

5G/IoT時代のNW技術動向セミナー
「アクセス網と光ファイバ/通信設備の最新標準化動向」

5G/IoTを実現する光アクセス技術の標準化動向

三菱電機株式会社
情報技術総合研究所

吉間 聡

2018.5.18

1. 光/無線アクセスサービスの動向

2. 光アクセスシステム標準化動向

- NG-PON2システム
- 100G-EPONシステム

3. 無線基地局の光収容技術

- 機能分割

4. 今後の課題

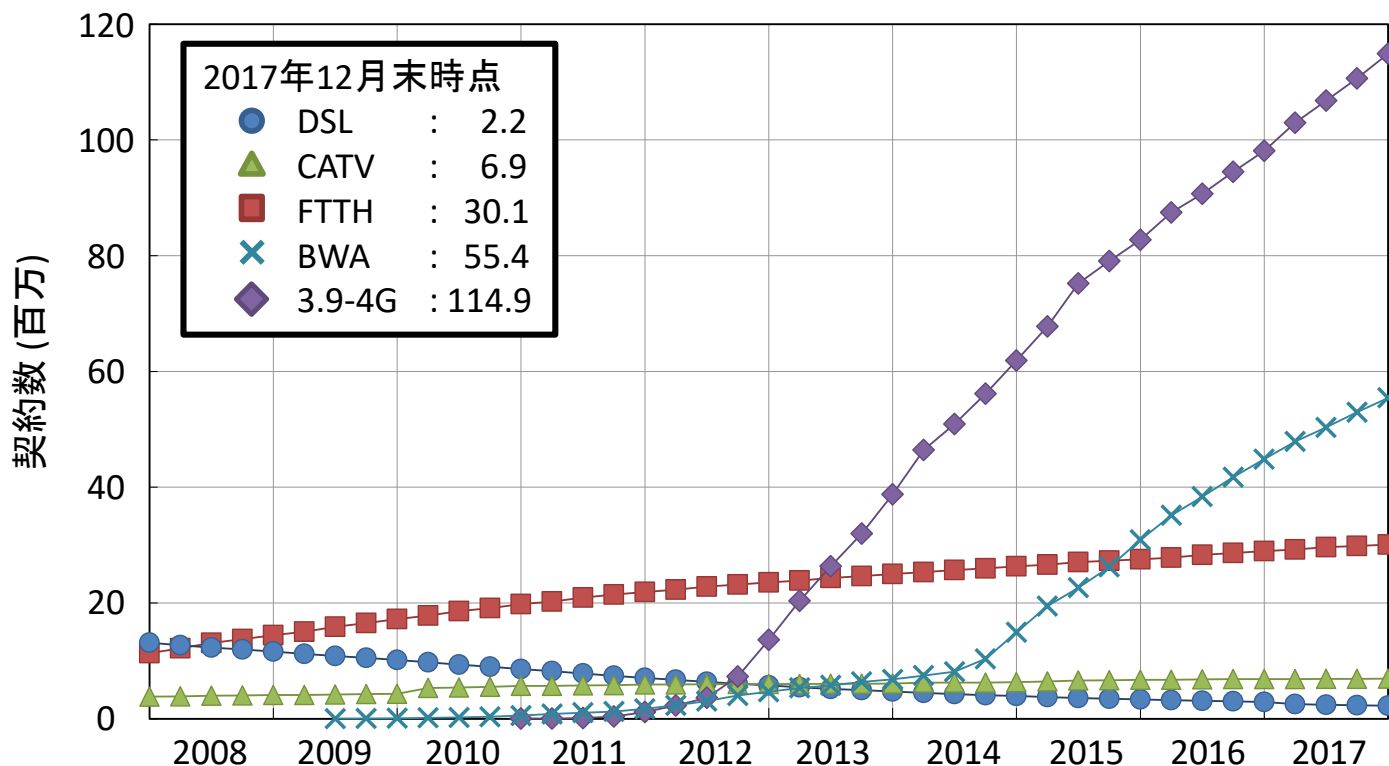
- 物理層
- 光無線協調DBA

5. まとめ

光/無線アクセスサービスの動向

ブロードバンドサービス加入者数

- 国内のFTTH契約者数は、3千万加入を突破(2017年12月)。
固定系ブロードバンドサービス契約者数の77%を占め、サービスの主流に。
- 一方、移動系ブロードバンドサービスの伸びが顕著。4Gの契約者数は1億加入を超えて固定系を大きく上回る。
- FTTH／モバイル基地局収容を含めた次世代光アクセスシステムが必要。

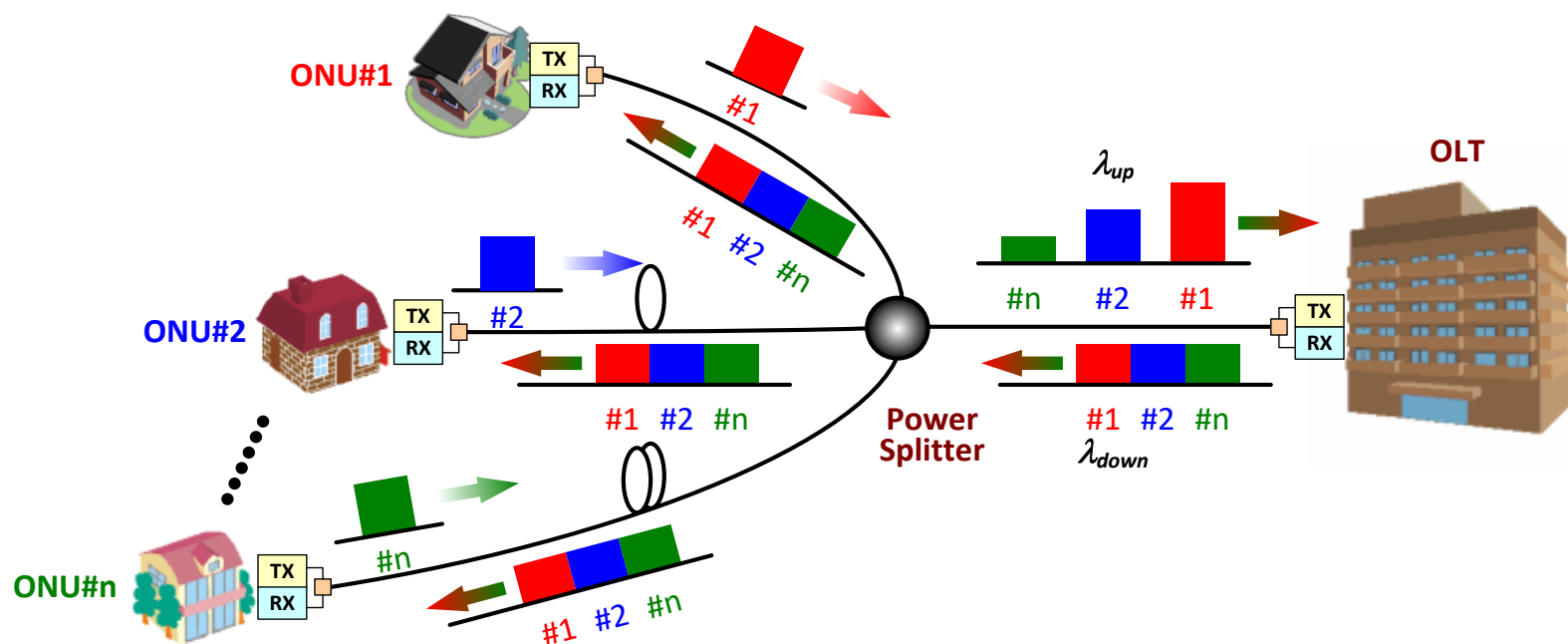


出典：総務省「ブロードバンドサービス等の契約数の推移【平成29年12月末現在】」

DSL: Digital Subscriber Line, CATV: Cable Television, FTTH: Fiber-To-The-Home, BWA: Broadband Wireless Access

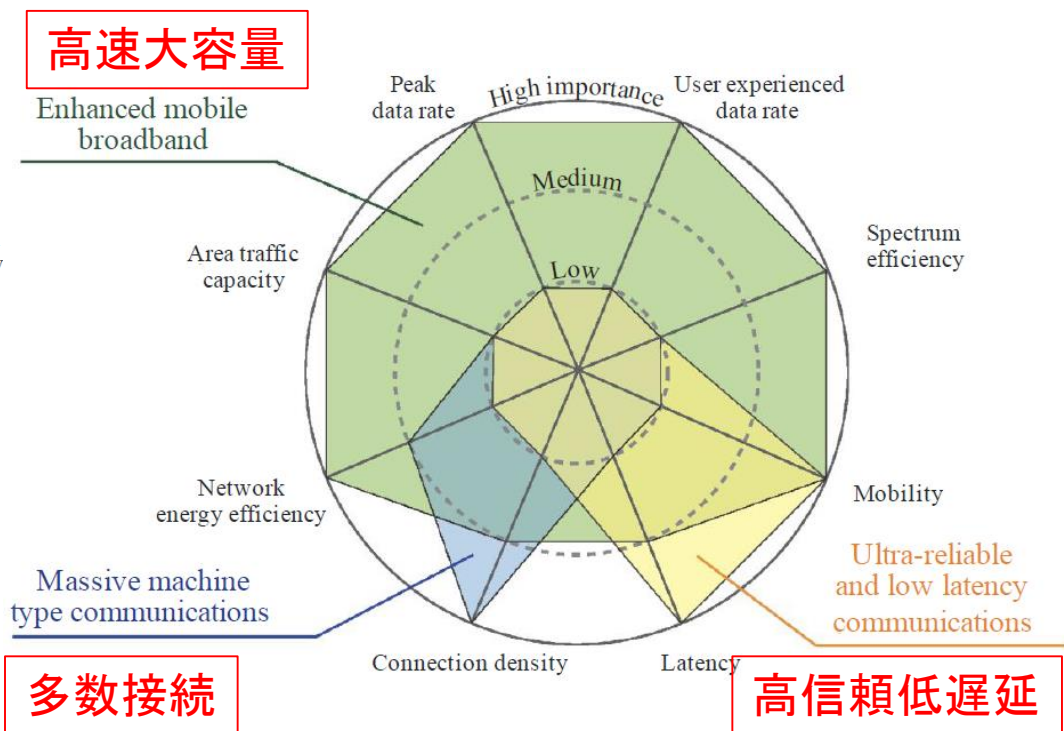
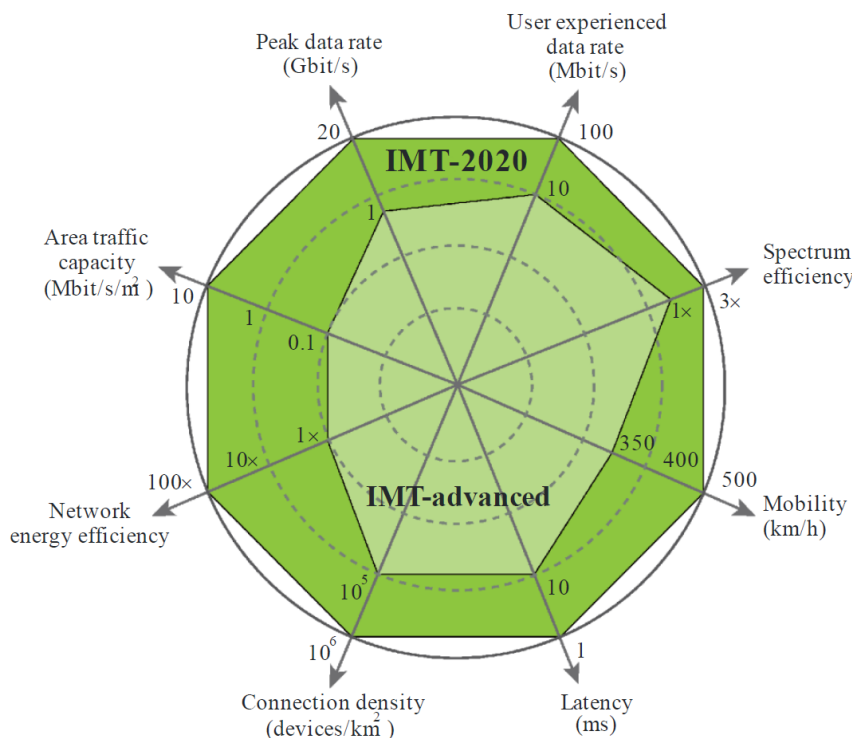
光アクセスシステム：PON構成

- 複数の子局装置 (ONU) を1台の親局装置 (OLT) で共有する1対多通信。
-> ファイバおよびOLTを共有することでコスト低減可能.
- パワースプリッタを用いた時分割多元接続 (TDMA) と、動的帯域割当 (DBA) により需要動向に応じたきめ細やかな上り通信帯域割当が可能.
- 国内FTTHサービス全体の6~7割がPON方式を採用.



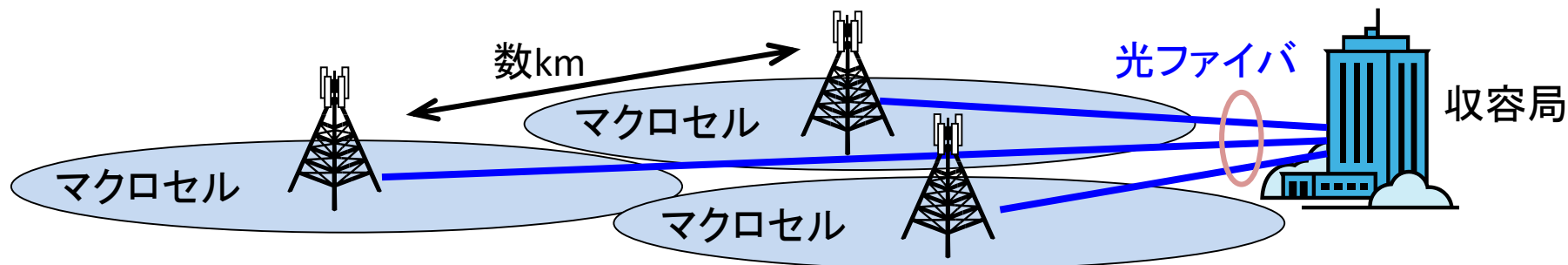
無線アクセスの発展

- 2020年代での導入をめざし、現行4Gの次世代無線アクセスシステムである5Gの標準化および研究開発が進展中。
- 5Gではアプリケーションに応じて「高速大容量」「高信頼低遅延」「多数接続」の3つが想定されており、特に「高速大容量」向けに光アクセスシステムが求められている。

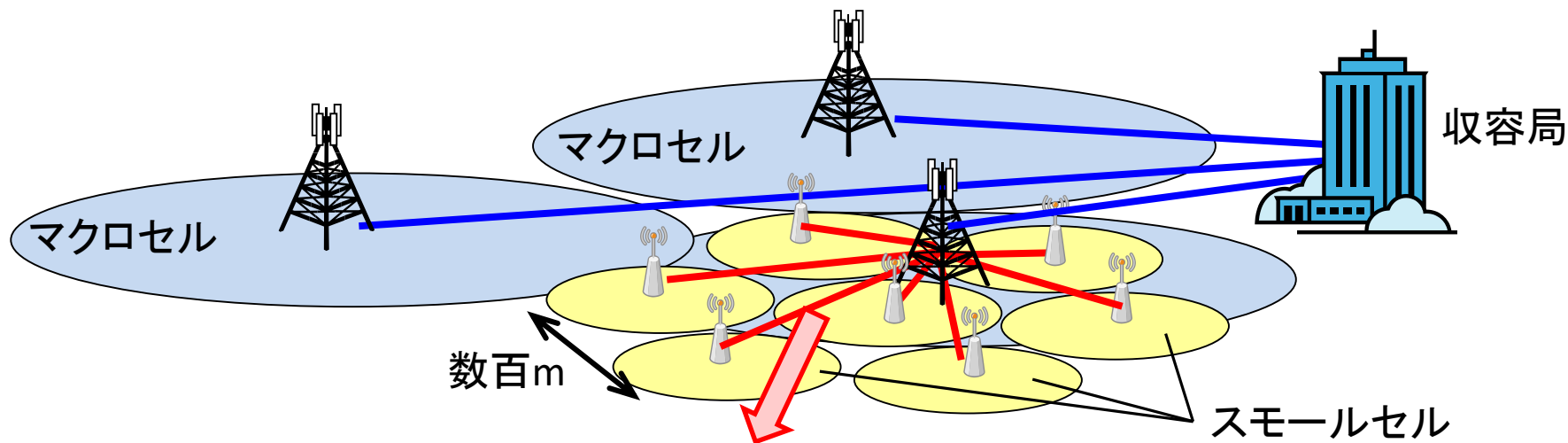


無線基地局の光收容

■ マクロセルによるエリア構成



■ スモールセルを適用したエリア構成

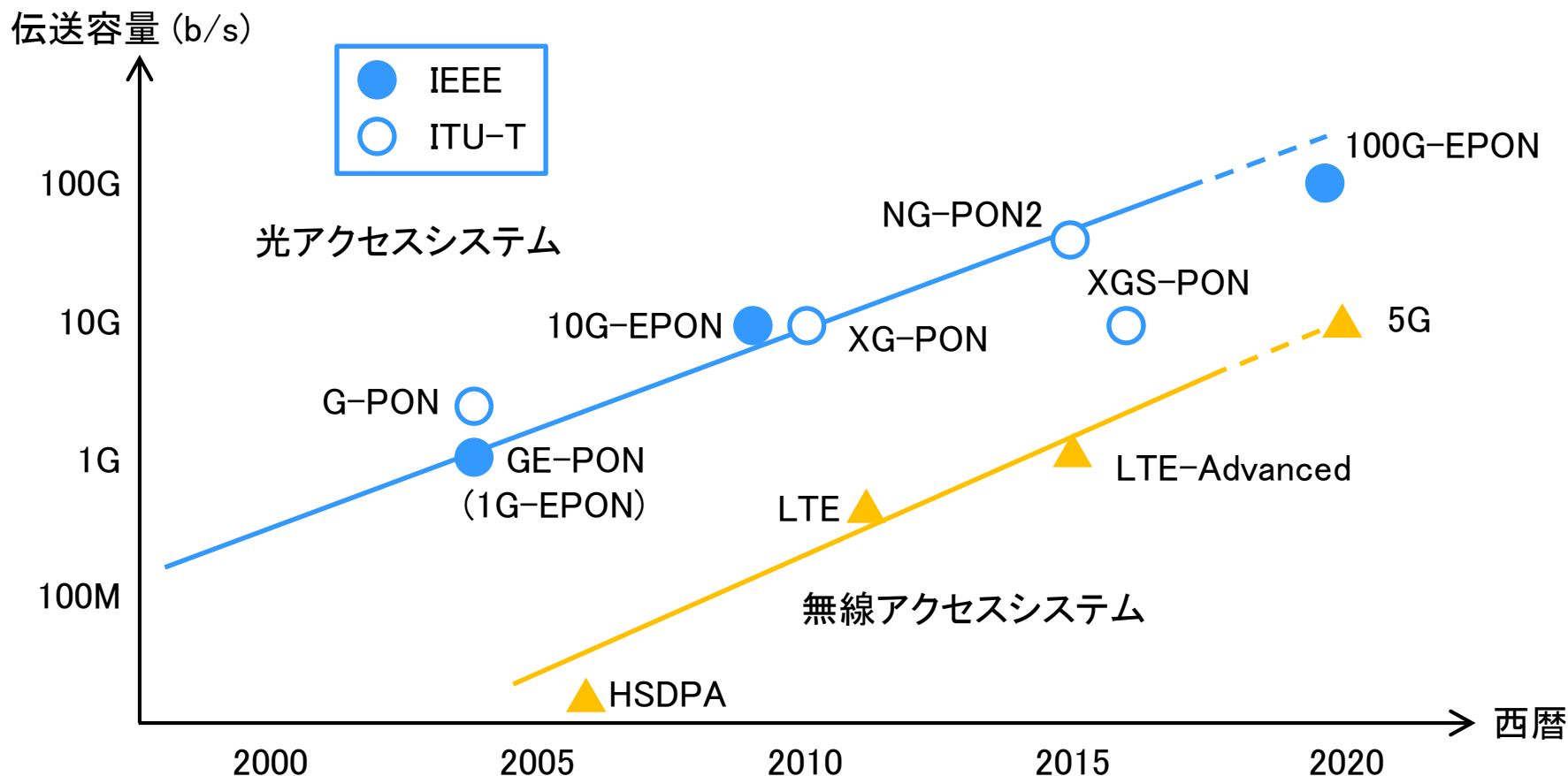


PON構成を適用することで経済的に
スモールセルを收容可能

光アクセスシステム標準化動向

光/無線アクセスシステムの伝送容量

- 光，無線両アクセスシステムは，伝送容量の増加が図られている。
- 光アクセスシステムの用途はブロードバンドサービスから無線基地局収容などに変化



G-PON: Gigabit-capable PON, 1G-EPON: 1 Gigabit Ethernet PON, 10G-EPON 10 Gigabit Ethernet PON, XG-PON: 10 Gigabit-capable PON, XGS-PON: 10 Gigabit-capable Symmetric PON, HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access, LTE: Long Term Evolution

光アクセスシステムの標準化

- ITU-TではSG15 Q2, IEEEでは802.3にて議論
- 40G実用に向けた低コスト化検討, 100Gクラスの標準化が進んでいる段階

	名称	団体	規格	伝送速度	標準化時期
1G	GE-PON	IEEE	802.3ah	上り: 1.25Gbps 下り: 1.25Gbps	2004年
	G-PON	ITU-T	G.984シリーズ	下り: 2.5Gbps 上り: 1.25Gbps	2004年
10G	10G-EPON	IEEE	802.3av	下り: 10Gbps 上り: 1Gbps/10Gbps	2009年
	XG-PON	ITU-T	G.987シリーズ	下り: 10Gbps 上り: 2.5Gbps	2010年
	XGS-PON	ITU-T	G.9807シリーズ	下り: 10Gbps 上り: 10Gbps	2016年
40G	NG-PON2	ITU-T	G.989シリーズ	下り: 40Gbps (2.5Gbps/10Gbps x 4λ) 上り: 40Gbps (2.5Gbps/10Gbps x 4λ)	2015年
100G	100G-EPON	IEEE	802.3ca	下り: 25Gbps x 2λ 上り: 25Gbps x 2λ	2020年予定

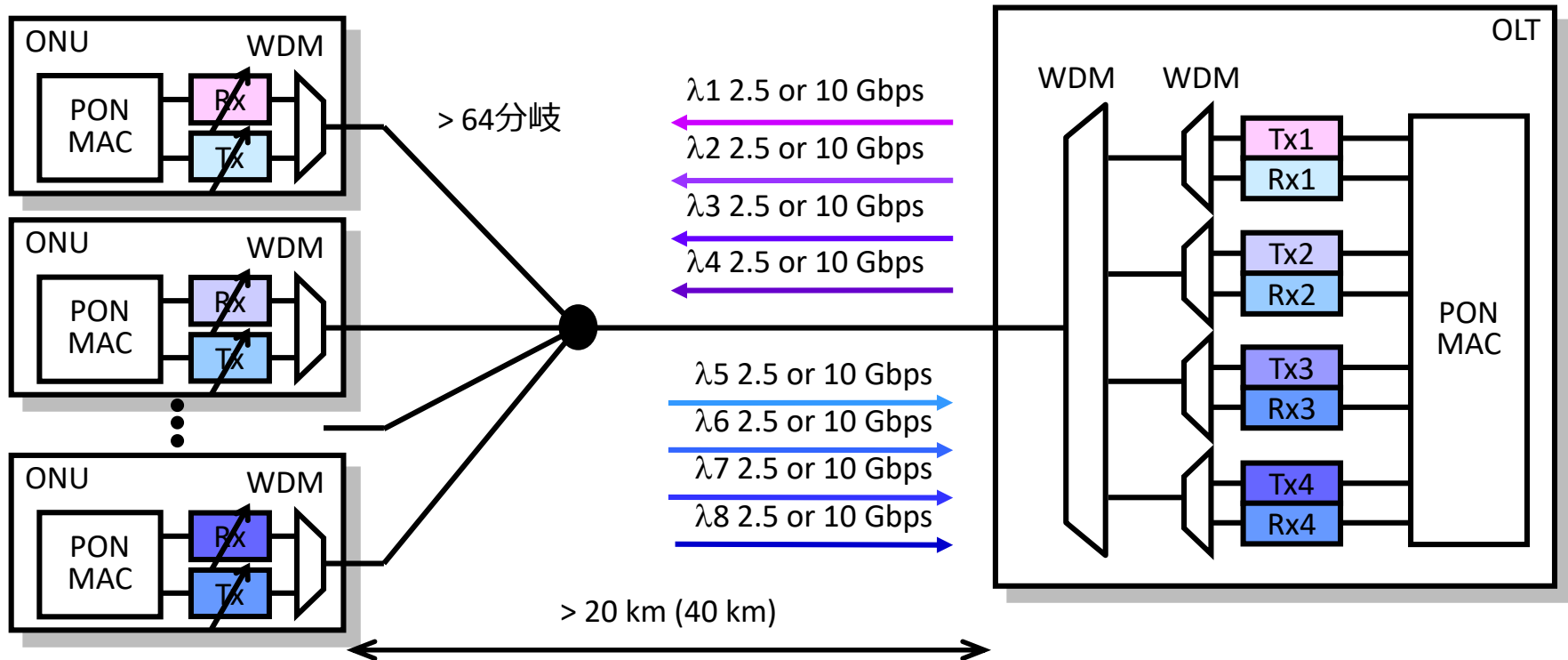
ITU-T SG15: Networks, Technologies and Infrastructures for Transport, Access and Home
 Q2: Optical systems for fibre access networks
 IEEE 802.3 : Ethernet(Formerly:Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)

光アクセス(PON)システム標準化の特徴

- 低コスト化への高い要求.
 - ・ 光/電気素子(LD/PD, 変調器, 光アンプ, 高周波デバイス)
 - ・ 伝送方式(変調方式, 多重方式, 信号処理)
 - ・ 消費電力
 - ・ 実装方式(素子, モジュール, 基板, 装置)
- 広く普及している1Gbps級システム(GE-PON／G-PON)との共存.
 - ・ ロスバジェット(～30dB)
 - ・ 波長配置(波長多重／時間多重)
 - ・ バーストモード伝送(デュアルレート)
- ITU-TとIEEEの並立.
 - ・ 歴史的な背景もあり, 同一の伝送速度／伝送距離にも関わらず標準化が並立している.
 - ・ 10Gbps級システムでは波長配置など物理層での互換性をなるべく取る方向で標準化済. ただし, MAC層以上のシステムレベルではフレーム構成が異なるなど互換性なし.
 - ・ 1波長あたり25Gbps以上のシステムでも, 物理層は共通化される見込み. ただし, MAC層以上での共通化はハードルが高く, 今後の課題.

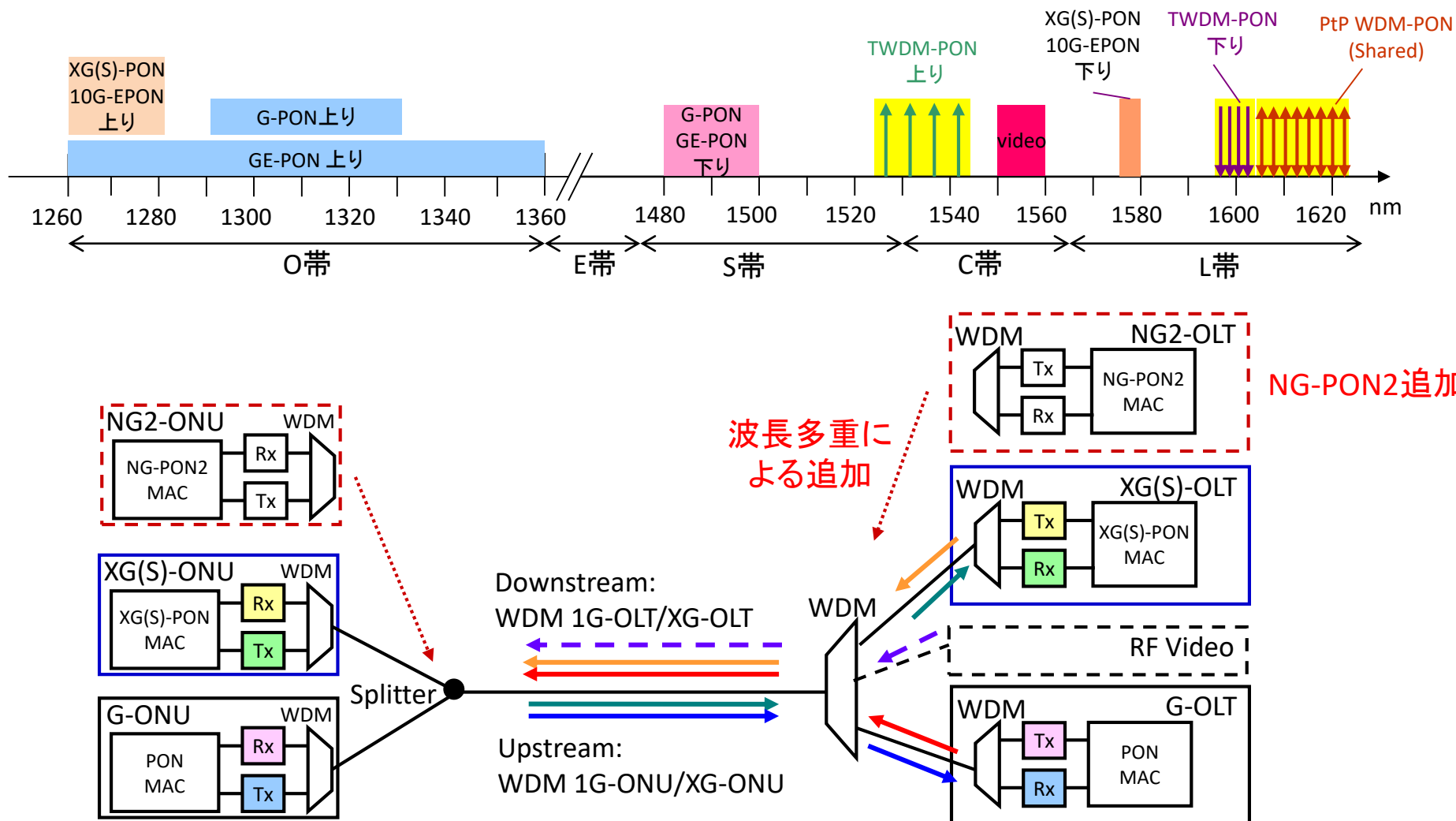
NG-PON2システム

- 10GクラスのPONを波長多重することにより、40GクラスのPONシステムを実現。
- 既存システムとの波長多重による共存が可能な波長配置を採用。
- 柔軟な帯域制御を可能とするため、ONUをカラーレス化(すべての波長に対応する)。
- 導入に向けた最大の課題は、安価な波長可変光送受信器の実現。



NG-PON2マイグレーション方法

- 既存システムが未使用の波長配置とし、IEEE/ITU-T規格全てのPONシステムと共存が可能
- サービスの統合運用に向けて、事業者ごとにマイグレーションプランを検討



NG-PON2パワーバジェット

TWDM-PON (下り10Gbps/上り2.5Gbps)

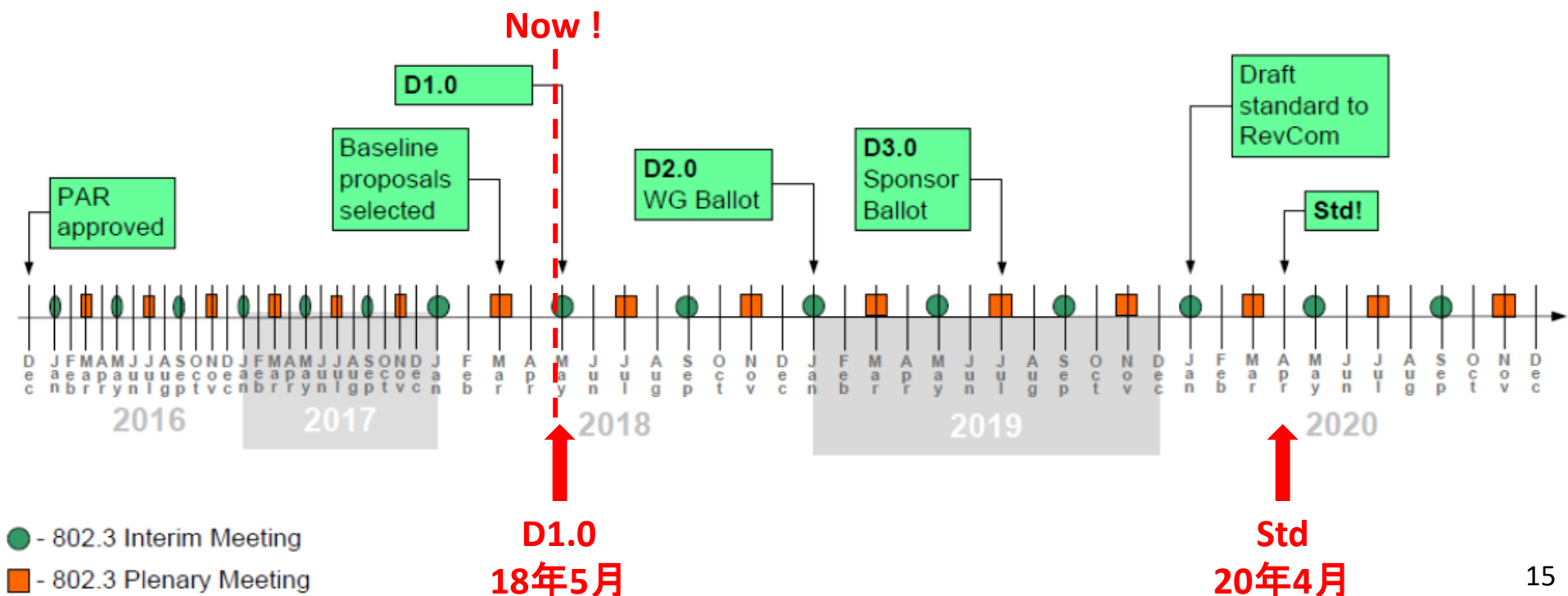
Parameter	Downstream 10G				Upstream 2.5G			
	N1	N2	E1	E2	N1	N2	E1	E2
Channel Loss (dB)	14-29	16-31	18-33	20-35	14-29	16-31	18-33	20-35
Wavelength (nm)	1596-1603				1524-1544 (wideband option) 1528-1540 (reduced band option) 1532-1540 (narrowband option)			
Channel spacing (GHz)	100				50, 100, 200			
Tx max (dBm)	+7	+9	+11	+11	+9 (#A: w/o optical pre-amplifier) +5 (#B: w/ optical pre-amplifier)			
Tx min (dBm)	+3	+5	+7	+9	+4 (#A) 0 (#B)			
Sensitivity (dBm)	-28	-28	-28	-28	-26 (#A) -30 (#B)	-28 (#A) -32 (#B)	-30.5 (#A) -34.5 (#B)	-32.5 (#A) -36.5 (#B)
Overload (dBm)	-7	-7	-7	-9	-5 (#A) -9 (#B)	-7 (#A) -11 (#B)	-9 (#A) -13 (#B)	-11 (#A) -15 (#B)
Penalty (dB)	2	2	2	2	1.0	1.0	1.5	1.5

40km伝送時のペナルティ

4波長 x 20km伝送時の受信感度およびペナルティ

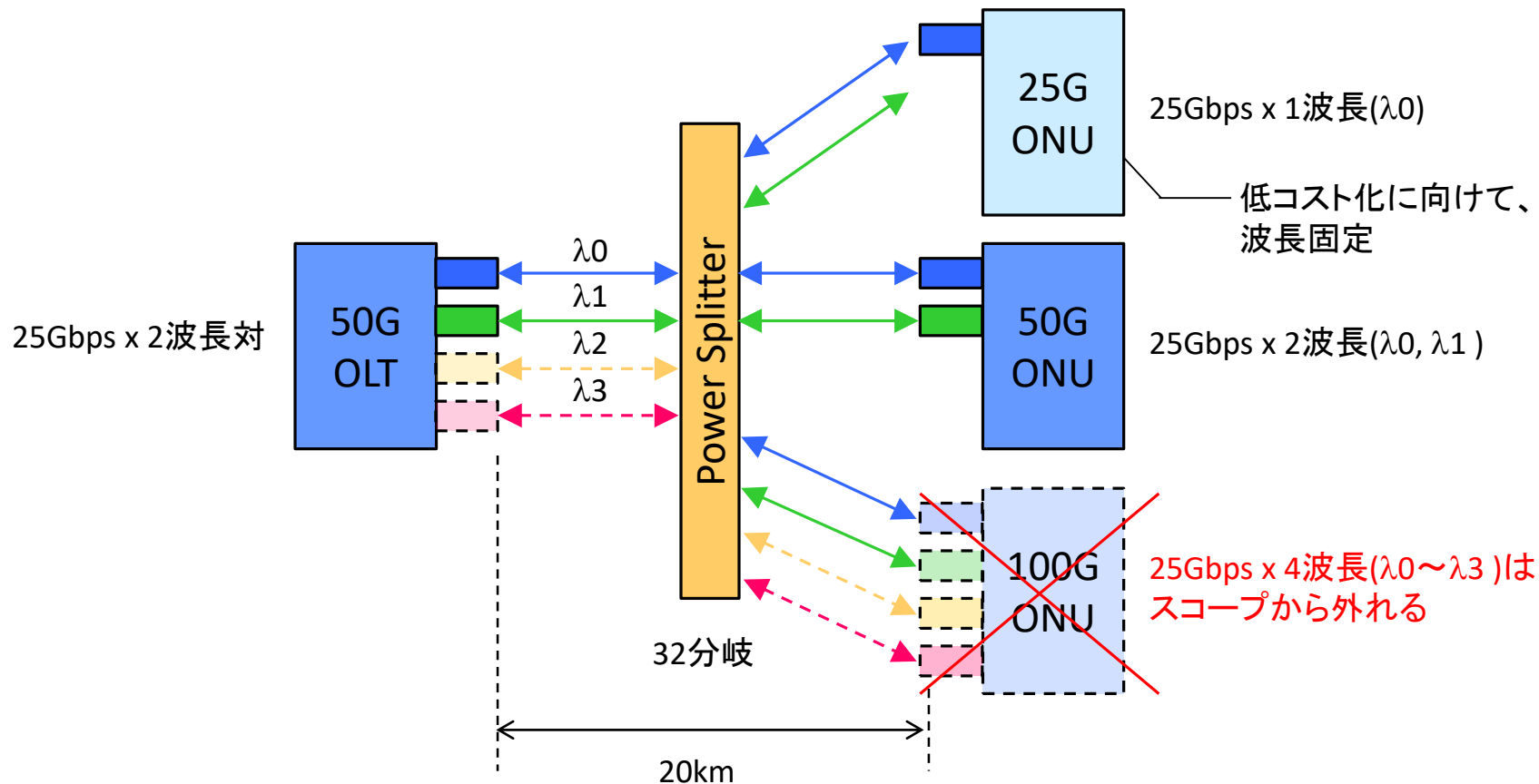
100G-EPON(IEEE 802.3ca)の概要

- EthernetベースのTWDM光アクセスシステムとして、2015年12月にIEEE 802.3ca 100G-EPON Task Forceが発足。2020年をターゲットに標準化が行われている。
- 100G-EPONのScope
 - ー25Gbps, 50Gbps Ethernet PON (100Gbpsがスコープから外れる)
 - ー25G/≦25G, 50G/≦50G,(下り/上り)の対称・非対称をサポート
 - ーG-PON/対称10G-EPON/XG(S)-PONとの共存をサポート
- この5月にDraft 1.0が発行される予定。



100G-EPON(IEEE 802.3ca)の審議状況

- 最初に市場投入されると予想される, 25G-EPONの安価な実現をめざし, 物理仕様の議論を中心に進められている.
- NG-PON2とは異なり, コストアップの大きな要因となるONUの波長可変はサポート外.
- これまでに波長配置／パワーバジェットについては大筋合意.

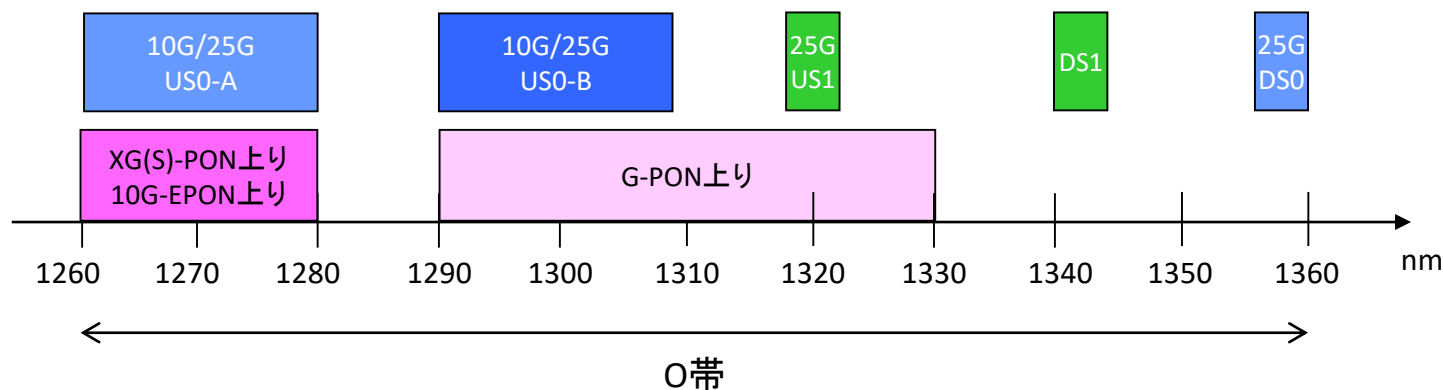


100G-EPON波長配置

- 上り下り波長帯共に波長分散の影響を考慮してO帯に配置.
- 下り波長帯域
 - DS0 1358±2nm
 - DS1 1342±2nm
- 上り波長帯域
 - US0-A 1270±10nm (G-PON上りと波長多重可能)
 - US0-B 1290±10nm (XG(S)-PON/10G-EPON上りと波長多重可能)
 - US1 1320±2nm

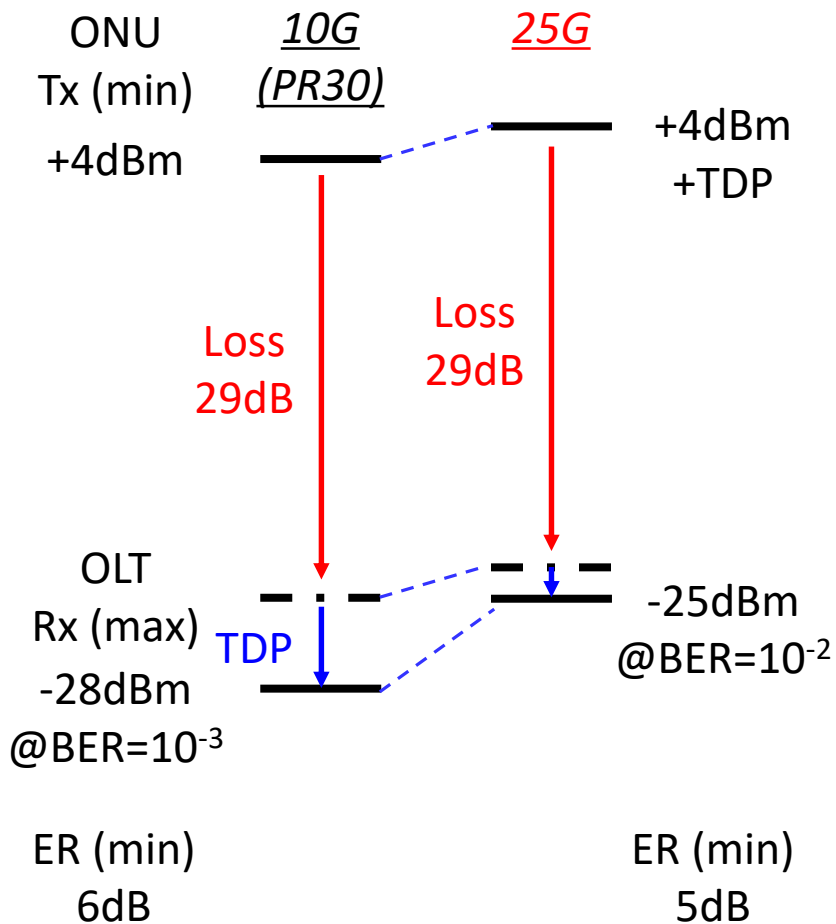
【新規】25G/50G

【既存】1G/10G

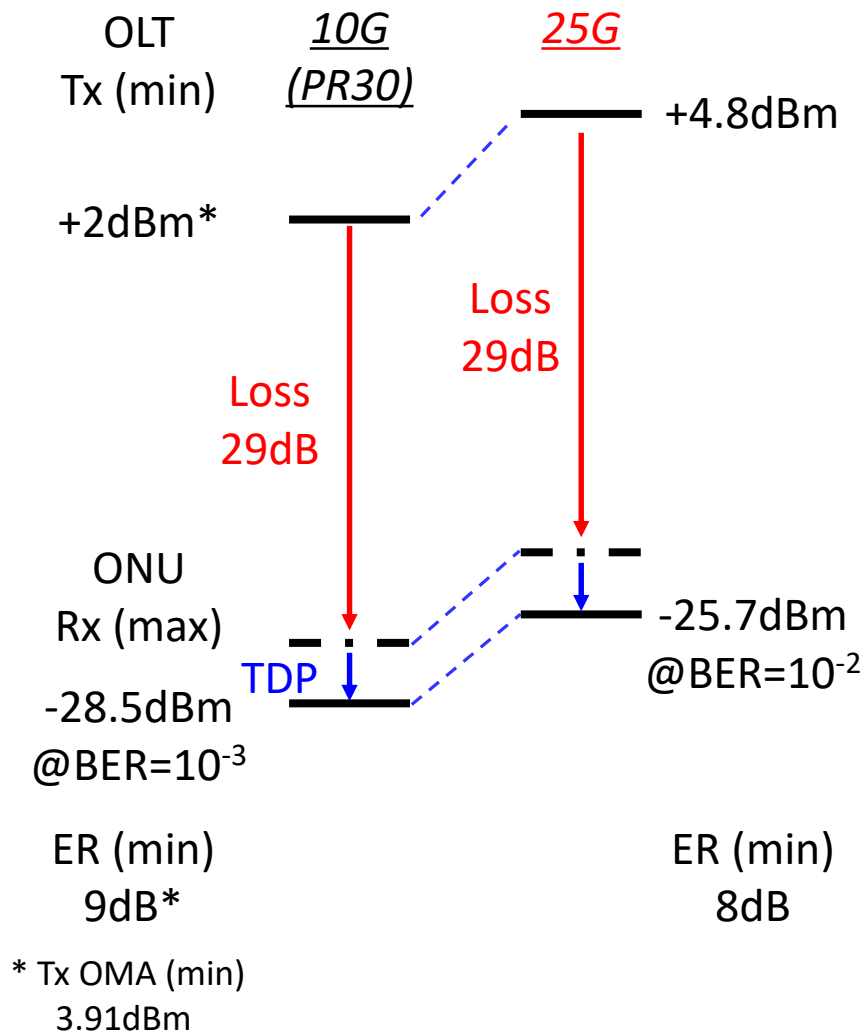


100G-EPONパワーバジェット

上り



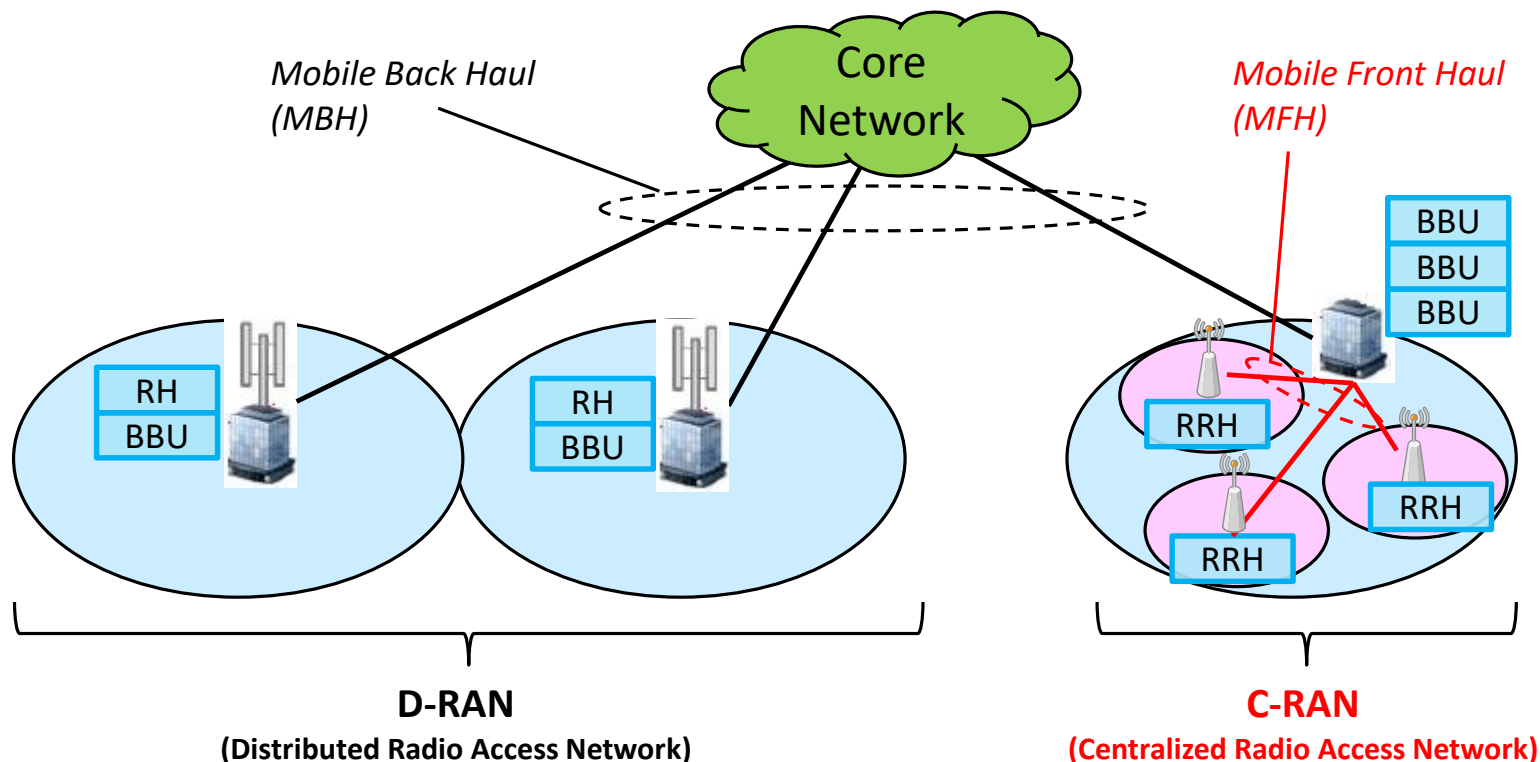
下り



無線基地局の光収容技術

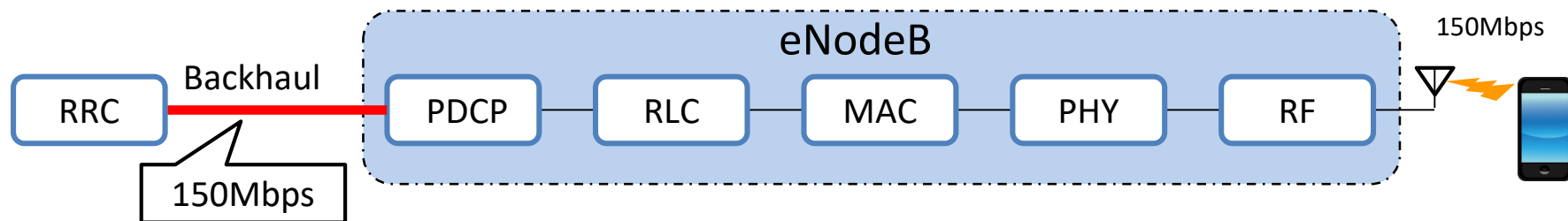
携帯基地局の光収容

- 4G以降では、トラフィックの増加に対応するため多数のアンテナを設置する。
- 基地局はBBU(Baseband Unit)機能とRRH(Remote Radio Head)機能に分割。
- モバイルフロントホール(MFH)はBBUとRRHの間を接続する有線NW.

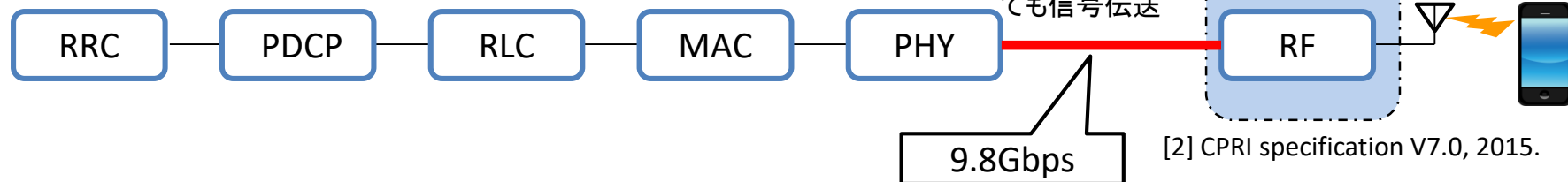


無線基地局の光収容における機能分割

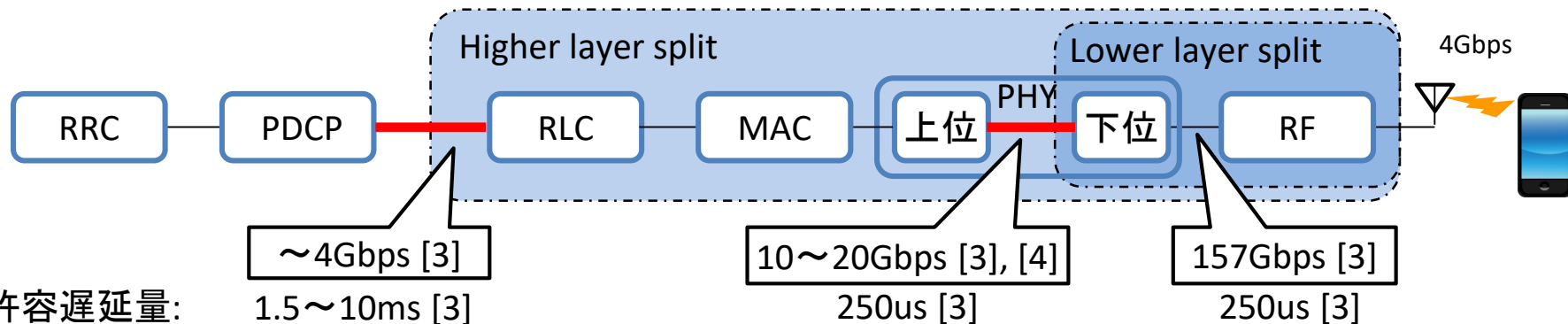
(a) 3G(D-RAN)における機能分割



(b) 4G(C-RAN)における機能分割 [2]



(c) 5Gにおける新たな機能分割の例 [3],[4]



許容遅延量:
(片方向)

1.5~10ms [3]

250us [3]

250us [3]

[3] 3GPP TR 38.801 V14.0.0, Mar. 2017.

[4] eCPRI specification, V1.1, 2018.

無線基地局収容の実現方法

- 要求に応じたネットワーク構成を選択していく必要あり。

No.	ネットワークポロジ	利点	欠点	備考
1	P2P (単一波長)	・単純構成 ・低遅延	・拡張性に難あり (ダークファイバ)	・現時点で主流
2	P2P (WDM)	・必要ファイバ数を抑制可能 ・低遅延	・伝送路の高信頼化要 ・光トランシーバのカラーレス化	
3	Ring／Chain	・ファイバを共有 ・高信頼	・高コスト	・メトロで主流
4	PON	・最も経済的な光ネットワーク構成	・遅延大 (TDM-PON)	・光アクセスで主流
5	マイクロ波／ミリ波	・光ファイバ不要 ・低コスト	・伝送容量小	

今後の課題

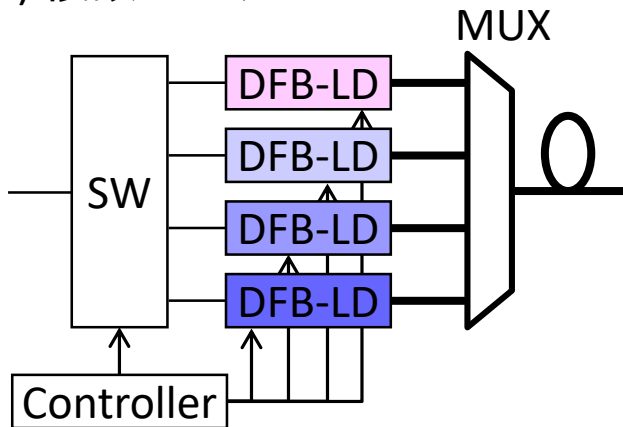
【NG-PON2】波長切替機能

■ NG-PON2では、高速かつ安価な波長切替方式の確立が課題.

波長切替速度(NG-PON2)

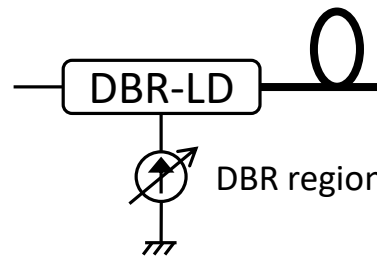
Class	Tuning time
Class 1	< 10 μ s
Class 2	10 μ s to 25ms
Class 3	25ms to 1s

(a) 複数LD並列化



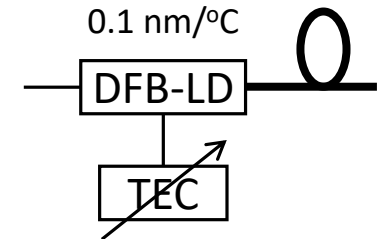
- ・高速/広範囲波長切替可
- ・比較的高価

(b) 電流制御型DBR-LD



- ・高速波長切替可
- ・モードホップの可能性

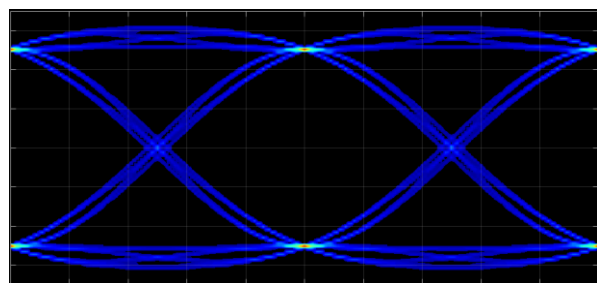
(c) 温度制御型DFB-LD



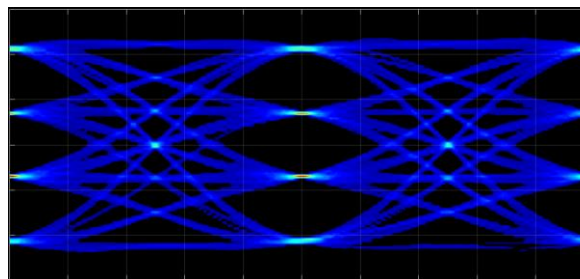
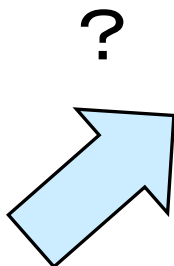
- ・比較的安価
- ・波長切替速度は低速

【Higher Speed PON】多値変調方式

- 1波長あたり25Gbpsより高速な伝送速度を実現する多値変調方式の確立が課題。

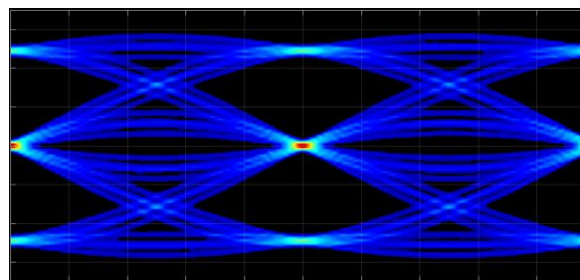
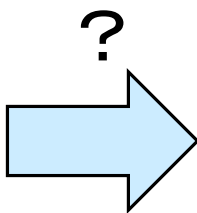


NRZ



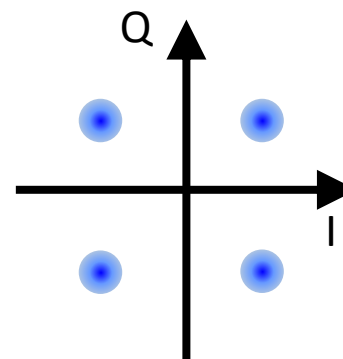
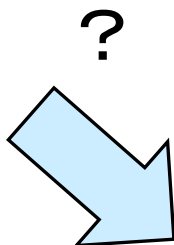
PAM4

- ・400GbEで採用
- ・バジェット確保が課題



DuoBinary

- ・光/電気デバイスの帯域は約半分が良い
- ・広く普及していない
- ・3値信号処理が必要

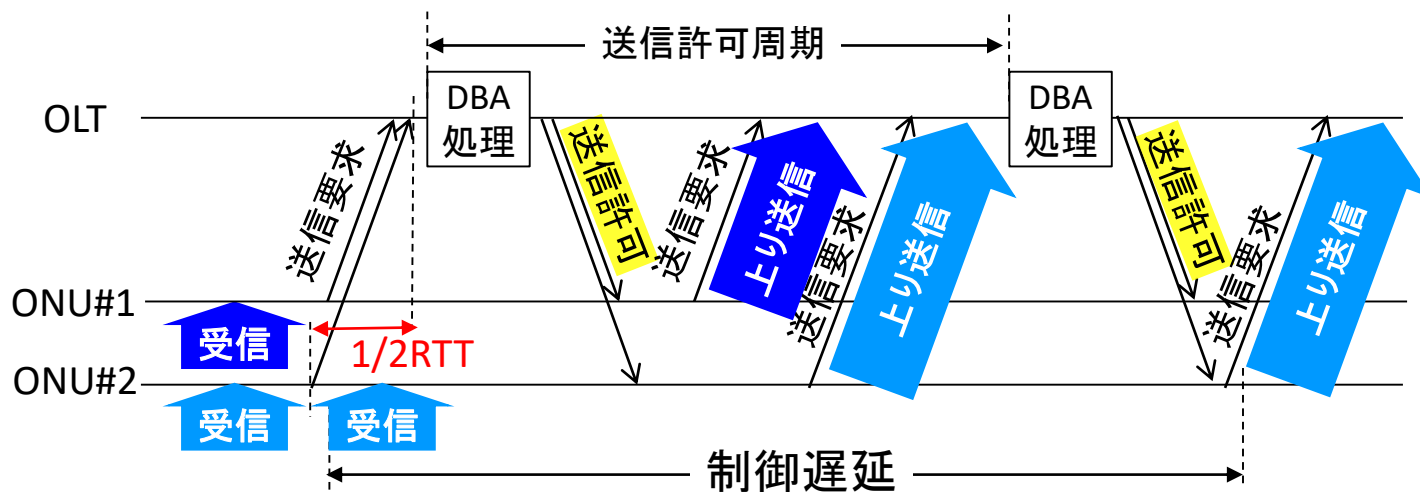


Digital Coherent

- ・位相情報を使えるため高多値化が可能
- ・光/電気デバイス, DSP いずれも高コスト

【無線基地局収容】光無線協調DBA

- 一般的に用いられるTDM-PON方式では、上りの遅延が大きくなる傾向があり、その短縮化が課題。（下りはフレーム多重・分離に対し、上りは光信号多重・分離）
- FTTx用のPONシステムで用いられるStatus Report-DBA方式では、各ONUからの送信要求に基づいて上り送信時間を割り当てるため、往復伝搬遅延(RTT)に比例した制御遅延が生じる。場合によっては1,000usecに及ぶケースも。
- 無線の帯域要求／許容遅延に基づいた光無線協調DBAが求められる。



まとめ

- 光アクセスシステムは、40G/100GクラスのNG-PON2および100G-EPONの標準化が進んでおり、トラヒックの伸びが著しい無線基地局の収容システムなど従来までのFTTHに留まらない広範囲な適用が期待される。
- NG-PON2では、商用導入に向けて低コスト化や仕様拡張が求められている状況。100G-EPONでは2020年での完了を目指し、物理層を中心に標準化が進展中。
- 5G時代を見据えた無線基地局への光収容にPONシステムを適用していくには、伝送速度や遅延量の要求を考慮した機能拡張が必要。