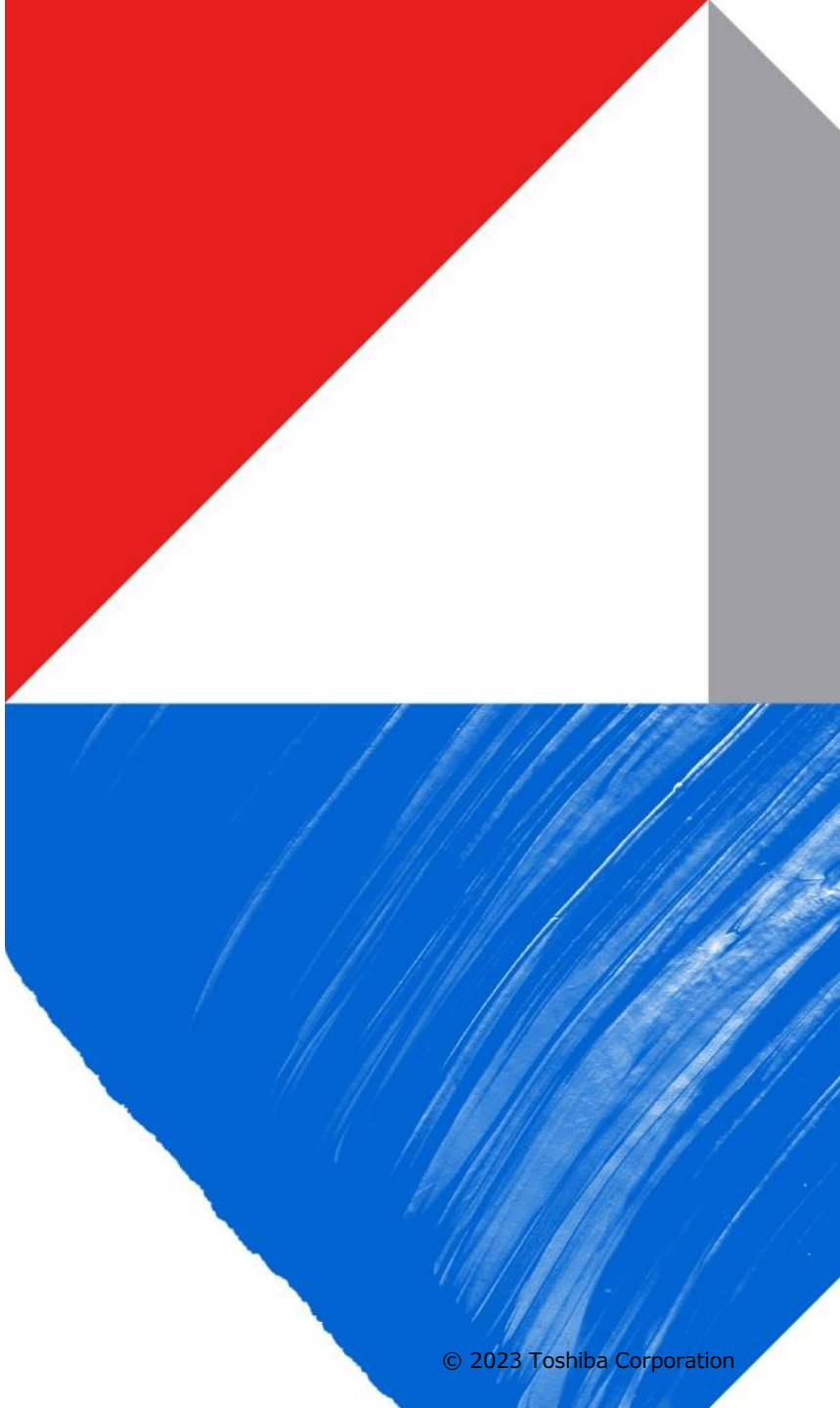




TOSHIBA

高速高効率無線LANの 標準化活動と実用化

(株)東芝 研究開発センター
足立 朋子

Contents

01 無線LANとは

02 802.11における標準化の仕組み

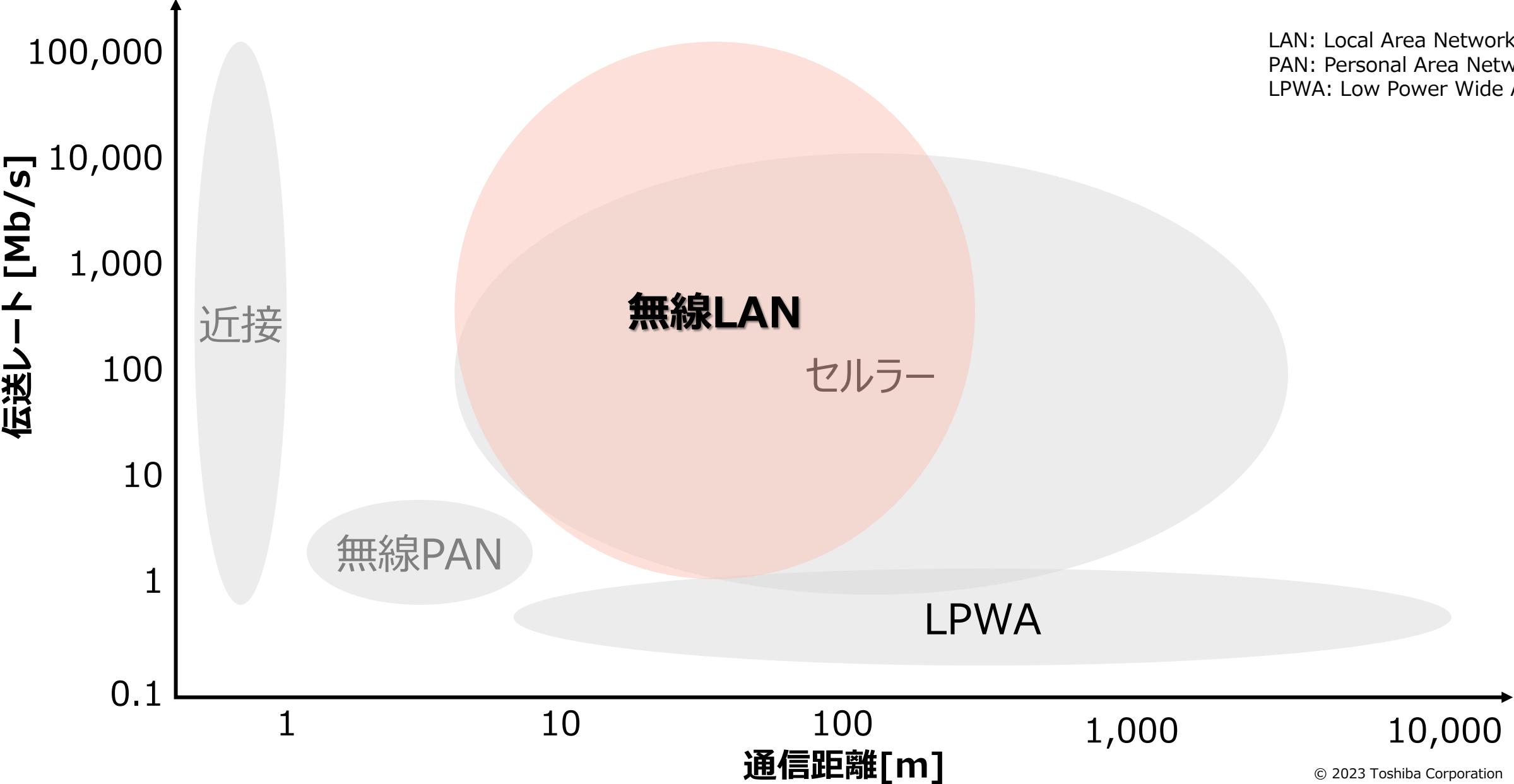
03 高速高効率化無線LANの技術変遷

01

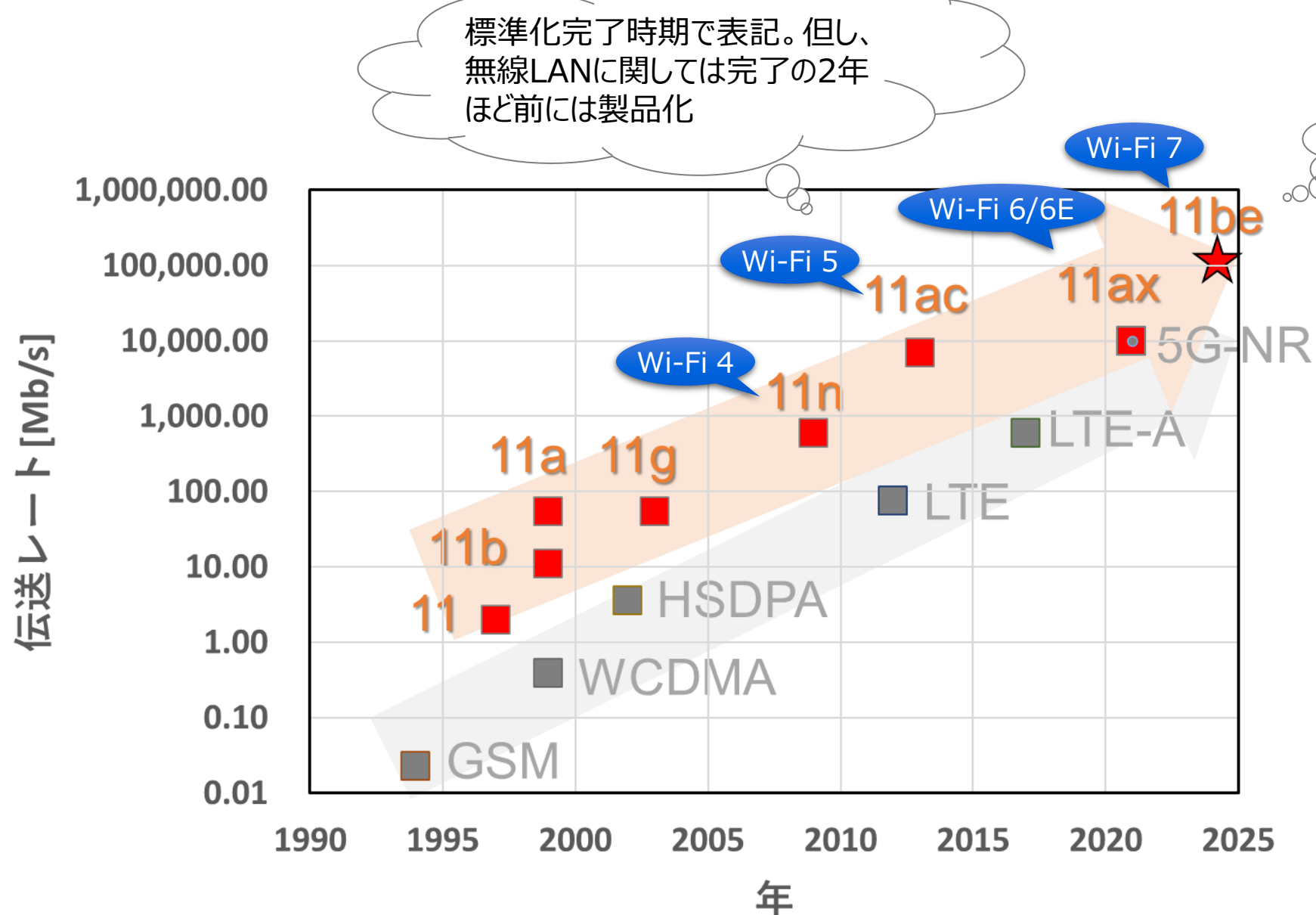
無線LANとは

位置づけ、Wi-Fiとの関係

無線LANの位置づけ



セルラー系との速度比較



11beで再び速度に注力

GSM: Global System for Mobile communications
WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access
LTE: Long Term Evolution
LTE-A: LTE Advanced
5G-NR: 5G New Radio

無線LANの立ち位置

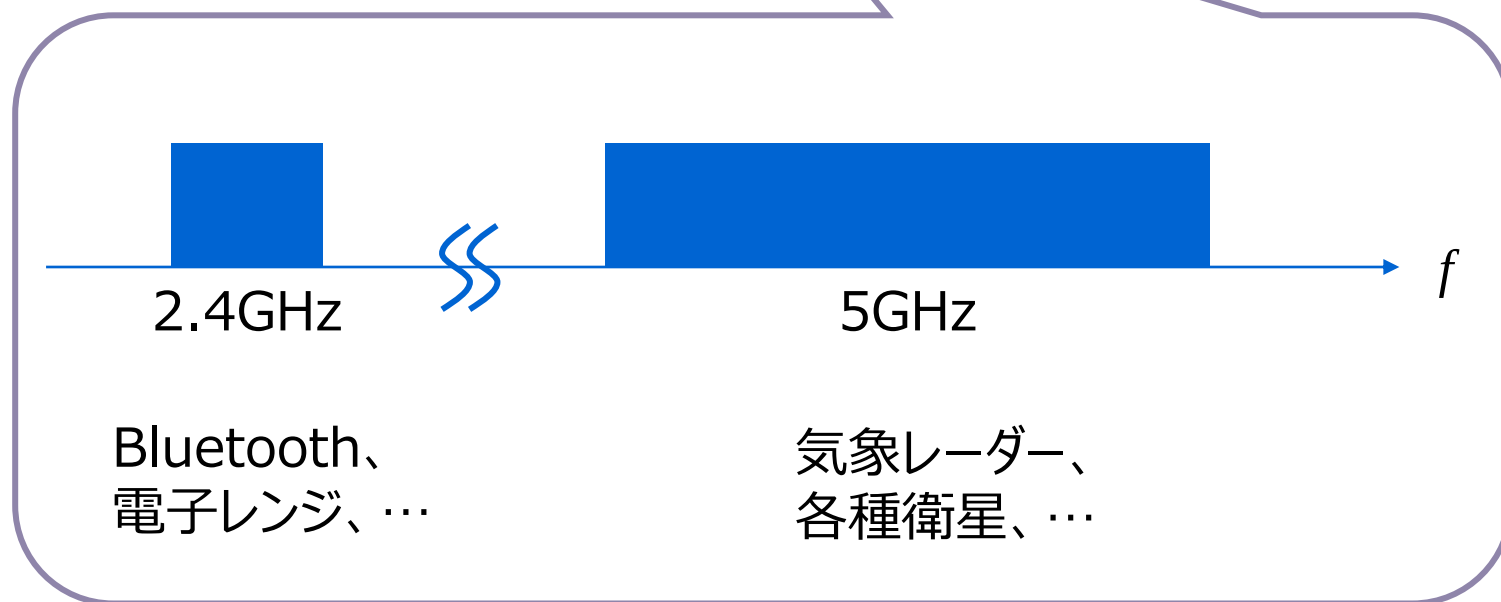
免許不要帯
の利用

他システムとの
周波数共用

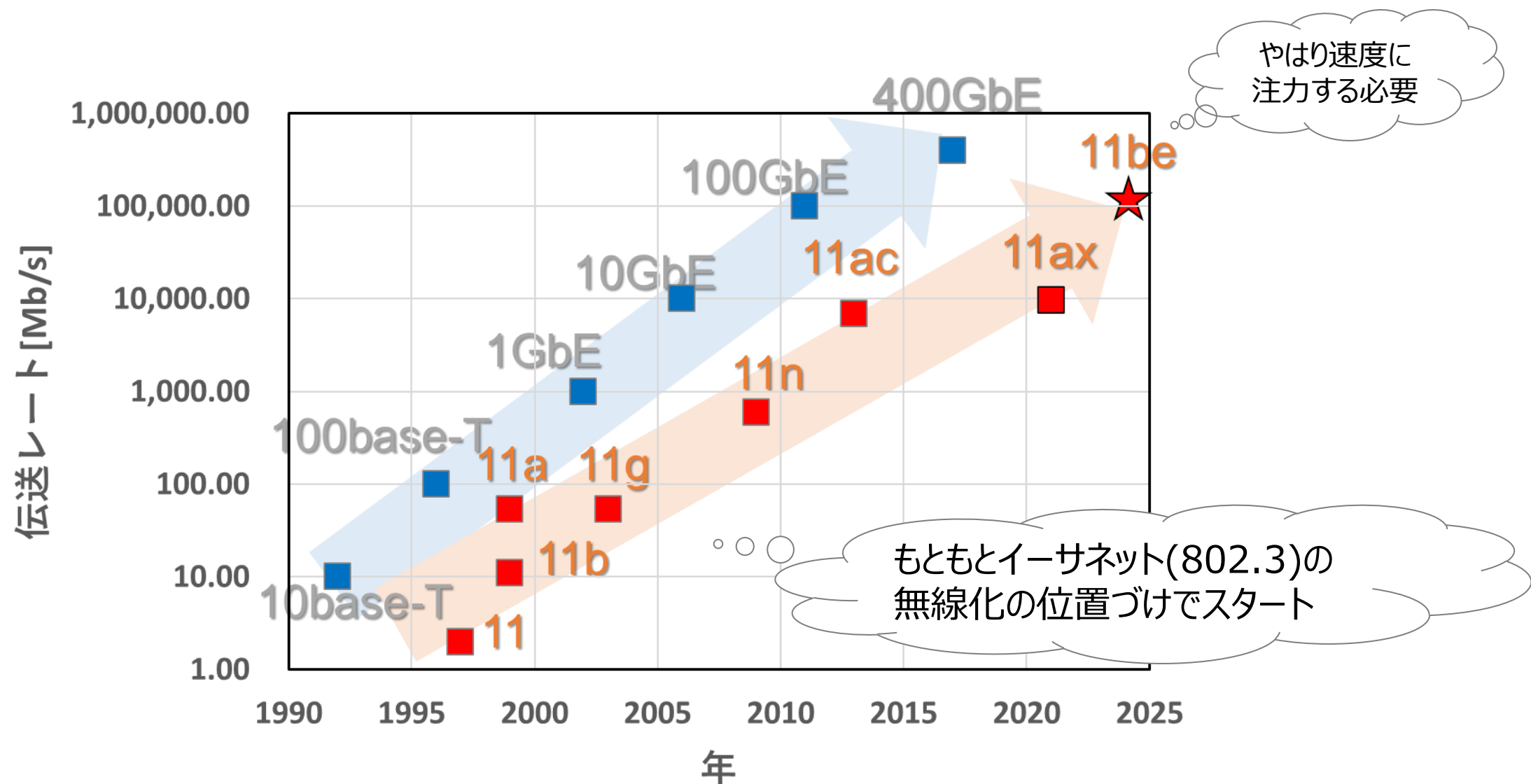
Best Effort
型

誰でもシステム展開できる
ホットスポット、家庭、学校、工場、...

通信品質を保証はしない



一方で、無線LANはイーサネットに追従した高速化の歴史とも言える



IEEE802.11とWi-Fi

• IEEE802.11規格

- 米国IEEE802.11委員会が規定する、無線によるローカルエリアネットワーク(LAN)のアクセス方式(MAC層)と伝送方式(PHY層)の基準を定めたもの

→ 開発向け規定

MAC: Medium Access Control
PHY: Physical

• Wi-Fi



- Wi-Fi Allianceが規定したIEEE802.11無線LAN規格に準じた製品の相互接続性試験基準および、製品としてサポートすべき機能基準を定めたもの
- 製品向け規定

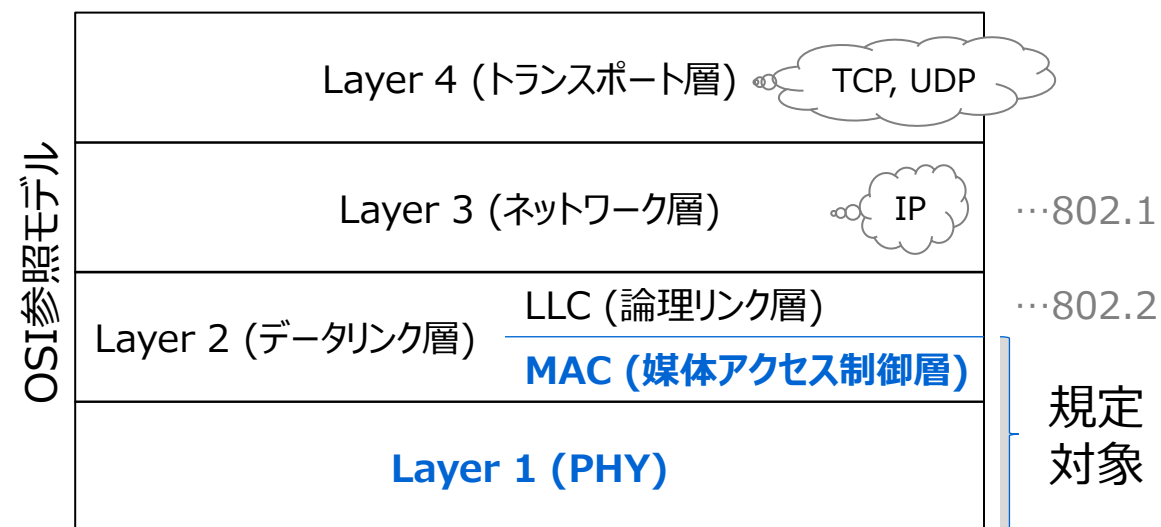
IEEE : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (米国電気電子学会)

WFA : Wi-Fi Alliance (<http://www.wi-fi.org/>)

Wi-Fi® : Wireless Fidelity (“無線の忠実性”→“相互接続性”の確保)

「Wi-Fi」及びWi-FiロゴはWi-Fi Allianceの登録商標です。

その他本資料に掲載の商品、機能等の名称は、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。



厳密には、IEEE802.11≠Wi-Fiだが、現在は＝と言っても差し支えない

02

802.11における標準化の仕組み

活動形態や規格に付随するアルファベットの話も

802.11標準化活動



- 会合を年に6回開催（奇数月）

～会合開催歴と今後の予定～

⋮

- 2022年7月：モントリオール(カナダ)+オンライン
- 2022年9月：ハワイ(米国)+オンライン
- 2022年11月：バンコク(タイ)+オンライン
- 2023年1月：ボルチモア(米国)+オンライン
- 2023年3月：アトランタ(米国)+オンライン
- 2023年5月：オーランド(米国)+オンライン
- 2023年7月：ベルリン(ドイツ)+オンライン
- 2023年9月：アトランタ(米国)
- 2023年11月：ハワイ(米国)
- 2024年1月：パナマシティ(パナマ)
- 2024年3月：デンバー(米国)
- 2024年5月：ワルシャワ(ポーランド)

⋮

2025年1月会合は
神戸になる可能性

会合以外にテレコンも開催。
現在は活発なグループで週2回

総会は3月、7月、11月、
中間会合は1月、5月、9月

コロナ禍でバーチャル開催で
あったが、2022年7月から
現地+オンラインのハイブリッド開催

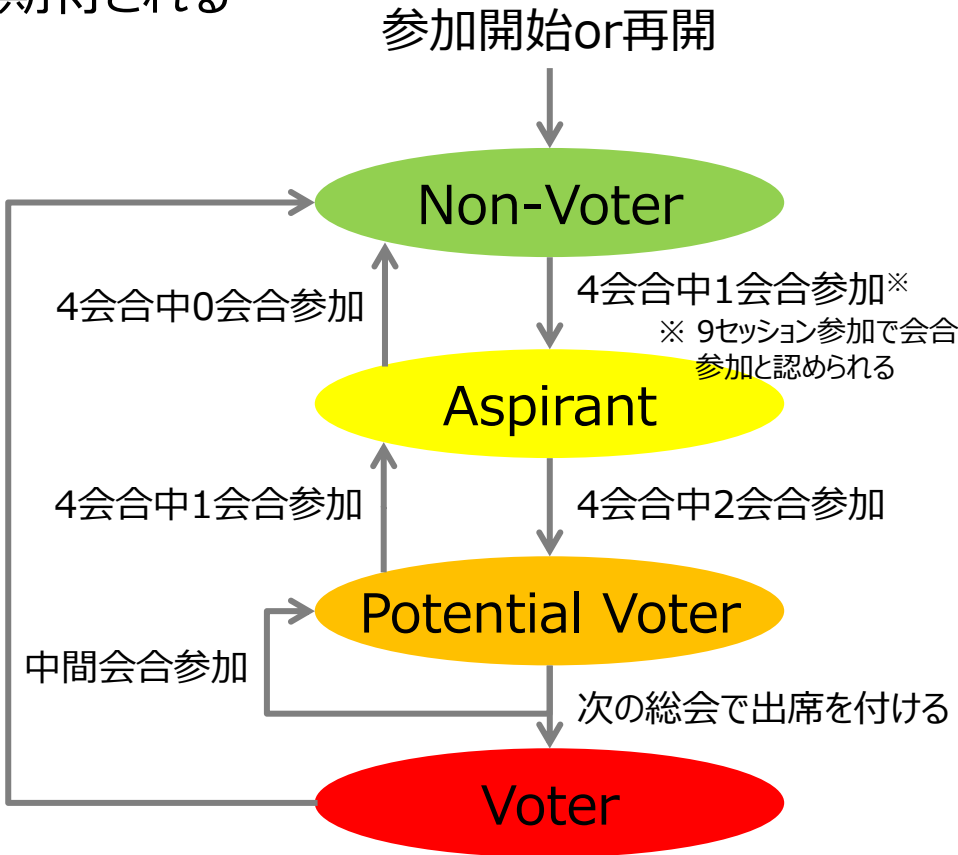
4会合中参加が2会合未満
もしくは
6つのLetter Ballot中、投票4回未満

投票は重要な位置づけ。
規格は投票時のコメントをベース
に固まっていく

- 1人1票

合意形成はすべて投票！

- 技術的専門性を持つ個人としての振舞いを期待される



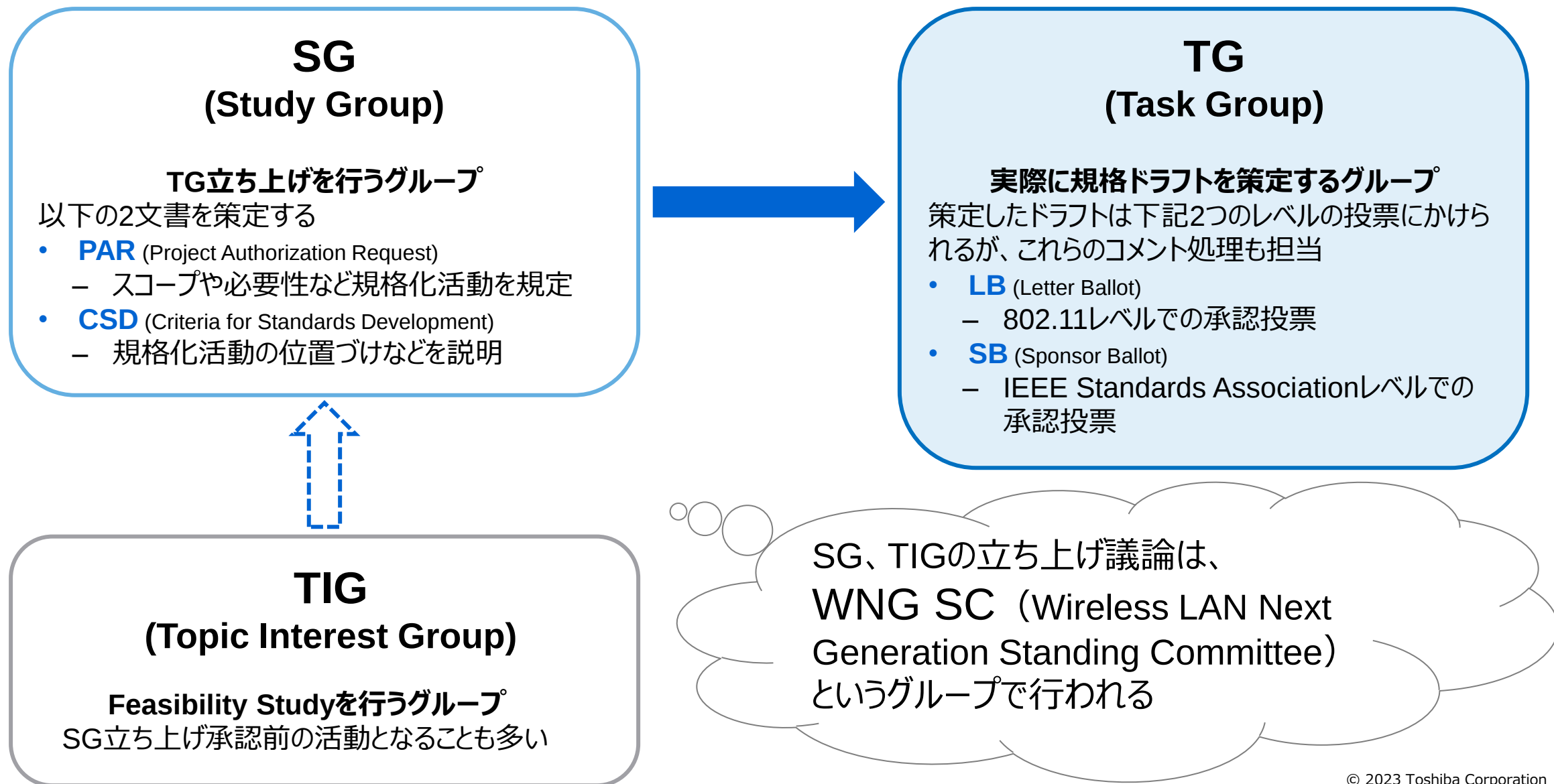
会合タイムテーブルの例('23年1月ボルチモア+オンライン)

米国東海岸時間で下記スケジュール cf. 投票権獲得・維持には9スロット参加要

2023 January IEEE 802.11 Working Group Interim Session																											
Week Jan	Week Jan 15	Sunday, Jan 15, 2023	2023年1月16日						2023年1月17日						2023年1月18日						2023年1月19日						2023年1月20日
		35	250	100	60	45	35	35	250	100	60	45	35		250	100	60	45	35		250	100	60	45	35		150
Time UTC	Time Eastern	Sunday	MON 1	MON 2	MON 3	MON 4	MON 5	MON EC	TUES 1	TUES 2	TUES 3	TUES 4	TUES 5	TUES EC	WEDS 1	WEDS 2	WEDS 3	WEDS 4	WEDS 5	WEDS EC	THURS 1	THURS 2	THURS 3	THURS 4	THURS 5	THURS EC	FRI 1
12:00	7:00-7:30												8:00-8:30														
12:30	7:30-8:00																										
13:00	8:00-8:30		802 Wireless Opening Plenary						WNG	TGBE	TGBF	TGME	TGBB		TGBE	TGBF	AIML	TGBH	TGBB		TGBE		AIML	TGBH		18	
13:30	8:30-9:00		8AM-8:55 AM							MAC					Joint		TIG				Joint		TIG			TAG	802.11
14:00	9:00-9:30		802.11 Opening Plenary																								Closing
14:30	9:30-10:00		09:00-10:15																								Plenary
15:00	10:00-10:30		Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	
15:30	10:30-11:00		TGBE		AIML	TGBH	TGBB		TGBE		New	ARC	TGBB	18	UHR	TGBF					TGBE	TGBF	AMP	TGBI	TGBC		
16:00	11:00-11:30		MAC		TIG				Joint		Members			TAG	SG						MAC		TIG				
16:30	11:30-12:00																										
17:00	12:00-12:30																										12:00pm
17:30	12:30-13:00		Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Hard Stop
18:00	13:00-13:30		Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	
18:30	13:30-14:00	Mixed Mode	TGBE		TGBK		TGBC		TGBE	TGBE	TGBK	TGBH									TGBE		TGBI	TGBK	TGBB		
19:00	14:00-14:30	Training	Joint						MAC	PHY					802.11 Mid week plenary						Joint		&TGBH				
19:30	14:30-15:00																										
20:00	15:00-15:30																										
20:30	15:30-16:00		Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	
21:00	16:00-16:30	Wireless	TGBE			TGBI	TGME	WG	TGBE		JTC1	TGBB	TGME	WG	TGBE	TGBI	TGBK	COEX	TGME	WG	UHR			ITU	TGME		
21:30	16:30-17:00	Chairs	MAC					19	MAC		SC			24	MAC			SC		24	SG						
22:00	17:00-17:30	SC																									
22:30	17:30-18:00	Break																									
23:00	18:00-18:30		Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	
23:30	18:30-19:00	OAC	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Social	Social	Social	Social	Social	Social	Break	Break	Break	Break	Break	Break	
0:00	19:00-19:30		Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Break	Social	Social	Social	Social	Social	Social	Break	Break	Break	Break	Break	Break	
0:30	19:30-20:00		AMP	TGBF	AIML				UHR	TGBF					Social	Social	Social	Social	Social	Social							
1:00	20:00-20:30		TIG		TIG				SG						Social	Social	Social	Social	Social	Social			CAC				
1:30	20:30-21:00																										
2:00	21:00-21:30																										

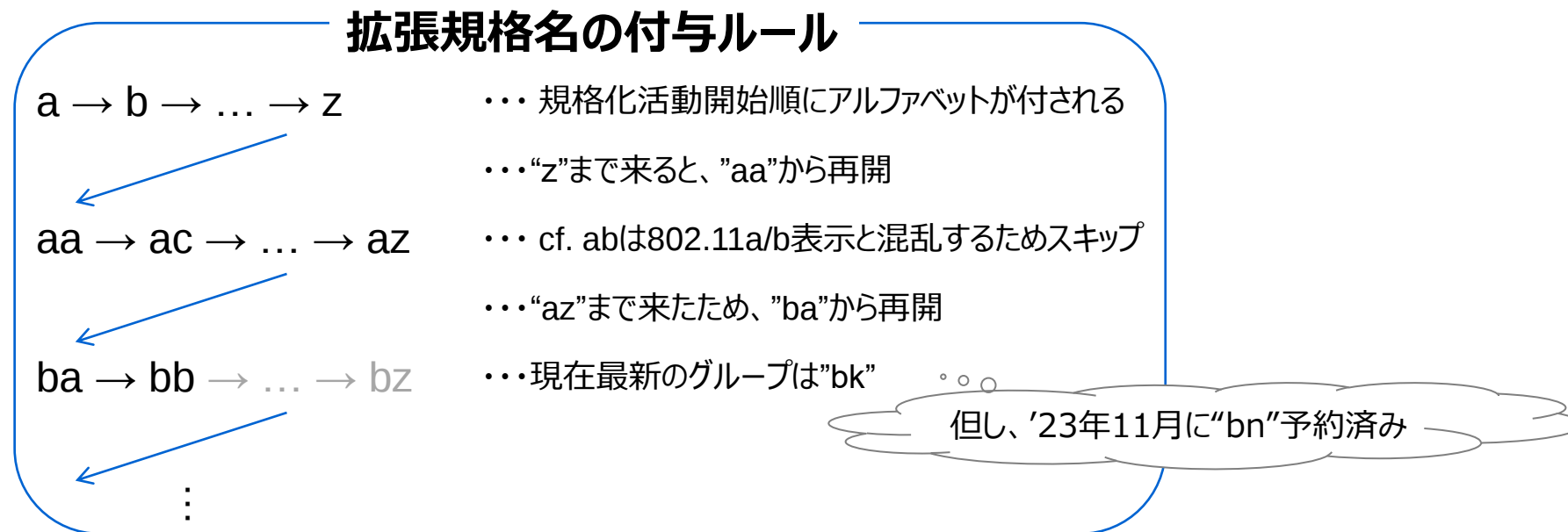
参照: doc.: IEEE 802.11-22/2112r6

802.11標準化でのグループ種別と役割



規格の策定とその後

- TGxxが802.11xx規格となる



- 拡張規格(Amendment)の位置づけ

- 後方互換の保証

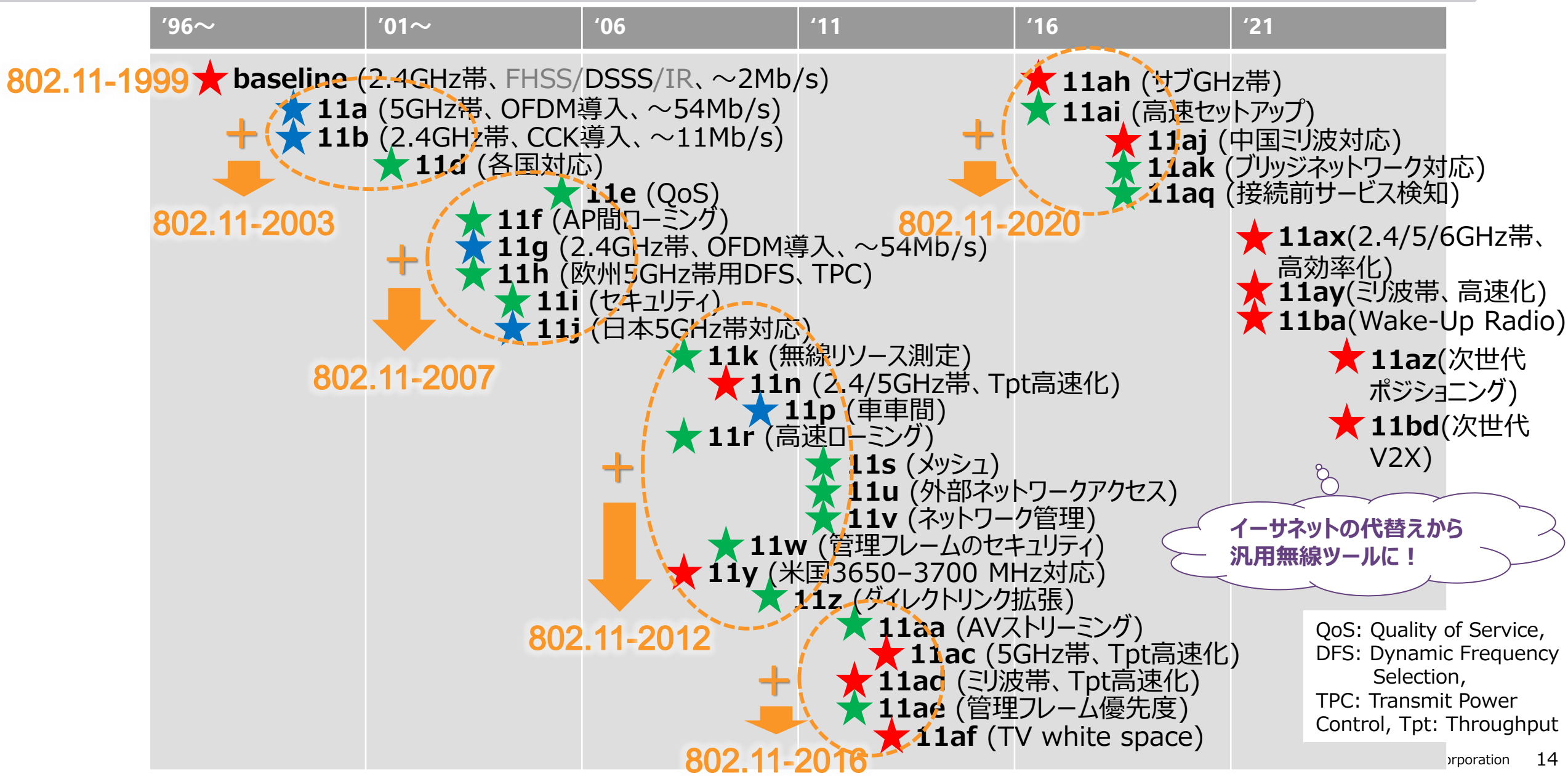
同一周波数帯では先行規格品と必ず接続できる ⇒ 市場の安定化

- 数年おきに拡張規格を一つの規格に統合

TGmxが担当(ドラフトはP802.11REVmx、最終的にIEEE Std 802.11-20YYのように)

拡張規格は成立後、1つのベースライン規格に統合

ターゲット: ★ MAC/PHY ★ PHY ★ MAC



現在活動しているグループ

ターゲット: ★ MAC/PHY ★ PHY ★ MAC

• Task Groups

- TGbb: Light Communications ★
- TGbc: Broadcast Services ★
- **TGbe: Extremely High Throughput** ★
- TGbf: WLAN Sensing ★
- TGbh: Randomized and Changing MAC Addresses ★
- TGbi: Enhanced Data Privacy ★
- TGbk: 320 MHz Positioning ★

ポスト11ax/Wi-Fi 6、いわゆるメインストリーム。
まだ標準化中だが、規格ドラフトが承認ラインを
越えており、大枠はfixしたと言える

• Study Groups

- **Ultra High Reliability (UHR)** ★
- Ambient Power IoT Devices (AMP) ★
- Integrated mmWave (IMMW)(11月からの仮予約) ★

さらに11beの次のメインストリーム。
TGbnになる予定

• Topic Interest Groups

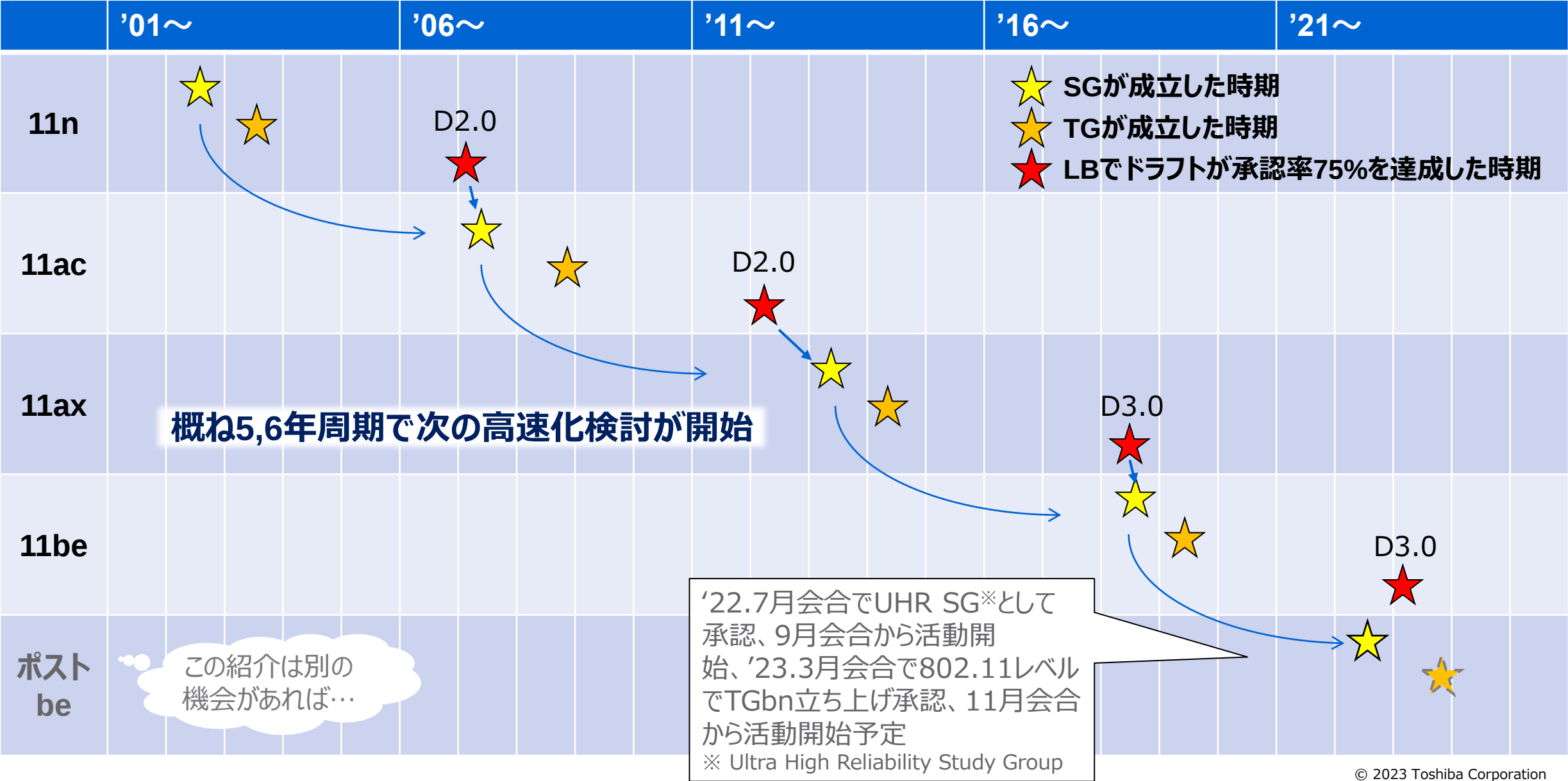
- Artificial Intelligence Machine Learning (AI/ML) ★

03

高速高効率化無線LANの技術変遷

メインストリームである、802.11n/ac/ax/be

高速化系無線LANの活動周期

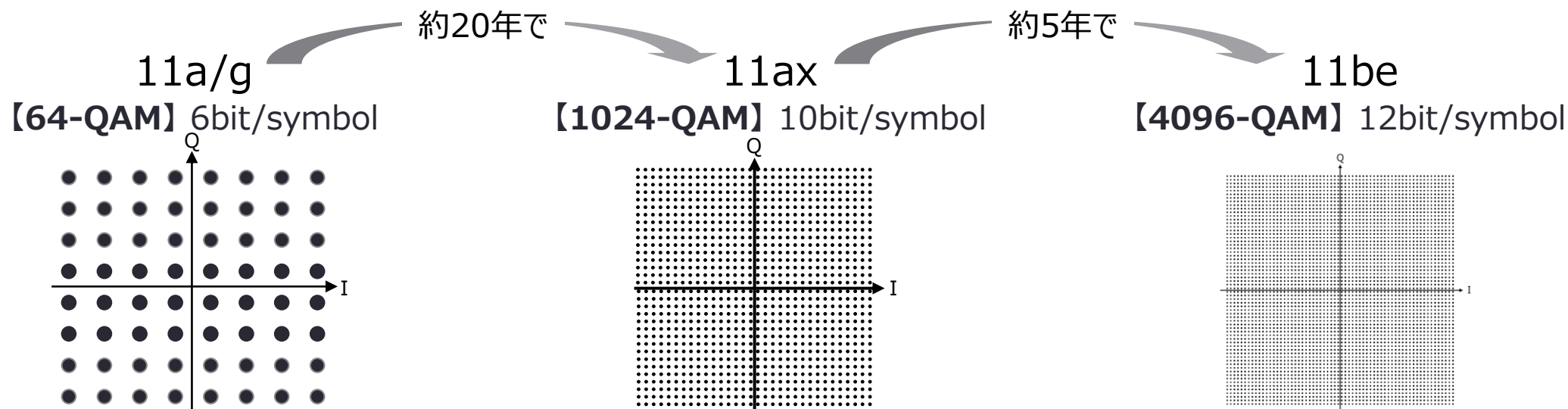


高速高効率無線LANの代表的な技術の変遷

MIMO: Multiple Input Multiple Output

	11a/b/g	11n	11ac	11ax	11be
多値化					
	64-QAM	256-QAM		1024-QAM	4096-QAM
MIMO					
		4ストリーム	8ストリーム		
		ビームフォーミングも合わせて導入			
チャンネル拡張					
		40MHz	160MHz		320MHz
アグリゲーション					
		max64フレーム		max256フレーム	max1024フレーム
マルチユーザ			MU-MIMO		
			DL、4ユーザ	+ UL、8ユーザ	
				OFDMA	
				1ユーザ/RU	MRU
マルチリンク					
					2.4/5/6GHz

多値化



高速になるほど信号間の距離が短くなり、雑音に弱くなる
雑音を含む無線環境で受信・復号する際に信号点の配置の正しい識別はより困難に
⇒ 直交信号誤差の自動補正技術 と 送受信回路の低雑音化技術 が要求される

演算量増大になりがち
当社は独自の誤差変換技術を開発※

回路が複雑になればなるほど
雑音源は増加しがち
当社は電流駆動送信回路などを採用※

※ 東芝が世界初11axドラフト準拠ICで
1024-QAMを実装した際の詳細技
術は日経エレクトロニクス2019年4月、
5月号参照

伝送レートは1シンボル当たりのビット数倍しか高速化しない
いずれの規格でもオプションの位置づけで導入

≪ 訴求しやすい！

▶ みな入れる機能に

パケットフォーマット

2.4GHz、5GHz帯で新しい高速通信(MIMO)を用いる11n導入時の課題

- 従来の無線LAN機器と共存できるパケットフォーマット ⇒ 後方互換のあるプリアンプル
- 新しい伝送方式を用いる ⇒ パケット種別の識別

データの前に送信される信号

後方互換のあるプリアンプル

従来パケット

11a用プリアンプル
(レガシープリアンプル)

11a方式で送信する
データ部

東芝提案

11n以降の
パケット

11a用プリアンプル
(レガシープリアンプル)

拡張方式用
プリアンプル

拡張方式で送信する
データ部

先頭のプリアンプル部分に変更を加えないため、従来の無線LAN機器も信号を正常受信できる
(無線LAN信号だと認識して、キャリアセンスレベル-82dBm/20MHzで動作)

パケット種別の識別

- 11n: レガシープリアンプル最後にあるL-SIG後のシンボルを90度回転
- 11ac: L-SIG後の2つ目のシンボルを90度回転、かつL-SIGのLength値を3の倍数に
- 11ax: L-SIGを繰り返し送信(RL-SIG)、かつL-SIGのLength値を3の倍数でないように
- 11be: RL-SIGの後にU-SIGを挿入し、識別

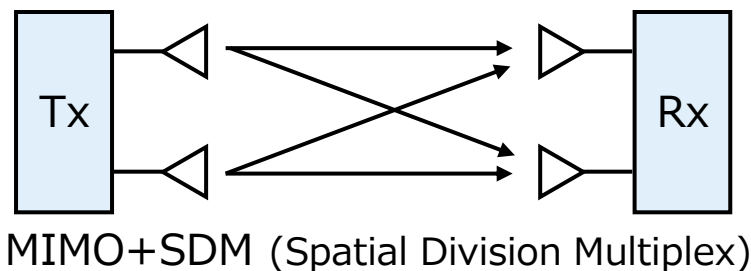
L-SIG: Legacy SIGNAL field
RL-SIG: Repeated Legacy SIGNAL field
U-SIG: Universal SIGNAL field

ついにユニークな識別に限界が来て、
将来的に使いまわせるように方針変更

MIMO

11nの前にA1社が先行、
11n標準化を仕掛けた

2ストリームの例



並列伝送の分だけ高速化

周波数オフセットや周波数ドリフトの対策として、
位相トラッキングするために必要な信号

導入時の課題の1つがパイロット信号

- MIMOになり、複数のアンテナから信号が送信されるときに
このパイロット信号をどう定義するか？

11nではMIMO pilotsを採用 **東芝提案**

… ストリーム間で時間・周波数的に直交性をもったパイロットシーケンスを用いる方式

メリット：相関の高いチャネルでは、電波が相殺されて届かないところが発生する問題に対処することができる

11nは最大4ストリーム

11acからは最大8ストリームになり、直交性を持たせるのがしんどくなった…

11axではさらにUL MU-MIMOが導入されたことで、正確な直交性が実現できないことも後押し

undesired beamforming

11ac以降は、single stream pilot tonesを採用

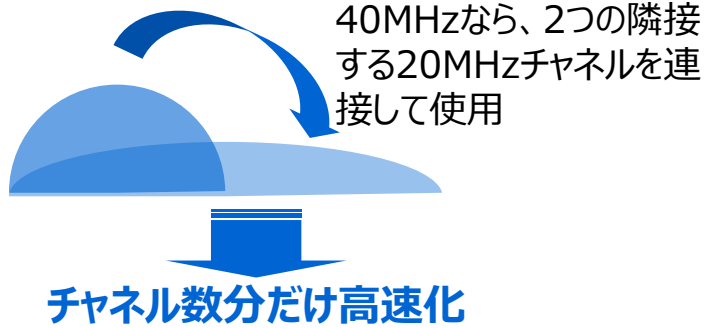
… ストリーム間で共通にする代わりに、データ部に加え、パケットのプリアンブル部(VHT-LTF)にも入れる方式

メリット：VHT-LTFで位相トラッキングすることで、デジタル処理を軽減できる



チャンネル拡張

11nの前にA2社が先行



11nでチャンネル拡張導入時の課題

- チャンネル幅をアナログ回路で切り替える場合、msオーダー(当時)

最大チャンネル幅で開けっ放し

but...

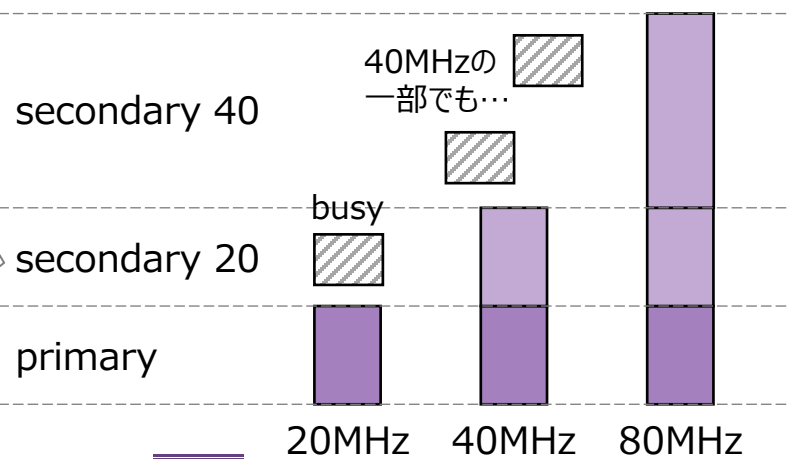
- 拡張チャンネルから干渉を受けやすく、与えやすい
- 20MHzパケットを受信してもどのチャンネルからか識別できない

ビーコンが送信されるチャンネル

• primary channel基本で拡張するルール

80MHzチャンネルの場合

primaryから連続してアイドルの拡張チャンネルだけ利用可能(拡張チャンネルは20MHzの2のべき乗で増える)

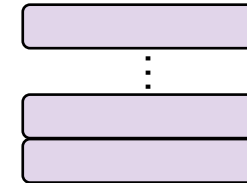


11axでようやく、20MHz単位でキャリアセンスできる方式導入
但し、アクセス権を取るときはprimaryの制約あり(ポストbeで見直す提案あり)

• チャンネル予約(NAV※を張るため)に、non-HT duplicate format

※ Network Allocation Vector。
仮想的に媒体がビジーと扱う期間

11aパケットを20MHz幅で重複送信



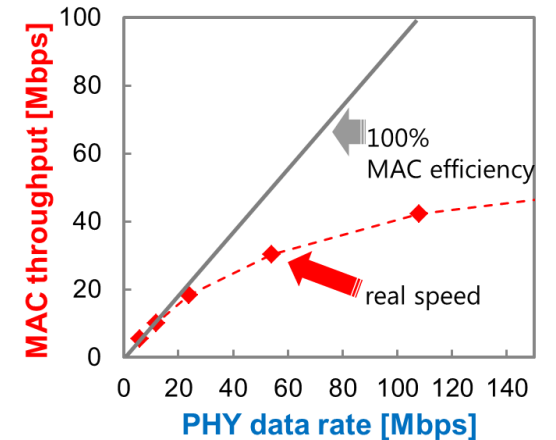
NAVを利用して時分割で棲み分ける東芝提案も11nで採択されたが、2020年版で削除に...

衝突を削減できて性能は上がるが、時間配分のアルゴリズムに依存、また160MHzまで拡大したことなど理由

なぜ高効率化も必要なのか

単位時間当たりの実効伝送量

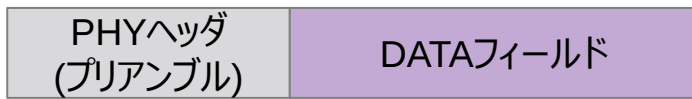
- いくら伝送レートを速くしても、体感速度に通ずる「スループット」は線形に増加しない
 - PHYでの伝送レートが速くなってもパケット全体の送信時間を短縮できるわけではない
 - MAC層を介した伝送をする際のオーバーヘッドが存在する
 - アクセス時間、フレーム間隔、応答時間



伝送レートのみ上げた場合のスループット

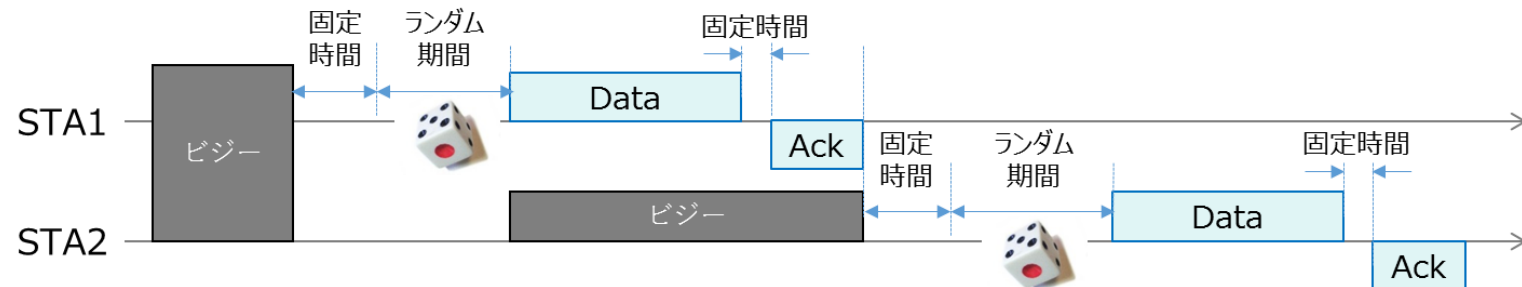
PHYパケットイメージ

↓この中にMACフレームが入る



ここにしか高速の伝送レートは適用されない！

CSMA/CAでのアクセス



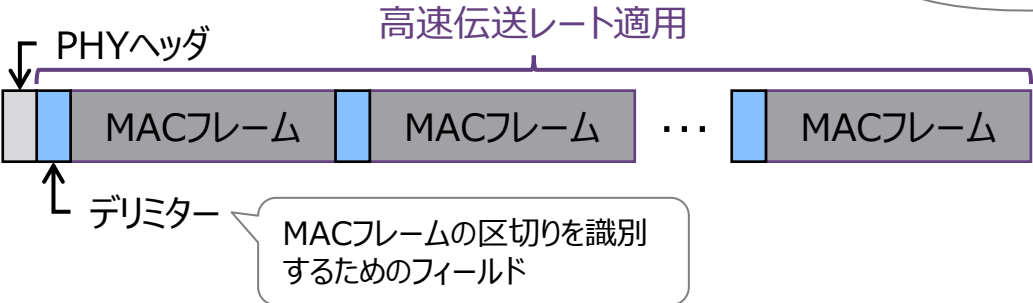
CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

MAC層の高効率化が必要

アグリゲーション … 複数のMACフレームorペイロードを1つのPHYパケットに集約(aggregate)する方式

A-MPDU … MACフレームを集約

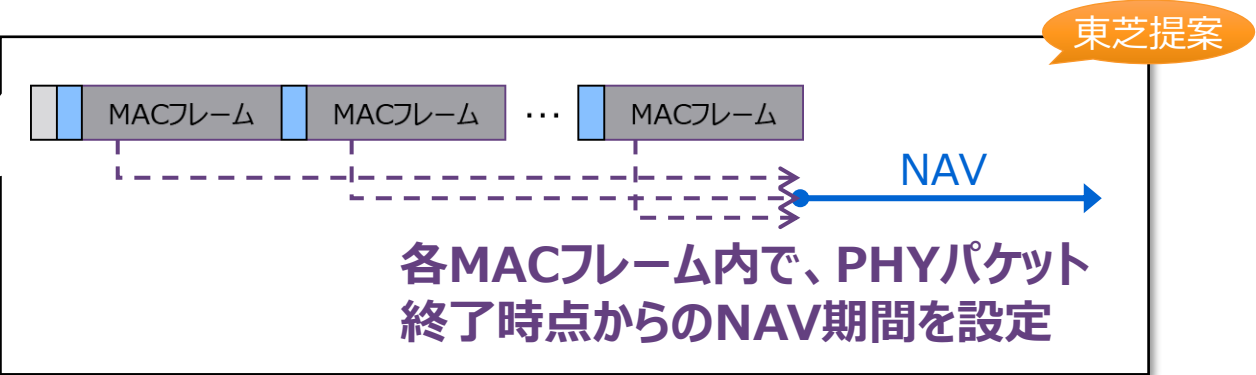
他に、A-MSDUというペイロードを集約する方式もあり



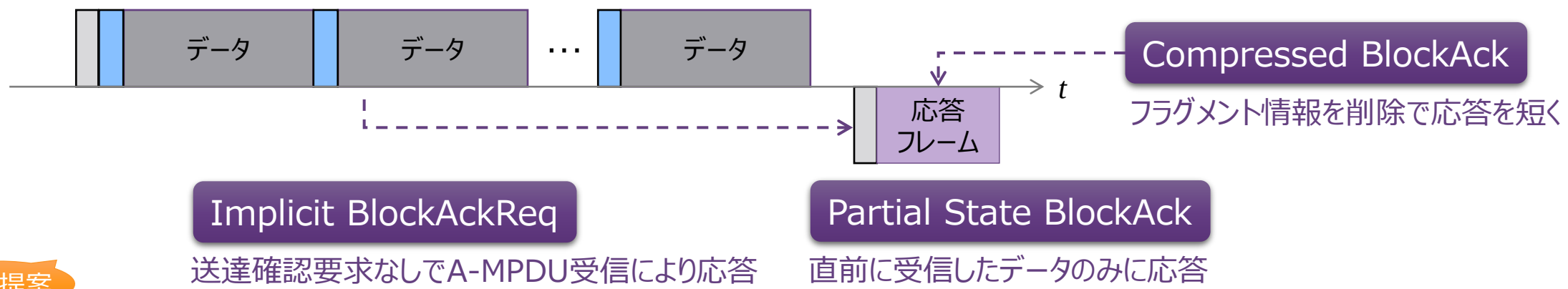
- 伝送レート的高速化が適用される部分を拡大
- アクセス時間、フレーム間隔の削減及び応答フレーム数の削減

A-MPDUを導入する際の課題

- 個々のMACフレームにNAVをどう設定すべきか？
- 送達確認をどうするか？



選択再送方式の導入

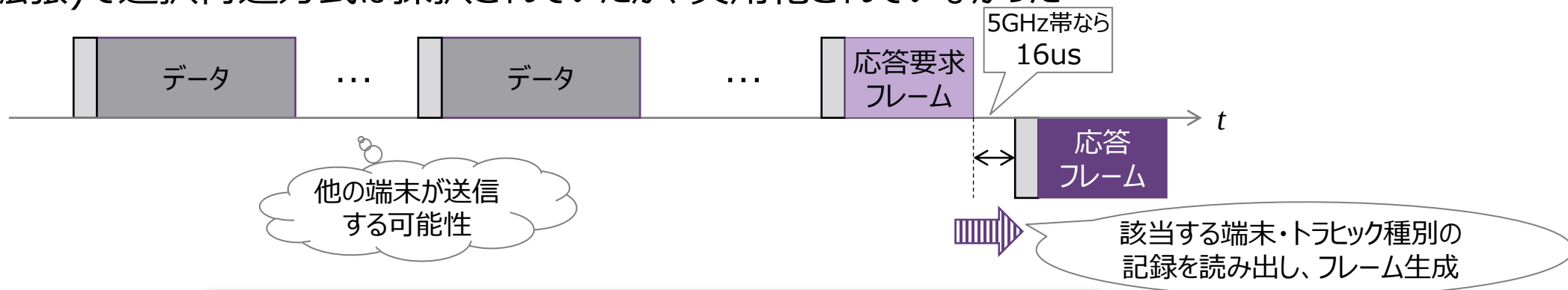


東芝提案

アグリゲーション議論こぼれ話

- 11e (QoS拡張)で選択再送方式は採択されていたが、実用化されていなかった

11e方式



提案した選択再送方式は実装負荷を軽減⇒広く普及

しかし提案は当初なかなか受け入れられなかった ⇒ 要素ごとに説明し、是非を問うたところ、全採用！

丁寧な説明と根気が必要

- 実装によっては、A-MPDUの受信処理が間に合わない課題あり

- デリミターを余分に入れて時間を稼ぐ方式採用

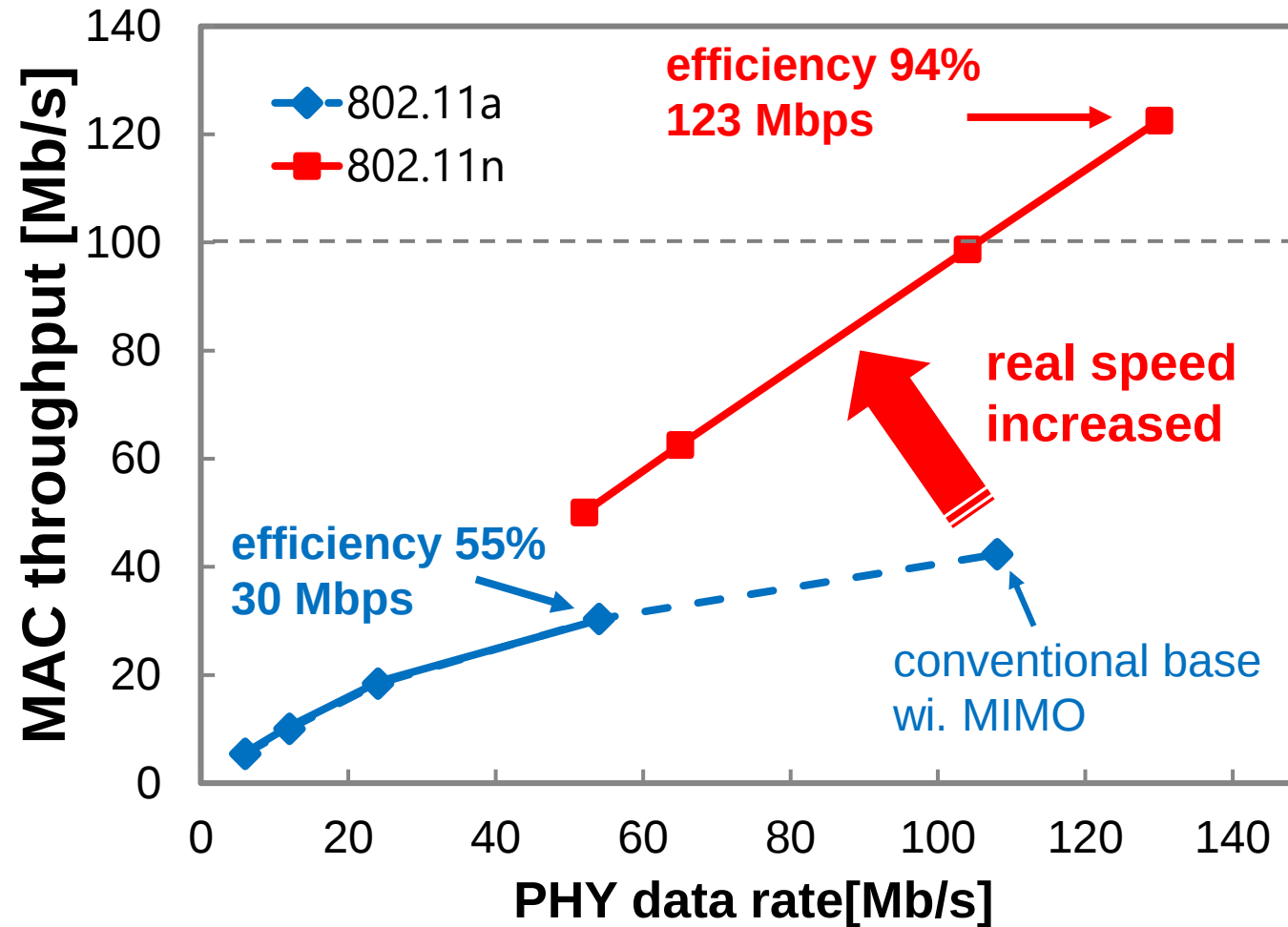


- RIFS (Reduced Interframe Space, 2us)の採用 ⇔ 通常はSIFS (Short Interframe Space)で5GHz帯なら16us

- 11nで高効率化の手法の一つとして、同一宛先へパケットを連続送信する際に、フレーム間隔を短縮する方式
- 相互接続試験時に異なるベンダ間で同期が取れない問題が発覚 ⇒ 11ac以降は不採用、“obsolete”に

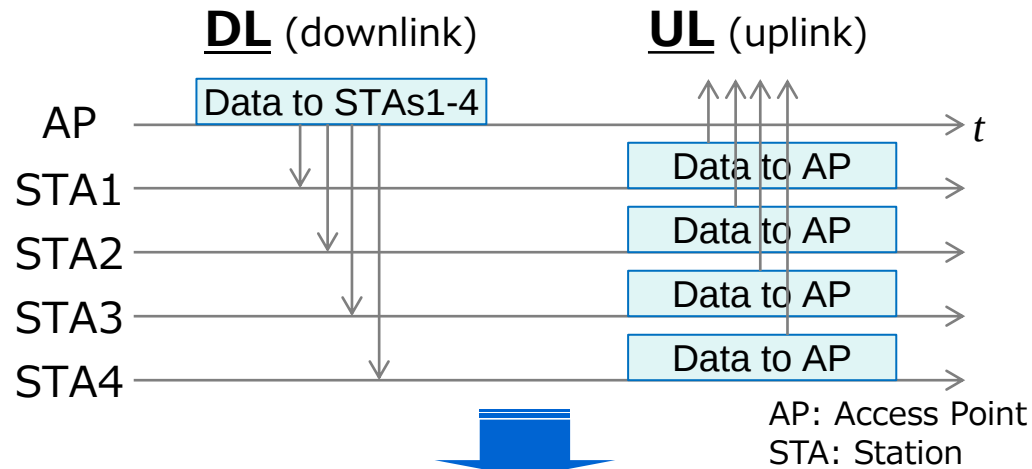
MIMOとアグリゲーションによるスループット改善効果

802.11a vs. 802.11n (5GHz band, 2x2x20MHz)



11nの目標であったスループット100Mb/s達成

マルチユーザ (Multi-User; MU) ～課題と11acでのアプローチ～



アクセス期間、フレーム間隔の削減で高効率化

MUを導入する際の課題

- APからの指示ですぐにSTAは適切なデータを用意してフレームを生成・送信することが難しい...

そもそもこれがハードルでPCF (Point Coordination Function)は普及せず...

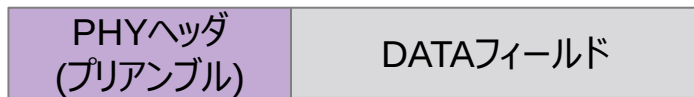
APがポーリングする方式

まずは11acでDL MUを導入

11acのDL MU

- DL MU対象のSTAを予めグループ分け(Group ID定義)
- Group ID内で各STAのストリームも予め定義

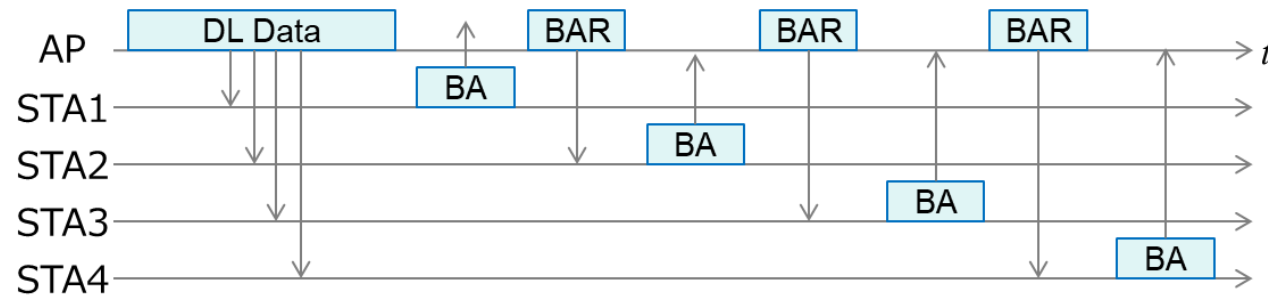
DL MUパケット



Group IDをPHYヘッダに入れる

STAは自分が属するGroup IDなら、決まったストリームで受信復号

- UL MUないため、1 STAにだけ即時応答要求、他のSTAには逐次応答を要求



BAR: BlockAckReq (送達確認要求)
BA: BlockAck (送達確認応答)

MU ~11axで完成形~



時代とともにHWの作り込みが進んだ結果、11axでUL MUを導入

- UL MUをAPが指示するためにTrigger frameを導入
 - 各種指定情報を入れる
 - 多重対象のSTAのAID、MIMO時のストリーム／OFDMA時のRU、パケット長、変調符号化方式など
 - 但し、STAによってすぐに応答できない実装も鑑み、フレーム内にpaddingを入れて時間を稼ぐ方策あり

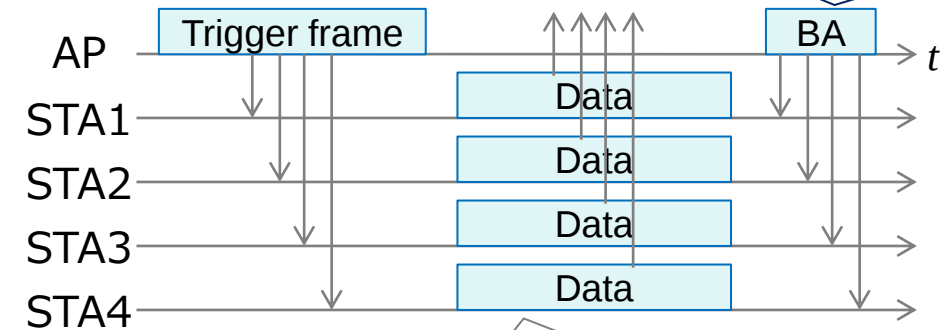
汎用性の低いGroup ID方式を見直し

AID: Association ID。APがSTAの接続を許可するときに指定(1~2007)
cf. MACアドレス(6オクテット)より短い
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
RU: Resource Unit

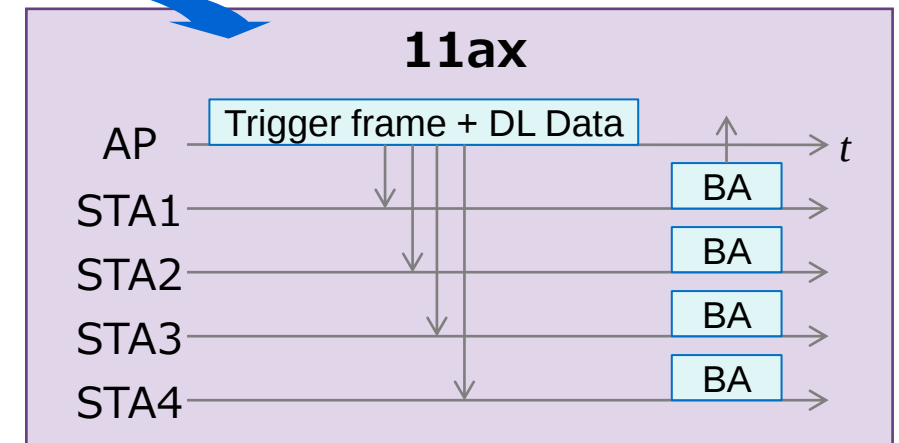
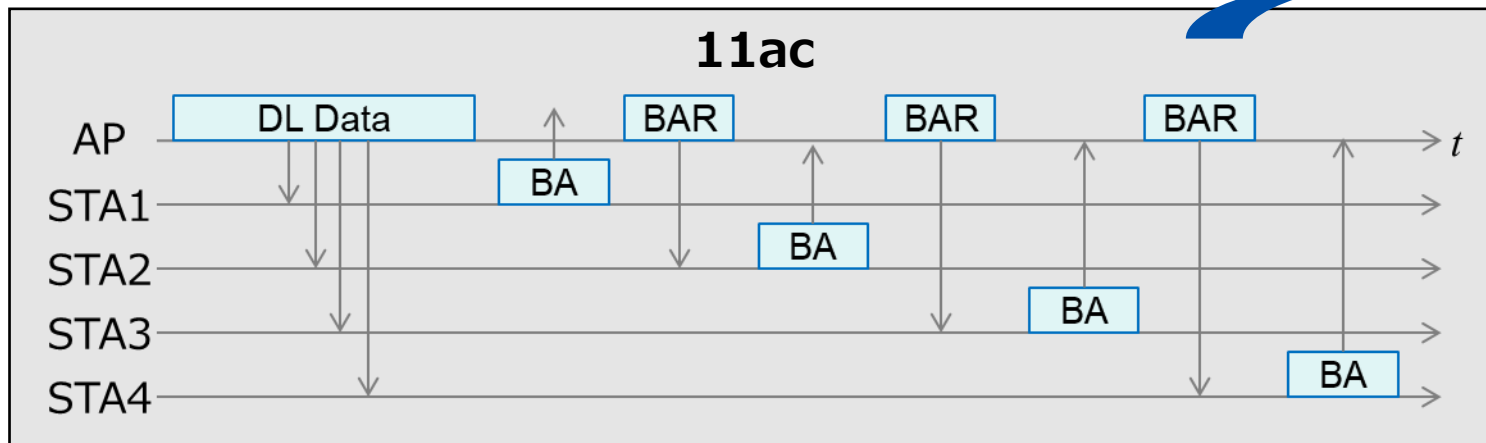
11axでその他に拡張した点

- MU-MIMOでの最大ユーザ多重数4⇒8
- **OFDMAの導入**

複数STAにDL応答をまとめて送信できるよう拡張



ULの長さを揃えてCSMA/CAを維持

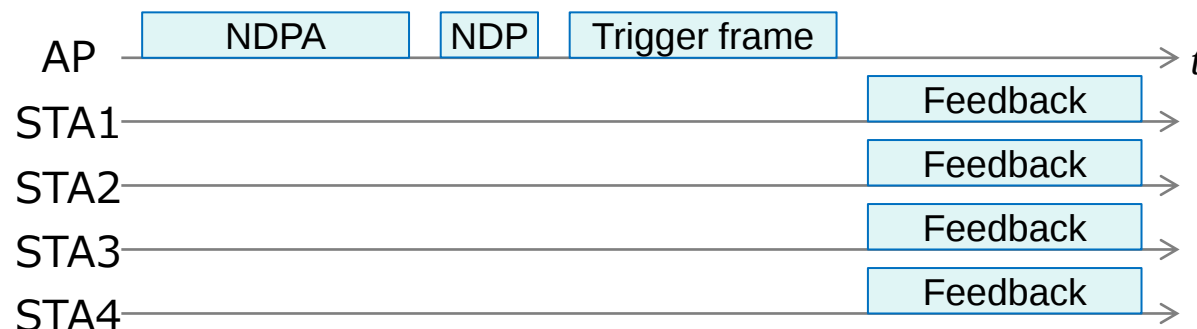


MUの拡張

- beamforming用のsounding sequenceもUL MUを使って高効率化

東芝提案

伝送路情報を取得するためのフレーム交換プロトコル



NDPA: Null Data Packet (NDP) Announcement. 伝送路推定の対象 STAを指定し、NDPの送信を予告
NDP: Null Data Packet. 伝送路推定用に送信される、Dataフィールドのない(MACフレームを格納しない)物理パケット

- 11beではOFDMAを拡張

OFDMA時の1ユーザ当たりの高速化、干渉耐性向上

- 1 STAに複数のRU (Resource Unit)を割り当てられるように … Multi-RU (MRU)

- 組み合わせ数を削減するため、制限を設ける

小さいRU(242トーン未満)同士の組み合わせ2つまで、大きいRU(242トーン以上)同士の組み合わせ4つまで、小さいRU利用はロバスト伝送用(256-QAM、4ストリームまで)、大きいRUは高速伝送用に棲み分け、etc.

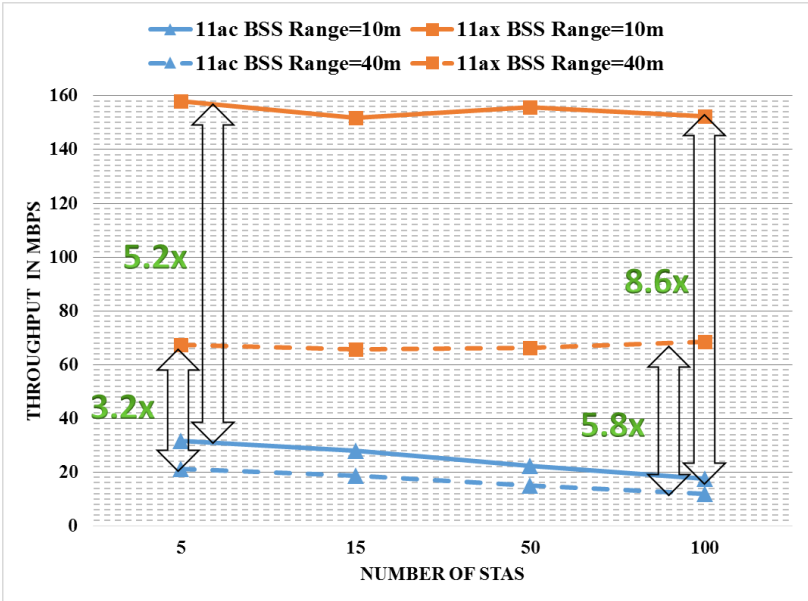


UL MUによるスループット改善効果

● MU-MIMOを用いた評価

東芝評価

- 単一AP
 - APからの距離: 10m or 40m
 - STA数: 5、15、50、100
- 周波数帯: 5 GHz帯、チャンネル幅: 20MHz
- アンテナ数
 - AP 4本
 - STA 1本
- トラヒックモデル: UL、フルバッファ
- パケットサイズ: 1460バイト
- 多重方式: MU-MIMO



● OFDMAを用いた評価

- AP数: 3
 - APからの距離: 30m
 - AP当たりの端末数: 13、26、52
- 周波数帯: 5 GHz帯、チャンネル幅: 80MHz
- アンテナ数: AP、STAともに1本
- トラヒックモデル: UL、フルバッファ
- パケットサイズ: 100バイト
- 多重方式: OFDMA

アクセスポイント当たりの端末数52の場合の
システムスループット(Mb/s)

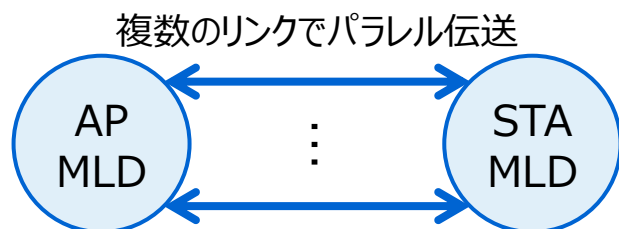
	11ac RTS OFF	11ac RTS ON	11ax RTS OFF
MCS5	31.35	133.21 (93.47, 22) (#)	129.60
MCS9	15.81	98.98 (63.41, 14) (#)	177.57

参照: doc.: IEEE 802.11-17/0076r1

11.2倍

11axの目標である、混雑した環境で4倍以上のスループット改善を達成

マルチリンク (Multi-Link; ML)



束ねたチャネル幅の分だけ高速化
周波数ダイバーシティで低遅延化

MLD: Multi-Link Device。一つのデバイス内に複数のAPを持つものがAP MLD、複数のSTAを持つものがSTA MLD

このコンセプトの登場で、11beでは
160+160MHzというチャネル拡張は不採用

単純に従来のマルチバンド対応デバイスで実現しようとする、

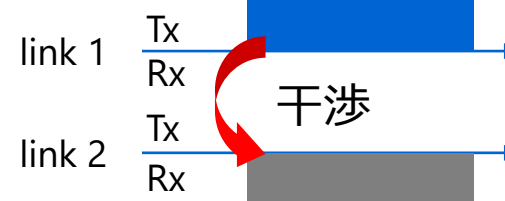
- 送信側では、
 - リンクごとにシーケンス番号の割り当てが独立なため、他のリンクですぐに再送を開始できない(シーケンス番号の割り当てをし直す必要がある)
 - 受信側から、他のリンクでの送達確認を取得できない、またできるようにしても自リンクのどのデータに該当するかすぐに判断するのが難しい
- 受信側では、
 - 異なるリンクから受信したデータを正しい順番で上位に渡せない

MLを導入する際の課題

- あるリンクで送信したフレームを他のリンクで再送できるようにするにはどうすればいいか？
- 実装上、リンク間で干渉が起きてしまう場合がある…

非AP、モバイルAPではこのような状況を許す

実装によって必要な離隔
周波数は一意ではない



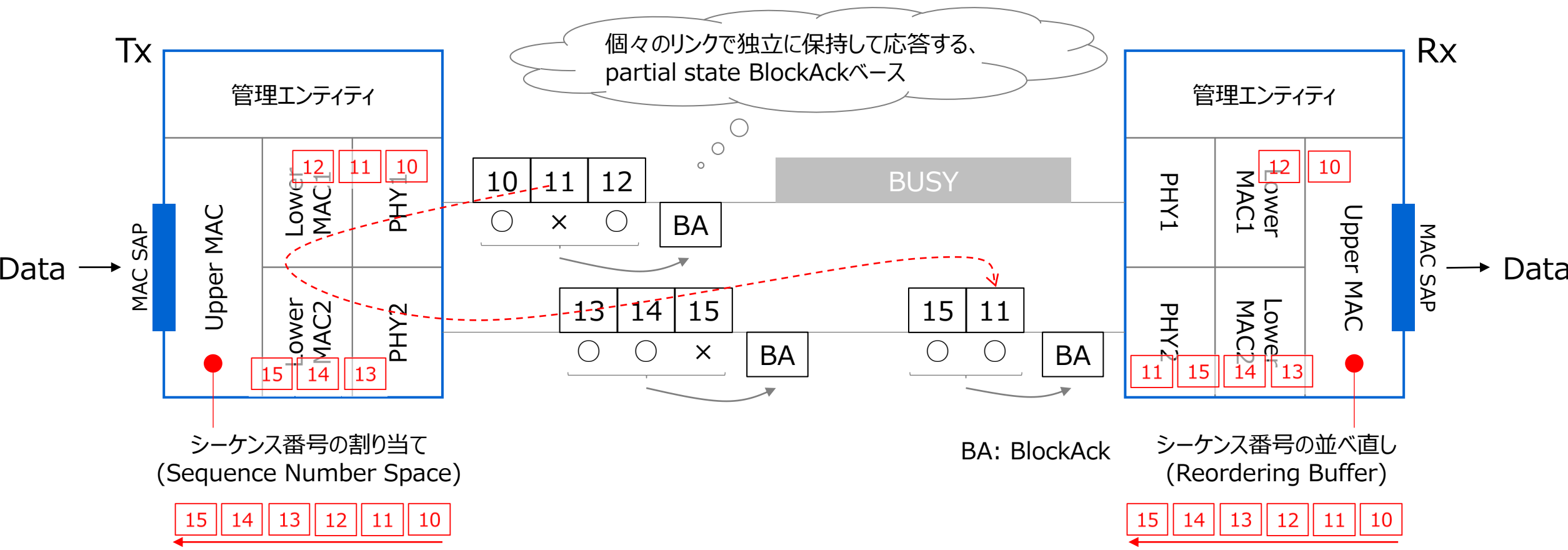
一方のリンクでの送信が他方のリンクに干渉となってしまう(自己干渉)
… NSTR link pair

NSTR: nonsimultaneous transmit and receive

一方のリンクで送信している際に、他方のリンクで他の端末からの送信があることを正しく認識できない ⇒ キャリアセンスがうまく機能しない

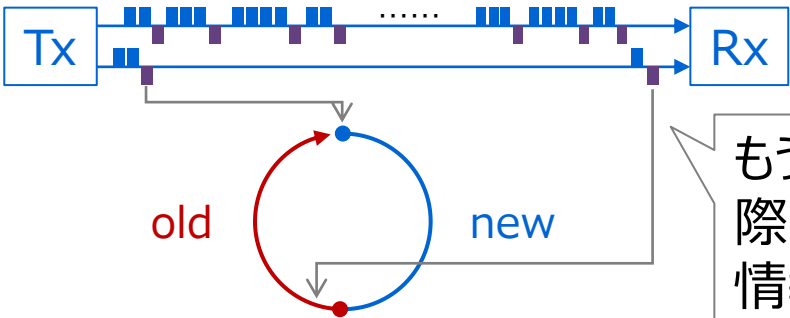
ML ～リンク間で自由に再送できるようにする仕組み～

2つのリンクを用いた伝送の例



少し脱線：MLに絡んで最近大議論の末、決着がついた問題

あるリンクでばかり送信して
シーケンス番号が進んでしまうと...



東芝指摘

シーケンス番号が 2^{11} 以上離れると、
古いと判定して記録を更新しない



進んでいる方のリンクで遅れている方のリンクに同期をかければいい

実装負荷が高い！



古くなることに備えて、毎回受信終わったら記録をリセットすればいい



通信続いているときに
性能が悪くなる！



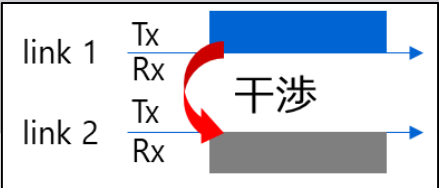
浮動票をいかに集められるかが
動議を通す鍵！



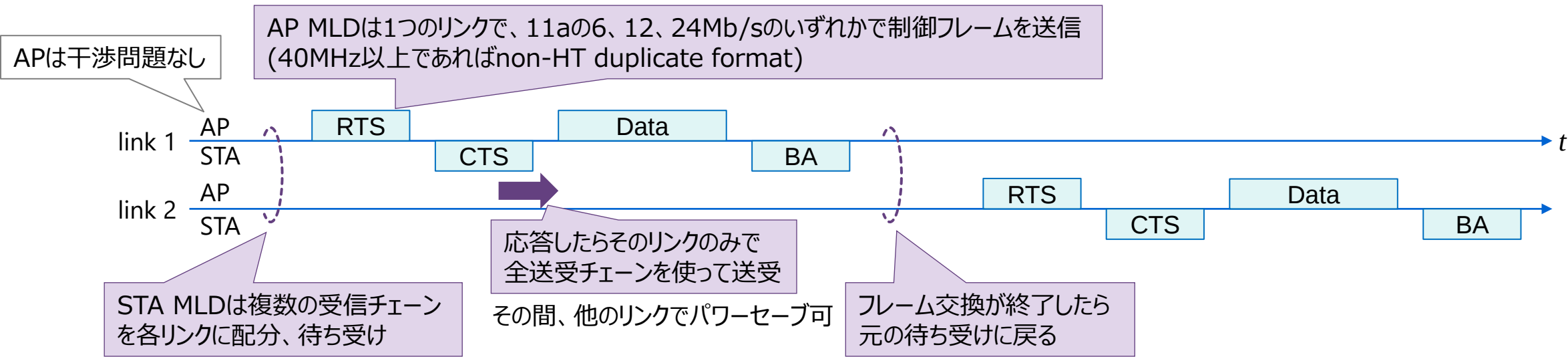
61:20:31で可決

リンク間で同期を取る。
あるいは同期が取れない場合は毎回受信終わったら記録をリセットすべき(should)。
新しいシーケンス番号のフレームを古いと勘違いしないようにタイムリーに記録を廃棄することを推奨する。

ML ～自己干渉への対策の一例～



干渉があるリンクのうちいずれか一つにフレーム交換を制限する
… EMLSR (Enhanced Multi-Link Single Radio)



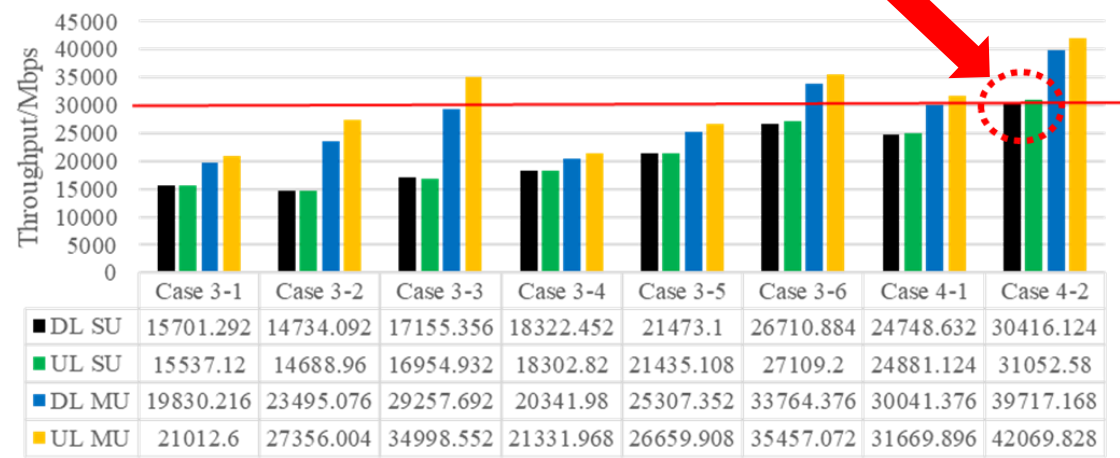
理想は独立に平行で送信できることだが、この方式はチャネル拡張よりは送信権を獲得しやすい

11beでの性能改善

- スループット改善

320MHz×2ML×4096-QAM×1024アグリゲーション

Simulation cases	Aggregation	Link #	Bandwidth (MHz)	QAM
Case 3-1	1024	1	320	4K
Case 3-2	256	2(320MHz for link 1 + 160MHz for link 2)	320	4K
Case 3-3		2(320MHz for link 1 + 320MHz for link 2)		
Case 3-4	1024	2(160MHz for link 1 + 160MHz for link 2)	160	4K
Case 3-5	1024	2(320MHz for link 1 + 160MHz for link 2)	320	1K
Case 3-6		2(320MHz for link 1 + 320MHz for link 2)		
Case 4-1	1024	2(320MHz for link 1 + 160MHz for link 2)	320	4K
Case 4-2		2(320MHz for link 1 + 320MHz for link 2)		

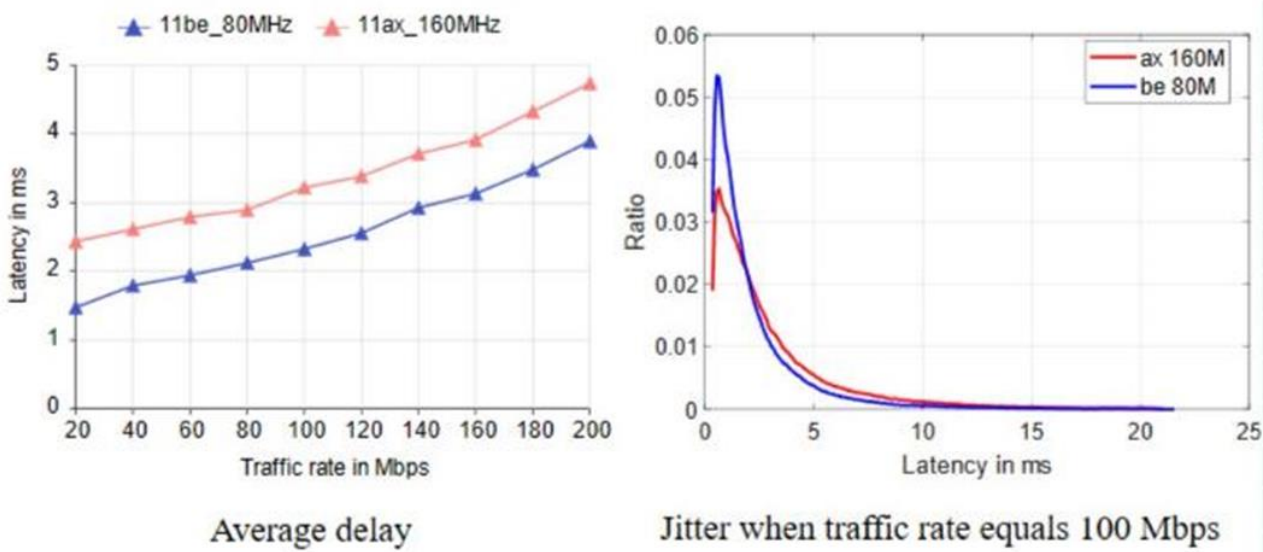


■DL SU ■UL SU ■DL MU ■UL MU

参照: doc.: IEEE 802.11-21/1900

- MLによる遅延・ジッタ改善

UL SU-MIMO、合計160MHzでの比較



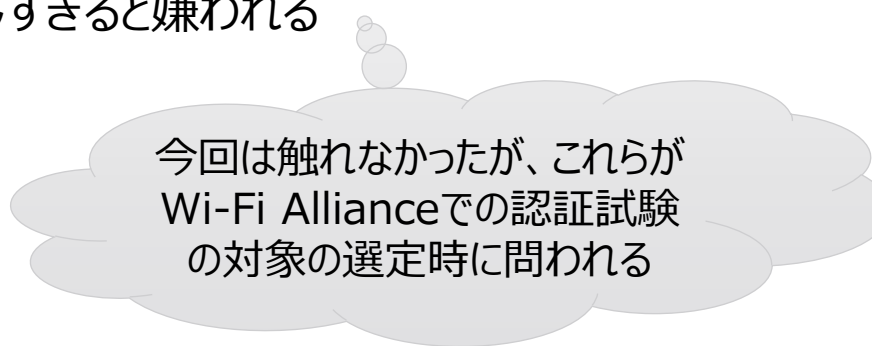
参照: doc.: IEEE 802.11-22/1348r3

SU: Single User ⇔ MU

11beの目標である、スループット30Gb/s、また遅延・ジッタ改善を達成

無線LANの標準化

- 必ずしも優れた技術が採用されるわけではない
 - 従来機能との関係やタイミング的な問題(主要チップベンダに対応の素地があるか)、… etc.
- 標準化≠製品化
 - 機能がパッケージで訴求できるか
 - 逆に訴求できる機能はオプションでも実質必須 – 11aの54Mbps然り、11nの40MHzや11acの160MHz然り
 - 実装アルゴリズムの絶妙な塩梅
 - 独自アルゴリズムの入る余地が好まれる一方、性能がアルゴリズムに依存しすぎると嫌われる
- 標準化された機能も安泰ではない
 - 搭載ない、もしくは普及が芳しくなかった機能は淘汰される
- 将来の拡張性まで見込んだ機能が理想的
 - 先を見通せるか



今回は触れなかったが、これらが
Wi-Fi Allianceでの認証試験
の対象の選定時に問われる

ご参考

- IEEE 802.11 Working Group:
<https://www.ieee802.org/11/>
- IEEE 802.11 documents:
https://mentor.ieee.org/802.11/documents?x_group=000n&x_options=0
- Get 802:
<http://standards.ieee.org/getieee802/>