

総務省MRA国際ワークショップ2019



Innovative R&D by NTT

次世代高効率無線LAN規格 IEEE 802.11axに関する国内外の動向

平成31年3月7日(木)

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

1. IEEE 802.11axの標準化動向
2. IEEE 802.11axの技術概要
3. 日本における電波法規則改正に向けた動向
4. IEEE 802.11axのための新たな技術的条件
(案)

1. IEEE 802.11axの標準化動向
2. IEEE 802.11axの技術概要
3. 日本における電波法規則改正に向けた動向
4. IEEE 802.11axのための新たな技術的条件
(案)

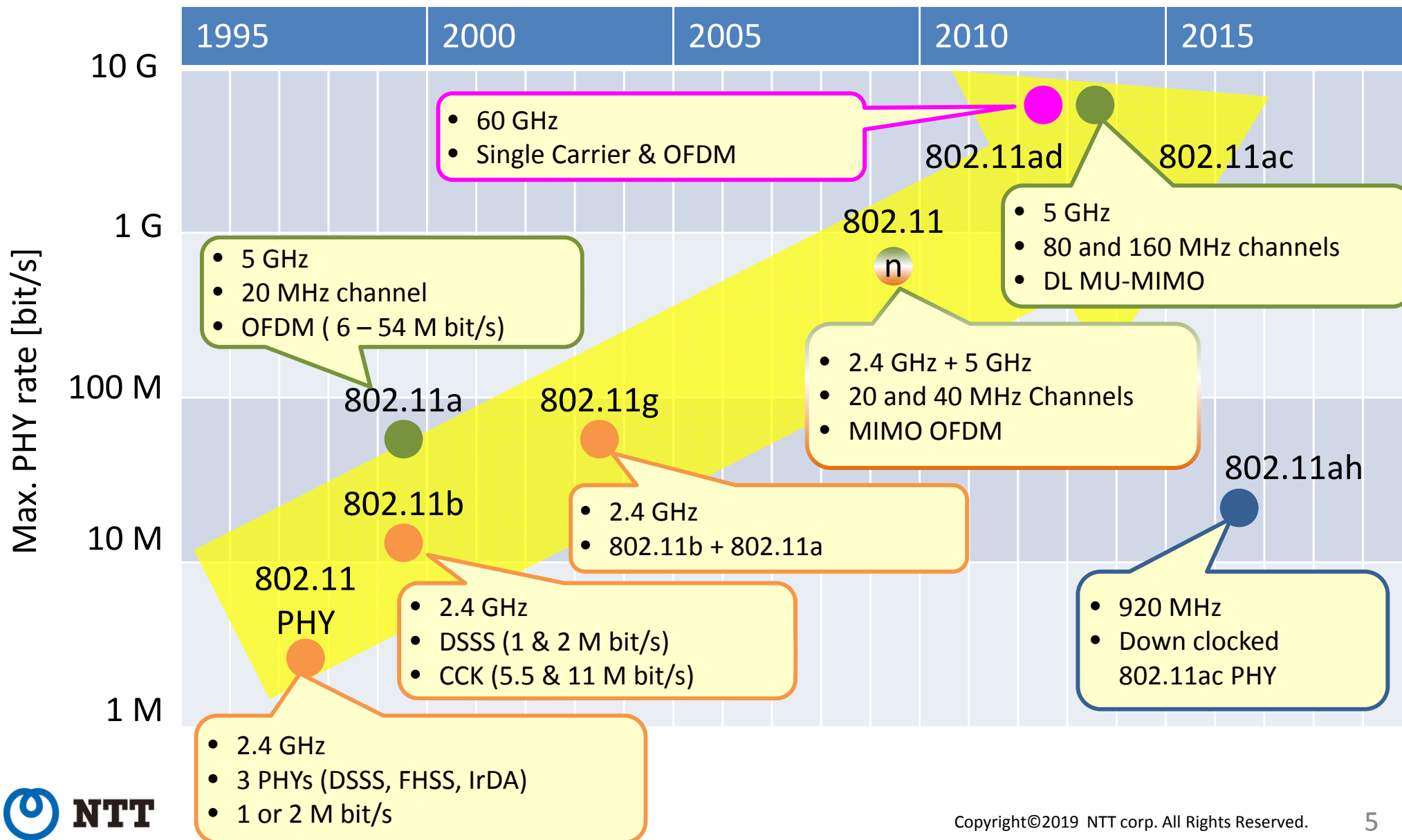
Before We Share our Opinions.....

- ▶ “At lectures, symposia, seminars, or educational courses, an individual presenting information on IEEE standards shall make it clear that his or her views should be considered the personal views of that individual rather than the formal position, explanation, or interpretation of the IEEE.”
- ▶ IEEE-SA Standards Board Operation Manual (subclause 5.9.3)

IEEE 802.11無線LAN標準化の歴史



■ 主要規格(伝送速度を規定する物理層)の変遷^[1]



IEEE 802.11ax 標準化前の議論



■ 標準化前(2013年)の無線LANの状況^[1]

- スマートフォンの急速な普及
 - **モバイルデータのオフロード**が急務
- 周囲に数多くの無線LAN機器
 - User Experienceの低下(接続しにくい、すぐに切れる、速度が出ない)

■ 2.4GHz帯 (IEEE 802.11b/g/n)

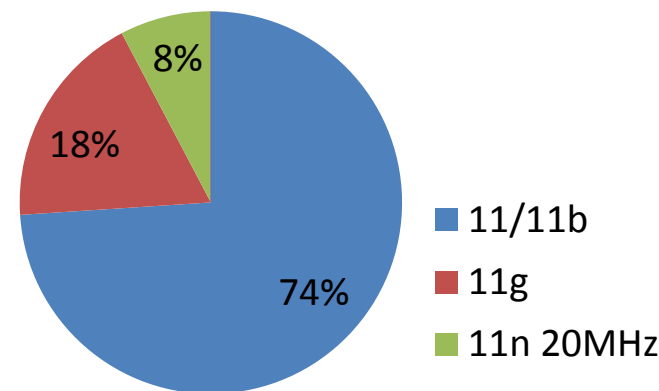
- 同じチャンネル上に数十の無線LANネットワークが存在
- 多くの人が集まる場所は(駅等の公共スペース)、ほぼ定常的に速度が出ない状況

■ 5GHz帯 (IEEE 802.11a/n/ac)

- 2.4GHz帯と比べれば高速通信が可能、ただし利用制限が多い(屋内限定、DFS)
- チャンネル幅の拡大とともに、近い将来2.4GHzと同じようになる可能性

➤ 混雑の原因

- 旧規格の低伝送レート信号の割合が高い
- 加えて、旧規格の信号は制御信号の割合が高い(80%以上)



IEEE 802.11ax 標準化に対する要求条件



- 利用ケースの議論を経て抽出された要求条件^{[1][2]}

無線LANが**高密度に配置された環境**における
高い伝送効率 / エリアスループット

屋外利用の想定

Wireless
LAN

省電力機能の改善

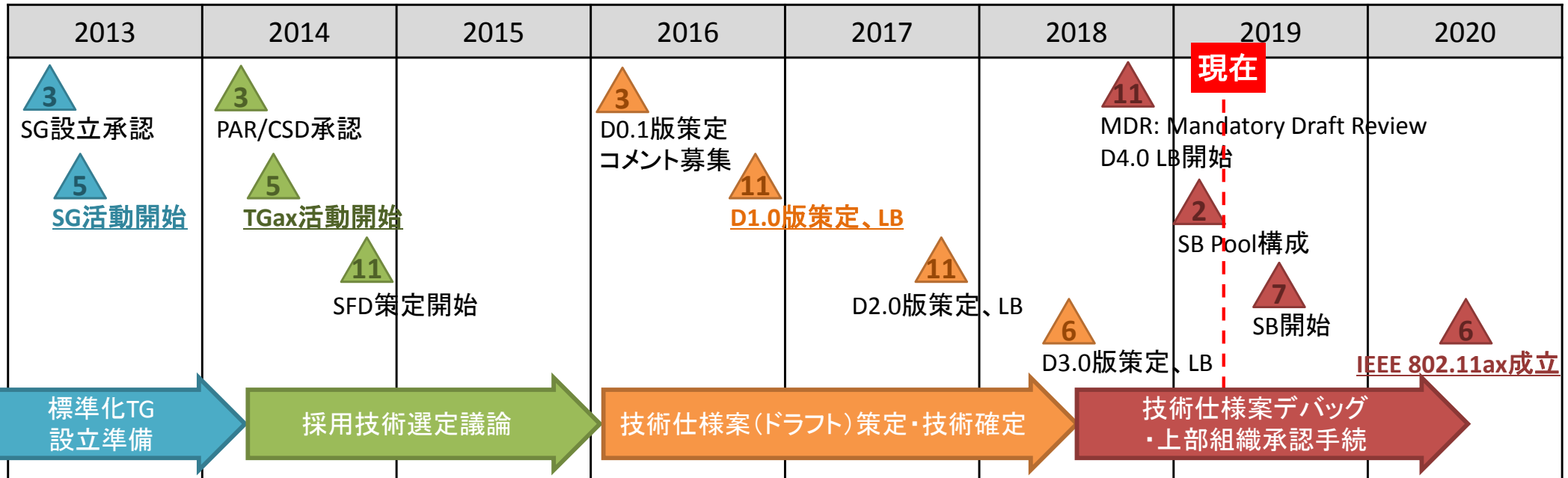
新規無線LAN市場の開拓 (IoT, M2M, V2V, etc.)

標準化のスケジュール



- 2019年3月現在、既に**技術仕様は確定**、仕様のデバッグ中。
 - D3.0版のLB承認率: 86.5%
 - ⇒75%以上の承認率が得られたことで、今後はRecirculation LB* に移行
 - (* バグがある場合を除き**技術スペックを変更するコメントは受領されない**)
- **標準化完了時期(予定): 2020年6月** (11axドラフト版対応機器は2019年から市場に登場する見通し)

<IEEE 802.11ax標準化タイムライン^[3]>



SG: Study Group (規格化活動を開始するために必要な文書((PARおよびCSD)を作成し、TG設立を目的とするグループ)
 PAR: Project Authorization Request (スコープや必要性など規格化活動を規定)
 CSD: Criteria for Standards Development (規格化活動の位置づけなどを説明)
 TG: Task Group (規格ドラフトを策定するグループ)

SFD: Specification Framework Document (技術仕様の概要)
 Dx.y版: Draft version x.y
 LB: Letter Ballot (IEEE 802.11の投票権を持つメンバによる電子投票)
 SB: Sponsor Ballot (IEEE Standard Associationのスポンサー(企業・個人)による電子投票)

1. IEEE 802.11axの標準化動向
2. IEEE 802.11axの技術概要
3. 日本における電波法規則改正に向けた動向
4. IEEE 802.11axのための新たな技術的条件
(案)

IEEE 802.11axで規定される主な技術



- マルチユーザ伝送拡張・追加
 - (1) MU-MIMO伝送の拡張 (UL MU-MIMO)
 - (2) OFDMA伝送の導入 (UL/DL OFDMA)
- (3) 空間的な周波数再利用 (Spatial Reuse)
- 物理層拡張
 - (4) 物理フレームフォーマット拡張 (4x OFDM Symbol)
 - (5) 対応周波数拡大 (欧米の6GHz開放の動きを先取り)
 - 変調多値数拡大 (256QAM→1024QAM)
 - 通信距離延長・ロバスト化
- MAC層拡張
 - 確認応答・プロテクション
 - フレームアグリゲーション・フラグメンテーション (バースト長拡張)
- マネジメント機能の追加
 - パワーセーブ
 - 運用最適化機能

本日説明する箇所
(電波法規則に関連)

IEEE 802.11axと既存規格の比較^[1]



■ 既存の無線LAN規格 → 物理レイヤの伝送速度の改善

- IEEE 802.11a-2001: 最大伝送速度 54 M bit/s
 - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - 20 MHz channel bandwidth
- IEEE 802.11n-2009: 最大伝送速度 600 M bit/s
 - OFDM + MIMO (Multiple Input Multiple Output)
 - 20 MHz, (optional) 40 MHz channel bandwidth
- IEEE 802.11ac-2013: 最大伝送速度 6.93 G bit/s
 - DL MU-MIMO (Downlink Multi-User MIMO)
 - 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz & (optional) 160 MHz channel bandwidth

11.1倍

MAC層の効率改善
技術も同時に規定

11.6倍

1チャンネルあたりの帯域幅の拡大が伝送速度の向上に大きく寄与

■ IEEE 802.11ax

- 「無線LAN機器が高密度に存在環境における周波数利用効率の更なる向上」

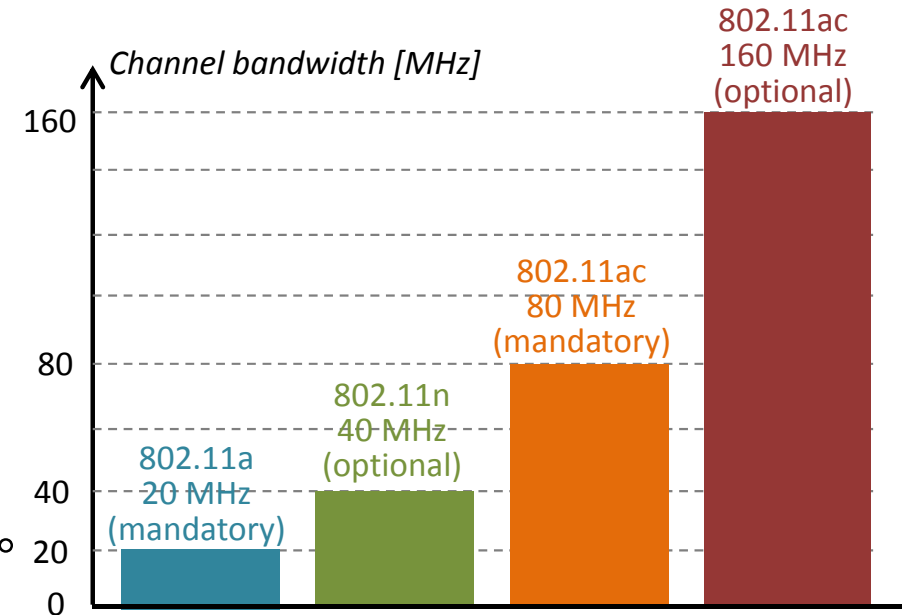
伝送効率改善が必要となった背景

■ チャンネル幅拡大による伝送速度高速化の限界^[1]

- 広帯域の伝送（例：160MHz）と狭帯域の伝送（例：20MHz）とが共存する場合、チャンネルの利用効率が著しく低下する課題があった。
 - 原因：過去の規格との後方互換性を担保するためチャンネルアクセスに制約があるため。

■ トラフィック（IPパケット）の統計的性質^[4]

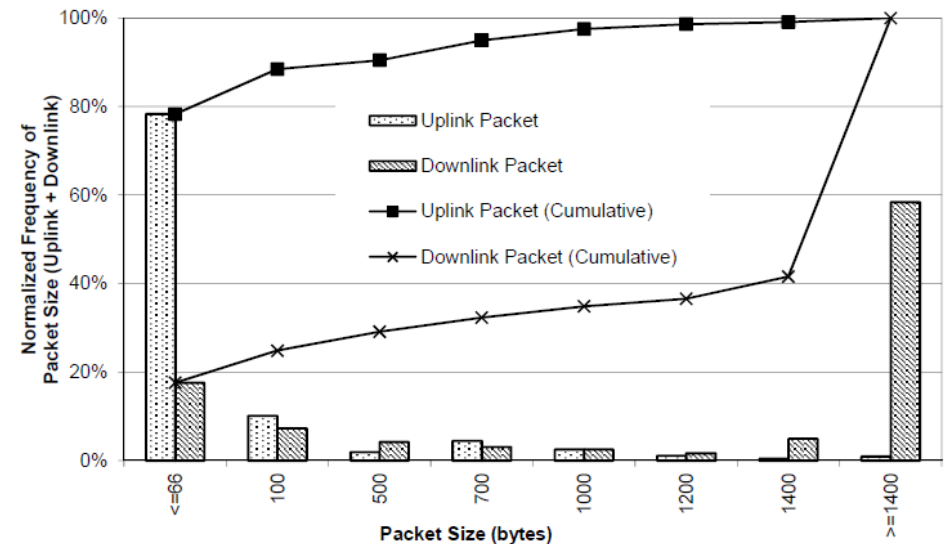
- 小さなデータサイズのパケットの割合が大きい。特に上り方向は、80%以上が100 Byte以下。



単にチャンネル幅を拡大するだけでは、スループットの大幅な改善は実現できない



一度のチャンネルアクセスでより多くのSTAに送受信を行うことで伝送効率を改善したい



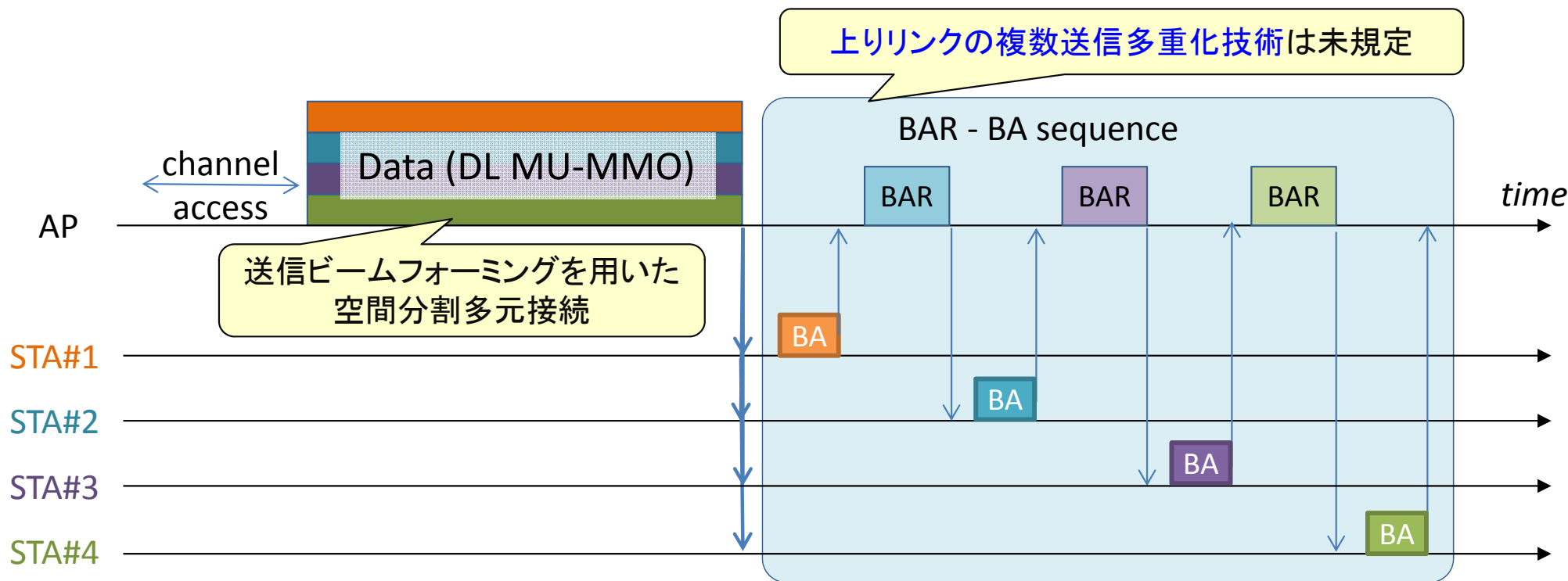
(1) MU-MIMO技術の拡張 (1/3)



■ IEEE 802.11ac: 下りリンクマルチユーザMIMO (DL MU-MIMO)^[1]

➤ 下りマルチユーザMIMOによるデータ転送シーケンスの例

- APは、最大で4端末宛のデータを同時に送信可能
- 応答確認は、Block ACK Request/Block ACKの交換を各端末個別に実施
- プロテクションも、各端末との間で個別にRTS/CTS手順を実施



制御フレームの交換における伝送効率がボトルネック

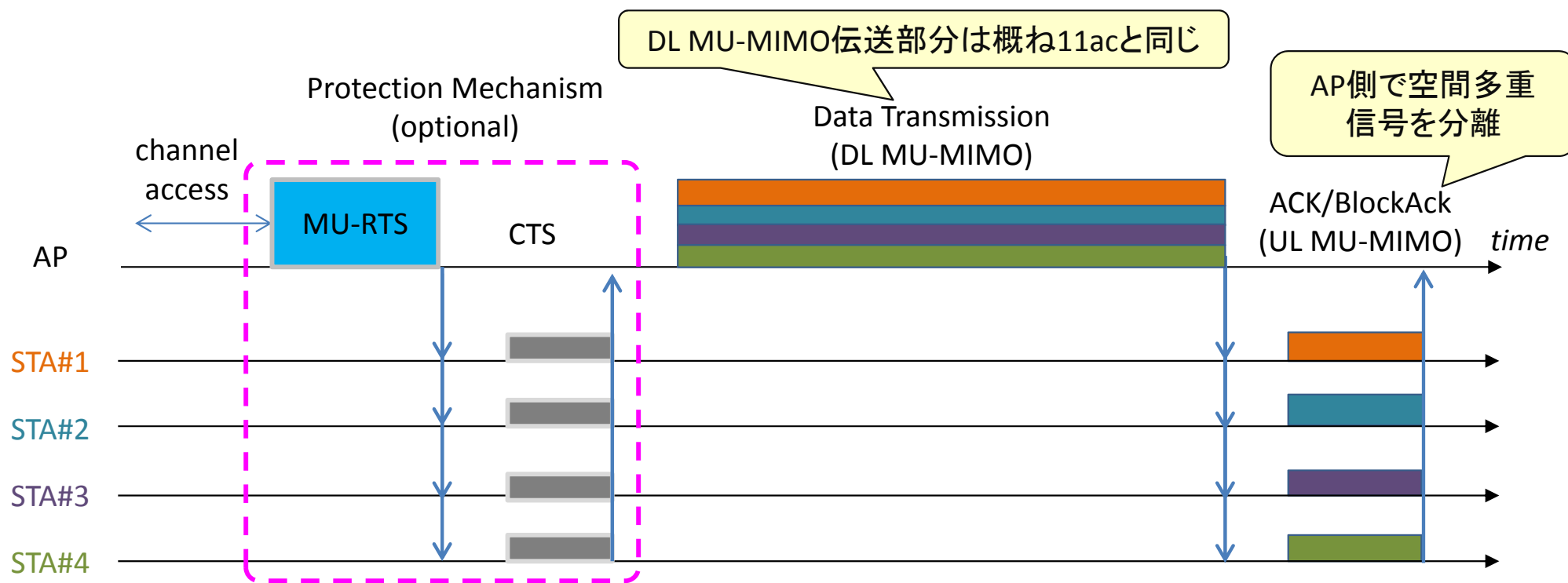
(1) MU-MIMO技術の拡張 (2/3)



■ IEEE 802.11ax: **上りマルチユーザMIMO** (UL MU-MIMO)を追加規定^[1]

➤ **DL** MU-MIMOを用いたデータ転送シーケンスの例

- ACK/BlockACK返信に**上りリンクマルチユーザMIMO (UL MU-MIMO)**を活用
- プロテクション手順(オプション)においても、複数STAの伝送を多重化することが可能



データ転送シーケンス全体での高効率化を実現

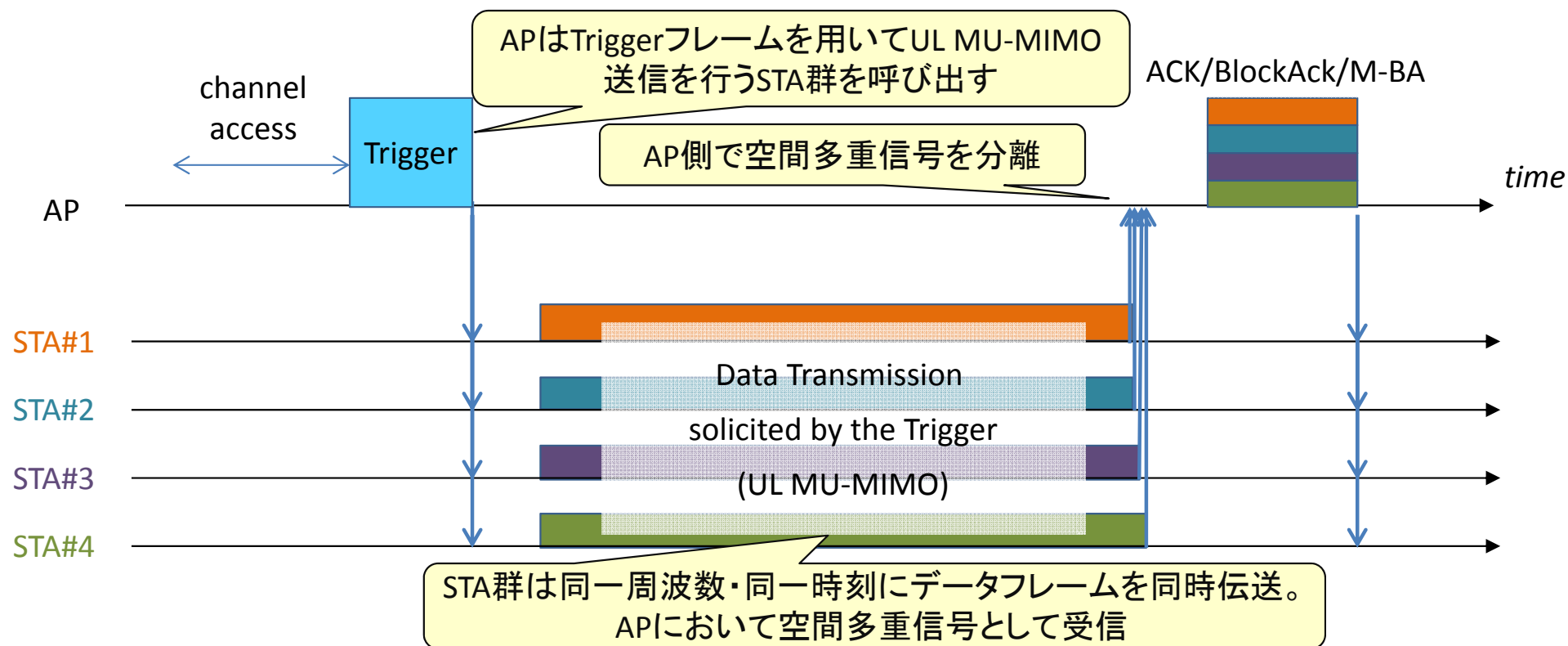
(1) MU-MIMO技術の拡張 (3/3)



■ IEEE 802.11ax: **上りマルチユーザMIMO** (UL MU-MIMO)を追加規定^[1]

➤ **UL** MU-MIMOを用いたデータ転送シーケンスの例

- **Triggerフレーム**の宛先端末が、Triggerの受信を契機に同時に上りデータ転送を開始
- APは上りデータにする応答を下りマルチユーザ(ACK/BlockAck), あるいは, Multi-STA BlockAck (M-BA) で返送

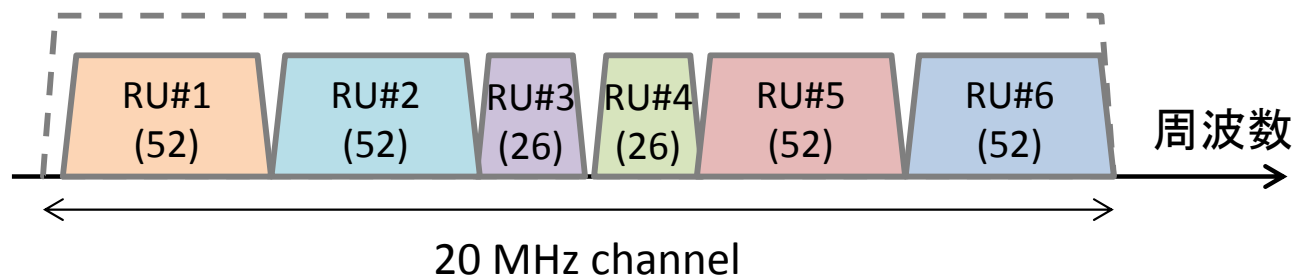


上りリンクのデータ転送シーケンスについても高効率化を実現

(2) OFDMA伝送の導入

■ IEEE 802.11axにおけるOFDMA伝送^[1]

- (3GPP LTE, IEEE 802.16 (WiMAX) 等においても利用)
- 既存のチャンネルアクセスルール(キャリアセンスベース、20MHz単位)を踏襲
 - 既存標準(IEEE 802.11a/n/ac)との後方互換性を確保
- アクセス権を確保したチャンネルを細分化し、多数のSTAに割り当て多元接続を実現
- **Resource Unit (RU, OFDMAにおけるSTA毎のリソース割当単位)を定義**
 - RU: OFDMシンボルの連続する複数サブキャリアの集合で構成
 - RUを構成するサブキャリア本数のバリエーション:
 - 26(約2MHz幅) / 52(約4MHz幅) / 106(約8MHz幅) / 242(約10MHz幅) / 484(約20MHz幅) / 996(約40MHz幅)
 - STA毎に異なるサイズのRUを使い分けることが可能。
(例: 20MHzチャンネルを用いて6台のSTAに同時伝送を行う場合)



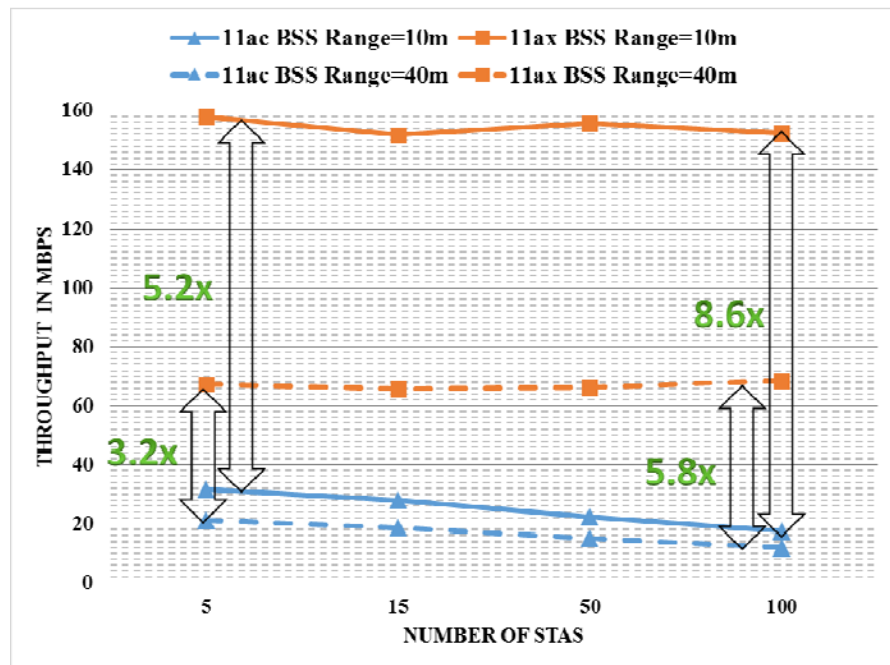
- **上りリンク(オプション)・下りリンク(必須)双方**で利用が可能
 - RUは、上り・下りで共通の定義
 - フレームシーケンスはMU-MIMOと同様、UL OFDMAではTriggerフレームを活用

(1)MU-MIMO/(2)OFDMA導入による高効率化^{[5][6]}



■ シミュレーション結果1 (MU-MIMO)

- 単一アクセスポイント
- アクセスポイントからの距離: 10m or 40m
- 端末数: 5、15、50、100
- 周波数帯: 5 GHz帯、チャネル幅: 20MHz
- アンテナ数: AP4本、STA端末 1本
- トラヒックモデル: フルバッファ、アップリンクのみ
- パケットサイズ: 1460バイト



■ シミュレーション結果2 (OFDMA)

- アクセスポイント数: 3
- アクセスポイントからの距離: 30m
- アクセスポイント当たりの端末数: 13、26、52
- 周波数帯: 5 GHz帯、チャネル幅: 80MHz
- アンテナ本数: AP/STAともに1
- トラヒックモデル: フルバッファ、アップリンクのみ
- パケットサイズ: 100バイト

APあたりの端末数: 52の場合

	11ac RTS OFF	11ac RTS ON	11ax RTS OFF
MCS5	31.35	133.21 (93.47, 22) (#)	129.60
MCS9	15.81	98.98 (63.41, 14) (#)	177.57

4.1倍

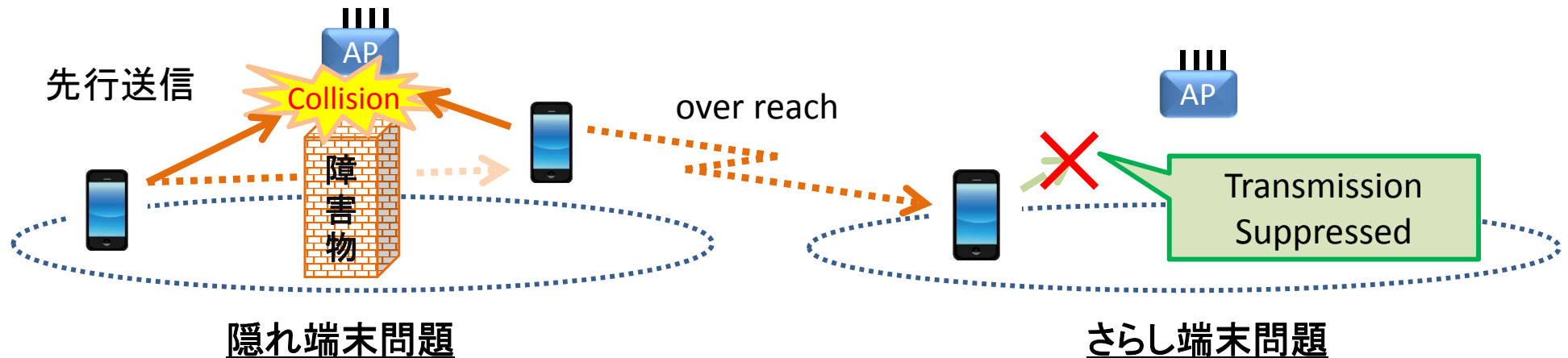
11.2倍

混雑した環境において4倍以上のスループット改善効果を確認

(3) 空間的な周波数再利用 (Spatial Reuse) (1/3)

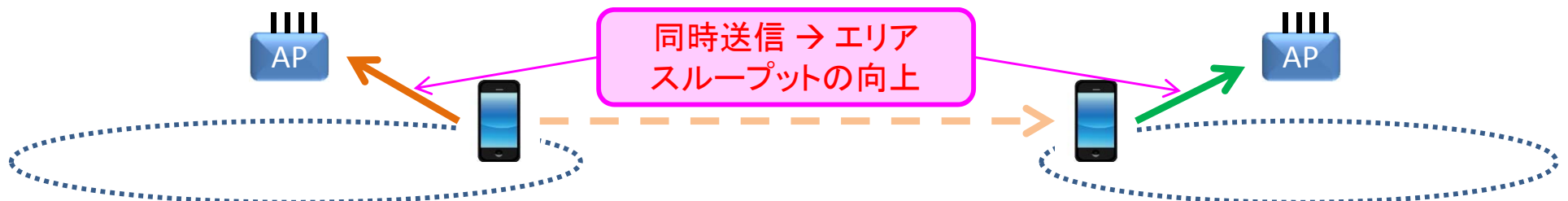
■ Spatial Reuse (SR) → 周波数リソースの高密度再利用を促進^[1]

- 無線LANのアクセス制御: CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)。チャネルの空き状態を確認の上送信を行う。
- 【課題】 隠れ端末問題 / さらに端末問題によるスループットの劣化



➤ 802.11ax Spatial Reuse Technique – さらに端末問題対策

- 同一周波数に存在する他のエリアからの信号を識別
- 自身の送信が先行する送信に悪影響を与えない場合には送信を行う



(3) 空間的な周波数再利用 (Spatial Reuse) (2/3)



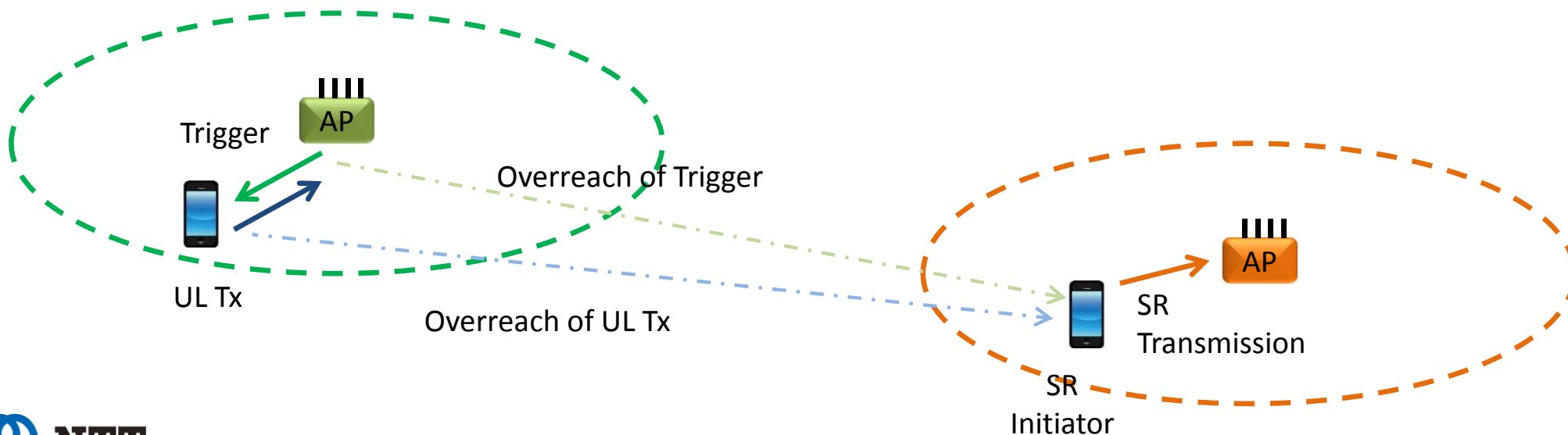
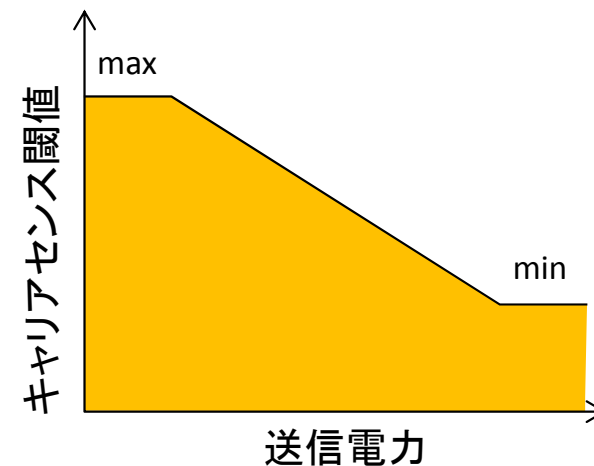
■ 2種類のSR技術を規定^{[1][5]}

■ OBSS_PD-based SR:

- 外部から受信する信号に対する感度と送信電力を動的に制御
- 感度を鈍くする場合には、その分送信電力を下げる

■ SRP(Spatial Reuse Parameter)-based SR:

- パラメータに応じたSR伝送
- Trigger-UL Txのシーケンスとシーケンス中に観測された信号のレベルから、自身の送信が可能かを判断

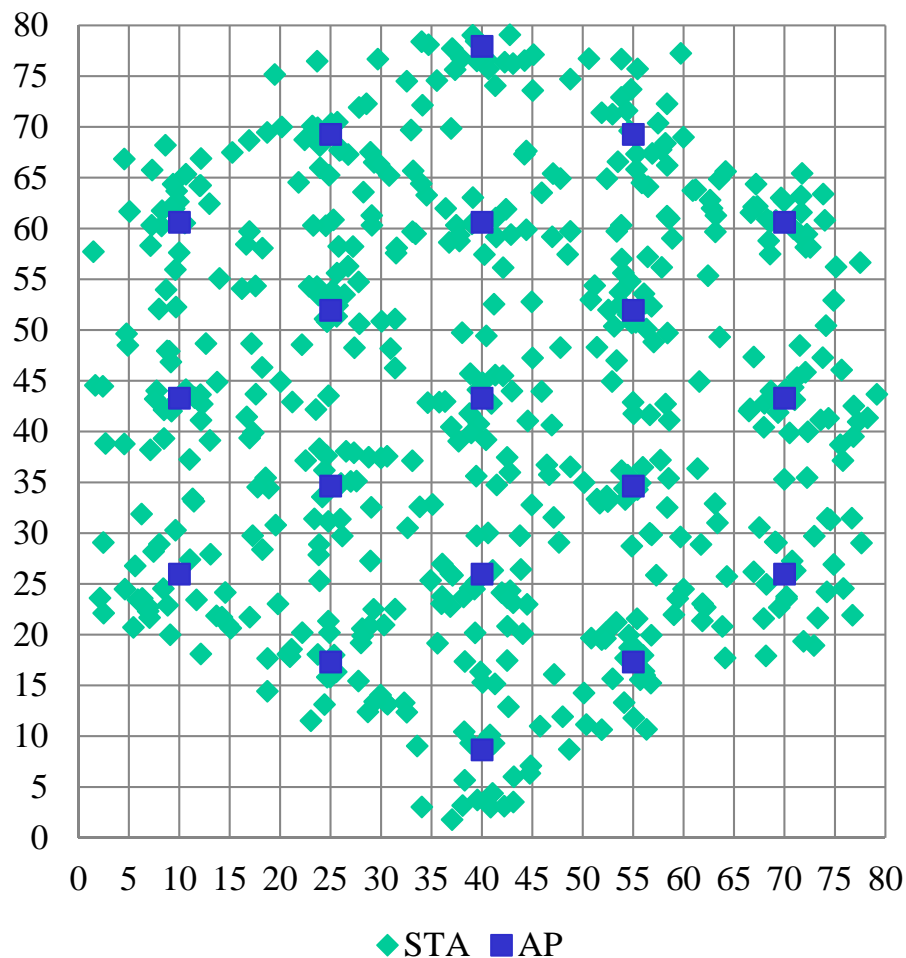


(3) 空間的な周波数再利用 (Spatial Reuse) (3/3)



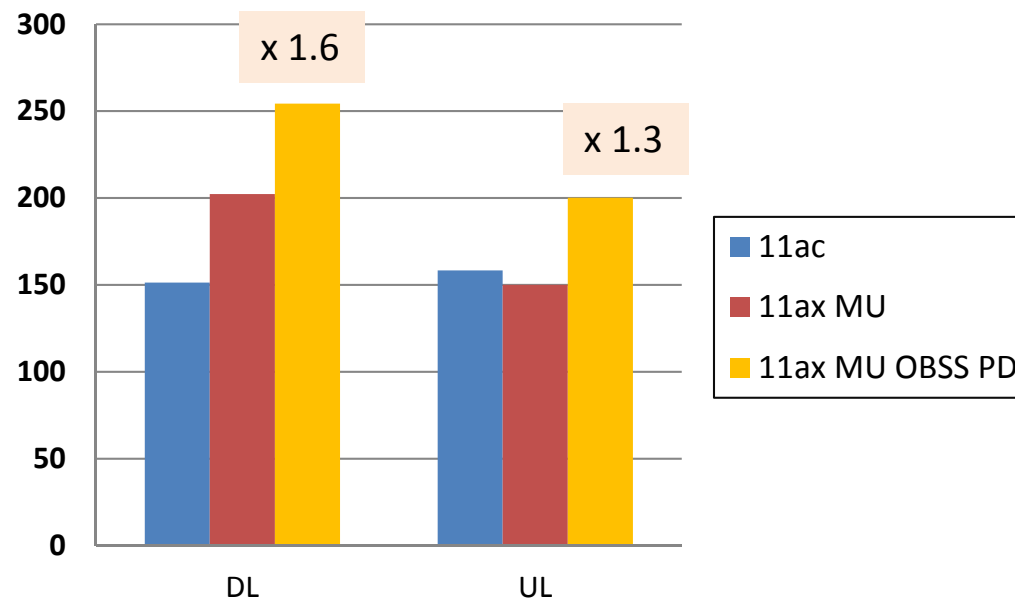
■ 計算機シミュレーションによる評価結果^{[1][7]}

Indoor BSS



● シミュレーション条件:

- 全APが同一周波数を利用
- AP台数: 19
- STA台数: APあたり30台(全部で570台)
- APのセル半径: 10m
- AP配置: 正六角形の頂点・中心
- STAの配置: APの通信エリア内でランダム



SR活用による空間再利用効果(スループットの改善)を確認

(4) 物理フレームフォーマット拡張



■ IEEE 802.11axのOFDM信号フォーマット^[1]

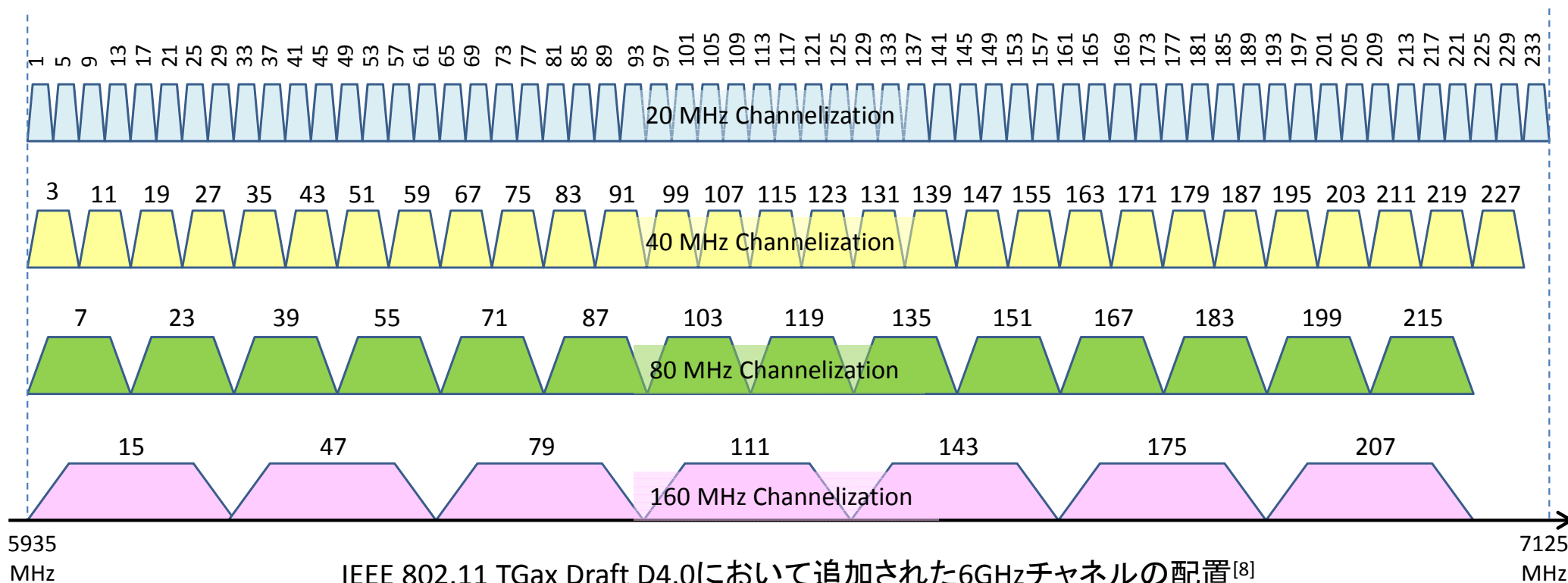
- **4x symbol length** → RUの分解能向上、伝送効率改善、マルチパス耐性向上(屋外環境・マルチユーザ伝送対応)
- 占有帯域の境界部分に**データサブキャリアを追加** → 伝送速度微増

	従来(a/n/ac)のOFDMシンボル	802.11ax用OFDMシンボル
時間軸上で見たOFDM信号	<p>遅延波の影響を吸収するガードインターバル (GI): 0.8 us</p> <p>情報を送る部分: 3.2 us</p>	<ul style="list-style-type: none"> GIの時間率低下⇒伝送効率改善 屋外電波伝搬環境に対応するため、GI長0.8 usの他に1.6/3.2 usを規定 <p>情報を送る部分: 12.8 us (= 3.2 us x 4)</p>
周波数軸上で見たOFDM信号	<p>サブキャリア間隔: 312.5 kHz</p> <p>20 MHz</p>	<p>サブキャリア間隔: 78.125 kHz (従来の1/4)</p> <p>20 MHz</p> <p>追加サブキャリア (11x2=22本)</p>

(5) 対応周波数拡大



- 欧米 (FCC/ETSI) における**6GHz帯**を無線LAN等の免許不要無線システムに割り当てるための共用検討が活発化^[1]
 - IEEE 802.11axが対象とする周波数帯として、**5935 - 7125GHz**を追加
 - チャンネルスキンの効率化のための規定を追加
 - 5GHz帯のビーコンフレームで6GHz帯の運用状況を通知
 - 6GHzにおけるプライマリチャンネルの位置に制約を追加、スキニングが必要となる20MHzチャンネルの数を削減



5935 MHz

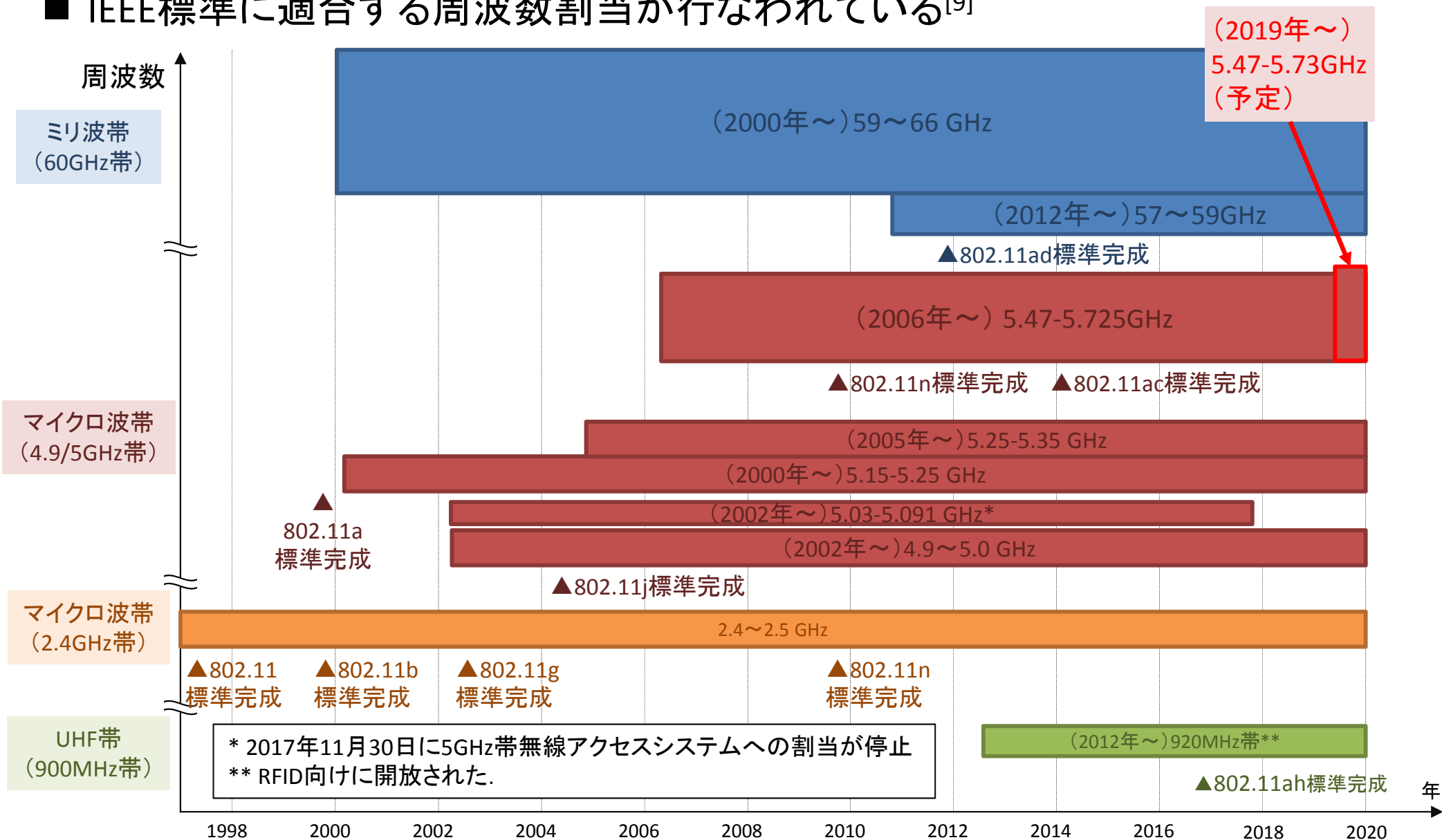
7125 MHz

1. IEEE 802.11axの標準化動向
2. IEEE 802.11axの技術概要
3. 日本における電波法規則改正に向けた動向
4. IEEE 802.11axのための新たな技術的条件
(案)

IEEE 802.11標準化と日本の周波数割当の関係



■ IEEE標準に適合する周波数割当が行なわれている^[9]



- 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 配下の作業班において、新たな無線LAN規格を日本で利用可能とするための「**技術的条件(案)**」を作成。これを基に、過去に以下の電波法規則改正が施行。
 - 1999年: **5.2GHz帯**(屋内限定)を免許不要無線システムに開放
⇒IEEE802.**11a**が利用可能
 - 2001年: **2.4GHz帯**の無線LAN向け制度の改正
⇒IEEE 802.**11g**が利用可能
 - 2004年: **5.3GHz帯**(屋内限定、DFS必須)および**5.6GHz帯**(屋外利用可、DFS必須)を免許不要無線システムに開放
⇒IEEE 802.**11a**の利用周波数拡大(4チャンネル→19チャンネル)
 - 2006年: 2.4/5.2/5.3/5.6GHz帯の**チャンネル幅拡大**
⇒IEEE 802.**11n**の**40MHzモード**が利用可能
 - 2012年: 5.2/5.3/5.6GHz帯の**チャンネル幅拡大**
⇒IEEE 802.**11ac**の**80/160/80+80MHzモード**が利用可能
 - 2018年: **5.2GHz帯の屋外利用可能***、**5.6GHz帯の上空利用可能****
⇒登録局APおよびこれに接続するSTAは**屋外利用可能**
 - **2019年: IEEE 802.11ax対応、5.6GHz帯チャンネル拡張(予定)**、DFS規則改正
⇒ IEEE 802.11axを**フルスペック**で利用可能

- 2018年4月: 5GHz帯無線LAN作業班(第8/9回会合)
 - 作業班で取り扱う議題を、「IEEE 802.11ax対応」「DFS*規則見直し」「5.6GHz帯のガードバンド活用」の三点とすることを確認
 - 5.3GHz帯無線LANのDFSにおける技術的条件の検討状況について共有
- 2018年7月:作業班(第10回会合)
 - IEEE 802.11ax導入目的・主要技術について確認
- 2018年11月:作業班(第11回会合)
 - IEEE 802.11axの標準化動向について共有
 - 電波法規則改正案について説明・議論
- 2018年12月:作業班(第12回会合)
 - 同一周波数帯を利用する他無線システムとの共用条件検討について議論
 - 作業班報告骨子(案)について検討
- 2019年1月:作業班(第13回会合)
 - 作業班報告案の検討を行い、親会である陸上無線通信委員会への提出を確認
- 2019年1月:陸上無線通信委員会
 - 作業班報告案に対するパブリックコメント募集を承認
- (2019年1月19日～2月21日:パブリックコメント募集)

⇒現在、パブリックコメントへの対応を議論中

1. IEEE 802.11axの標準化動向
2. IEEE 802.11axの技術概要
3. 日本における電波法規則改正に向けた動向
4. IEEE 802.11axのための新たな技術的条件
(案)

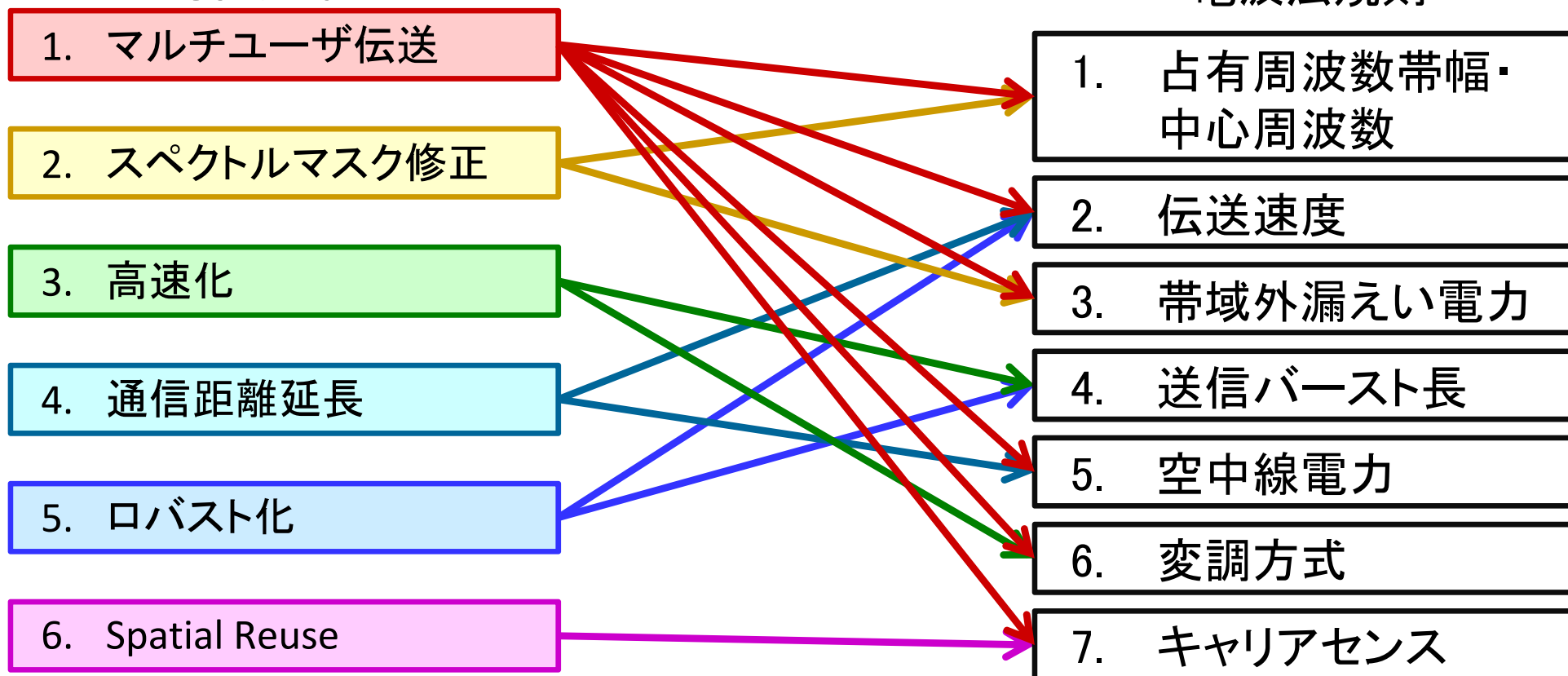
IEEE 802.11ax導入と電波法規則の関係



- IEEE 802.11axにおける新技术・規定を利用するための技術的条件を検討
- 並行して・既存システムとの共用検討を実施する必要あり

～802.11ax～

～電波法規則～



以降に5GHz帯無線LAN作業班において議論・確認された考え方を示す^[10]

1. 占有周波数帯幅・中心周波数 (1/2)

- IEEE 802.11axではOFDMA用/高効率化のためにトーン(サブキャリア)配置を稠密化し、外側にデータサブキャリアを追加している。
⇒現行行規則よりも占有周波数帯幅が若干広がる。
- 将来(IEEE 802.11ax以降の標準規格)の細微な修正が不要となるよう、占有帯域幅を**20MHz x 2ⁿに設定 (n=0, 1, 2, 3)**

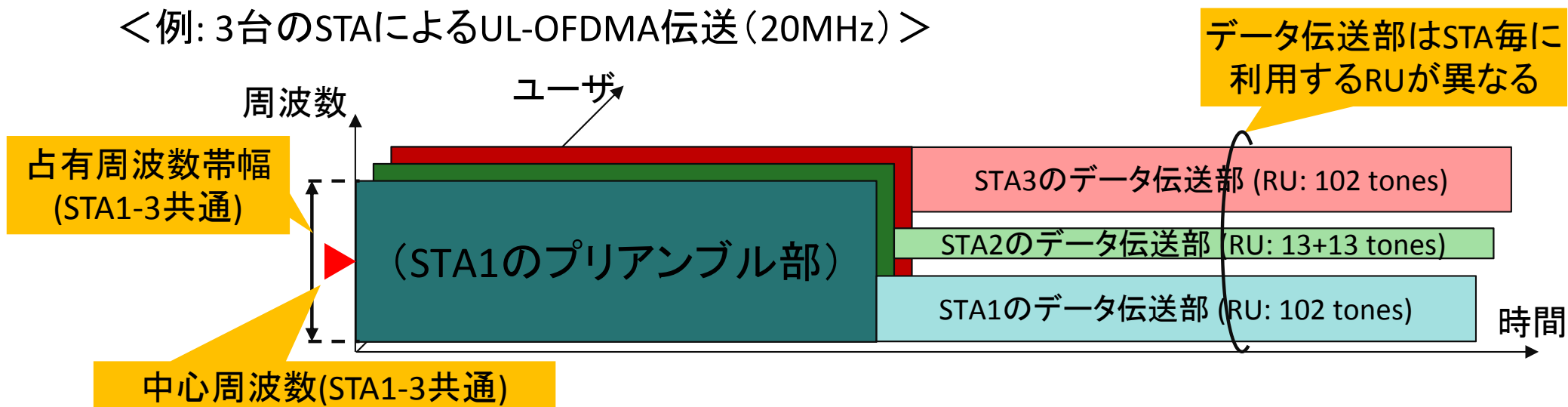
802.11規格上の チャンネル幅 (a/n/ac/ax)	無線設備規則における 占有周波数帯幅の 許容値 ¹⁾	802.11axの 占有周波数帯幅 (概算値)	(改正案)
20 MHz	W52/53: 19MHz W56: 19.7 MHz	19.14 MHz	20 MHz
40 MHz	38MHz	38.20 MHz	40 MHz
80 MHz	78 MHz	78.20 MHz	80 MHz
160 MHz	158 MHz	158.28 MHz	160 MHz
80+80 MHz	(周波数セグメント毎) 78 MHz	(周波数セグメント毎) 78.20 MHz	(周波数セグメント毎) 80 MHz

1. 占有周波数帯幅・中心周波数 (2/2)

■ OFDMA伝送における各RUに対する中心周波数・占有周波数帯幅

- データ部分の伝送を、全帯域幅の一部を利用して伝送することで複数局同時通信(一対多/多対一)を実現
- 利用するRUの配置によらず、**プリアンブル部はOFDMA伝送に用いられる全帯域幅(20/40/80/160/80+80MHzのいずれか)にわたり送信**

<例: 3台のSTAによるUL-OFDMA伝送(20MHz)>



⇒(案)バーストの中で最も帯域が広い部分(プリアンブル部)で観測、RUの割当によらず従来の占有周波数帯幅の範囲で定義

2. 伝送速度



■ 占有周波数帯幅に対応した最大伝送レートの下限保証の規定を変更する必要があるか？

⇒案: 変更しない

ホ 信号伝送速度は、次のとおりであること。
(1) 占有周波数帯幅が一九MHz以下の場合 毎秒二〇メガビット以上
(の速度で信号を伝送できるものでなければならないこと。)

- 5GHz帯が高速無線LAN向けに開放された際に伝送速度を規定※
- 現行規則では、20/40/80/160/80+80MHzシステムに対して、20/40/80/160/160Mbps以上の伝送速度をサポートする必要がある
- 11axでは、UL-OFDMA伝送において狭帯域RUによる低速伝送を規定(最低伝送レート: 0.4Mbps*)
- 一方、11axにおける最低スペックの端末(20MHz only non-AP HE STA)において、実装が必須となる伝送レートは**37.5Mbps****となっている
- →既存の伝送速度規定よりも高いスペックが求められる

※ 平成11年 電気通信技術審議会答申 諮問第99号「5GHz帯の周波数を利用する広帯域移動アクセスシステムの技術的条件」より (1999年9月27日)

* 26-tone RU, Nss=1, MCS=0, DCM適用 の場合 (IEEE P802.11ax/D3.0より)

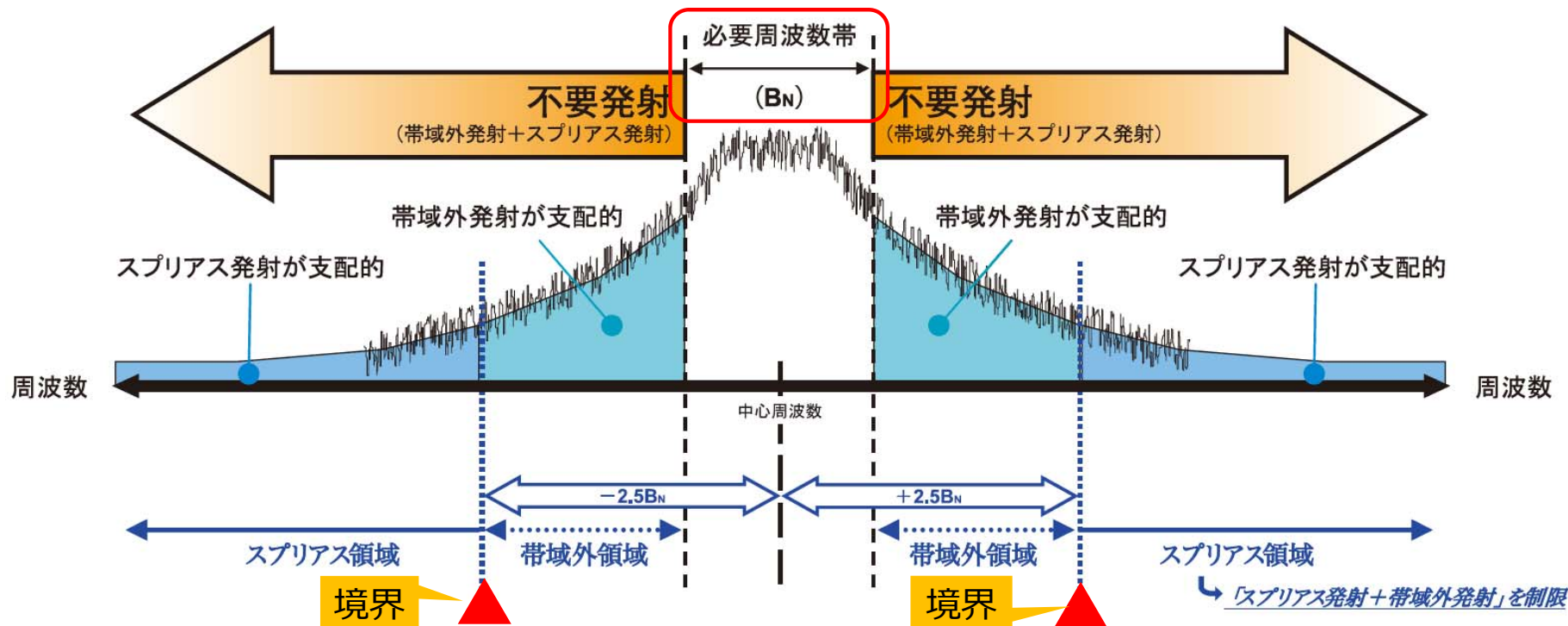
** 106-tone RU, Nss=1, MCS=7, GI=0.8us の場合 (IEEE P802.11ax/D3.0より)

3. 帯域外漏えい電力 (1/3)



■ 帯域外領域及びスプリアス領域は必要周波数帯(B_N)に基づき定義される^[11]

- (電波法施行規則第二条六十二) 「必要周波数帯幅」とは、与えられた発射の種別について、特定の条件のもとにおいて、使用される方式に必要な速度及び質で情報の伝送を確保するためにじゅうぶんな占有周波数帯幅の最小値をいう。この場合、低減搬送波方式の搬送波に相当する発射等受信装置の良好な動作に有用な発射は、これに含まれるものとする。



3. 帯域外漏えい電力 (2/3)



■ 現行規則における占有周波数帯幅・必要帯域幅

	占有周波数帯幅	必要帯域幅(B_N)
20MHzシステム	W52・W53: 19MHz / W56: 19.7MHz	18MHz
40MHzシステム	38MHz	36MHz
80MHzシステム	78MHz	76MHz
160MHzシステム	158MHz	156MHz
80+80MHzシステム	(周波数セグメント毎) 78MHz	(周波数セグメント毎) 76MHz

⇒(案)必要帯域幅を占有周波数帯幅同様に $20\text{MHz} \times 2^n$ とし、これを元に帯域外漏えい電力を規定(既存システムに影響を与えないことは確認済)

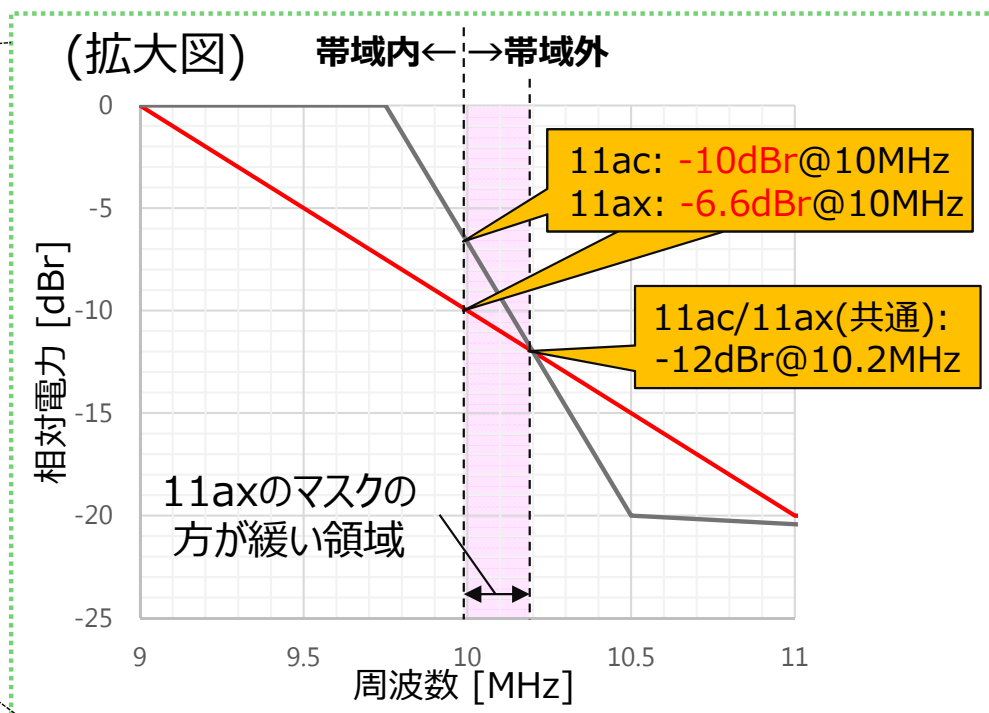
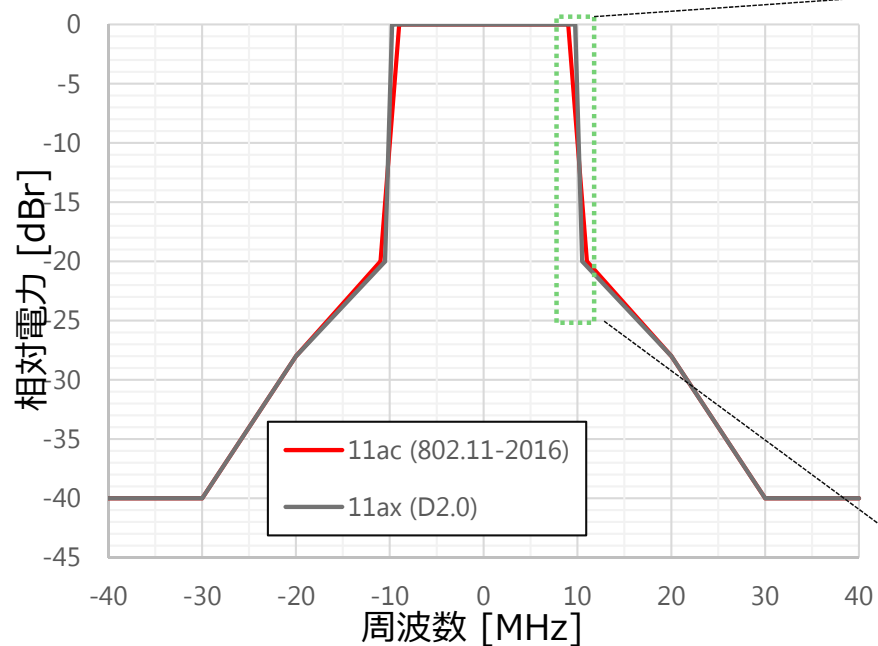
	占有周波数帯幅	必要帯域幅(B_N)
20MHzシステム	(W52・W53・W56共通) 20MHz	20MHz
40MHzシステム	40MHz	40MHz
80MHzシステム	80MHz	80MHz
160MHzシステム	160MHz	160MHz
80+80MHzシステム	(周波数セグメント毎) 80MHz	(周波数セグメント毎) 80MHz

3. 帯域外漏えい電力 (3/3)



- 20MHzシステムについてのみ、例外的にIEEE 802.11axのスペクトルマスクがIEEE 802.11acのそれよりも緩くなる部分が存在

<20MHzシステムのスペクトルマスク>



⇒ (案) 5.2/5.3GHz帯で運用される20MHzシステムに限り、一部緩和を行う。
(既存システムとの共用条件に影響がない事を確認済)

4. 送信バースト長 (1/2)



無線設備規則 第49条の20第3項
へ 送信バースト長は四ミリ秒以下であること。等

■ 現行規則: 4ms以下

➤ 起源: HiSWANaと802.11aの共存結果 (平成11年度電技審答申)

- HiSWANa(ARIB STD T-70, 最大フレーム長2ms)と、802.11a(フレーム長可変)が同一周波数上で運用される場合において、802.11aの送信バースト長を4ms以下とすることでアクセス機会が公平となることを根拠に規定。
- HiSWANa機器(旧J52*対応機器)は2008年5月30日に新規技適取得が停止**、現在ほとんど利用されていない状態と考えられる。

■ 11ax: 送信バースト長の最大値を延長したい要求あり

- オーバヘッド削減によるスループット向上、Beamformingのトレーニングを1回で完了させられる、パケット誤りによる再送時のアクセス効率改善 等のメリットがある。
- 11axではパケットの途中でチャンネル推定用のトレーニング信号(Mid-amble, オプション)を採用、長いパケットを伝搬路変動に対してロバストに送信できる規定も含まれ、送信バースト長を延長することが可能。
- 送信バースト長を延長した場合、現行無線LANの送信時間率は低下するが、これまでと同様に、チャンネル利用機会の公平性はキャリアセンスが義務付けられていることにより担保されると考えられる。

*J52: 1999-2005年において、5150-5250MHzの20MHzシステムの中心周波数は5170/5190/5210/5230MHzと規定されていた。
J52は当該チャンネル配置の俗称。

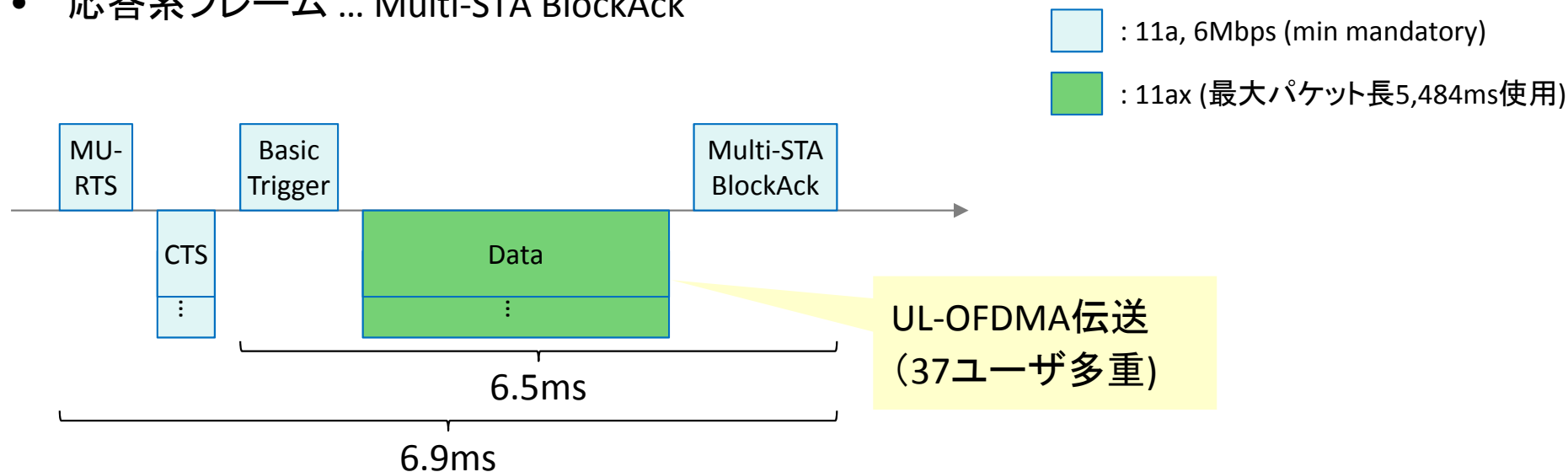
**平成17年総務省令第93号 附則

4. 送信バースト長 (2/2)



■ 11axにおける最大フレームシーケンス長

- ユーザ多重数が制御フレームの情報量(フレーム長)に影響を与える。
- 制御フレームのオーバヘッドを最大化する場合として、80MHz幅あたり37ユーザ多重(11axにおける最大ユーザ多重数)を想定。
 - Triggerフレーム ... MU-RTS, Basic Trigger
 - 応答系フレーム ... Multi-STA BlockAck



- 上記結果に加えて、誤りパケットの再送やBeamformingのためのトレーニング信号の送受に必要となる時間長を考慮する必要がある。

⇒案: バースト長最大値を8msに拡張

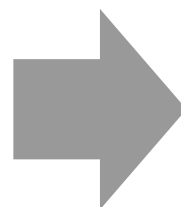
5. 空中線電力



- 現行規則では、20MHzシステムで10mW/MHz、無線局あたりの最大送信電力を一定にするために、帯域幅に反比例して電力密度を低下させる。

⇒案: 現行ルールを維持(占有周波数帯幅は変更)

占有周波数帯幅	最大空中線電力密度
19MHz以下	10 mW/MHz
19MHzを超え、 38MHz以下	5 mW/MHz
38MHzを超え、 78MHz以下	2.5 mW/MHz
78MHzを超え、 158MHz以下	1.25 mW/MHz



占有周波数帯幅	最大空中線電力密度
20MHz以下	10 mW/MHz
20MHzを超え、 40MHz以下	5 mW/MHz
40MHzを超え、 80MHz以下	2.5 mW/MHz
80MHzを超え、 160MHz以下	1.25 mW/MHz

- 占有周波数帯幅拡大により無線局あたりの送信電力が微増するが、既に当該パラメータで検討が行われているため(例: 20MHzシステムについて、空中線電力200mWで計算)、他システム(MSSフィーダリンク・気象レーダー)との共用を可能とする結論に変わりはないと考えられる(共用検討の必要あり)。

6. 変調方式



- OFDMA伝送の信号形式はトーンが直交配置されている点において、OFDMと同様。
- トーン(サブキャリア)密度規定について、現行規則では1MHzあたり1以上としている(無線設備規則第49条20三リ など)※。
- 11axではトーン間隔を11acの4倍としており(11ac: 312.5kHz→11ax: 78.125kHz)、既存規則の範囲となる。
- 狭帯域のUL-OFDMA信号については、占有周波数帯幅を $20\text{MHz} \times 2^n$ で定義すると、見かけ上サブキャリア本数が疎となる。ごく一部のRU(全113パターンのうち3パターン)については、1MHzあたりのサブキャリア数が1以下となる。
- しかし、無線フレームのうちプリアンブル部分は従来と同様のサブキャリア密度となることから、現行規則を満足していると解釈される。
- 11axは1024QAMを新規に規定しているが、電波法規則においてトーンの変調方式に関する項目(変調精度等)はないため、変更は不要と考えられる。

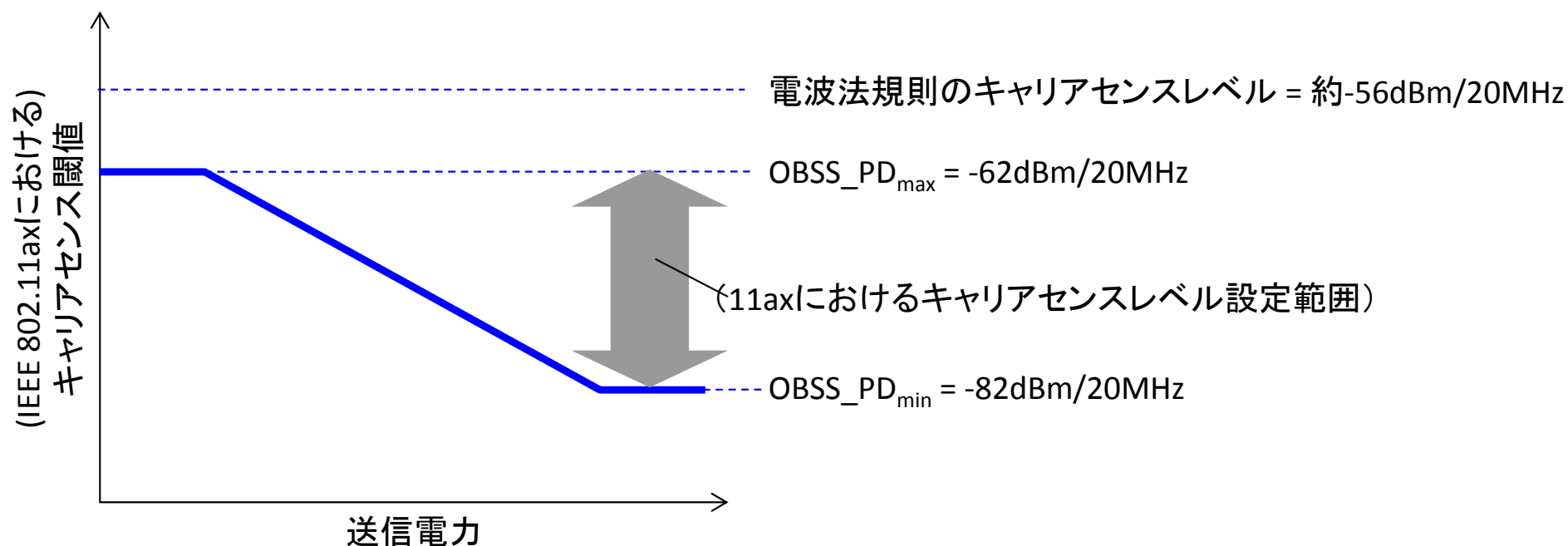
⇒(案)変更なし

※ 平成11年 電気通信技術審議会答申 諮問第99号「5GHz帯の周波数を利用する広帯域移動アクセスシステムの技術的条件」より(1999年9月27日)

7. キャリアセンス (1/2)



- 電波法規則におけるキャリアセンス規定(平成19年総務省告示第48号)は、約-56dBm/20MHz(100uV/mから換算した値※)。
- 11axにおけるキャリアセンス閾値の設定範囲は、電波法規則よりも低いレベルであり、既存規格と同様に厳格に規定されている(下図参照)。



- 案：キャリアセンスレベルは変更なし

※ 平成11年 電気通信技術審議会答申 諮問第99号「5GHz帯の周波数を利用する広帯域移動アクセスシステムの技術的条件」より (1999年9月27日)

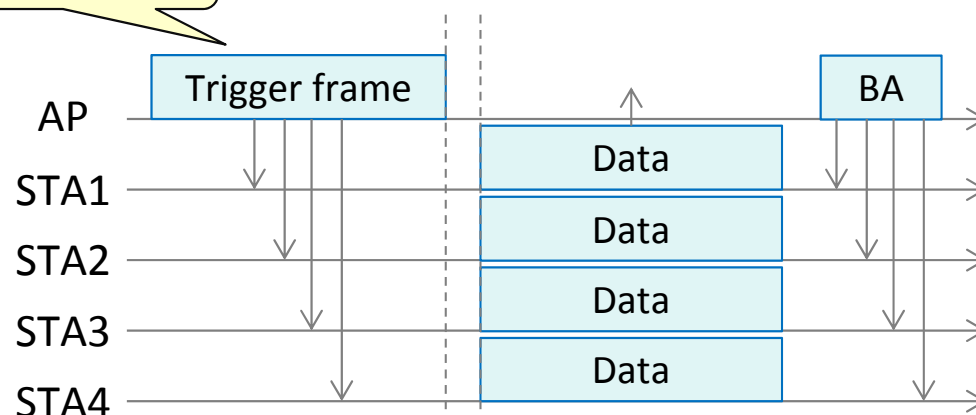
7. キャリアセンス (2/2)



- UL MUではTrigger frame受信後、各端末がアップリンク送信する際にキャリアセンスが免除される場合がある
- 既存規則におけるキャリアセンスを省略できる条件(平成19年総務省告示第48号二※)に合致すると考えられるため、追加の条件は不要と考えられる。

UL MU開始指示

...端末毎のキャリアセンスの要否を指示



キャリアセンス指示があった場合、この期間内で実施

※【現行規則】

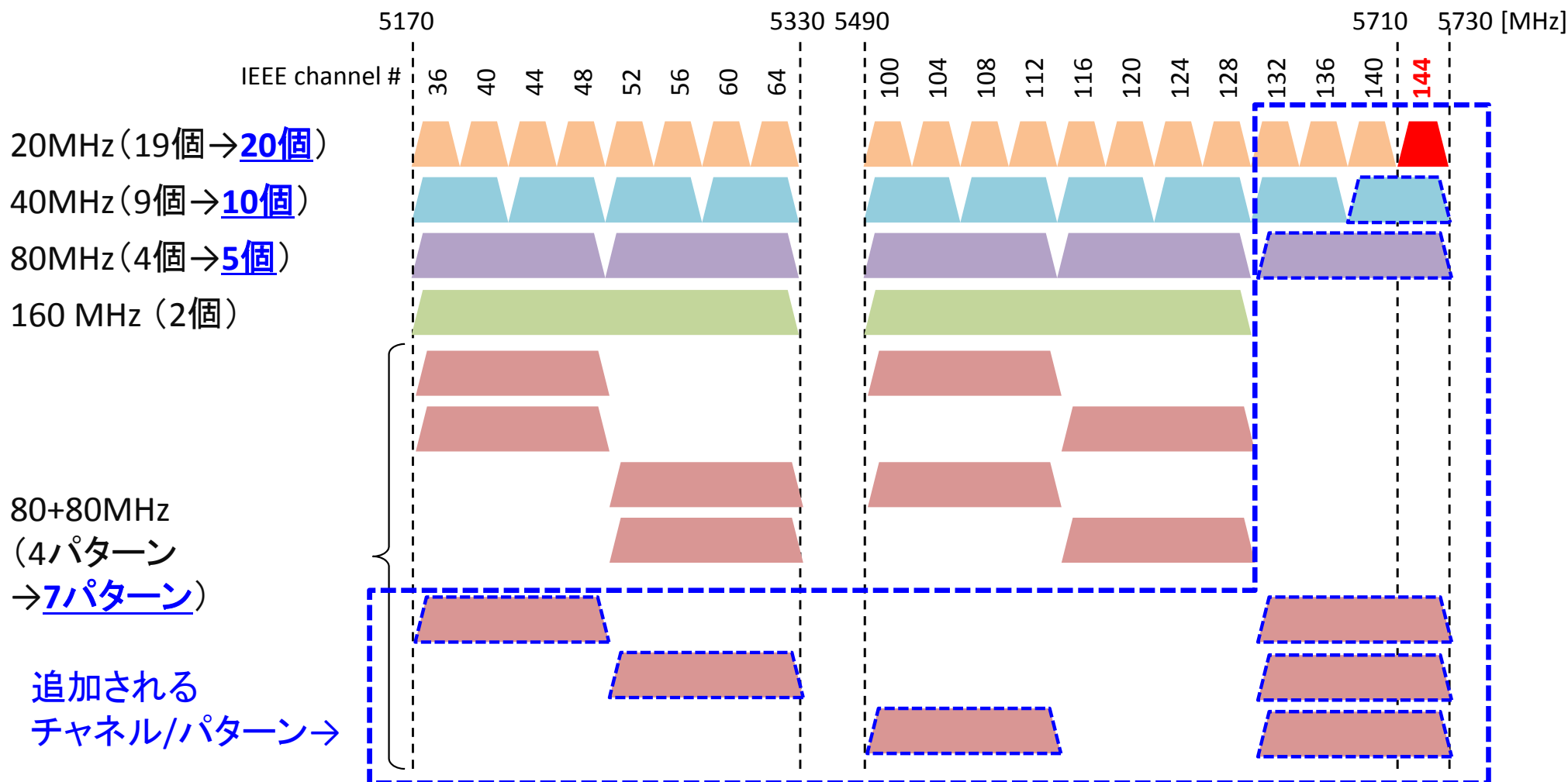
無線設備は、キャリアセンスを行った後、送信を開始するものであること。ただし、他の無線設備から送受信を制御されている場合及び送信を行った無線設備がキャリアセンス後四ミリ秒以内に送信を再開する場合は、キャリアセンスを行うことを省略することができる

- 案: キャリアセンス有効期間をバースト長に合わせる(4ms→8ms)

5.6GHz帯の周波数チャネル拡張



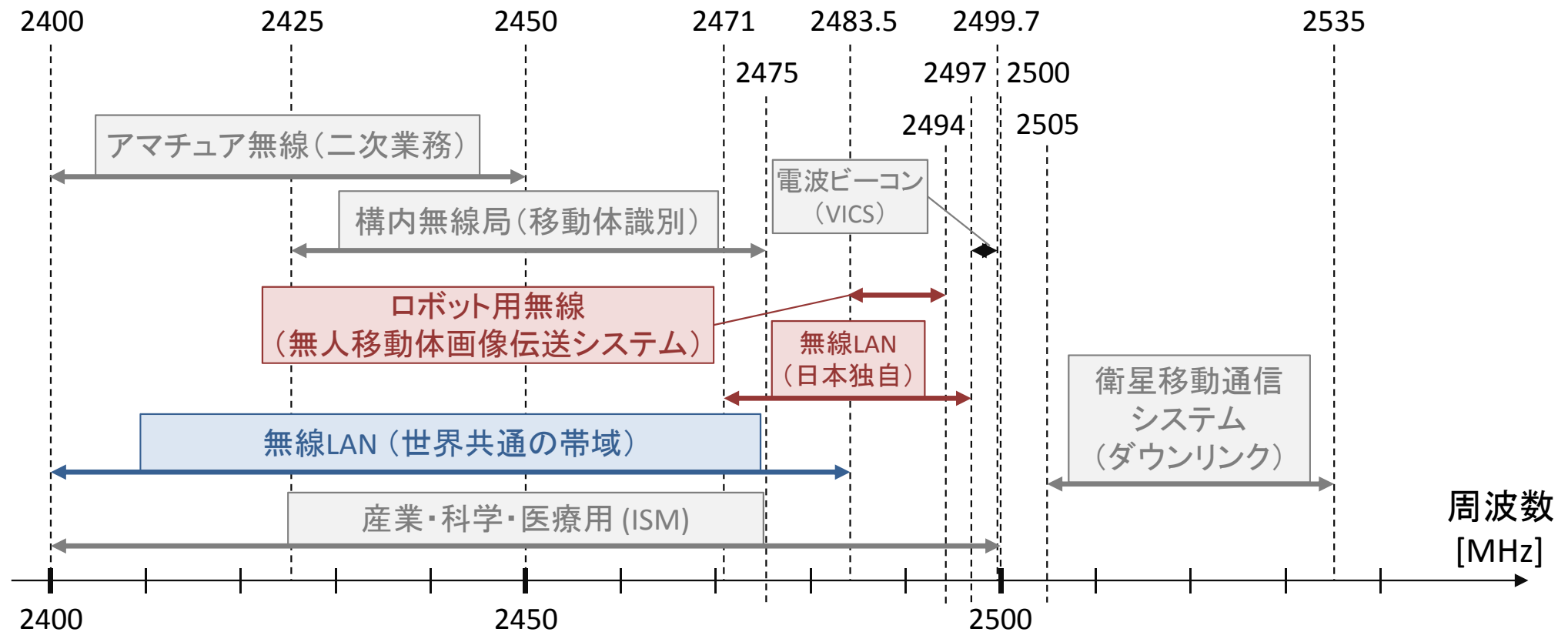
- 20MHz幅の144chを開放することで、40MHzチャネル1個、80MHzチャネル1個、80+80MHzチャネル3パターンを追加することが可能^{[12][13]}



他システム等との共用検討 (2.4GHz帯)



■ いずれのシステムに対しても共用可能の結論を得た

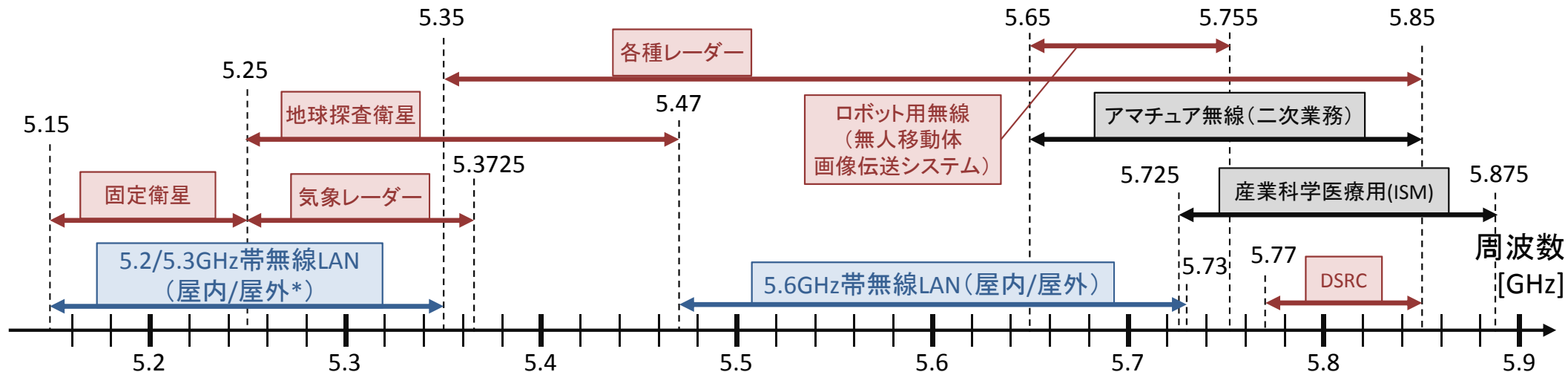


共用対象システム	検討結果
ロボット用無線 (無人移動体画像伝送システム)	ロボット用無線システムに対する与干渉が従来と同等であること、およびスペクトルマスクが帯域外領域において十分な干渉マージンを確保していることから共用可能。
既存の2.4GHz帯無線LAN	従来のキャリアセンス規定により共用可能 (※2483.5-2499.7MHzではIEEE 802.11axの利用を想定しない)

他システム等との共用検討 (5GHz帯)



- 空中線電力、帯域外漏えい電力のマスクがほぼ従来と同等であることから、**従来の技術的・制度的条件の下、共用可能**である結論を得た^{[13][14][15]}。



周波数帯	共用対象システム	検討結果
5.2GHz帯	固定衛星 (MSSフィーダリンク)	・屋内利用: 従来と同様に最大EIRP 200mWの下で共用可能 ・屋外利用: 従来と同様にEIRPの仰角制限(最大1W)および台数管理(登録局制度)の下で共用可能
	5.3GHz帯気象レーダー	従来と同様に、固定衛星(移動衛星フィーダリンク)と同様の条件を課すことにより、共用可能
5.3GHz帯	5.3GHz帯気象レーダー	従来と同様に、屋内利用に限定し、DFS/TPC機能の具備を課すことにより、共用可能
	地球探査衛星	従来と同様に、屋内利用に限定し、DFS/TPC機能の具備及び出力制限(最大EIRP200mW、最大EIRP密度10mW/MHz)を課すことにより共用可能
5.6GHz帯	各種レーダー	従来と同様に、DFS/TPC機能の具備を課し、最大EIRP1Wの下で共用可能
	ロボット用無線システム (無人移動体画像伝送システム)	ロボット用無線システムに対する与干渉は従来と同様と見込まれることから、現行の運用条件(DFS/TPC必須、最大EIRP1W、屋内外利用)により共用可能
	狭域通信(DSRC)システム	5770~5777MHzにおける不要発射の許容値を従来と同様にすることにより、共用可能

技術的条件(案)まとめ



- 周波数帯の追加(144ch)、占有周波数帯幅(付随した帯域外漏えい電力の上限値の見直し)、送信バースト長、キャリアセンス有効期間を変更する(赤字部分)。

周波数帯→	2.4GHz帯	5GHz帯	
使用周波数帯	2400 – 2483.5MHz	5150 - 5250MHz 5250 – 5350MHz	5470 – <u>5730</u> MHz
占有周波数帯幅 (システム区分)	26/ <u>40</u> MHz	<u>20/40/80/160</u> MHz	
変調方式	OFDM	OFDM	
最大空中線電力	200mW	200mW	
最大空中線利得	12.14dBi	(規定なし)	
最大EIRP	(規定なし)	200mW/1W* * 5.2GHz帯登録局のみ	1W
送信バースト長	(規定なし)	<u>8ms</u>	
キャリアセンス	義務付け (40MHzシステムのみ)	義務付け(キャリアセンスの有効期間: <u>8ms</u>)	
DFS/TPC	不要	5250 – 5350 MHzに対して 必須	必須
接続形態	任意	任意(5.2GHz帯屋外利用、5.3/5.6GHz帯については、親局との接続が必要)	



Innovative R&D by NTT

謝辞



本資料の作成にあたっては、
IEEE 802.11TGaxにおいてSecretaryをご担当されている
井上保彦氏（NTTアクセスサービスシステム研究所）
にご協力をいただきました。

記して感謝の意を表します。

参考文献 (1/2)



- [1] 井上保彦, 「無線LANの最新技術動向 IEEE 802.11国際標準化の最新動向 ～ IEEE 802.11axを中心に～」, Microwave Workshop & Exhibition (MWE) 2018, 2018年11月30日.
- [2] Osama Aboul-Magd, "802.11 HEW SG Proposed PAR", doc.: IEEE 802.11-14/0165r1, March 2014.
<https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/14/11-14-0165-01-0hew-802-11-hew-sg-proposed-par.docx>
- [3] 足立朋子(東芝), 「IEEE802.11axの動向について」, 5GHz作12-2, 5GHz無線LAN作業班(第12回), 2018年11月2日.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000582711.pdf
に加筆することにより作成.
- [4] Bill Carney, et. al, "Network Optimization for Expected HEW Traffic Patterns," Doc. IEEE 802.11-13-0728-01, July 2013.
<https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/13/11-13-0728-01-0hew-network-optimization-for-expected-traffic-patterns.pptx>
- [5] 浅井裕介(NTT), 足立朋子(東芝), 城田雅一(クアルコムジャパン), 「IEEE 802.11axの導入に向けた検討について」, 5GHz作11-2, 5GHz無線LAN作業班(第11回), 2018年7月27日.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000566719.pdf
- [6] Frank Hsu, et. al., "PAR Verification Multiple BSS Simulation," doc.: IEEE 802.11-17/0076r1, January 2017.
<https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/17/11-17-0076-01-00ax-multiple-bss-simulations-for-par-verification.pptx>
- [7] Frank Hsu, et. al., "PAR Verification Simulation Follow up," doc.: IEEE 802.11-16/1435r0, November 2016.
<https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/16/11-16-1435-00-00ax-par-verification-simulation-followup.pptx>
- [8] IEEE P802.11 TGax Draft D4.0, Prepared by the 802.11 Working Group of the LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, January 2019.

参考文献 (2/2)



- [9] 浅井他、「超高速無線LAN規格IEEE 802.11acの概要とマルチユーザMIMOの実験的検証」, 信学会論B, Vol.J97-B, No.1 pp.1-18, 2014年1月
https://search.ieice.org/bin/pdf_link.php?category=B&lang=J&year=2014&fname=j97-b_1_1&abst=
を基に作成.
- [10] 浅井裕介(NTT), 足立朋子(東芝), 城田雅一(カールコムジャパン), 「次世代高効率無線LANの技術的条件の検討」, 5GHz作12-4, 5GHz無線LAN作業班(第12回), 2018年11月2日.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000582713.pdf
- [11] 総務省, 「無線機器のスプリアスの規格が変わりました。」
<https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/others/spurious/files/newpfrt.pdf>
- [12] ARIB 無線LANシステム開発部会, 「次世代無線LAN802.11axの早期制度化に関する提案」, 5GHz作9-3, 5GHz無線LAN作業班(第9回), 2018年4月19日.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000547706.pdf
- [13] 総務省, 「無線LANによる144chの利用について」, 5GHz作12-5, 5GHz無線LAN作業班(第12回), 2018年11月2日.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000582713.pdf
- [14] 浅井裕介(NTT), 「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」, 5GHz作13-2, 5GHz無線LAN作業班(第13回), 2018年12月7日.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000588275.pdf
- [15] 浅井裕介(NTT), 「成田空港の気象レーダ(5335MHz)に対するW53無線LANの干渉量評価」, 5GHz作13-7, 5GHz無線LAN作業班(第13回), 2018年12月7日.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000588278.pdf