

無線LANのブロードバンド化 ～802.11bからWi-Fi6Eまで～

2020年11月13日

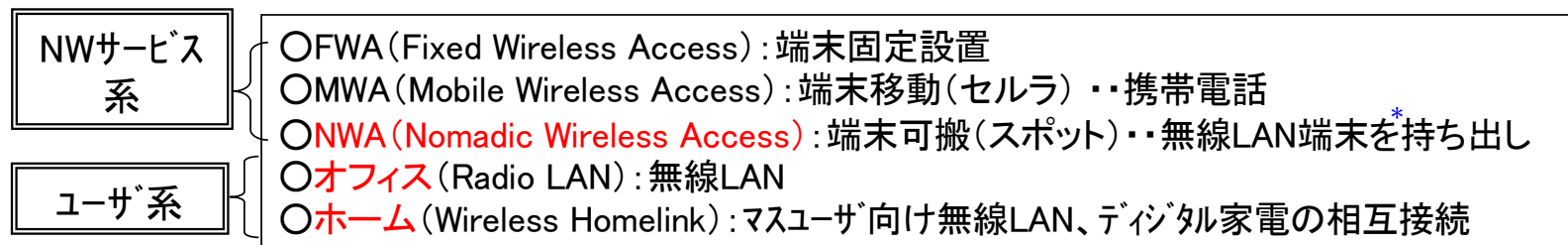
京都大学 大学院情報学研究科 通信情報システム専攻
守倉正博



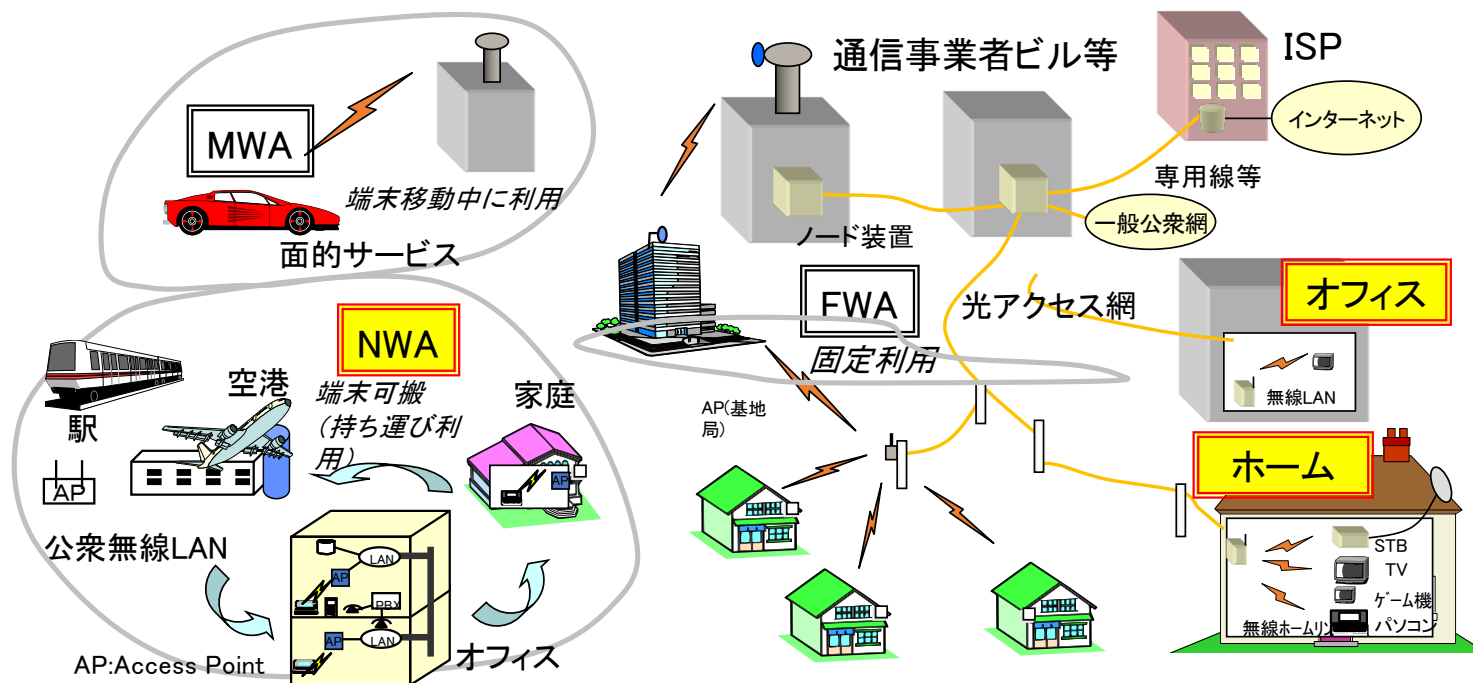
目次

1. 無線LANブロードバンド化の背景
2. 5Gと無線LANの関係
3. 無線LANの伝送レート増加
4. IEEE 802.11標準化会合
5. 無線システムは周波数が重要
6. 新たな免許不要の無線周波数の獲得
7. むすび

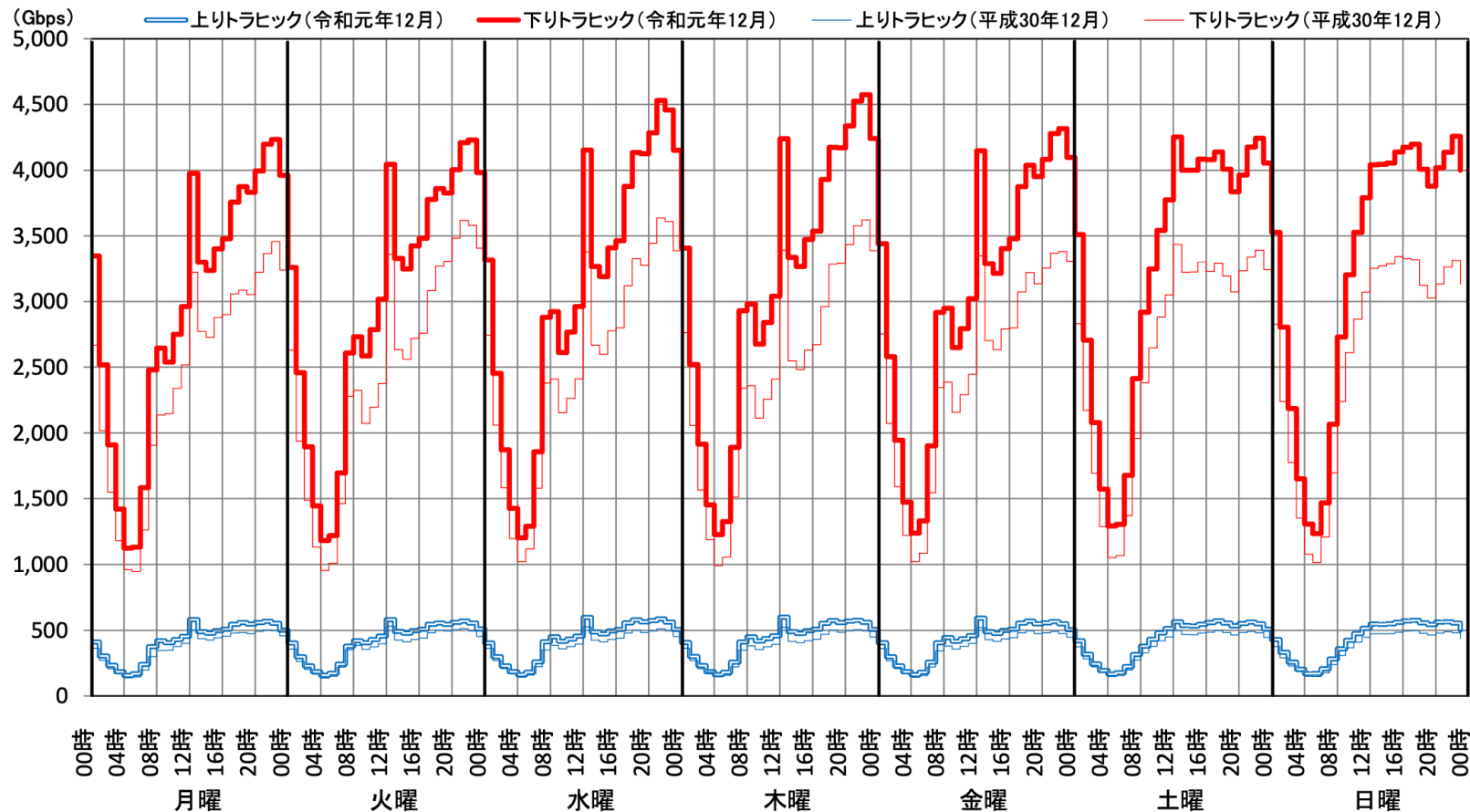
無線アクセスの分類



NWAはITU-Rでの
正式用語
(Recommendation
ITU R F.1399)



移動通信トラフィックの傾向(2018/12, 2019/12)



トラフィックのピークは
昼休みや午後8時~12時



この時間帯で多くの方は
屋内にいると思われる。

無線LANの主な役割

- (1)光アクセス等を介したフォトニクスネットワーク*1との接続
(有線接続の補完)
- (2)スマートフォン・トラヒックのオフロード*2
(2022年にはグローバルなモバイルトラヒックの59%はWi-Fi™へのオフロード)

*1: 澤田純、他、“IWON構想—インターネットの先へ”,NTT出版,2019

*2: Cisco Visual Networking Index (VNI) Complete Forecast Update, 2017-2022



2. 5Gと無線LANの関係

「5G vs 無線LAN」という構図はあるのか？

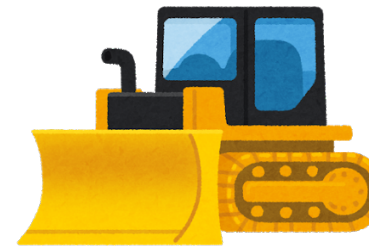
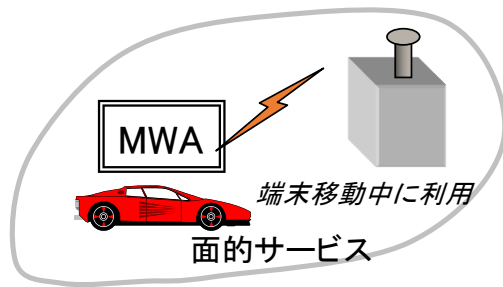
{	MWA (Mobile Wireless Access)	セルラー、ギャランティード型・ ベストエフォート型
	NWA (Nomadic Wireless Access)	無線LAN、ベストエフォート型

5Gやローカル5Gが普及すると無線LANはどのようなになるのか？



ユーザが要求する通信性能に対して、設置コストや運用コストから2つの無線アクセスを選択もしくは共用することになる。
結果として5Gも無線LANも共存共栄の道へ

面的に高速移動サービス、ギャランティード型を無線LANでできるか？



工事現場での建設
機材の遠隔操作

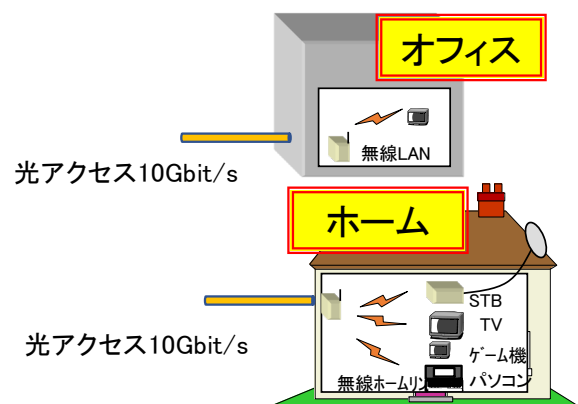


手術の遠隔操作

低遅延、低遅延ジッターを要求する用途

NWAを対象とする無線LANでは高速のハンドオーバーは困難
また免許不要無線帯域でギャランティード型は無理。

ホーム・オフィス内のブロードバンド回線で、ベストエフォート型サービスに5G/ローカル5Gを用いるのか？



低遅延、低遅延ジッターを要求する
ゲームの用途

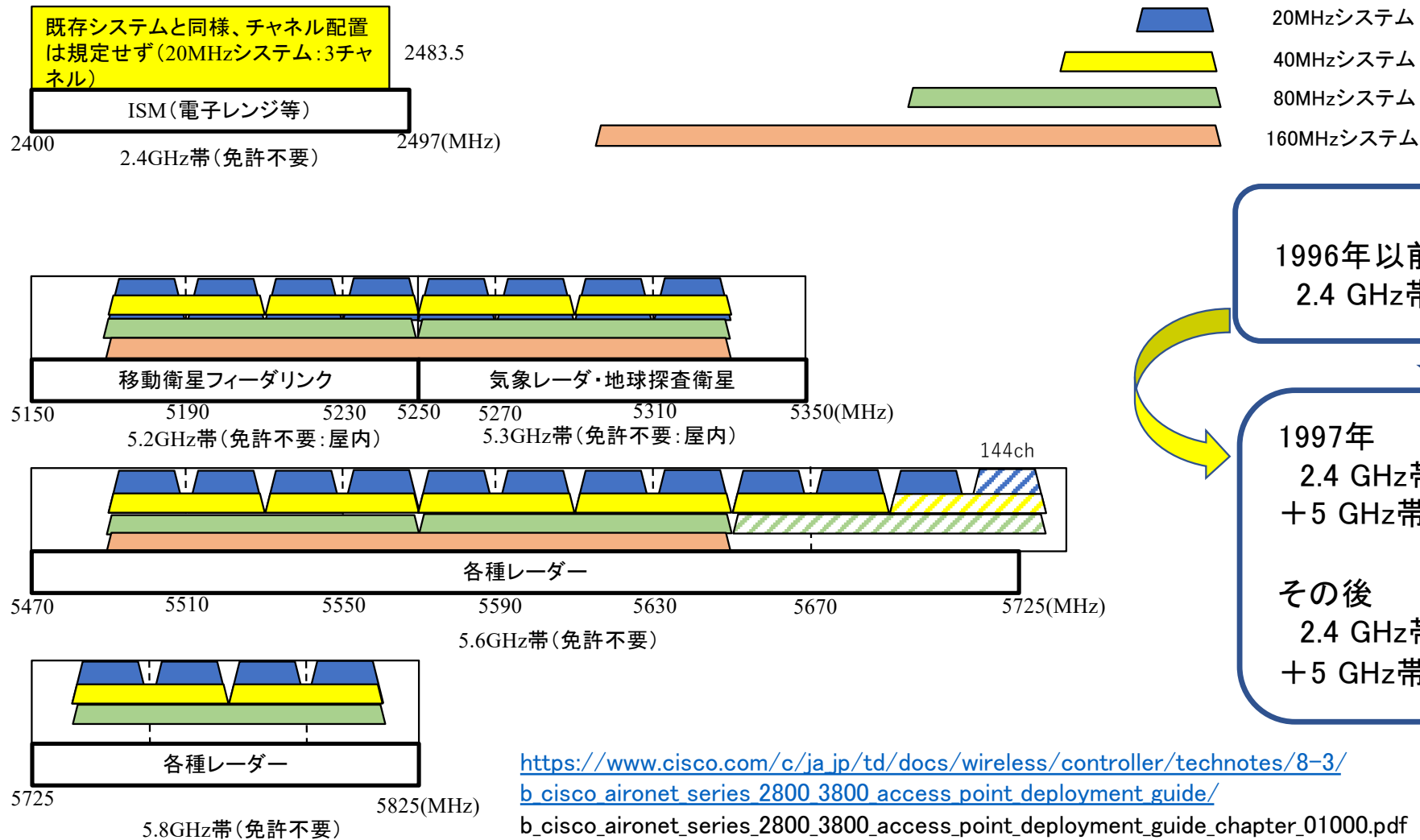
5Gのコストと(光NW+無線LAN)の**コストの比較**が重要

ホーム・オフィス内の機器間接続(例:PCとプリンター)には無線LAN

3. 無線LANの伝送レート増加

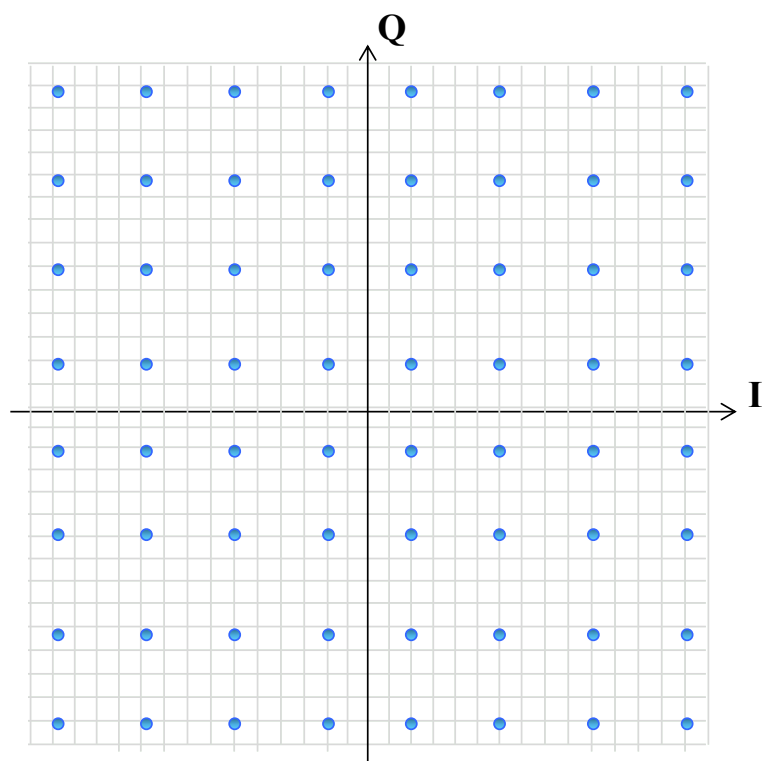
- (1) 無線周波数帯域の増加
- (2) 高能率変調・誤り訂正符号化
- (3) 空間多重数の増加

新たな無線周波数を獲得してブロードバンド化を図る(米国)



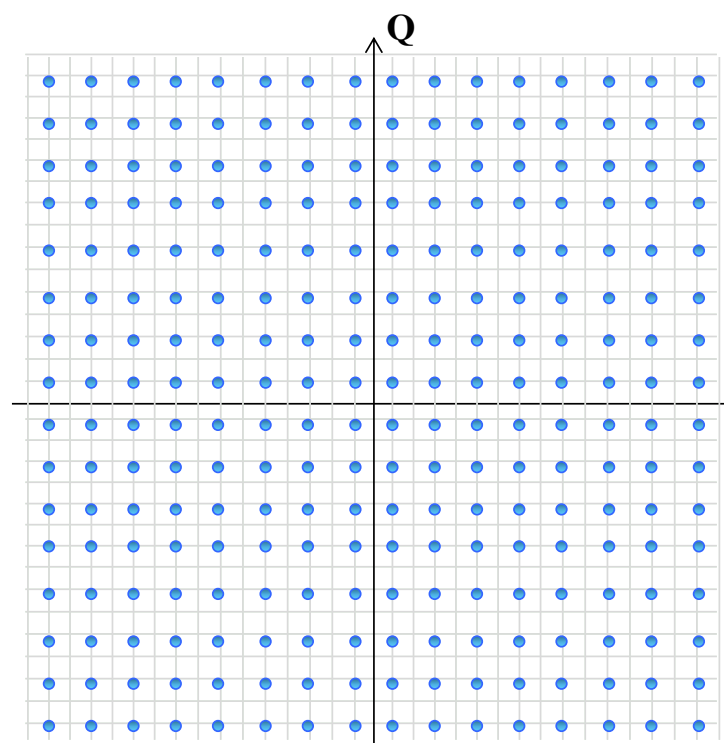
高能率変調方式の採用

11a, g, nの変調方式



64QAMの位相信号空間配置図

11acの変調方式



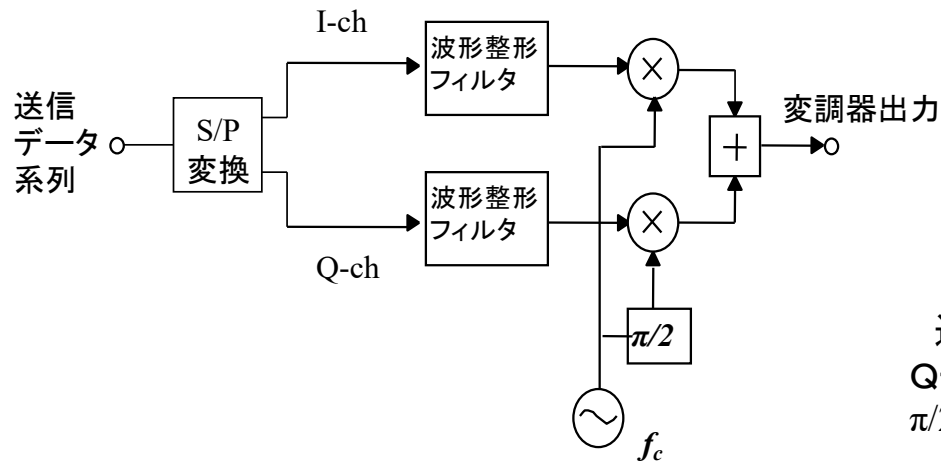
256QAMの位相信号空間配置図

256QAMから1024QAM
では伝送レートの増加
率は？

11axでは
1024QAM

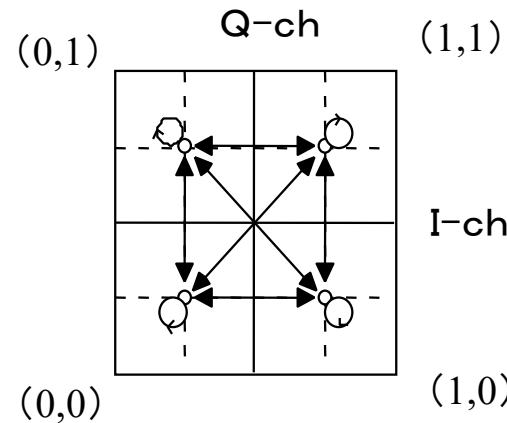
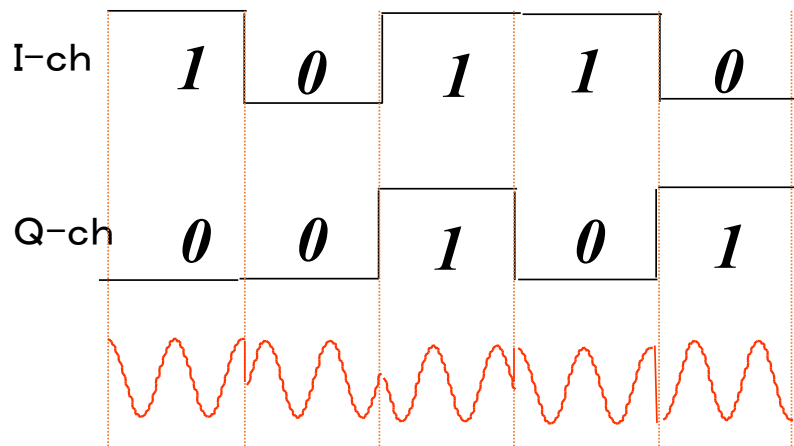
11beでは
4096QAMへ

QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)変調器の構成



送信するデータ系列を Iチャンネルと Qチャンネルに直並列変換し、位相が $\pi/2$ 異なる搬送波を変調し合成する。

送信データ系列 = 1,0,0,0,1,1,1,0,0,1...



QPSK変調信号の位相信号空間配置図

1シンボルで伝送
するビット数

QPSK: 2^2 : 2ビット伝送

16QAM: 2^4 : 4ビット伝送

64QAM: 2^6 : 6ビット伝送
(11a,g,n)

256QAM: 2^8 : 8ビット伝送
(11ac)

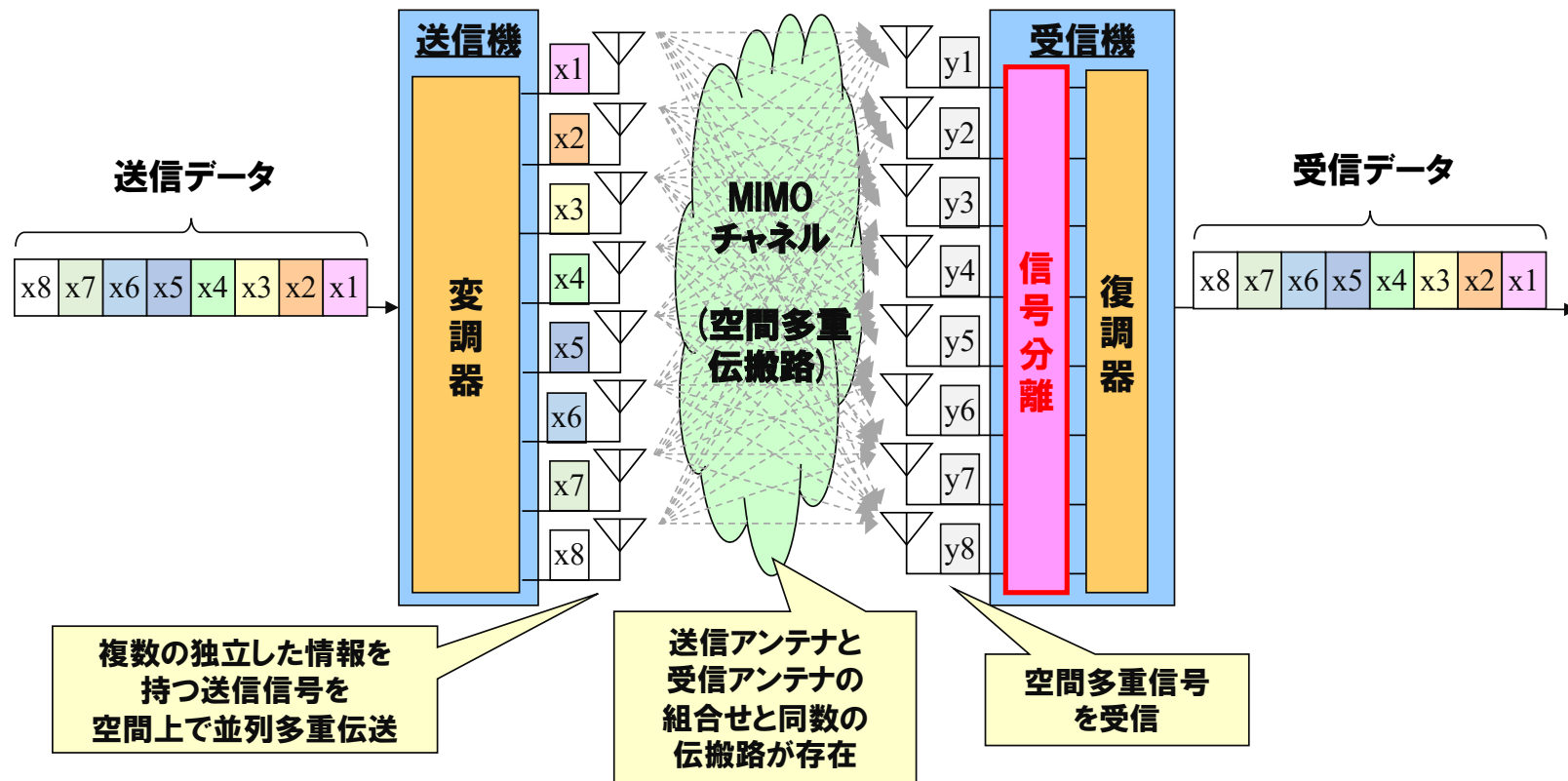
1024QAM: 2^{10} : 10ビット伝送
(11ax)

4096QAM: 2^{12} : 12ビット伝送
(11be)

256QAMから1024QAM
では伝送レートの増加
率は $10/8=1.25$ 倍

空間多重技術（MIMO技術）

802.11nでは最大4ストリーム → 802.11acでは最大8ストリーム



802.11nから802.11acへの伝送レート増加方法(物理レイヤ)

項目	802.11n	802.11ac	伝送速度増加率
サブキャリア変調方式	64QAM (6bit/subcarrier)	256QAM (8bit/subcarrier)	1.33倍
最大伝送帯域幅	40 MHz (108 subcarriers)	160 MHz (468 subcarriers)	4.33倍
最大空間多重数	4	8	2倍

802.11n物理層の最大伝送速度: 600 Mbit/s

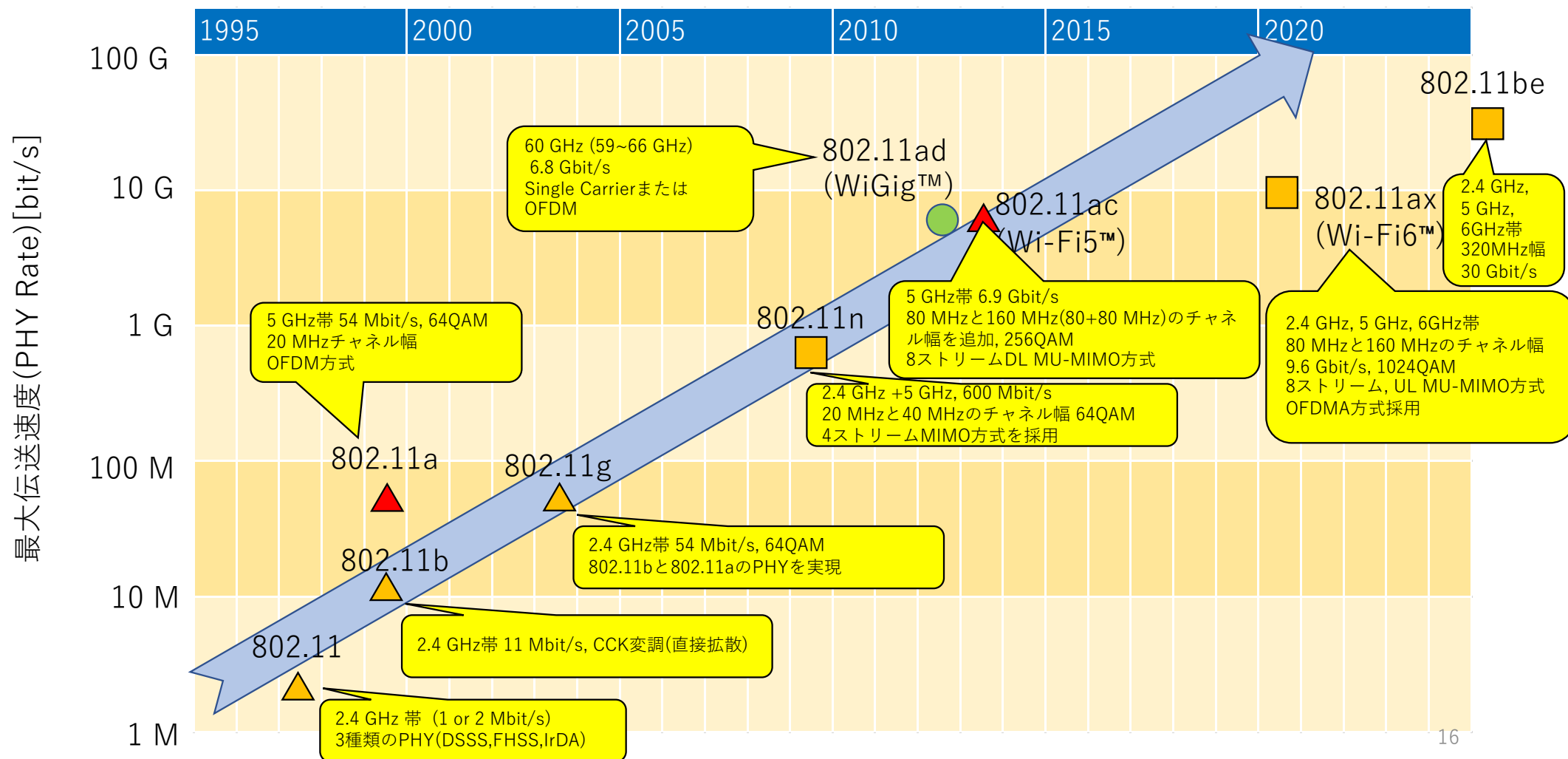
802.11ac物理層の最大伝送速度は？

$600 \text{ Mbit/s} \times 1.33 \times 4.33 \times 2 \approx 6.9 \text{ Gbit/s}$

11ac, 11ax, 11beにおける一層の伝送レート増加

	2.4 GHz帯	5 GHz帯	6 GHz帯	最大チャネル帯域幅	ストリーム数	変調方式	伝送レート
11ac Wi-Fi 5™	X	O	X	160 MHz	8	256QAM	6.9 Gbit/s
11ax (D7.0) Wi-Fi 6E™	O	O	O	160 MHz	8	1024QAM	9.6 Gbit/s
11be (審議中)	O	O	O	320 MHz	16	4096QAM	30 Gbit/s 以上

IEEE 802.11無線LAN規格の進化



4. IEEE 802.11標準化会合

開催日程・・・基本的に2ヶ月に1回で、会期1週間(月～金)

- ・全体会合(有線・無線全てのIEEE 802 Plenary Session)
3, 7, 11月
- ・中間会合(各WG毎に開催, IEEE Wireless Interim Session)
1, 5, 9月

会合開催例

- 2020/11 Plenary Session (Bangkok, Thailand: cancelled)
- 2021/1 Wireless Interim Session (Irvine, California, USA: cancelled)
- 2021/3 Plenary Session (Denver, Colorado, USA)
- 2021/5 Wireless Interim Session (Panama, Panama)
- 2021/7 Plenary Session (Madrid, Spain)
- 2021/9 Wireless Interim Session (Kona, Hawaii, USA)



IEEE 802.11会合のスケジュール(1週間の例)

基本的に月曜日～金曜日、朝8時～夜9時頃

Plenary Sessionのスケジュール例

TIME	SUNDAY (5th)	MONDAY (6th)	TUESDAY (7th)	WEDNESDAY (8th)	THURSDAY (9th)	FRIDAY (10th)
07:00-08:00			802.11 WG, TG, SG, SC EDITORS MEETING			
08:00-08:30	802.11 AdHoc Meetings	TGV TGN TGT TGU TGK	WNG SC TGR TGT TGS TGV	JTC1 SC6 AHC /SG TGT TGM TGS TGK	TGV TGN TGT TGU TGV	IEEE 802.11 WORKING GROUP
08:30-09:00		TGR	Break	Break	Break	CLOSING PLENARY
09:00-09:30			JTC1 SC6 AHC /SG TGR TGT TGU TGV	IEEE 802.11 WORKING GROUP	TGV TGN TGT TGU TGV	CLOSING PLENARY
09:30-10:00	802 Executive Committee Opening	802 Opening Plenary	Break	MID-SESSION PLENARY	Break	(Continued)
10:00-10:30			Lunch Break	Lunch Break	Lunch Break	12:00 Hard Stop Time
10:30-11:00						
11:00-11:30			TGU TGN TGM TGP TGV	TGN TGP TGS TGK	TGN TGR TGP TGK	
11:30-12:00			Break	Break	Break	
12:00-12:30			TGS TGN TGM TGP TGV	TGW TGN TGT TGR TGV	CBP SG TGN TGS TGP TGK	
12:30-13:00			Dinner Break	Dinner Break	Break	
13:00-13:30						
13:30-15:30		IEEE 802.11 WORKING GROUP OPENING PLENARY & JOINT INTER-CHANGE				
15:30-16:00		Break				
16:00-16:30	NEW MEMBERS ORIENTATION	CBP SG TGR TGV TGU TGK				
16:30-17:00	11/15/18/19/20/21/22 LEADERSHIP MEETING					
17:00-17:30						
17:30-18:00						
18:00-18:30		Dinner Break				
18:30-19:00						
19:00-19:30						
19:30-20:00	802.11 WG CHAIR: ADVISORY COMMITTEE (CAC)	802 TUTORIAL EVENING	TGK TGN TGR TGT TGU	Social Evening	802.11 WG CHAIR: ADVISORY COMMITTEE PREPARATION MEETING	
20:00-20:30						
20:30-21:00						
21:00-21:30						
21:30-22:00						
22:00-22:30			802.11 Session Attendance Extra Credit Slots			802 Executive Committee Closing

IEEE802.11会合の参加資格

- ① 基本的にRegistration Fee (900ドル:2020年)を払えば誰でも参加可能. 米国の学会IEEEが主催していることもあり, 参加は個人単位
- ② 年間3回以上出席すれば, 3回目から投票権が得られる.
但し, 各会期中の1週間で出席率75%以上ないと駄目
(各会場のセッションで出席簿が回覧され署名)
- ③ 重要な投票で特定の団体(会社)が大量動員していると訴えた場合に, 議長判断で各会社1票に制限することもルールとしてある.
- ④ IEEE802.11WG投票後, 上位のスポンサー投票権を持つ人の資格は更に, IEEE SAとIEEEのComputer Societyの加入が必要



IEEE 802.11 Working Group Wireless Local Area Networks

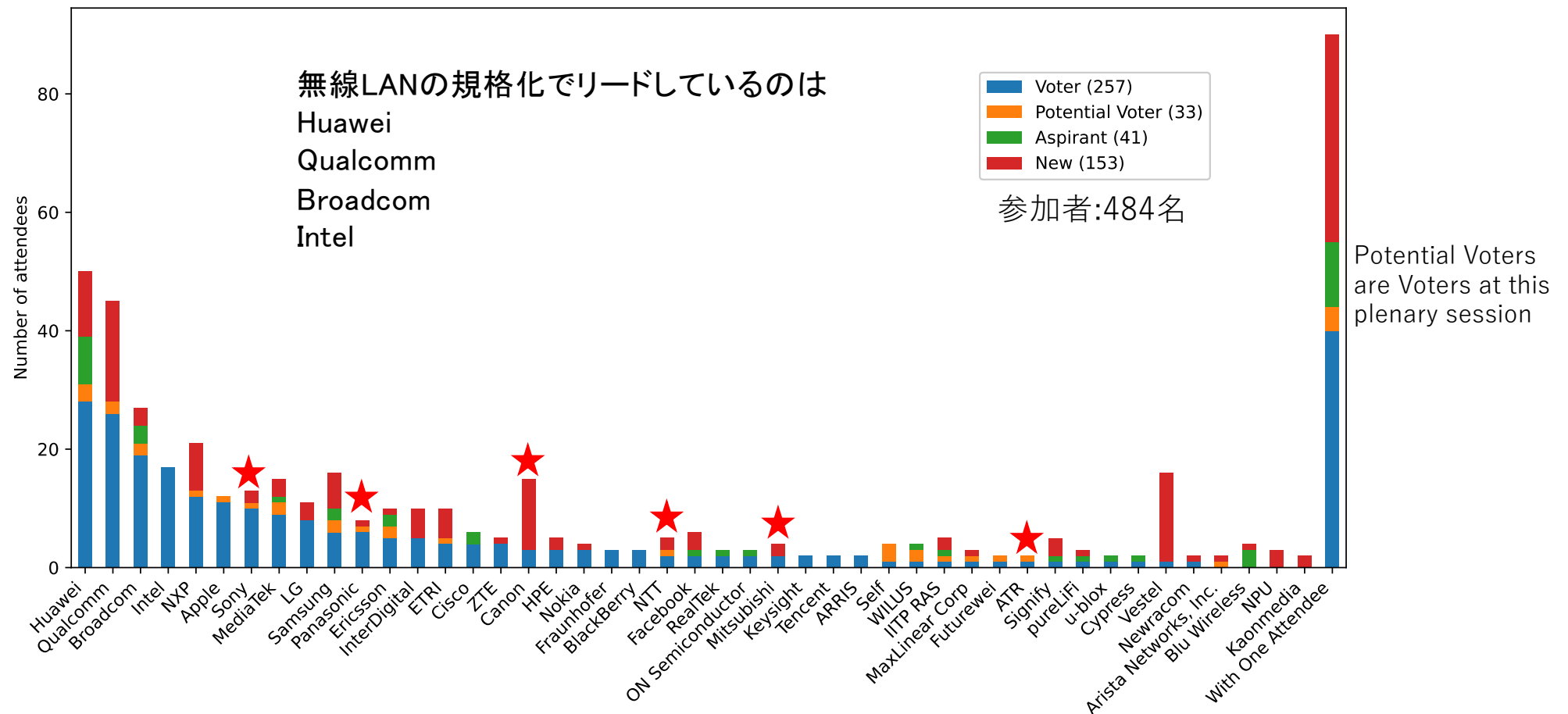
1997年7月 ハワイ・マウイ島



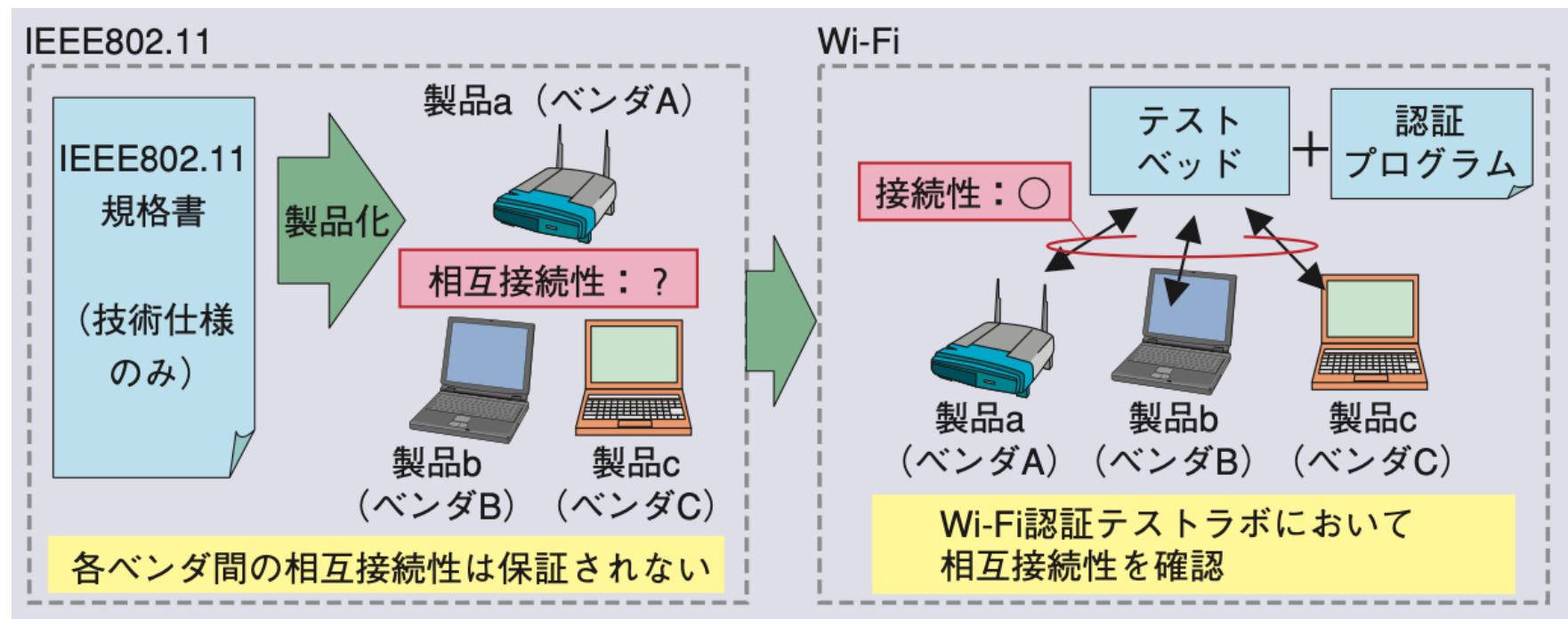
ここから2.4/5GHz
帯IEEE802.11a/b無
線LANの規格作り
が始まった。



IEEE 802.11WG 企業別出席者数(2020/7)



IEEE 802.11とWi-Fiの関係(1)

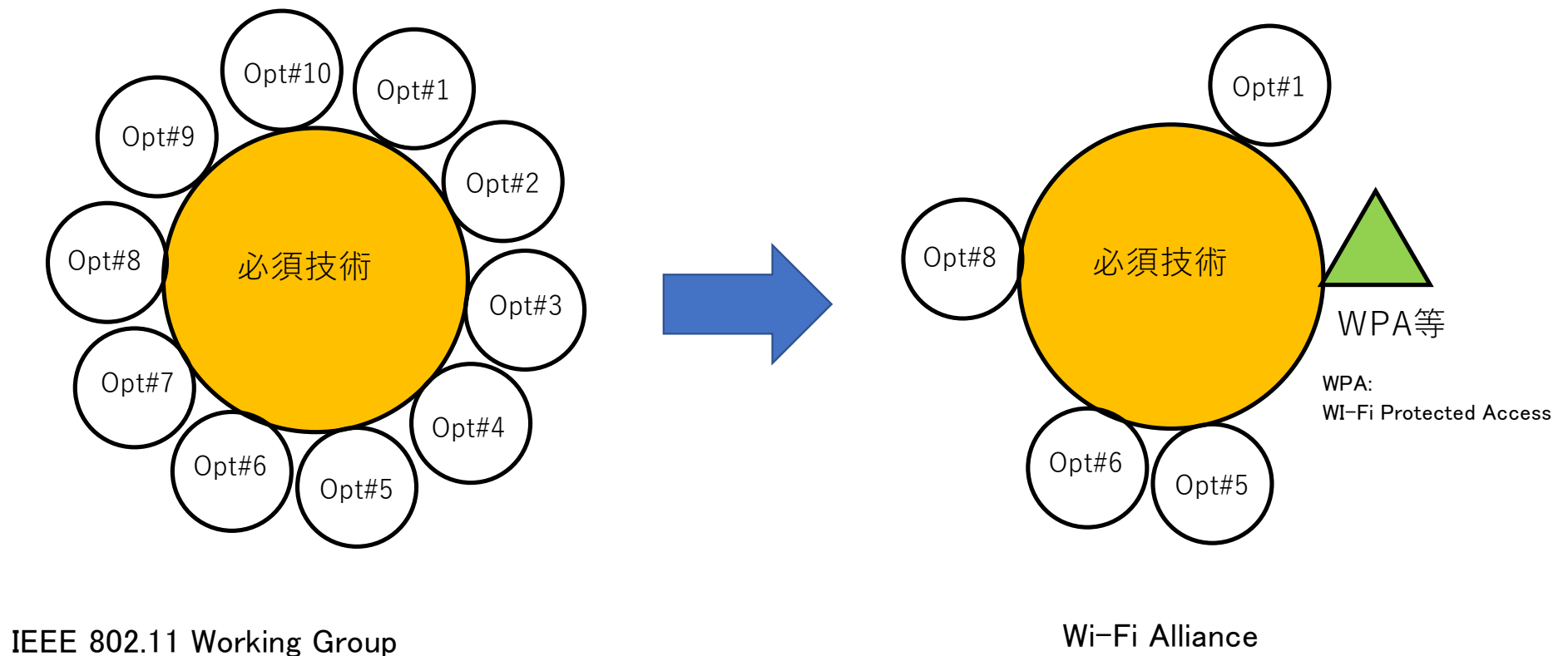


組織名称 IEEE 802.11 Working Group

組織名称 Wi-Fi Alliance

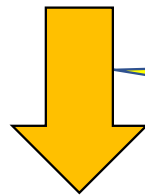
引用: NTT技術ジャーナル 2010.2 22

IEEE 802.11とWi-Fiの関係(2)



5. 無線システムは周波数が重要

1990年代後半の無線LANは2.4 GHz帯が主流



2.4GHz帯は他の無線システムと共用が必須

無線LAN用に新たな周波数割り当てが必要

米国は5 GHz帯

欧州はミリ波帯と5 GHz帯

日本では準ミリ波帯(19/25 GHz)で検討

高速無線LAN実現に向けた米国の1990年代の状況

目的

NII(National Information Infrastructure)を早期に実現

無線の積極利用



WINForum(Wireless Information Network Forum)

- SUPERNet (high speed Shared Unlicensed Personal Radio Networks)
- 20 Mbit/s, 5 GHz帯の利用
- マルチメディアコンピュータ通信のための短・中距離伝送手段

Apple Inc.

- Unlicensed wireless radio network for NII
- 20 Mbit/s, 5GHz帯の利用
- 主要施設(学校、図書館、病院など)からのNIIへのアクセス

FCCの対応: Unlicensed-NII (1997年1月に決定)

- 5.15-5.35 GHz / 5.725-5.825 GHz (計300Hz)をU-NIIに割当

無線LANの周波数は2.4/5 GHz(マイクロ波帯)の次は
ミリ波か？



無線LANでは、ミリ波帯だけでなく、マイクロ波帯の拡大(6
GHz帯)が注目を集めている。

無線LANが結果的にIEEE 802.11n, ac, axになった理由

- 2.4 GHz帯で先にイーサネット系の802.11b規格の無線LANが普及した。
(集合住宅や商店街での利用では、自律分散制御が適している)
- 物理層ではOFDM技術により伝送速度が飛躍的に大きくなったため、
MAC層での自律分散制御による低伝送効率や遅延時間が気にならなくなったため。



■ ベストエフォート型の無線LANは常にブロードバンド化することにより通信品質の問題を避けてきた。

1997年当時の論理が2020年以降も通用するのか？

11beの高信頼化・低遅延化

- 11beは**EHT SG**(Extremely High Throughput Study Group)と**RTA SG**(Real Time Application Study Group)を吸収する形で2019年度第一四半期にタスクグループとして昇格
- RTA(Real Time Application)は低遅延と高信頼を狙いとしたSG
- EHT SGと合流するにあたり、低遅延と低ジッタ特性の機能実装を設立趣意書に盛り込んだ

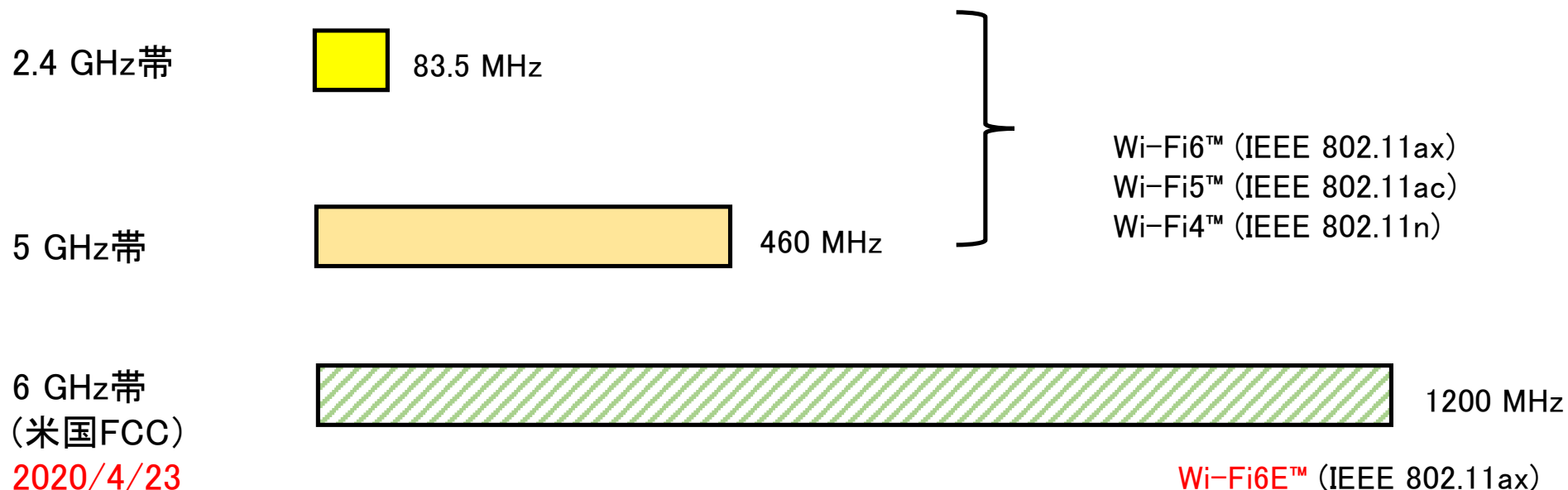


- 11be規格が成立するまで5年前後を要することを考えると5G時代に間に合わない。
- 当面は11axで対処。

11acのwave1,2と同様に2つのフェーズに分かれて議論が進む模様
品質に関して軽微な追加は前半で、重い追加は後半で。

6. 新たな免許不要の無線周波数の獲得

無線LAN用周波数帯(日本)

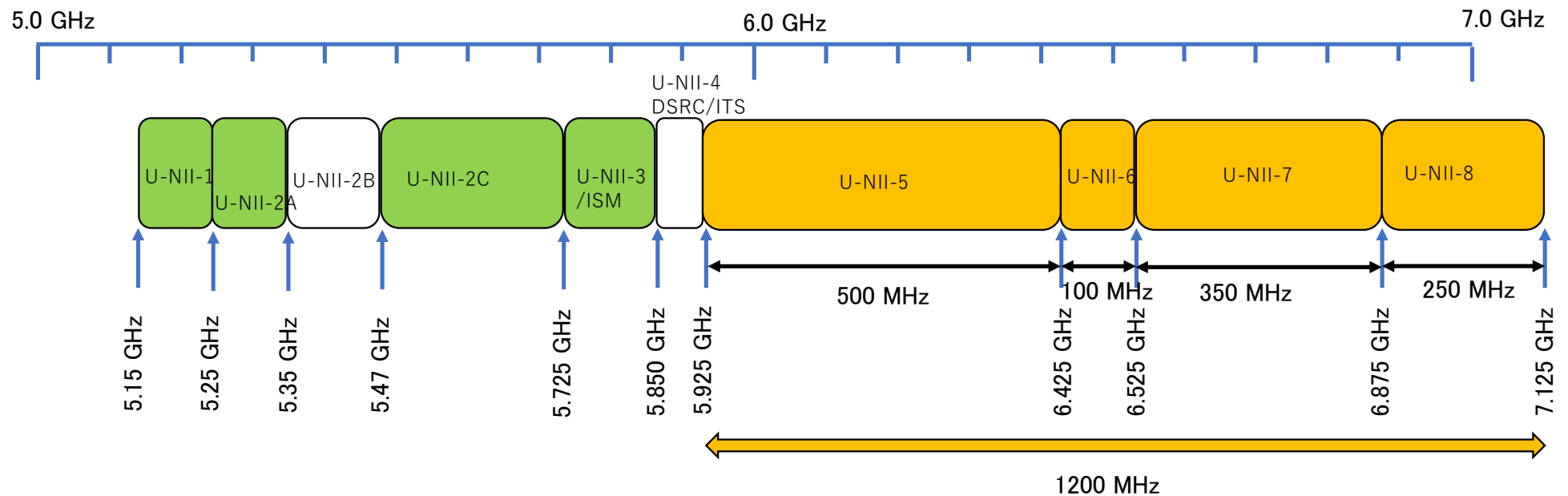


「(総務省資料の抜粋)IEEEや諸外国における検討状況等を踏まえ、無線 LAN の 6GHz帯(5925～7125MHz)への周波数帯域の拡張に係る技術的条件について、令和2年度中に検討を開始する。」(周波数再編アクションプラン(令和2年度第2次改定版)(案))

2020/9/9

https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000376.html

米国FCCが新たに割り当てた6 GHz帯域

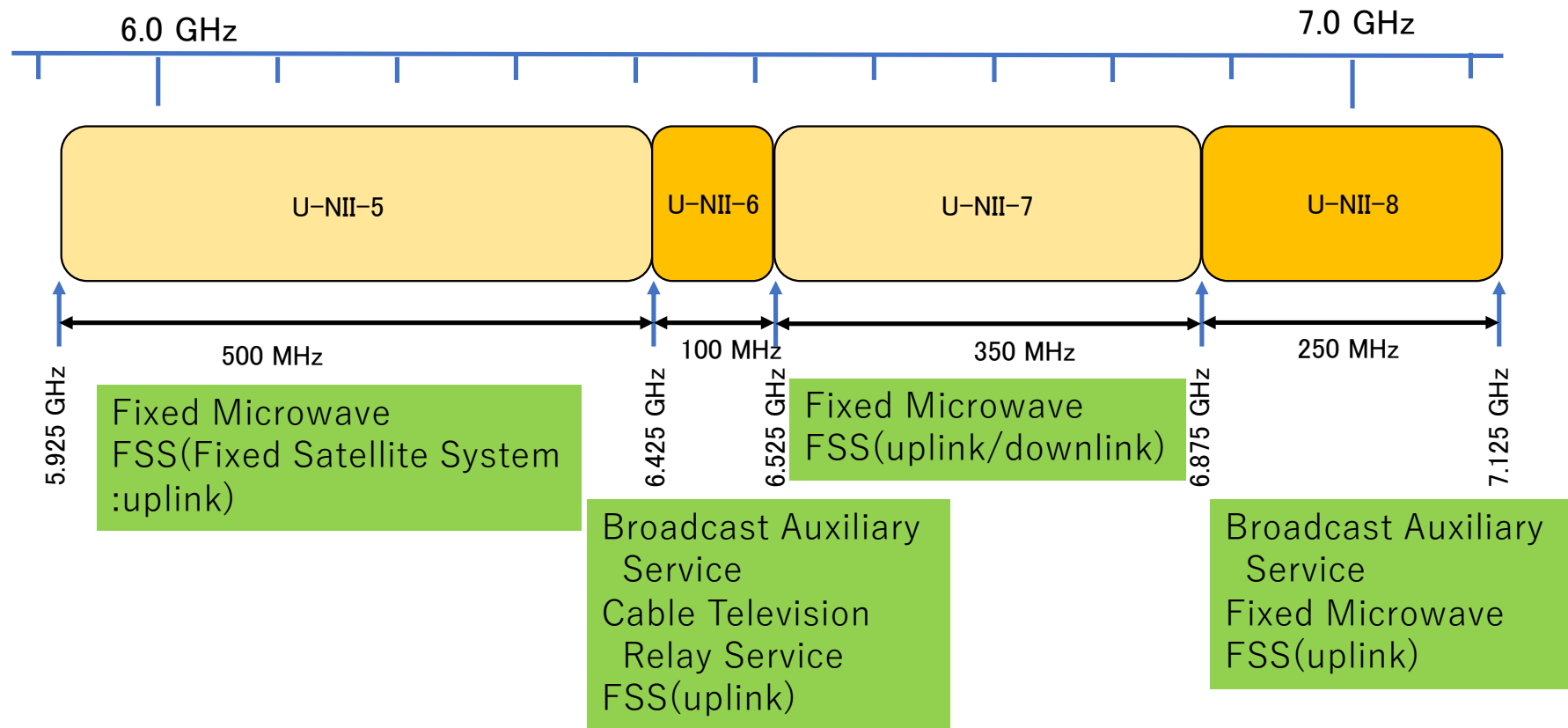


Apple, Broadcom, Cisco, Facebook, Google, HP Enterprise, Intel, Microsoft, MediaTek, Qualcommが推進

https://www.cisco.com/c/ja_jp/td/docs/wireless/controller/technotes/8-3/b_cisco_ironet_series_2800_3800_access_point_deployment_guide/b_cisco_ironet_series_2800_3800_access_point_deployment_guide_chapter_01000.pdf

<https://www.fcc.gov/document/fcc-opens-6-ghz-band-wi-fi-and-other-unlicensed-uses>

米国で6 GHz帯域において共存すべきprimary system



6 GHz帯におけるFCCの新規則

機器のクラス	運用周波数	最大EIRP	最大EIRP電力 スペクトル密度	
Standard-Power AP (AFC制御:屋外)	U-NII-5(5.925-6.425 GHz) U-NII-7(6.525-6.875 GHz)	36 dBm	23 dBm/MHz	帯域幅が 20 MHzの時 $200\text{ mW} \times 20 = 4\text{ W}$
Standard-Power APに 接続された端末		30 dBm	17 dBm/MHz	
Low-Power AP (屋 内のみ)	U-NII-5(5.925-6.425 GHz) U-NII-6(6.425-6.525 GHz) U-NII-7(6.525-6.875 GHz) U-NII-8(6.875-7.125 GHz)	30 dBm	5 dBm/MHz	最大帯域幅は 320 MHz $3\text{ mW} \times 320 = 1\text{ W}$
Low-Power APに接 続された端末		24 dBm	-1 dBm/MHz	

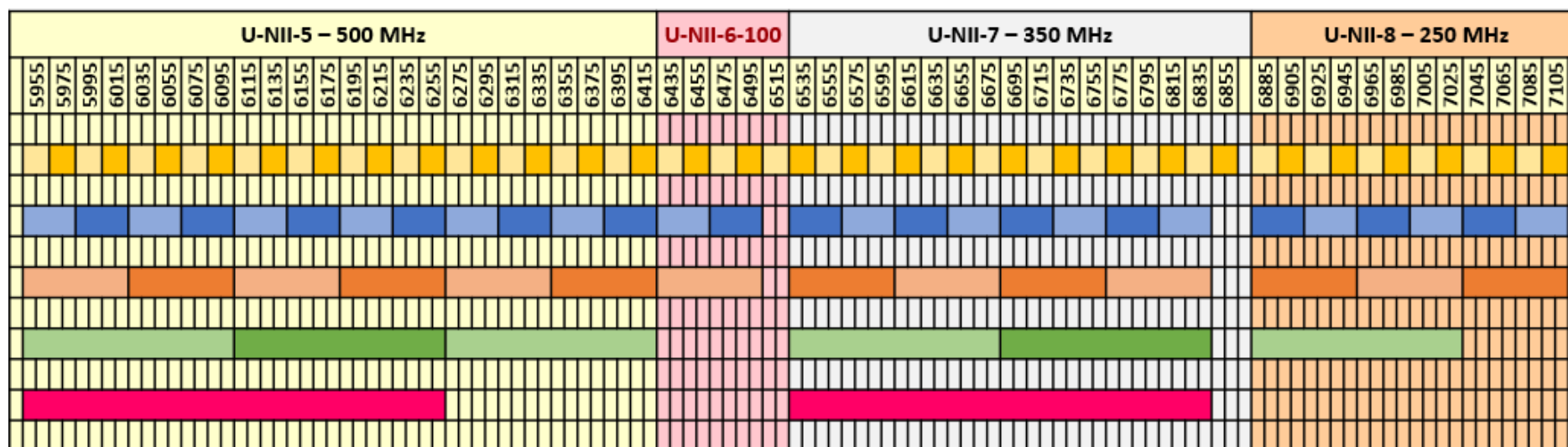
AFC(Automated Frequency Coordination) : APの設置場所に対して使用可能な無線チャネルをDBとアクセスすることにより取得する。

Further Notice of Proposed Rulemaking

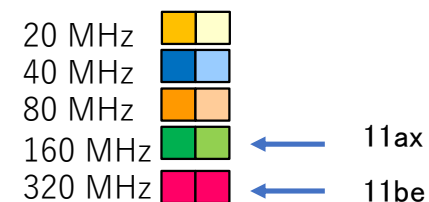
Very Low Power Operation(屋内外): U-NII5~8, 最大EIRP(14 dBm=25 mW), 最大EIRP電力スペクトル密度(-8 dBm/MHz)
AR/VR用のwearable device用途

韓国ではFCCと同一の帯域を免許不要帯域として開放(FCCのLPIとVLPを先行)2020/10:アジア初

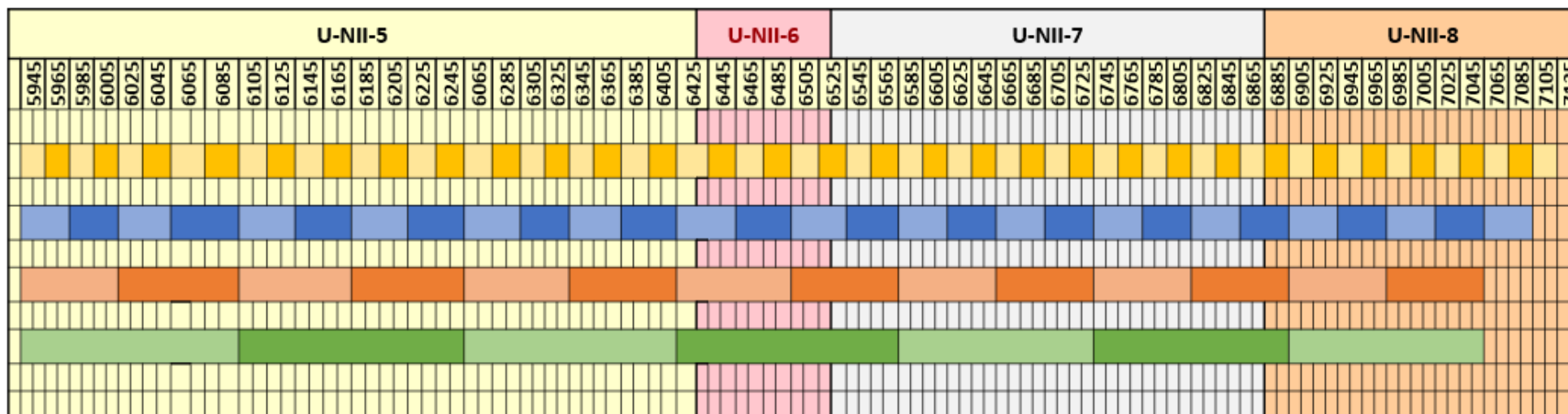
6 GHz帯チャンネル配置案(D7.0では採用されず)



- ・20 MHzのガードバンド(5925-5945 MHz)
- ・U-NII帯域を基本としたチャネル設定
- ・U-NII5で3つの160 MHz帯域確保
- ・U-NII6で1つの80 MHz帯域確保
- ・U-NII5及び7で各々1個の320 MHz帯域確保



11ax における6 GHz帯チャネル配置



- ・10 MHzのガードバンド(5925-5935 MHz)では不足
(11axのD7.0では10 MHzガードバンドを増)
- ・U-NII帯域の境界を跨いだチャネル設定
(チャネルが境界を跨ぐ場合は厳しい方の規制)
- ・U-NII5と6で異なる規制ルール
- ・U-NII6で80 MHz帯域が確保できない
- ・U-NII6で1個の40 MHz帯確保のみ

Center Frequency [MHz]

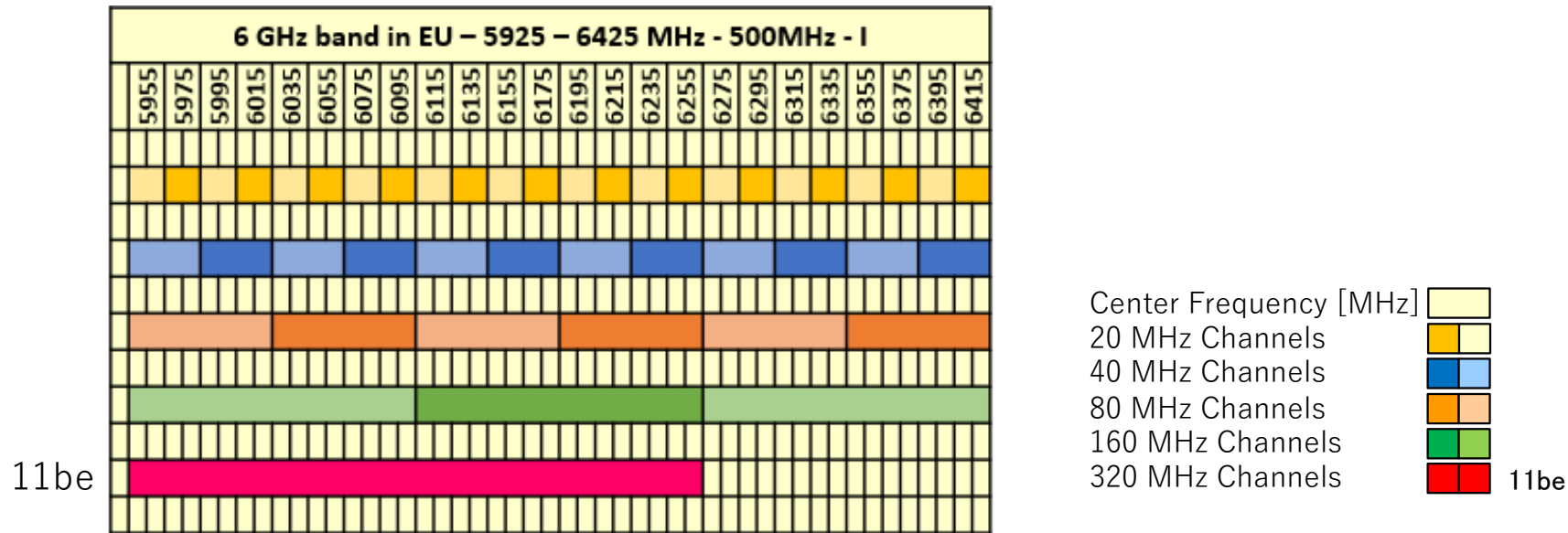
20 MHz Channels

40 MHz Channels

80 MHz Channels

160 MHz Channels

11ax における6 GHz帯チャンネル配置案(欧州)



- 米国のU-NII-5相当 (1.2 GHz → 500 MHz)
- AFCの提案はない模様
- 下のガードバンド用として20 MHz確保

7. むすび

無線LANのブロードバンド化について考察をした。

- ◆ 2000年以降、規格の統一と相互接続性が保証された無線LAN機器が普及した
- ◆ 無線LANの世界的普及は主に低コストとブロードバンド化が大きく寄与
- ◆ 2020年以降、無線LANがブロードバンド化に加えて低遅延がどの程度要求され、対応できるのかが鍵
- ◆ 米国,韓国と同様に6 GHz帯で無線LANが日本で近い将来利用できるかどうか鍵