



IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) で 検討されている主要技術



1. IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) 概要 3

2. 規格化スケジュール 4

3. IEEE 802.11beの主要技術 5

4. 技術解説 6

5. 6 GHz帯開放状況 10

1. IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) 概要

IEEE 802.11beは、2021年に公式リリースされたIEEE 802.11ax (Wi-Fi 6/6E) の後継技術としてIEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers : アメリカ電気電子学会) で標準化が進められており、IEEE 802.11axを大幅に超える高速大容量通信を実現することを目標としています。またIEEE 802.11beは標準化の途上にありながら、Wi-Fi Allianceによって「Wi-Fi 6/6E」認証の後継技術と注目されており、一般的に「Wi-Fi 7」と称されています。

IEEE 802.11axは6 GHz帯の周波数を初めてサポートした無線LAN技術であり、他の無線システムによる干渉が少なく潤沢な周波数資源を持つ6 GHz帯を活用した上で、OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access : 直交周波数分割多元接続) を採用することにより、理論上の最大伝送レートよりも、実効スループットの向上に着目して開発されました。IEEE 802.11beは11axに続いて6 GHz帯をサポートし、既存技術を拡張すると共に、これまでの無線LANには無かった新技術を採用することで、より効率的で高速・大容量のデータ伝送を可能とすることを目指しています。

無線通信で30 Gbps超のデータスループットを低遅延で提供することにより、4Kを超える高解像度のビデオストリーミング・AR (拡張現実) / VR (仮想現実) 等の最新アプリケーション・サービスを支える基盤技術となることが期待されています。

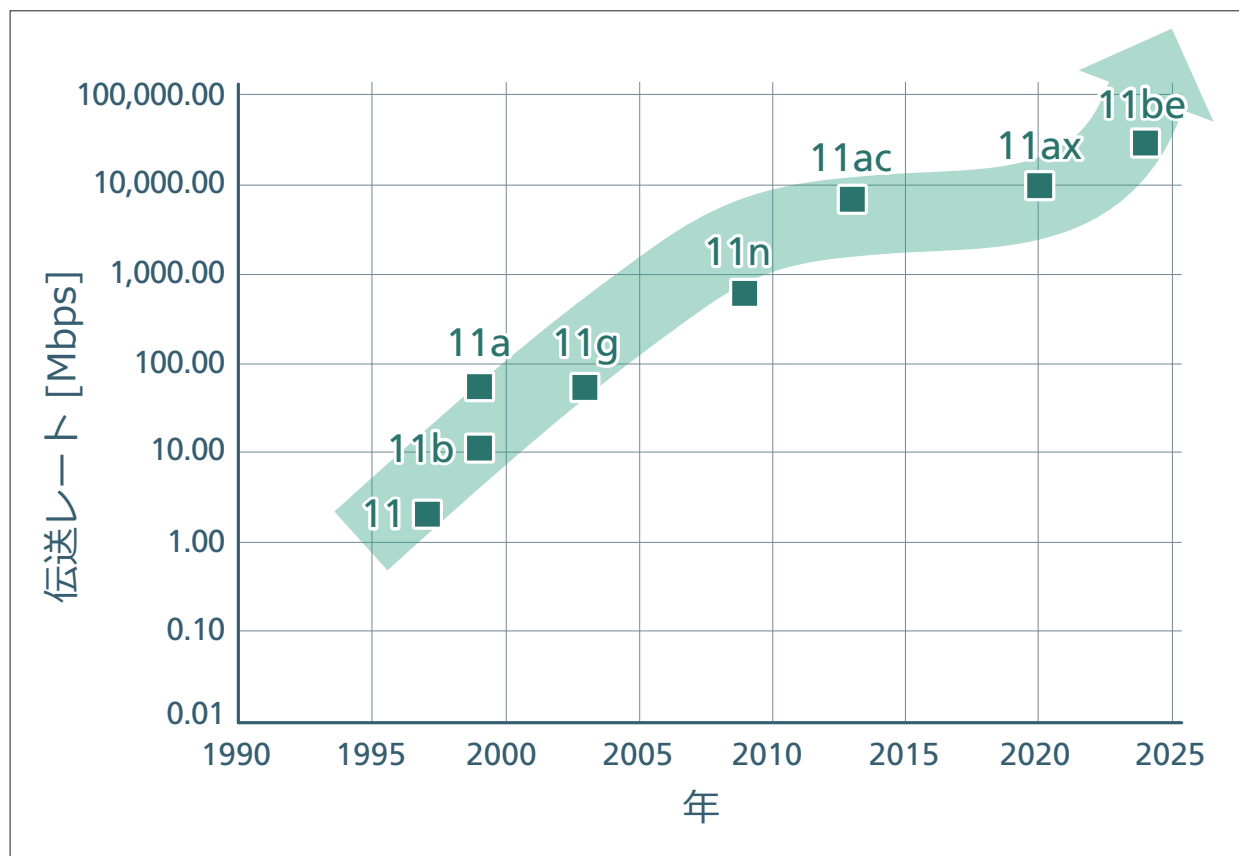
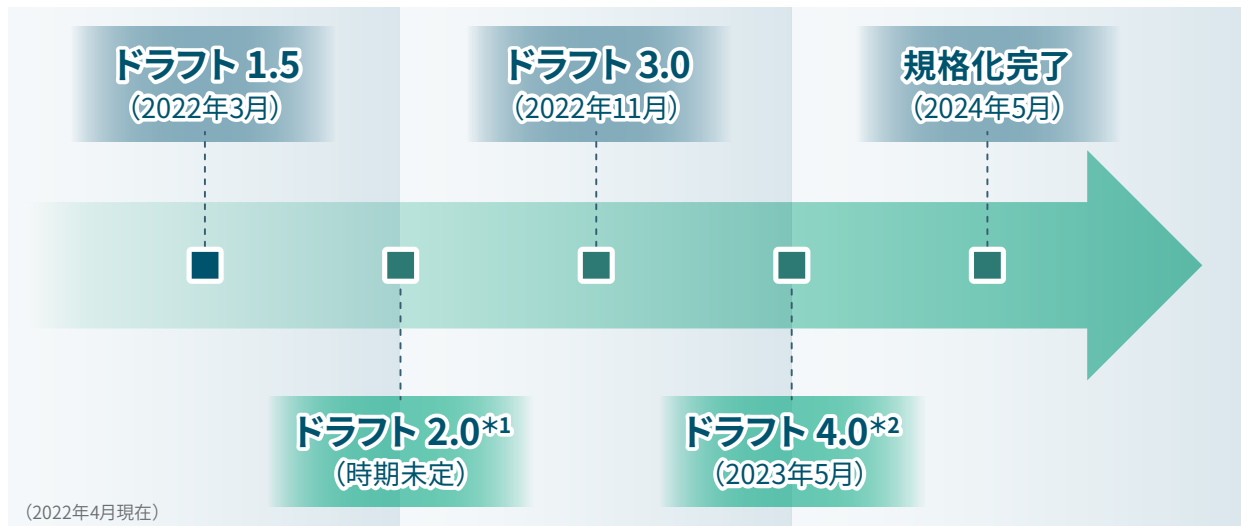


図1 : IEEE802.11規格別の伝送レートの推移

2. 規格化スケジュール

IEEE 802.11beは以下の予定で規格化が進められており、完了までに2年の月日を要すると見込まれています。（2022年4月現在）

ただしIEEE 802.11規格に準拠する無線LAN機器は、標準化完了まで待たず開発途上のドラフト版に基づいて製品化が始まることが多く、IEEE 802.11beにおいても同様になると考えられます。標準化作業は、主要な検討項目をRelease1・Release2の2つのグループに分類し、段階的に策定を進めています。そのため、Release1の技術仕様がおおよそ確定するドラフト2.0が一つの区切りとなり、ドラフト2.0準拠製品が2022～2023年に市場に現れると考えられています。



* 1 : ドラフト2.0がRelease1のベースとなる予定ですが、4月時点でドラフト2.0がリリースされる時期は未定。

* 2 : ドラフト4.0がRelease2のベースとなる予定。

図2 : IEEE 802.11beワーキンググループの規格化スケジュール

3. IEEE 802.11beの主要技術

IEEE 802.11規格は、OSI参照モデルにおけるPhysical Layer (PHY) とData Link Layerを対象範囲としています。IEEE 802.11ではData Link LayerをLogic Link ControlとMedium Access Control (MAC) の2つに分けて定義しており、11axからの変更点はPHYとMACそれぞれに存在しています。

PHYでは、11axで採用済みの技術を拡張することによって伝送速度向上に貢献することを目指す一方、MACでは複数の新技術を採用することが検討されています。

表1：OSI参照モデルにおけるIEEE 802.11規格の適用範囲

Layer	OSI参照モデル	802.11規格
7	Application	対象外
6	Presentation	対象外
5	Session	対象外
4	Transport	対象外
3	Network	対象外
2	Data Link	対象外 (Logic Link Control)
		Medium Access Control (MAC)
1	Physical	Physical (PHY)

表2：IEEE 802.11axと11beの主な相違点

Layer	Main candidate features	IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6/6E)	IEEE 802.11be (Wi-Fi 7)
MAC	Multi-band and multichannel aggregation and operation (Multi-link)	非対応	新機能 (検討中)
	Enhanced link adaptation and retransmission protocol	非対応	新機能 (検討中)
	Multi-Access Point (AP) Coordination	非対応	新機能 (検討中)
PHY	Resource Unit	Single RU	Multiple RU
	Channel Width (Max.)	160 MHz	320 MHz
	Subcarrier modulation (Max.)	1024QAM	4096QAM
	Spatial stream (Max.)	8 streams	16 streams

※ 候補に挙げられている機能はSpec Framework Documentに記載されているものです。

PHY Layer

• Multiple Resource Unit (RU)

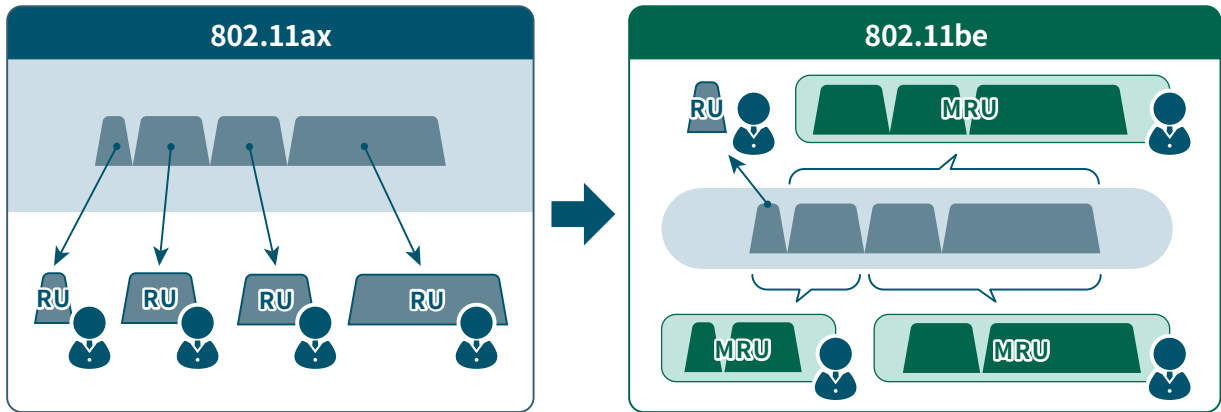


図3 : IEEE 802.11axから11beへのResource Unit割り当て方式の変化

Resource Unit (RU) は、802.11axでMU-OFDMAを導入したことにより登場したチャネル割り当ての単位です。802.11axでは1ユーザに対して1つのRUのみ割り当て可能でした。802.11beではこれを拡張し、1ユーザに対して複数のRU割り当てを可能とすることを検討しています。より柔軟な周波数利用が可能となり、干渉防止やスループット向上が期待されています。

• Maximum Channel Width

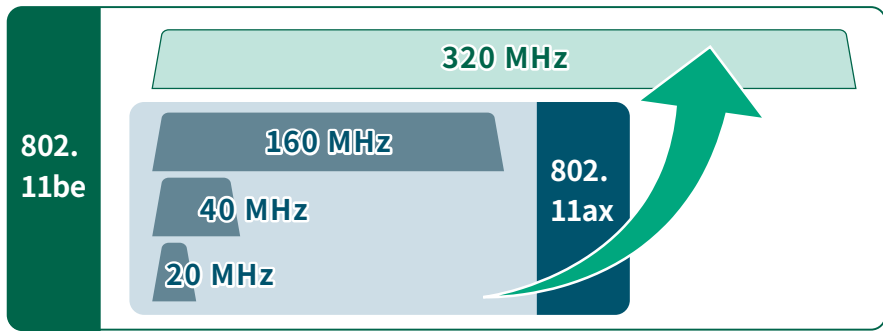


図4 : IEEE 802.11axと11beがサポートするチャネル帯域幅

表3 : IEEE 802.11規格ごとの最大チャネル帯域幅

802.11規格	11b	11a	11g	11n	11ac	11ax	11be
最大チャネル帯域幅 [MHz]	20	20	20	40	160	160	320

データレートが100%向上

11axにおける最大チャネル帯域幅は11acと同じく160 MHzであり、無線LANでは長い間、この仕様は向上していませんでした。また規格としては存在していたものの、11acがサポートする5 GHz帯は気象レーダーと共存する周波数帯域であるため、無線LANが自由に使用できる周波数には限りがあり、実運用上は160 MHzチャネル帯域幅で使用することはほぼありませんでした。11axが6 GHz帯をサポートしたことで、ようやく160 MHzチャネル帯域幅を使用できるようになりました。11beは従来比2倍となる320 MHzまでの帯域幅をサポートし、データレートも11ax比で2倍の性能を実現できます。6 GHz帯では最大で3チャネルまで利用できます。

4. 技術解説

● Subcarrier modulation (Max.)

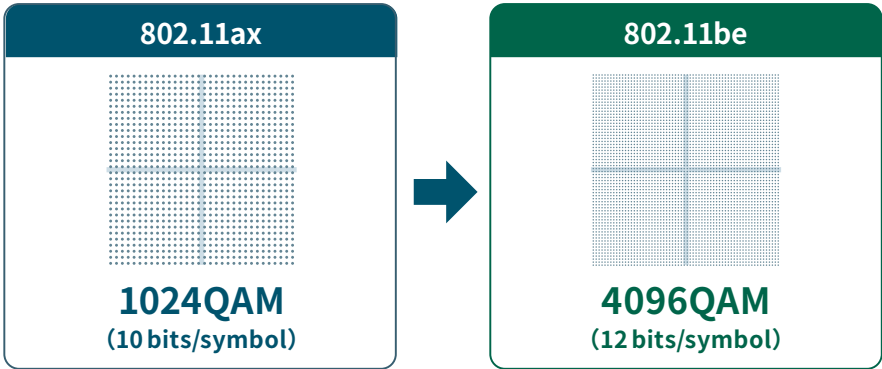


図5：IEEE 802.11axと11beの最大シンボル数

11axに対して、データレートが20%向上

表4：IEEE 802.11規格別にサポートする変調方式一覧

IEEE 802.11規格	11b	11a	11g	11n	11ac	11ax	11be
Subcarrierの変調方式	DBPSK DQPSK	BPSK QPSK 16QAM 64QAM	BPSK QPSK 16QAM 64QAM	BPSK QPSK 16QAM 64QAM	BPSK QPSK 16QAM 64QAM 256QAM	BPSK QPSK 16QAM 64QAM 256QAM 1024QAM	BPSK QPSK 16QAM 64QAM 256QAM 1024QAM 4096QAM

表5：変調方式別の1シンボルあたりのビット数

変調方式	BPSK	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM	4096QAM
# of bit/symbol	1	2	4	6	8	10	12

無線LAN技術は、初期規格であるIEEE 802.11bから多値変調技術が採用されていますが、時代を経るにつれてより高度な多値変調技術を取り込んでおり、11beでは新たに4096QAMへ対応します。これにより11ax比で1シンボル辺りのデータレートが20%向上します。

● Spatial stream (Max.)

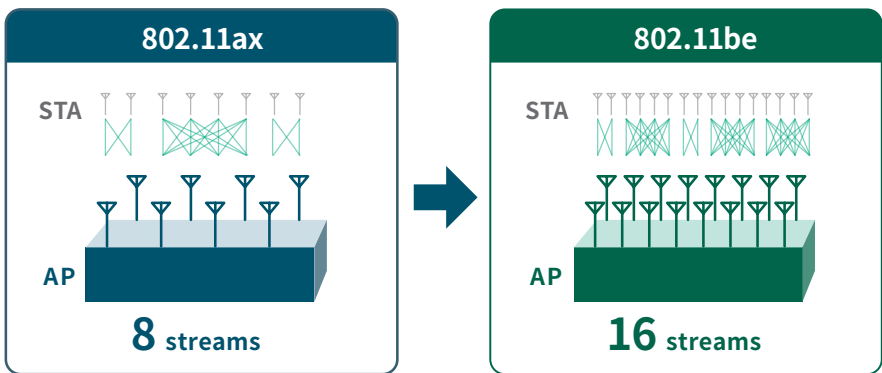


図6：IEEE 802.11axと11beの最大空間ストリーム数の比較

11axに対して、データレートが100%向上

表6：IEEE 802.11規格別に見た最大空間ストリーム数

IEEE 802.11規格	11b	11a	11g	11n	11ac	11ax	11be
空間ストリーム数 # of spatial streams	na	na	na	4	4	8	16

空間多重技術は11nから採用されていて、11axでは最大8ストリームをサポートしていました。11beでは16ストリームまでのサポートを視野に入れており、データレートを11axに比べて2倍にすることができます。

MAC Layer

MACで導入が検討されている技術は、802.11ax以前の無線LAN規格には存在しない、新たな技術が多く含まれています。

- Multi-band/multi-channel aggregation and operation (Multi Link)

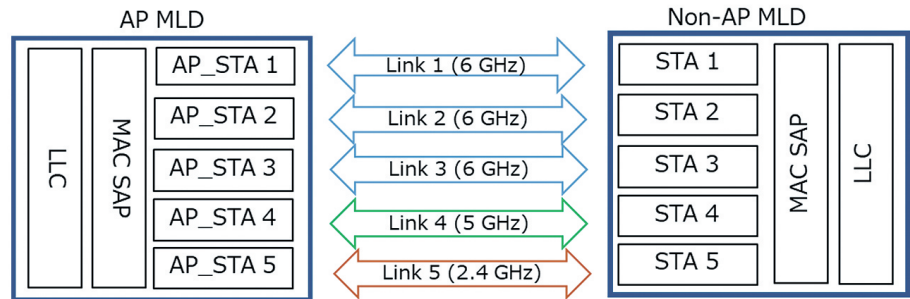
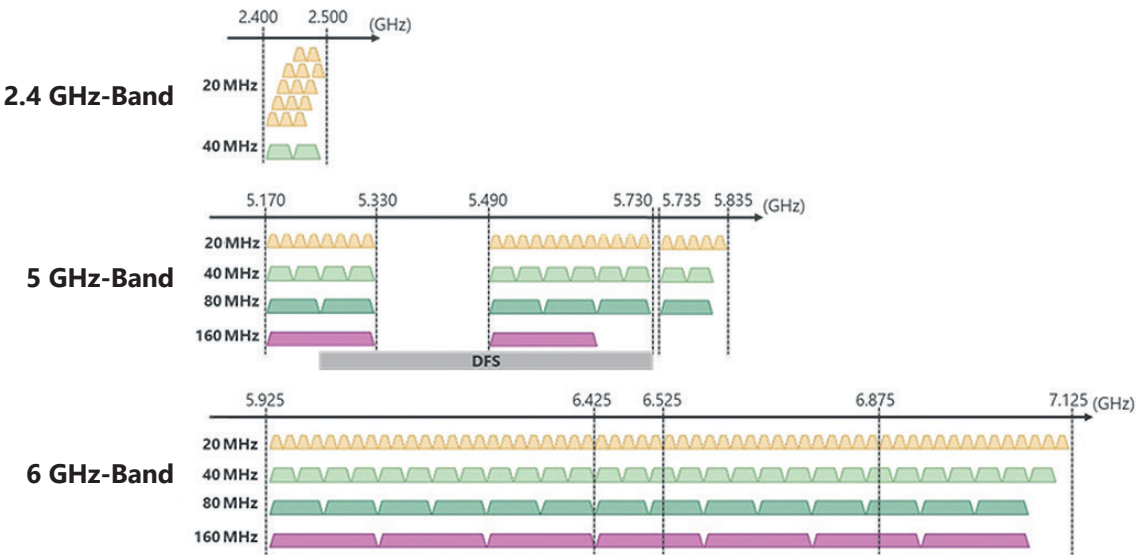


図7：概要図

Multi-link device (MLD) という論理的なデバイス種別が新たに定義されています。MLDは一つのMAC service access point (MAC SAP) と、その配下で動く複数のStation (STA) を持ち、無線LAN機器間の通信を複数のリンクで同時に並行して行うことが可能となります。同一周波数帯や異なる周波数帯で複数のリンクを形成することも検討されており、信頼性やスループットの向上が期待されています。広大な周波数を利用できる6 GHz帯でマルチリンクを利用することにより、100 Gbpsを超える伝送速度も実現できるかもしれません。

表7：形成されるマルチリンク数ごとの推定データレート

# of links	Configuration (Modulation : 4096 QAM, SS : 16 streams)		Max. data rate
	Band [GHz]	Channel Width configuration	
2	6	320 MHz × 2 links	92 Gbps
3	6	320 MHz × 3 links	138 Gbps
4	5/6	80 MHz × 1 link + 320 MHz × 3 links	149 Gbps
11	2.4/5/6	40 MHz × 2 link + 80 MHz × 2 link + 160 MHz × 7 links	194 Gbps



320 MHzチャネル帯域幅の配置は規格策定において検討中

図8：IEEE 802.11beが利用できる周波数帯とチャネル帯域幅の概要図

4. 技術解説

● Enhanced link adaptation and retransmission protocols

これまで使用していた誤り訂正技術（バイナリ畳み込み符号、低密度パリティ検査）と自動再送制御に代わり、Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) などの高度化した誤り訂正技術を新たに採用することが検討されています。パケットエラーが発生した際に失われたパケット全体を再送するのではなく、誤り訂正に必要な最小限のデータのみを再送することで、周波数利用効率・スループットの向上が期待できます。

● Multi-Access Point (AP) Coordination

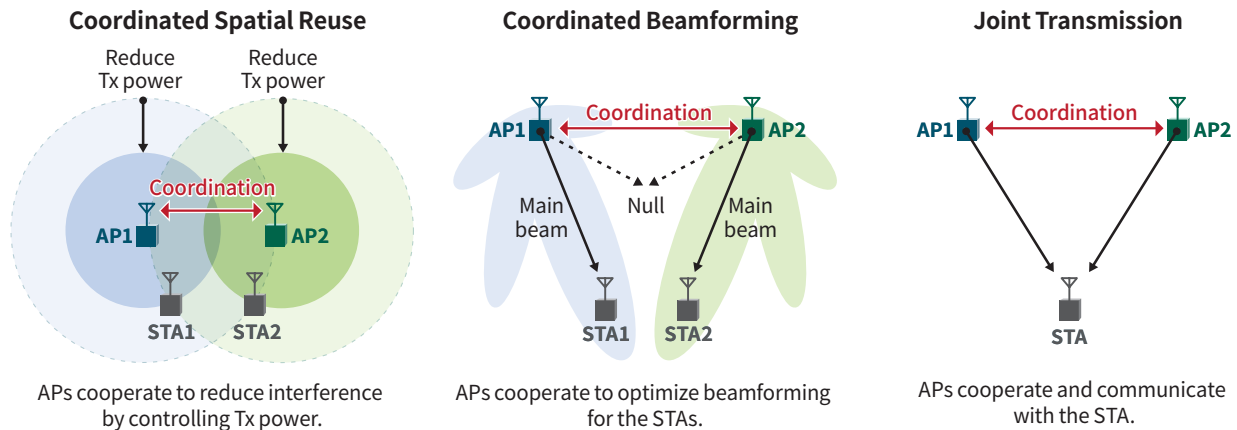


図9：概要図

11beでは従来のIEEE 802.11規格にはなかった、ネットワーク上の隣接するAP同士が協調・連携してクライアントデバイスとの通信を最適化させる「Multi-Access Point Coordination」技術も検討対象とされています。これまでは複数のAPが近い場所に設置されていた場合、電波干渉を引き起こす原因となりうるため、それぞれのAPを異なる周波数（バンド・チャネル）で運用することが一般的でした。11beではAP間での送信電力制御やビームフォーミング制御によって電波干渉を軽減しさらに複数のAPが連携してクライアントと通信することにより、信頼性や通信速度の向上を目指しています。

5. 6 GHz帯開放状況

免許がなくとも6 GHz帯の使用が認められたことにより無線LAN技術の可能性が飛躍的に高まりましたが、6 GHz帯はITUが定めた指針に基づき、多くの国々で固定通信・衛星通信・放送業務等で使われています。6 GHz帯周波数の利用はこれら既存の免許システムが優先され、免許が不要な使用はこれらの業務を阻害しない範囲でのみ許可されており、共存の為の制度作りが今も行われています。

米国をはじめとする1200 MHz幅すべてを一挙に開放する国と、共存が比較的容易な下位500 MHz (5925 - 6425 MHz) を先行して開放する国とで方針が二分されていますが、下位500 MHzを先行して解放する国々でも上位周波数を開放する議論は活発化しており、将来的には多くの国々で無線LANが1200 MHz幅を利用できるようになると考えられています。既述の通り、11beの特徴の1つに320 MHzチャンネル帯域幅が有り、この技術を活用するには広大な周波数資源の確保が必須と言えます。

米国では、すでに6 GHz帯無線LANをサポートする機器が販売されています。幾つかに分類されているデバイス種別のうち、Low Power Indoorデバイスと呼ばれるカテゴリーのアクセスポイントと、ステーションによる屋内での利用が始まっています。5 GHz帯の一部が気象レーダー等と共有される周波数帯であるように、6 GHz帯もこれまで使われていた固定通信業務や衛星通信と共有される周波数帯ですが、屋内利用に関しては厳しい制限は課されておらず、家庭・会社等での通信環境を向上させる上では非常に有用な周波数帯です。無線LANがこれまで利用してきた2.4/5 GHz帯は、Bluetooth®製品や無線LAN機器が普及したことにより非常に混雑しており、その混雑を避けて快適な通信を楽しむ点でも6 GHz帯は非常に有用です。

屋外利用については、以前から6 GHz帯免許を与えられていた通信システムとの共存を可能とする、Automated Frequency Coordination (AFC) システムの制度化をもって開始される見通しです。

また、6 GHz帯の特徴として2.4/5 GHz帯では存在しない「Very Low Power」というデバイス種別が検討されています。免許システムへの干渉防止をAFCシステムではなく、送信電力を低く制限することで実現しようとしているデバイス種別であり、主にAR/VRデバイスの運用を目的としたものです。米国ではいまだに法制度化には至っていませんが、AFCシステムと併せて導入の検討が続くと思われます。

表8 : International Frequency Allocation in the 6 GHz band

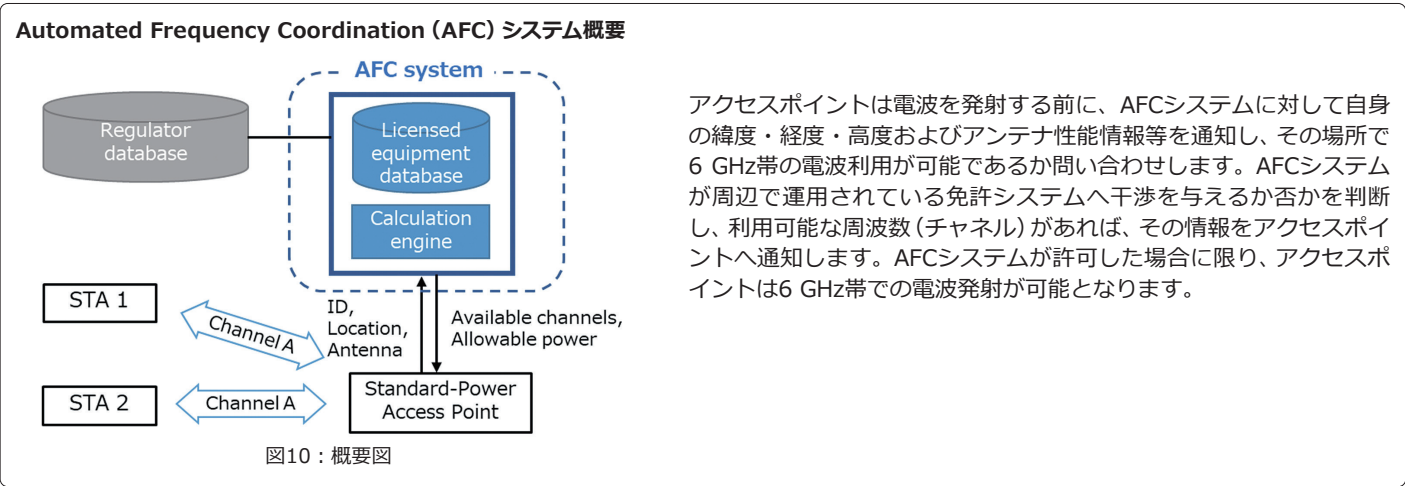
Frequency [MHz]		5925 - 6700	6700 - 7075	7075 - 7145
Primary Allocations	FIXED	✓	✓	✓
	FIXED-SATELLITE	✓	✓	na
	MOBILE	✓	✓	✓

表9 : 米国の6 GHz帯開放方針

Band		U-NII 5	U-NII 6	U-NII 7	U-NII 8
Frequency [MHz]		5925 - 6425	6425 - 6525	6525 - 6875	6875 - 7125
Bandwidth [MHz]		500	100	350	250
Maximum EIRP [dBm]	Standard-Power Access Point (AFC Controlled)	36	na	36	na
	Low-Power Access Point (indoor only)	30	30	30	30

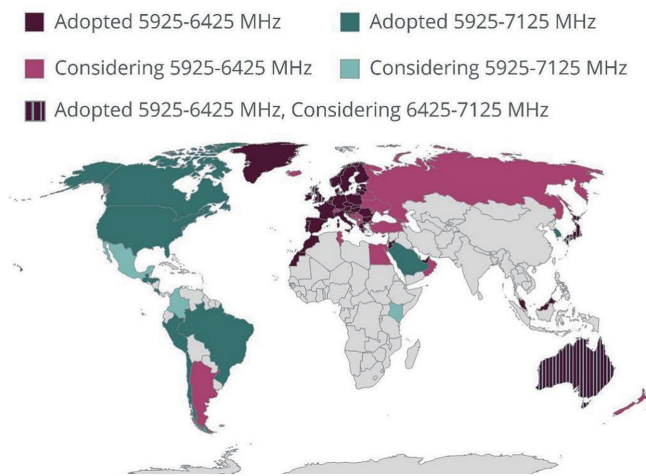
表10 : EUの6 GHz帯開放方針

Frequency [MHz]		5945 - 6425
Bandwidth [MHz]		480
Maximum EIRP [dBm]	Low Power Indoor WAS/RLAN devices	23
	Very Low Power WAS/RLAN devices	14



5. 6 GHz帯開放状況

2022年5月時点におけるグローバルでの6 GHz帯開放状況を以下の図に示します。



Source : Wi-Fi Alliance <https://www.wi-fi.org/countries-enabling-wi-fi-6e>

図11：世界の地域別の6 GHz帯開放状況

■ 日本の6 GHz帯開放方針

日本においては、まだ検討の途中ですが既存システムとの共存調査に関する報告と制度案が2022年4月に示され、共存の可能性が高い下位500 MHzから解放が始まる見通しです。上位700 MHz帯については放送・公共・一般業務用システムに対する干渉リスクが払拭しきれておらず、調査検討を継続する方針です。シミュレーションモデルの妥当性について疑問が出されているケースもあるため、シミュレーションモデルの見直しとフィールドでの実機検証を重ね、共存可能な条件を導き出すことになるでしょう。

表11：既存システムとの共用検討結果（情報通信審議会報告内容より作成）

Frequency [MHz]		5925 - 6425	6425 - 6570	6570 - 6870	6870 - 7075	7075 - 7125
Bandwidth [MHz]		500	145	300	205	50
既存システム	電気通信業務用固定局	可 (LPI/VLP)	可 (LPI/VLP)	可 (LPI/VLP)	可 (LPI/VLP)	可 (LPI/VLP)
	電気通信業務用固定衛星	可 (SP/LPI/VLP)	—	—	—	—
	放送事業 (固定・移動)	—	検討継続	検討継続	検討継続	検討継続
	公共・一般業務 (固定)	—	—	検討継続	—	—
	電波天文	—	—	不可 (6650 - 6675)	—	—

表12：6 GHz帯無線LANシステムの技術的条件（案）

Frequency [MHz]		5925 - 6425
Bandwidth [MHz]		500
Maximum EIRP [dBm]	Low power indoor	23
	Very Low Power	14

今後の検討課題

- IEEE 802.11beへの対応
- 既存無線システムとの周波数共用の促進
 - 5925 - 6425 MHz帯
 - AFCシステム導入を前提としたStandard Powerモードの周波数共用
 - 共用条件等の見直し
 - 帯域幅20 MHz以下で周波数ホッピングを行うナローバンド伝送システムとの周波数共用
 - 6425 - 7125 MHz帯
 - 放送・公共・一般業務システムとの周波数共用
 - WRC-23や諸外国の動向等を踏まえた周波数割当

Bluetooth®ワードマークおよびロゴは登録商標であり、Bluetooth SIG, Inc. が所有権を有します。
Anritsuは、使用許諾の下でこれらのマークおよびロゴを使用しています。
その他の商標および登録商標は、それぞれの所有者の商標および登録商標です。



お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。
記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社

<https://www.anritsu.com>

本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1 TEL 046-223-1111
厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5
通信計測営業本部 TEL 046-296-1244 FAX 046-296-1239
通信計測営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 S S 3 0
通信計測営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
名古屋 〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル
通信計測営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485
大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル
通信計測営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア
通信計測営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699

■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。

通信計測営業本部 営業推進部

TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX: 046-296-1248
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: SJPost@zy.anritsu.co.jp

■計測器の使用法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: MDVPOST@anritsu.com

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。
また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

2104