



# IEEE 802.11axにおける上りリンクマルチ ユーザ伝送 (UL MU) を考慮した共用検討

2018.12.07

日本電信電話株式会社

NTTアクセスサービスシステム研究所

浅井 裕介

# 11axの技術的検討において共用検討が必要となる既存システム



無線LANシステムの周波数帯	共用検討対象システム	
5.2GHz帯 (W52) (5150-5250MHz)	① MSSフィーダリンク	5091-5250MHz
	②-a 気象レーダ	5250-5372.5MHz
5.3GHz帯 (W53) (5250-5350MHz)	②-b 気象レーダ	5250-5372.5MHz
	③ 地球探査衛星	5250-5350MHz
5.6GHz帯 (W56) (5470-5725MHz)	④ 地球探査衛星	5350-5570MHz
	⑤ 各種レーダ(Cバンド精測レーダ等)	5470-5725MHz
	⑥ 無人移動体画像伝送システム	5650-5755MHz

次頁以降において参照される各年度の答申(一部答申)は以下を示す:

- H11年度答申:平成10年5月～平成11年9月(電気通信技術審議会諮問第99号、H10.4.21諮問、H11.9.27答申)「5GHz帯の周波数を利用する広帯域無線アクセスシステムの技術的条件」
- H16年度答申:平成15年11月～平成16年11月(情報通信審議会諮問第2014号、H15.10.29諮問、H16.11.29一部答申)
- 「5GHz帯の無線アクセスシステムの技術的条件」のうち「占有周波数帯幅20MHz以下の小電力データ通信システムの技術的条件等」について検討
- H18年度答申:平成18年4月～12月(情報通信審議会諮問第2014号、H15.10.29諮問、H18.12.21一部答申)「5GHz帯の無線アクセスシステムの技術的条件」のうち「高速無線LANの技術的条件」について検討
- H24年度答申:平成24年4月～11月(情報通信審議会諮問第2009号、H14.9.30諮問、H24.11.28一部答申)「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち「次世代高速無線LANの導入のための技術的条件」について検討
- H29年度答申:平成27年12月～平成30年2月(情報通信審議会諮問第2009号、H14.9.30諮問、H30.2.13一部答申)「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち「5GHz帯無線LANの周波数帯拡張等に係る技術的条件」のうち「5.2GHz帯及び5.6GHz帯を使用する無線LANの技術的条件」について検討

# 共用検討対象システム・これまでの評価結果



## ① MSSフィーダリンク

- H11/16/18/24年度答申: 屋内利用を、EIRP200mWを条件に共用可能であることを確認。
- H29年度答申: 登録局制度、EIRP1W(仰角制限)、設置場所制限、送信電力制限を条件に共用可能であることを確認

## ② 気象レーダ

- a. H16/18/24/29年度答申: W52小電力データ通信システムおよび5.2GHz帯高出力データ通信システムとの共用検討を実施、W53気象レーダに放射される帯域外漏えい電力の影響を確認。MSSフィーダリンクと同等の共用条件で利用可能であることを確認。
- b. H16/18/24年度答申: W53無線LANの利用場所が屋内限定であり、最大送信電力200mW、DFS/TPCの具備を条件に共用可能であることを確認。

## ③ 地球探査衛星(5250-5350MHz)

- H16/18/24年度答申: ITU-R勧告(RS.1632)を参照、気象レーダとの共存と同一条件(②-b)であれば共用可能であることを確認。

## ④ 地球探査衛星(5350-5570MHz)

- H18/24年度答申: ITU-R勧告(M.1653)を参照、屋外利用・最大EIRP1W(空中線電力200mW)・DFS/TPCの具備を条件に共用可能であることを確認。

## ⑤ 各種レーダ(Cバンド精測レーダ等)

- H16/18/24/29年度答申: 所要離隔距離を導出、④と同じ条件でレーダ局・レーダトランスポンダの運用に支障を及ぼさず共用可能であることを確認。

## ⑥ 無人移動体画像伝送システム

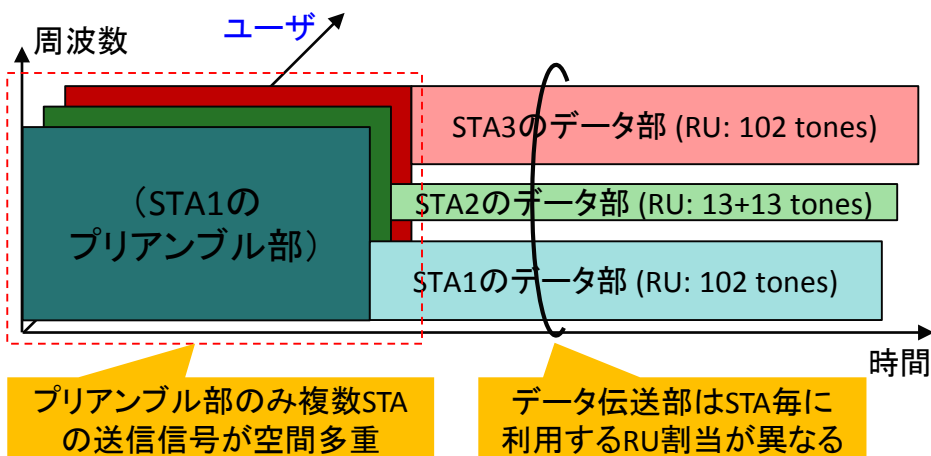
- H29年度答申: 上空における無線LANによる無人移動体画像伝送システムへの与干渉およびDFS動作を確認、④と同じ条件で共用可能であることを確認(制度化は今後)。

# 11axにおけるUL MU伝送: UL OFDMA / UL MU-MIMO

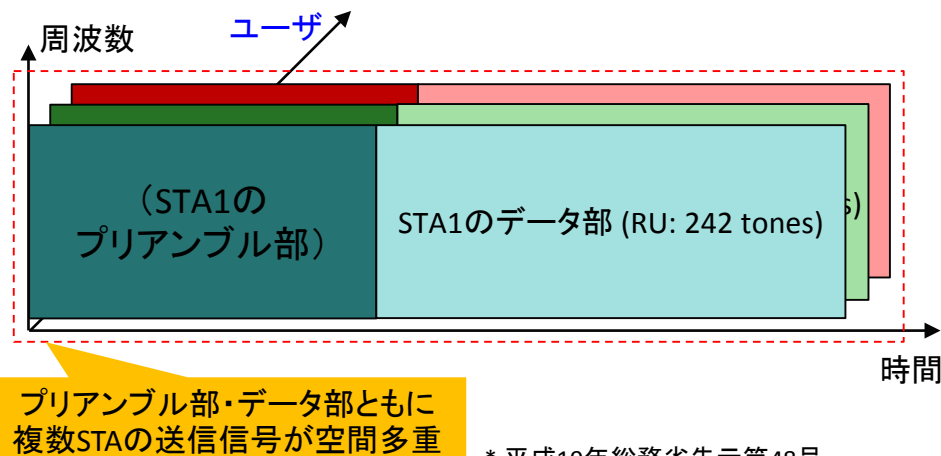


- 11axでは、**複数端末 (STA: Station) が基地局 (AP: Access Point) に対して同一時刻に多重伝送**する上りリンクOFDMA (UL OFDMA) および上りリンクマルチユーザMIMO (UL MU-MIMO) が規定される。(以下、UL OFDMAとUL MU-MIMOの総称として「UL MU」を用いる)
- 11acまでの802.11無線LANでは、キャリアセンス規定\*により、ある無線局の電波が到達する範囲において**1台の無線局のみ**が通信を行うことを前提としていた(11acの下りリンク(DL) MU-MIMO、11axのDL OFDMAも同様)。
- 一方、11axのUL OFDMAおよびUL MU-MIMOでは、APが送信するTrigger frameあるいはData Frameを起点として、**複数のSTAが同時伝送を行う**。
  - UL OFDMA: プリアンブル部分のみ、全てのSTAが全帯域にわたり送信を行う。
  - UL MU-MIMO: データ伝送部を含めたフレーム全体が全帯域にわたり送信される。

<例: 3台のSTAによるUL-OFDMA伝送 (20MHz)>



<例: 3台のSTAによるUL MU-MIMO伝送 (20MHz)>



★UL MU伝送時の与干渉量を評価する必要がある。

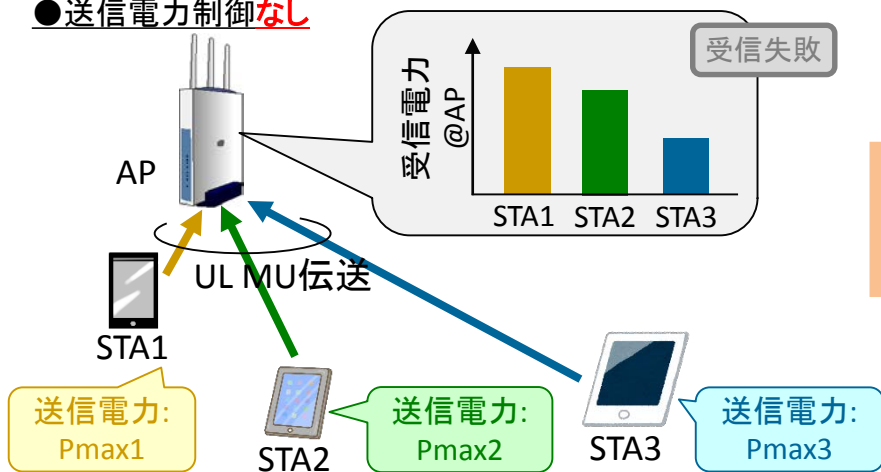
\* 平成19年総務省告示第48号  
(小電力データ通信システムの無線局の無線設備の技術的条件を定める件)

# 11axにおけるUL MU伝送: 送信電力制御



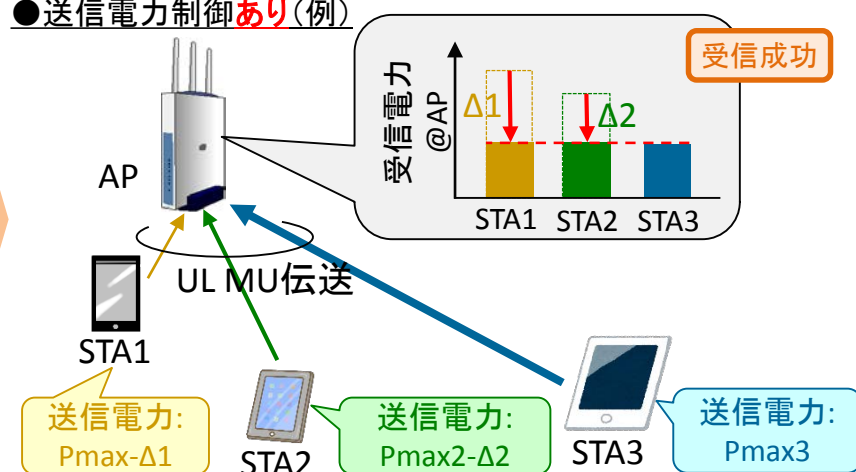
- UL MU伝送は、APから送信されるフレーム (Trigger FrameあるいはData Frame) を合図に開始される。
- 各STAでは、合図となるフレームの受信信号を元に**送信電力制御**を行い、同時に無線フレームを送信する。  
※送信電力制御が必要となる理由:  
STAの送信信号は伝搬路を通過することで減衰しAPに受信される。**送信電力および伝搬減衰量はSTA毎に異なるため**、何も制御を行わない(例: 全てのSTAが最大電力で送信)と受信信号電力に格差が生じ、**レベルの弱い信号に対する受信特性が劣化する**(左図)。これを解決するために、APにおける各STAからの受信電力を揃える必要がある。
- 各STAでは、**時分割チャネルの対称性**(同一周波数の上り/下りチャネルにおける伝搬路損失の同一性)を元に、APから送信されたフレームの受信電力からAPと自身の間の伝搬路損失を推定し、**指定された目標受信レベルでAPに受信されるよう、送信電力を調整する**(右図)。

## ●送信電力制御なし



AP⇄STA毎の伝搬路減衰が異なるため受信電力格差が発生  
⇒受信レベルの低い信号の復調・復号特性劣化

## ●送信電力制御あり(例)



伝搬減衰量の少ないSTAの送信電力を低減させ受信電力を均一化  
⇒APの受信機のダイナミックレンジを最大限活用することが可能

★UL MU伝送における送信電力制御は、**STAの送信電力を抑制する**

# 11axにおけるUL MU伝送: STA多重数



- 11ax\*では最大で74ユーザの同時伝送が定義される。  
(UL OFDMAの場合、160MHz/80+80MHzチャネル利用時)  
これが利用できる条件は以下となる。
  - 1台のAPに74台のSTAが帰属している状態であること
  - UL MU伝送の時点において、全74台のSTAが送信データを保持していること

⇒ **実際の利用ケース**において見込まれるユーザ多重数を確認する必要がある。
- ITU-R WP5A寄書\* において、広範なエリアにおけるAPに対して接続されているSTA台数を観測した統計値として「**84%が1台、13%が2台、3%が3台**」と報告されている。

⇒ **実環境における上りリンクの最大ユーザ多重数を「3」とすることが適当**である。

\* LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, IEEE P802.11axTM D3.0, Figure 28-7, pp. 416, June 2018.

⇒D3.0の承認率が75%以上となったため、技術スペックは承認された。

(「IEEE802.11axの動向について」, 5GHz作12-2(p.4), 第12回5GHz帯無線LAN作業班, 2018年11月2日 より)

\*\* ITU-R WP5A寄与文書(WRC-19 議題1.16)

"5 GHz RLAN ACTIVITY AND BUSY HOUR FACTOR CONSIDERATIONS", European Union (Joint Research Centre), 2016年5月3日

# 11axにおけるUL MU伝送: 送信電力分布



- H29年度答申の5.2GHz帯の共用検討において、ITU-R勧告M.1454を引用し、APおよびSTAのEIRP分布を右表の通り規定している。
- 本共用検討において、AP/STAの構成比については明確に定義されていない。今回UL MU伝送評価を実施するにあたり、以下のモデルを用いる。

- EIRP=200mWとしている19%の無線機は、他のオプションにおいて仰角制限が用いられていることから、APであるとみなす。
- また、残り81%の無線局は概ねSTAであるとみなす。

※一般的に、APは外部電源が供給される一方でSTA(スマートフォン・タブレット等)は内蔵電池で駆動するため、APに対してSTAの送信電力が相対的に低くなるモデルは妥当であると考えられる。

- STAの送信電力は右表の割合(81%)を母集団100%に拡張し、3種類のうちのいずれかを持つもの仮定する。

⇒ 80mW: 33% 50mW: 19% 25mW: 48%

表 4.2.1.1-2 無線 LAN の共用検討パラメータ

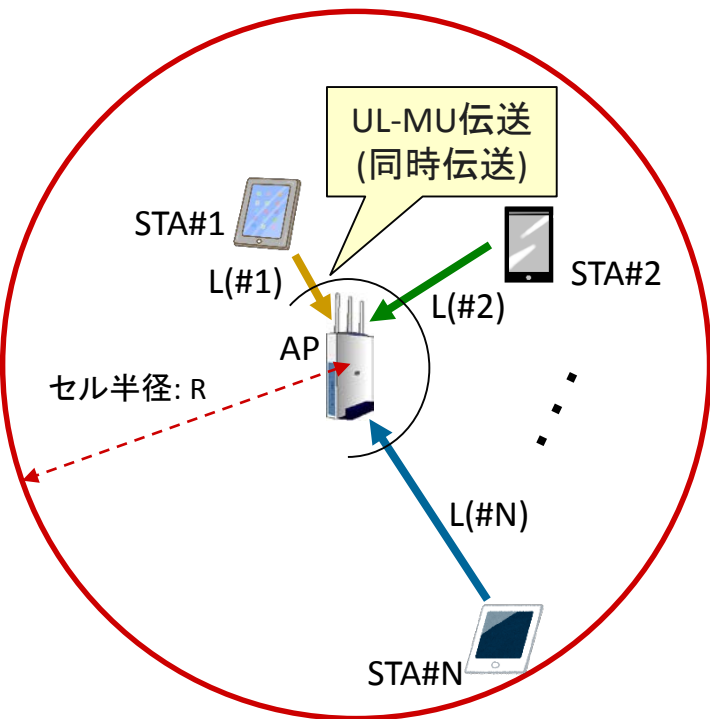
	パラメータ	規定値			
1	屋外利用における平均建物遮蔽損失	屋外使用 15%の場合 7.8dB			
2	稼働率	1%、/5%*1			
3	最大 e. i. r. p.*2	(ア) 200mW (イ) 1W (仰角 8° 未満) (ウ) 4W (仰角 30° 未満)			
4	無線 LAN 送信電力分布モデル (ITU-R JTG4-5-6-7/ 715 (2014 年 7 月) から引用)	(ア) 200 mW (イ) 最大 e. i. r. p. 1W (仰角 8° 未満) (ウ) 最大 e. i. r. p. 4W (仰角 30° 未満)	80mW	50mW	25mW
	比率	19%	27%	15%	39%
5	e. i. r. p. (無線 LAN 送信電力分布モデルで平均化した e. i. r. p.)	(ア) 77mW (イ) 72mW (ウ) 557mW			
6	チャンネル帯域分布*3 (ITU-R JTG4-5-6-7/715 (2014 年 7 月) から引用)	20MHz	40MHz	80MHz	160MHz
		10%	25%	50%	15%

※1: ITU-R 勧告 M. 1454 から引用。

- 無線LANの利用は1台のAPに複数台のSTAが接続される「インフラストラクチャモード」が主流であり、11ax導入の前後において主要な利用ケース(家庭・オフィス・公共施設での利用)については変更はない見通しである。  
⇒ **既存の評価モデルを踏襲することが適当**である。
- 過去に行われた共用検討をふまえ、以下の2種類について検討を行う。
  - A) **広域エリアの合計干渉量評価**
    - 多数の無線局が広範なエリアに配置されるモデルにおいて、共用検討対象システムに入力される干渉量の総和を導出し、共用可能な否かを確認する。
    - 同一チャネル・隣接チャネルにおける既存システムと無線LANとの共用検討に用いられる。  
⇒ ①、②-a、②-b、③、④、⑤
  - B) **最大空間多重数の合計干渉量評価**
    - これまで無線局あたりの干渉量の最悪値に着目し、既存システムに影響を及ぼす範囲を確認し、必要となる離隔距離が検討されてきた。
    - UL MU伝送区間において複数の無線局が同時送信を行うため、上記に符合する評価として、空間多重数が最大となる場合における送信電力の和を導出する。⇒ ⑤、⑥
- 上記A) およびB) に対して、**UL MU伝送を用いてユーザ多重を行った場合と、行わない場合(一対一通信の評価)について与干渉量の相対評価を行った。**



# A) 広域エリアの合計干渉量評価: 評価モデル



- UL MU伝送の干渉量を評価するためには**STAの分布モデル**が必要となるが、既存モデルでは無線機の種別 (APあるいはSTA) が明示的に分類されていない。  
⇒APの送信電力が与干渉に対して支配的であると考えられていたため。
- H16/H24/H29年度答申のW53気象レーダとの共用検討においてセル半径が定義されている\*ので、これを用いる。
  - 半径 $R (=116.5\text{m})$ のセルに端末が一様分布
- その他、以下のパラメータを用いる。
  - 同時送信端末台数:  $N=3$   
(p.6のITU-R寄書における最悪ケースを参照)
  - 端末# $n$  ( $n=1, \dots, N$ )の最大送信電力:  $P_{\max}(\#n)$   
(80mW or 50mW or 25mW。確率分布はp.7参照)
  - STA# $n$ の伝搬損失量:  $L(\#n)$ 。自由空間伝搬損失を仮定。  
(**屋外利用を想定した最悪ケースに相当\*\***)
- W52/W53/W56それぞれにおいて無線LANの利用ケースは概ね同じであるため、**本モデルを共通で用いる**。

\* 干渉エリアとキャリアセンスレベルから送信機会を最大化するAP配置を定義している。

\*\* 最大電力で送信したとしても十分な受信電力を確保できないSTAについては、UL MU伝送のメンバに含めることが出来ないため除外される。伝搬損失量のモデルが自由空間伝搬より大きな減衰量となる場合、STAの通信エリアは狭くなるため、UL MU伝送のメンバとなることが出来るSTAはAP近傍に位置するものに限定される。これは、**UL MU伝送を行う機会が減少すること**を意味する。したがって、**自由空間伝搬を想定することは、UL MU伝送の同時送信STA数を最大化する点において最悪ケースを考慮している**ことになる。

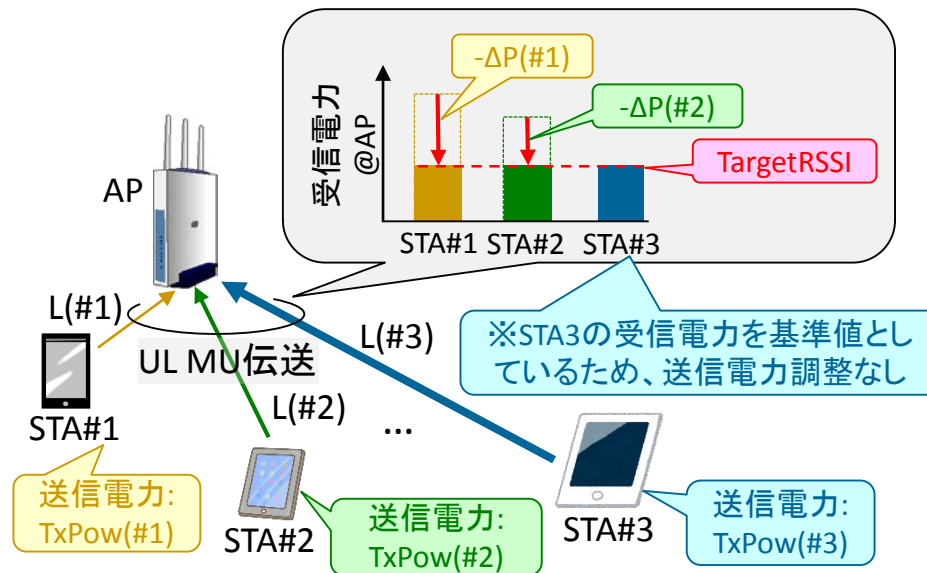
# A) 広域エリアの合計干渉量評価: 評価手順

- モンテカルロシミュレーションにより、UL MU伝送区間の全STAの送信電力の総和(与干渉量に相当)を導出する。

## ● 試行回数毎に以下を実施。

- STAをエリア内に一様分布でランダムに配置。
- 各STAが最大送信電力で送信した場合のAPの受信電力を計算\*。
- APの受信電力のうち最低値を送信電力制御における基準値(TargetRSSI)に設定\*\*。併せて、当該STAのインデックスを#n\_ftに設定。  
⇒  $TargetRSSI = Pmax(\#n\_ft) - L(\#n\_ft)$
- STA#nの送信電力TxPow(#n)を以下の形で決定:
  - n=#n\_ftの場合:最大電力で送信  
⇒  $TxPow(\#n) = Pmax(\#n\_ft)$
  - n≠#n\_ftの場合: APにおける受信電力がTargetRSSIとなるよう、送信電力を下げる  
⇒  $TxPow(\#n) = Pmax(\#n) - \Delta P(\#n)$   
=  $TargetRSSI + L(\#n)$ 
    - $\Delta P(\#n)$ : STA#nにおける電力低減量\*\*\*
- 全STAの送信電力の和をUL-MU伝送区間における干渉量とみなす:  
⇒  $Sum\_TxPow = TxPow(\#1) + \dots + TxPow(\#N)$

## <N=3, #n\_ft=3の場合の例>



\* 本処理は、TargetRSSIを導出するためにシミュレーション上で実施するものであり、実際の運用で行われるわけではない。

\*\* 送信電力制御におけるTargetRSSIの設定方法:

802.11axドラフトD3.0では規定がない(実装依存)。本検討ではセル内の全STAが送信電力を調整する(=低下させる)ことで必ずTargetRSSIに設定可能とする条件を用いた。これは、モンテカルロシミュレーションにおける全ての試行において、必ずUL MU伝送が実現可能となる条件であり、ユーザ多重数を最大化する観点で最悪ケースを検討していることに相当する。

\*\*\*  $\Delta P(\#n) = Pmax(\#n) + L(\#n) - (Pmax(\#n\_ft) + L(\#n\_ft))$

## A) 広域エリアの合計干渉量評価: 結果

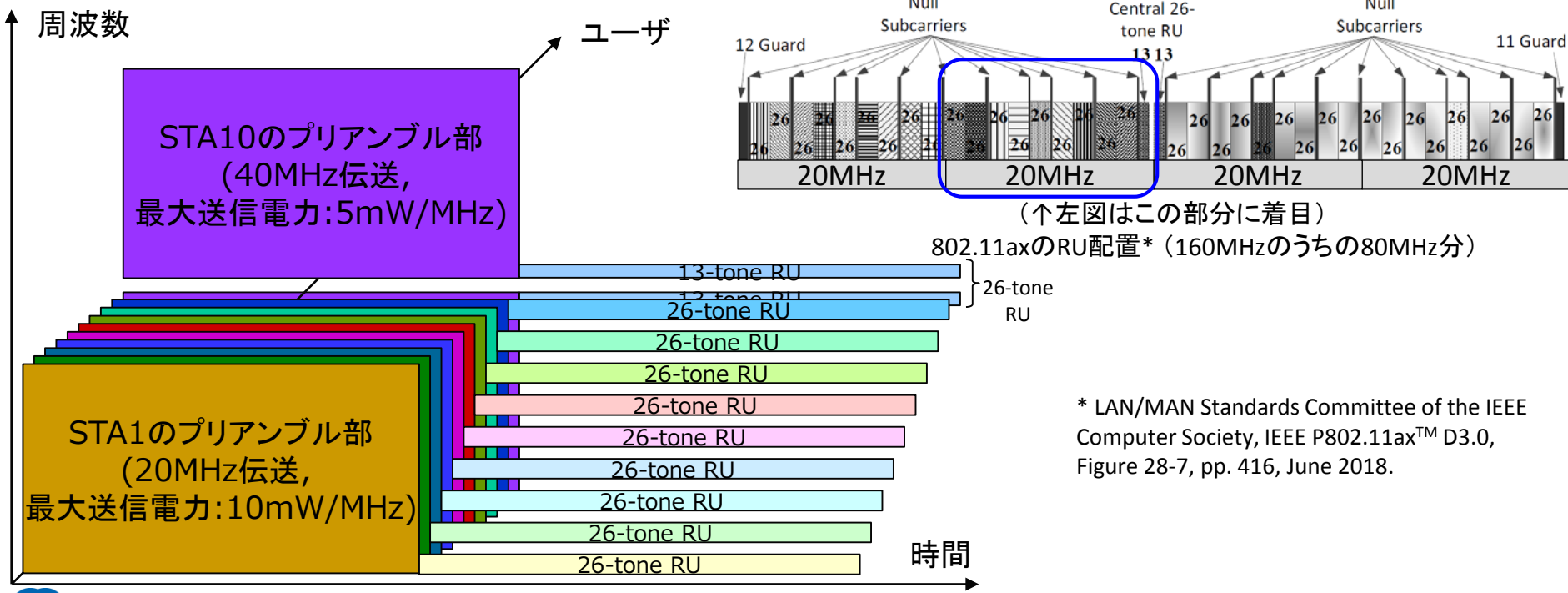


- 送信電力の和 (Sum\_TxPow) の平均値: **-0.048 dBr**  
※基準となる送信電力 (0 dBr): 無線局あたりの平均送信電力 (77mW, p.7より)
- UL MU伝送区間における与干渉は、従来の一対一の通信とほぼ同等。  
⇒既存の干渉評価モデルにおいて、1台の無線局により行われることが想定されていた上り伝送が11ax導入によりUL MU伝送に置き換わった場合、**上りリンク伝送の与干渉は従来よりも少なくなるため、これまでと同様に共用可能**である。

## B) 最大空間多重数の合計干渉量評価: 評価モデル



- UL MUを用いた複数STAの同時伝送は、混雑した環境において伝送効率を改善する。
- ユーザ多重数が最大となる場合での評価も併せて行う必要がある。
- 11axでは20MHzチャンネルあたりの最大ユーザ多重数を10と規定している(UL OFDMAの場合)。  
(UL-OFDMA伝送における最大ユーザ多重数: 160MHz、26RU × 74ユーザ)  
⇒20MHzチャンネルのブロックに着目すると、プリアンブル部分において、9台のSTAが20MHz、1台のSTAが40MHz伝送を行う。
- 一方、UL MU-MIMOは最大ユーザ多重を8としている。  
⇒以降、UL OFDMA(のプリアンブル部分)における10ユーザ多重を最悪ケースとして評価を行う。



## B) 最大空間多重数の合計干渉量評価: パラメータ/結果



Innovative R&D by NTT

### • シミュレーションパラメータ

- ユーザ多重数: **N=10**
  - 20MHzチャンネルに10ユーザ多重を行う最悪ケースを想定。
  - 1ユーザのみ40MHz伝送となり、最大電力密度が1/2 (5mW/MHz)となるため、着目する20MHz帯域への与干渉についても1/2に設定。
- その他のパラメータ: **評価方法Aと同一**とする。
  - 送信電力分布
  - AP/STA分布モデル
  - 伝搬路モデル
  - 送信電力制御方法
- A)と同様に**モンテカルロシミュレーション**を実施した。

### • 計算結果

- UL MU伝送区間の総送信電力の平均値: **-1.20dBr** (0dBr = 200mW)
  - ⇒ 基準送信電力 (0 dBr): 200mW (空中線電力、1台のAP/STAが放射する与干渉の最悪値)
- **現行規則における無線局1台あたりの最大送信電力を下回る**ことから、従来と同等の技術基準においては、共用可能であると結論付けられる。

# UL MU伝送に関するその他の事実



- APが送信するTrigger FrameやData Frameはマルチパスフェージング・干渉・雑音の影響を受けるため、これを基準とする送信タイミング調整/AFC/TPCも同様に誤差を含むこととなる。タイミング・搬送波周波数・電力の誤差を含む複数の無線フレームが空間上で合成され受信されるため、APでは、時間長の長い無線フレームを復調する場合、たとえ受信電力が高い場合であっても単一のSTAからの信号を受信する場合と比較して誤りの影響を受けやすくなる。

⇒UL MU伝送において長時間(例: 数ms程度)の伝送を行うことは困難である。UL MU伝送が活用される典型的なケースは、DL MU-MIMOあるいはDL OFDMAによるAPから複数STAに対するデータ伝送に対するBlockACKに代表される、時間長の短い上りリンクの制御フレームを多重伝送する場合である。

- モバイルトラフィックに占める下りリンクの割合が86.8%であるという統計データ※ にも示される通り、上りリンクのデータトラフィックは下りリンクと比較して、その比率が低い。

※ わが国の移動通信トラフィックの現状

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin06.html>

(この統計データはセルラシステムの集計結果であるが、無線LANを用いるモバイルデバイスの多くがセルラシステムと同様にスマートフォン・タブレットであることを鑑みれば、概ね同様の傾向であると推測される)

11axで規定されるUL MU伝送は、実利用を想定するとデータ伝送のために利用される頻度は低く、また、利用された場合の時間長についても短時間になる。

- IEEE 802.11axにおけるUL MU伝送を考慮した共用検討を実施した。
- 過去に行われた共用検討における2種類のモデルに対して、STA配置・送信電力分布を考慮したUL MU伝送における与干渉量の評価を行った。
  - A) 広域エリアの合計干渉量評価
  - B) 最大空間多重数の合計干渉量評価
- いずれの場合においても、UL MU伝送を行うSTA群の送信電力の和は従来の一対一伝送における送信電力以下となり、従来以下の与干渉となることを確認した。
  - ⇒802.11axで定義されるUL MU伝送を用いた場合においても、これまでと同様に既存システムとの共用は可能である。