提案した基準をもとにスペクトルマスクを仮定し（左図の赤線）、パンクチャリング部分の20 MHzあたりの合計電力（左図の黄色部分）を積分計算により求めると-15.16 dBBrとなる



80 MHz送信 20 MHzパンクチャリング



$$y(f) = \frac{d-c}{b-a}f + \Delta = Af + B \text{ [dBBr]}$$

$$A = \frac{d-c}{b-a} \quad B = c - Aa$$

$$y(f) = 10^{\frac{Af+B}{10}}$$

[0dbrを1とした場合の真値]

$$P = \int_a^b 10^{\frac{Af+B}{10}} df$$

$$u = \frac{Af+B}{10}$$

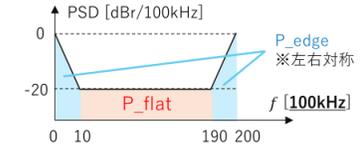
$$\frac{du}{df} = \frac{A}{10}$$

f	a → b
u	$\frac{Aa+B}{10} \rightarrow \frac{Ab+B}{10}$ C → D とする

$$P = \int_c^D 10^u \frac{df}{du} du = \int_c^D 10^u \left(\frac{10}{A}\right) du = \frac{10}{A} \left[\frac{10^u}{\log_e 10} \right]_c^D$$

$$P = \frac{10}{A} \left[\frac{10^D - 10^C}{\log_e 10} \right]$$

$$A = \frac{d-c}{b-a} \quad B = c - Aa \quad C = \frac{Aa+B}{10} \quad D = \frac{Ab+B}{10}$$



積分計算

★左右のエッジに立ち上がりが含まれる場合：

・右側のエッジの場合：(a, c) = (0, -20), (b, d) = (10, 0)となる。

→P_{edge}=2.14976[実数/100kHz]

・残りの18MHz幅は-20[dBr/100kHz](=0.01)の一定値

→P_{flat}=0.01[実数/100kHz]×180[100kHz] = 1.8[真値/100kHz]

・puncturing帯域全体の電力：P_{edge}×2 (※左右分) + P_{flat}=**6.09952**[真値/100kHz]

★左右のエッジに立ち上がりが含まれない場合：20MHz幅一律で-20[dBr/100kHz]

→帯域全体の電力：0.01[実数/100kHz]×200[100kHz]=**2.0**[実数/100kHz]

・左右にエッジが無い場合に対する、ある場合の電力の増分：

10 log₁₀ 6.09952/2.0 = +4.8427[dB]

→左右にエッジが無い場合(-20dBr)を基準とすると、-20+4.8427=-15.157[dBr]

左図の黄色部分の積分計算

作業班13-2 Puncturing帯域の与干渉に対する考察

- **Preamble Puncturingを用いる場合の当該帯域には、キャリアセンスを行わない形で電力が放射される。その影響度合いについて隣接チャネル漏洩電力との相対比較を行った。**
 - 現行制度において、キャリアセンスを行わない帯域において最大出力となるのは隣接チャネル。隣接チャネル漏洩電力の許容値は帯域幅によらず $-25\text{dBm}/(\text{チャネル帯域幅})$ と規定されている※。
 - puncturingを行った周波数ブロックの漏洩電力が隣接チャネル漏洩電力を下回れば、これまでの共用条件（既存システム及び802.11無線LAN同士）を満足すると考えられる。
 - 5/6GHz帯における隣接チャネル漏洩電力の最大値は20MHzチャネルの隣接チャネルである。
→ $-2\text{dBm}/20\text{MHz}$ ($=23\text{dBm}/20\text{MHz} - 25\text{dBm}$)
 - Preamble Puncturingは80MHz/160MHz/320MHzチャネルに対して規定されており、puncturingブロックの漏洩電力が最大となる場合（最悪ケース）は、80MHzチャネルで20MHzブロックがpuncturingされている場合である（チャネル配置はp.3の例に符合）。
 - 11beドラフトにおけるスペクトルマスク（次頁参照）を基にすると、当該のpuncturing領域の電力は相対値で約 -19.7dBm となる(スペクトルマスクを基に積分計算を実施した結果)。
⇒80MHzチャネルにおける最大電力密度は $17\text{dBm}/20\text{MHz}$ であるため、puncturing領域の電力は絶対値で約 $-2.7\text{dBm}/20\text{MHz}$ 。
- ⇒現行制度における隣接チャネル漏洩電力の最大値($-2\text{dBm}/20\text{MHz}$)を下回るため、現行制度と比較して与干渉の影響は同等あるいはそれ以下となる。

※ 5GHz帯/6GHz帯：無線設備規則第四十九条 三ル / 四ヌ、2.4GHz帯は規定なし。