

TR-1079

第5世代移動体通信システムの フロントホールにおける光アクセス に関する技術報告書

Technical report of optical access technologies
applying 5G mobile fronthaul

第 1.0 版

2019 年 5 月 30 日

一般社団法人
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE

本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

目次

<参考>	5
I. 本報告書の目的	6
II. PONに関する5G無線フロントホール要件 (ITU-T G.Supple.66)	7
1. 適用範囲	7
2. 参考文献	7
3. 定義	8
3.1 その他での用語定義	8
3.2 この補足文書での用語定義	8
4. 用語	8
5. 慣例	8
6. 5G無線フロントホールアーキテクチャの概観	8
6.1 4Gから5Gへの無線トランスポートアーキテクチャの進化	8
6.2 機能分割構成機能分割アーキテクチャ	9
6.3 展開シナリオ	12
7. 5Gフロントホール伝送における要求条件	13
7.1 RANおよびサービスレベルの背景	13
7.2 伝送帯域要求条件	14
7.3 遅延要求条件	15
7.4 同期要求条件	16
7.5 OAM機能	17
8. 5GフロントホールトランスポートのためのPONアーキテクチャ	18
9. 現実的なPONシステムソリューション	19
9.1 WDMオーバーレイした従来のPON	20
9.2 無線サービスに特化したPON	21
9.3 PONシステム実装例	22
10. PON物理レイヤ要求事項	27
10.1 容量	27
10.2 ファイバ長および分岐比	30
10.3 光スペクトラム	30
11. PONシステム要求事項	30
11.1 無線ネットワークにおける要求事項	30
11.2 PON - 無線インタフェースの連携に関する要求事項	31
11.3 無線ネットワークから見えないPON内部の要求事項	31
III. アクセス網への仮想化技術の適用	32
1. ITU-Tにおける動向	32
2. BBFにおける動向	32
2.1 BBFでのアクセスネットワークの仮想化技術の検討について	32
2.2 CloudCOプロジェクトについて	32
2.3 OB-BAAプロジェクトについて	34
2.4 PON Abstraction Interface for Time-Critical Applications プロジェクトについて	36
3. ONFにおける動向	36
IV. 新たな伝送方式	39

<参考>

1. 国際勧告等との関連

本レポートに関連する国際勧告は本文中に記載している。

2. 改版の履歴

版数	発行日	改版内容
第1版	2019年5月30日	初版発行

3. 参考文献

[1] SR-0073 TTC 調査報告書 “次世代移動体網のフロントホール/バックホールにおけるアクセス網の課題に関する調査報告書”, 2017年3月31日, 1.0版

[2] ITU-T G.Supple.66 (10/2018), 5G wireless fronthaul requirements in a passive optical network context

各章の参考文献は章毎に記載している。

4. 標準作成部門

アクセス網専門委員会

I. 本報告書の目的

本報告書は、TTC アクセス網専門委員会 次世代光アクセス網 SWG の活動の一環として、ITU-T や BBF 等における検討内容をベースに第 5 世代移動体通信システム (5G) のフロントホールにおける光アクセス網に関わる最新の技術調査を行い、その結果を TTC 会員に展開し、周知いただくことを目的とする。

II 章では、ITU-T SG15 において補足文書として策定された ITU-T G.Supple.66 (5G Wireless Fronthaul Requirements in a PON Context) の日本語訳を記載した。III 章では、5G においてキーテクノロジーのひとつとなるアクセス網への仮想化技術について ITU-T や BBF および ONF における最新の検討状況をまとめた。IV 章では、5G フロントホールに適用可能な新たな光伝送方式として ITU-T SG15 において検討されている光ファイバ無線 (RoF: radio-over-fiber) 技術の標準化の最新状況について記載した。

II. PONに関する5G無線フロントホール要件 (ITU-T G.Supple.66)

要約

この補足文書では、ネットワークのフロントホール部分に焦点を当て、5G無線システムから生じるさまざまな要件を上げ、それらの要件を現在および将来の光アクセストランスポートシステムにおいて比較、検討する。5Gフロントホールアプリケーションに役立つ実用的な受動光ネットワークソリューションを想定する。

キーワード

IMT2020, 5G wireless, Fronthaul, Passive Optical Networks, C-RAN, Access Networks, 5G New Radio

1. 適用範囲

この補足では、特に光アクセスネットワークの設定における5G無線フロントホールの要件を検討している。他のグループのさまざまな仕様を実際に実現可能なシステム要件に統合する。この補足では、統合した要件を満たす実用的な受動光ネットワークソリューションについても記載する。

2. 参考文献

- [II-1] NGMN Alliance, “5G End-to-End Architecture Framework,” v0.6.5, May 2017
- [II-2] China Mobile Research Institute et al., “Toward 5G C-RAN: Requirements, Architecture and Challenges,” V. 1.0, Nov 2016
- [II-3] IEEE P1914.1/D1.0 Draft Standard for Packet-based Fronthaul Transport Networks (April 2018)
- [II-4] 3GPP TR 38.801 V2.0.0 (R14), “Technical Specification Group Radio Access Network; Study on New Radio Access Technology; Radio Access Architecture and Interfaces,” March 2017
- [II-5] CPRI Specification V7.0 (2015-10-09)
- [II-6] U. Doetsch, et al., “Quantitative analysis of split base station processing and determination of advantageous architecture for LTE,” Bell Labs Technical Journal 18(1), 105–128 (2013)
- [II-7] 3GPP Release 15, TS 38.470 ... 475 series (NG-RAN; F1 interface)
- [II-8] 3GPP Release 15, TR 38.816 V15.0.0 (2017-12) Study on CU-DU lower layer split for NR
- [II-9] eCPRI Specification, “Requirements on Transport Network,” V1.2 (2018-06-25)
- [II-10] XCRAN-FH.CUS.0-v2.00 (2018) Control, User and Synchronization Plane Specification
- [II-11] Small Cell Forum, “Small Cell Virtualization Functional Splits and Use Cases,” document 159.07.02 (2016-01-13)
- [II-12] ITU-R M.2083, “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” Sept. 2015.
- [II-13] 3GPP TS 38.211 V15.0.0 (2017-12)
- [II-14] 3GPP TS 22.261, V16.1.0
- [II-15] 3GPP TR 38.913, V14.3.0
- [II-16] ITU-R M.2410-0 (11/2017)
- [II-17] ITU-T G.8271, “Time and phase synchronization aspects of telecommunication networks,” Amd 1 (March 2018) G
- [II-18] ITU-T G.8271.1, “Network limits for time synchronization in packet networks,” Amd1 (March 2018)
- [II-19] Open Base Station Architecture Initiative (OBSAI), “BTS system reference document,” Version 2.0, 2006.
- [II-20] http://www.obsai.com/specs/OBSAI_System_Spec_V2.0.pdf
- [II-20] IEEE 802.1Q, “Ethernet connectivity fault management,” Nov. 2014
- [II-21] ITU-T G.8013/Y.1731, “Operations, administration and maintenance (OAM) functions and mechanisms for [II-23] Ethernet-based networks,” Aug 2015
- [II-22] EU Project: COMBO (COvergence of fixed and Mobile BrOadband access/aggregation networks), [II-1] “COMBO_D3.3_WP3_30June2015_EAB_v1.0,” Deliverable D3.3, Sec. 8.3.3, July 2015
- [II-23] 3GPP TS 38.401 V0.2.0 (2017-07)
- [II-24] T. Tashiro, et al., “A novel DBA scheme for TDM-PON based mobile fronthaul,” OFC paper Tu3F.3, 2014
- [II-25] H. H. Lee et al., “Real-time demonstration of QoS guaranteed 25- Gb/s PON prototype with Ethernet-PON MAC/PHY and cost-effective APD receivers for 100-Gb/s access networks,” Optics Express, vol. 24, no. 13, 2016
- [II-26] 3GPP TS 38.101-1/2/3 V15.0.0 (2017-12)
- [II-27] A. Babkin et al., “LTE Network Throughput Estimation”, INternet of THings and ITs ENablers (INTHITEN 2013), pp. 95–104 (June 2013)
- [II-28] 3GPP TS 36.213 V14.5.0 (2017-12)
- [II-29] 3GPP TS 38.214 V15.0.0 (2017-12)
- [II-30] NGMN Alliance, “Guidelines for LTE Backhaul Traffic Estimation”, July 2011
- [II-31] P. Chanclou, “How does passive optical network tackle radio access network evolution?,” pp. 1030-1040, v9 (11), JOCN, Nov 2017
- [II-32] Z. Tayq et al., “Real Time Demonstration of the Transport of Ethernet Fronthaul based on vRAN in Optical Access Networks,” Th3A.2, OFC 2017
- [II-33] 3GPP R3-161813, “Transport requirement for CU&DU functional splits options,” CMCC
- [II-34] 3GPP R3-162101, “CU-DU split: Refinement for Annex A (Transport network and RAN internal functional split),” NTT DOCOMO

3. 定義

3.1 その他での用語定義

なし

3.2 この補足文書での用語定義

なし

4. 用語

本補足文書では、下記の略号を用いる。

用語	解説
BBU	Baseband Unit
CP	Control Plane 制御プレーン
CPRI	Common Public Radio Interface
Co-DBA	Cooperative Dynamic Bandwidth Allocation 連携 DBA
CU	Central Unit
DL	Down Link
DU	Distributed Unit
eCPRI	evolved Common Public Radio Interface
eMBB	enhanced Mobile Broadband
EPC	Evolved Packet Core
FAPI	Functional Application Platform Interface
MAC	Media Access Control
MEF	Metro Ethernet Forum
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	massive Machine Type Communication 超大量接続通信
NGC	Next Generation Core
nFAPI	network Functional Application Platform Interface
NGFI	Next Generation Fronthaul Interface
NR	New Radio
NRT	Non-Real Time
OBSAI	Open Base Station Architecture Initiative
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
PDCCP	Packet Data Convergence Protocol
PON	Passive Optical Network
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RLC	Radio Link Control
RNL	Radio Network Layer
RRC	Radio Resource Control
RRH	Remote Radio Head
RT	Real Time
RU	Remote Unit
TNL	Transport Network Layer
UL	Up Link
UP	User Plane ユーザプレーン
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication 高信頼性低遅延通信

5. 慣例

なし。

6. 5G 無線フロントホールアーキテクチャの概観

注釈：この章の初期のドラフトは、ITU-T Technical Report GSTR-TN5G に記載された。本補足文書は、訂正や追加のアップデート情報を含んでいる。

6.1 4G から 5G への無線トランスポートアーキテクチャの進化

4G/LTE から 5G New Radio (NR) へのトランスポートアーキテクチャの主要な変化は、4G/LTE の Baseband Unit (BBU) 機能が Central Unit (CU) 、 Distributed Unit (DU) 、 Remote Unit (RU) の 3 つのパートに分割されることである。この新しいデザインのモチベーションは様々である [II-1] 。新しいデザインにより、3 つの異なるネットワークエンティティにコンピュータリソースを柔軟に割り当て可能な radio access network (RAN) 仮想化がより促進される。また、遅延要求を満足しながら、フロントホールのライン速度の減少を可

能とする。

CU と DU の具体的な機能については導入方法に依存し、まだ議論の最中である。図 II-6-1 は、4G から 5G の機能分割アーキテクチャへの進化の一例である [II-2]。4G の RAN アーキテクチャは、Evolved Packet Core (EPC)、BBU、Remote Radio Head (RRH) から構成される。この例では、5G への進化により、ユーザプレーン (UP) 機能は EPC から CU、DU へ、レイヤ 2 (L2) のノンリアルタイムとレイヤ 3 (L3) 機能は BBU から CU へ、レイヤ 1 (L1) と L2 のリアルタイム機能は BBU から DU へ、残りの L1 機能は BBU から RU へ移される。EPC 機能は、Next Generation Core (NGC)、CU、DU に再配置される。この文書で議論されるように、他の NGC、CU、DU、RU への機能分配も可能である。CU と DU、DU と RU の 2 つの新しいインタフェースはそれぞれ Next Generation Fronthaul Interface NGFI 2、NGFI 1 と呼ばれ、トランスポートリンクは Fronthaul-II と Fronthaul-I と呼ばれることもある [II-3]。

以下の点について留意すべきである。3GPP では、CU と DU からなる 1 分割の基地局アーキテクチャのみを考慮するが、このサプリメントでは CU、DU、RU の 3 つの要素からなるアーキテクチャを考える。このアーキテクチャにより、機能分配やトランスポート帯域と遅延の混合要求に対して、より柔軟な対応が可能となる [II-3]。

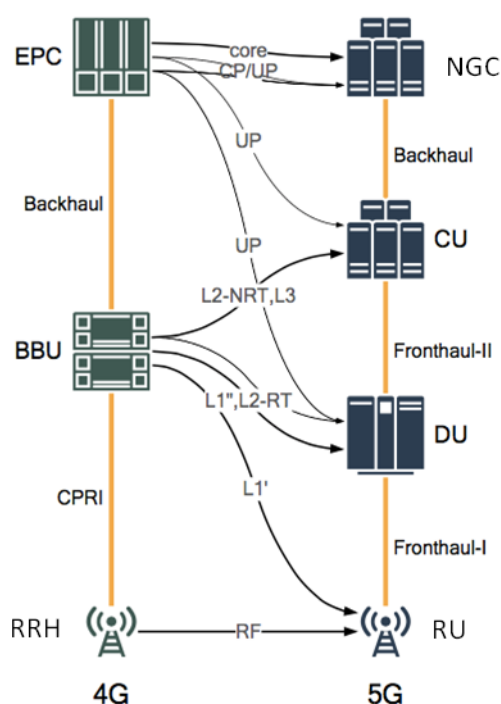


図 II-6-1. 4G のシングルノード BBU から 5G の機能分割アーキテクチャへの進化 [II-2]

6.2 機能分割構成機能分割アーキテクチャ

上り、下り両方向において、無線信号は一連の信号処理ブロックを通過する。図 II-6-2 は、これらの機能ブロックと 4G と 5G 無線ネットワーク双方における分割ポイントを示す [II-4]。

これまでのオプション 8 フロントホール (CPRI [II-5] または OBSAI プロトコルを利用) では、ユーザトラフィックの有無に関わらず、連続的なビット速度伝送が必要となることを述べておくことは重要である。しかし、別の分割ポイント (Option 1-7) では、伝送されるデータ量はユーザトラフィックに比例する。異なる分割オプションでの要求条件の詳細は 7 章で議論される。

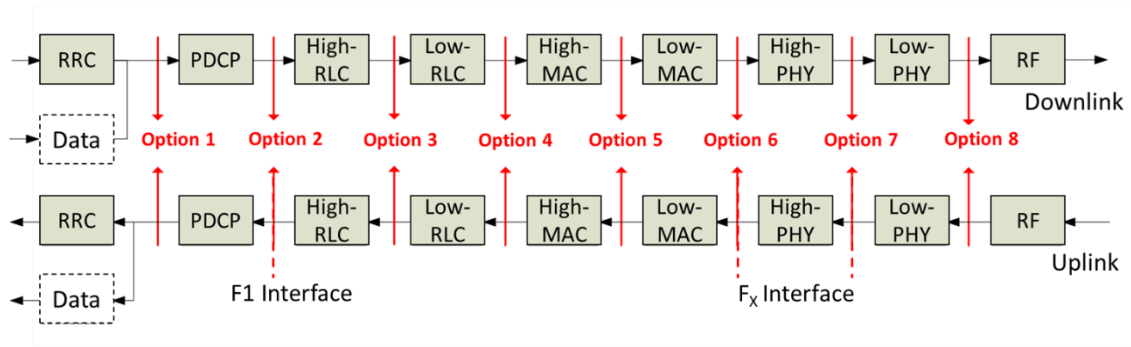


図 II-6-2 4G と 5G 無線基地局の信号処理チェーンとオプション分割ポイント [II-4]¹

6.2.1 4G 無線ネットワークにおける従来のフロントホール

従来の 4G 無線ネットワークにおいて、フロントホールリンクは CPRI/OBSAI プロトコル (オプション 8 分割ポイント) を使って、RF とその他 L1/L2/L3 機能の間に存在する。この分割ポイントオプションは、最も厳しいフロントホール遅延と帯域要求と引き換えに、全ての高レイヤ処理機能の集中化を可能とする。

この従来のフロントホールは、デジタル化されたタイムドメイン IQ データの伝送をベースとする。eMBB (enhanced mobile broadband) のような大容量のアプリケーション、または多くの独立したアンテナエレメント (massive MIMO または multi-layer MIMO) を有する無線サイトでは、数 100 マイクロ sec までの RU と DU/CU 間 (オプション 8 分割インタフェース) の伝送遅延を許容しながら、不合理な高い伝送容量を要求される。

表 II-6-1 は、[II-4] の中で 3GPP により定義されるパラメータを用いた無線ネットワークにおける、様々な無線周波数帯域とアンテナポート数をサポートするために必要となる、タイムドメイン IQ データのおおよそのフロントホールデータ速度 (ラインコーディング無しの CPRI 速度) を示す。

表 II-6-1: 5G 無線ネットワークで要求されるフロントホールデータ速度 [II-4]¹

アンテナポート数	無線チャンネル帯域幅			
	10 MHz	20 MHz	200 MHz	1 GHz
2	1 Gb/s	2 Gb/s	20 Gb/s	100 Gb/s
8	4 Gb/s	8 Gb/s	80 Gb/s	400 Gb/s
64	32 Gb/s	64 Gb/s	640 Gb/s	3,200 Gb/s
256	128 Gb/s	256 Gb/s	2,560 Gb/s	12,800 Gb/s

式 1 は、オプション 8 インタフェースでの伝送が、10MHz 無線帯域、1 アンテナポートにおいて 491.52 Mb/s の CPRI データ速度を必要とすることを示す [II-6]。

$$B_{CPRI} = A \cdot f_s \cdot b_s \cdot 2 \cdot (16/15) \quad (1)$$

ここで、 A はアンテナ数、 f_s はサンプル速度 (10MHz無線帯域で15.36MS/s)、 b_s はサンプル毎のビット数 (LTEでは15、5GのeMBBサービスでも有効と期待される) である。その他の係数は、IとQに分けたサンプリング処理 (係数 2) とCPRIフレームの追加のオーバーヘッド情報 (係数 16/15) を表す。

6.2.2 5G 無線ネットワークにおける新しい機能分割オプション

5G でのデータ速度の増加により、従来の CPRI フロントホールの利用が困難になる。より高いレイヤでの分割 (Fig. 6-2) により、遅延と帯域の要求条件が緩和されるが、ほとんどのプロセス機能が集中化されない (7 章参照)。このように、新しい機能分割アーキテクチャ (どう記載するか別途議論) では、スループット、遅延、機能の集中化の間で、技術とコスト面でのトレードオフを考慮することが重要である。

このような理由で、いくつかの標準化団体が、現在のアプローチと比較して C-RAN アーキテクチャの伝

¹ © 2017. 3GPP の TS と TR は、共同で著作権を有する ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TSDSI、TTA、TTC の所有物です。更なる修正が加わることがあり、情報提供のみを目的として、現状のまま提供されません。さらなる利用は固く禁じられています。

送容量を大幅削減する、無線プロセスチェーン (図 II-6-2) の異なる分割ポイントの策定に動いた。最適な 5G NR の分割ポイントは、具体的な導入シナリオに依存する。2017 年 4 月、3GPP は、高いレイヤでの分割ポイント (F1 インタフェース) としてオプション 2 (PDCP/high RLC) の選択を発表した [II-7]。一方で、低いレイヤでの分割ポイント (MAC/PHY 分割の Option 6 または intra-PHY 分割の Option 7) についてはオープンとしている [II-8]。ここでは、オプション 6 または 7 の低いレイヤでの分割ポイントを表す一般的な表記として、便宜上 Fx を使う。高い柔軟性を可能とするため、カスケード接続分割アーキテクチャも考慮される。

実際、オプション 7 の分割ポイントは、複数無線サイト間協調の異なるモードと固定ネットワークの伝送要件の両観点から、いくつかのグループによって多様化されている。

この章では、3GPP、eCPRI、xRAN、Small Cell Forum の 4 つのグループから提供されるアーキテクチャモデルと分割ポイントの定義を考慮する。

議論の起点として、3GPP のアーキテクチャモデルとその主な分割オプションを例にとる。図 II-6-3 では、3GPP で定義されるサブオプション [II-4] を eCPRI 仕様 [II-9]、xRAN 文書 [II-10]、Small Cells Forum 文書 [II-11] で定義される分割ポイントに対応させる。

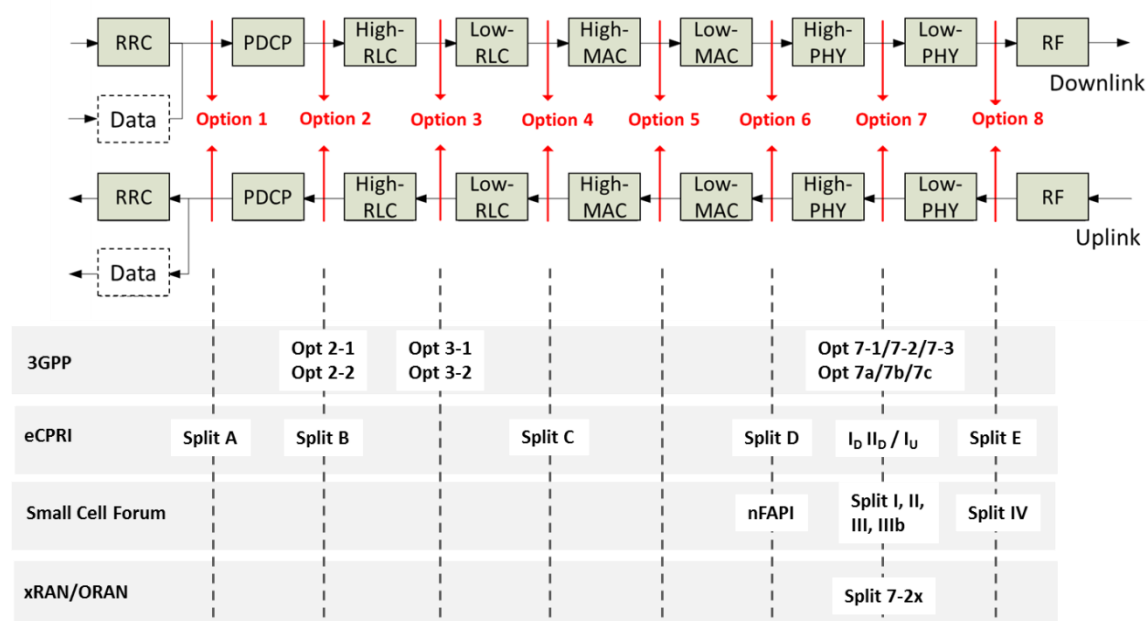


図 II-6-3. 異なる分割ポイントの 3GPP モデル [II-4]、CPRI グループ [II-9]、SCF [II-11]、xRAN/ORAN [II-10] へのマッピング

分割オプション 7 (intra-PHY) では、図 II-6-4 に示されるように、より細かくマッピングされる複数のサブオプションが定義されている。

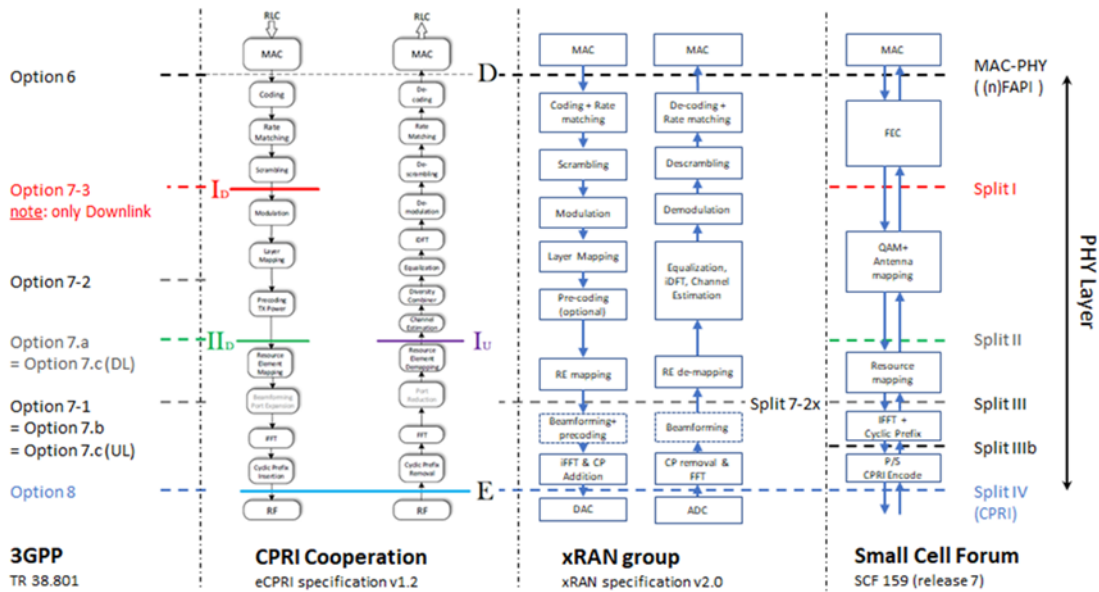


図 II-6-4. オプション7サブ分割の比較とマッピングの詳細

文献 [II-4] の Annex A の表 A-1 で使われるオプション 7a、7b、7c は、文献 [II-4] の本文にあるオプション 7-1、7-2、7-3 と等しくないことに注意しなければならない。前者は、3GPP の議論 ([II-4] のリファレンス参照) の初期フェーズでのみ使われおり、今後この文書の中では使われない。オプション 6 と 7 の伝送ネットワーク容量の計算に関しては、代わりに eCPRI、xRAN、Small Cell Forum の分割ポイントが使われるべきである。

機能分割オプション F1 と Fx の CU/DU/RU アーキテクチャへのマッピングが図 II-6-5 に示される。CU、DU、RU の 3 つの各エレメントは、いずれの信号処理機能も提供することができる。

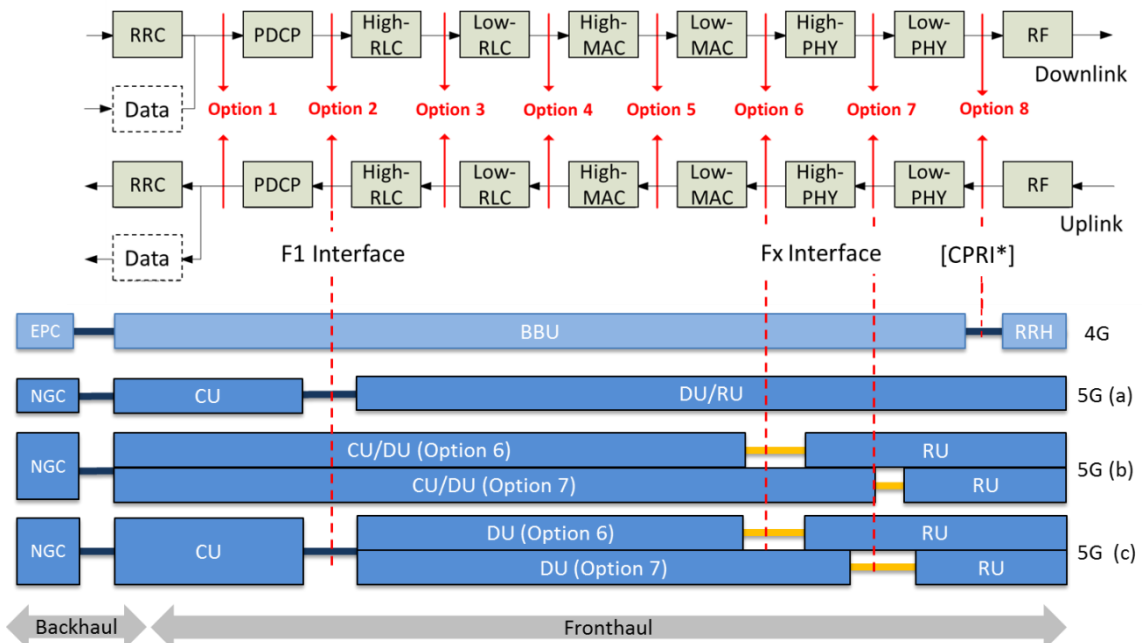


図 II-6-5. 分割ポイントによる CU/DU/RU 機能のマッピング。5G (a) は高いレイヤの分割 (F1)、5G (b) は低いレイヤの分割 (Fx)、5G (c) はカスケードされた分割。*CPRI はオプション 8 で可能なトランスポートプロトコルの 1 つ。

6.3 展開シナリオ

一般に、DU の位置に依存して、5G NR フロントホールネットワークに関する 2 つの展開シナリオがある：

- **Centralized RAN (C-RAN)：** 図 II-6-6 (a) に示されるように、DU がアクセスコンバージェンスルームまたはスモールアクセスルームに集中化される。このシナリオでは、DU と RU の距離は通常 10km またはそれ以上なので、1 対 1 対向のファイバ直接接続では多くのトランクファイバリソース

スが必要となる。PON のような効率的なトランスポートシステムの利用により、トランクファイバリソースの需要を軽減することができる。

- **Distributed RAN (D-RAN)**：図 II-6-6 (b) に示されるように、DU が基地局ルームに配置される、または RU/DU/CU が統合され、基地局ルームの中に配置される。このシナリオでは、1 対 1 対向ファイバ接続がフロントホール伝送に適するほど、DU と RU の距離は一般的にとっても短い。

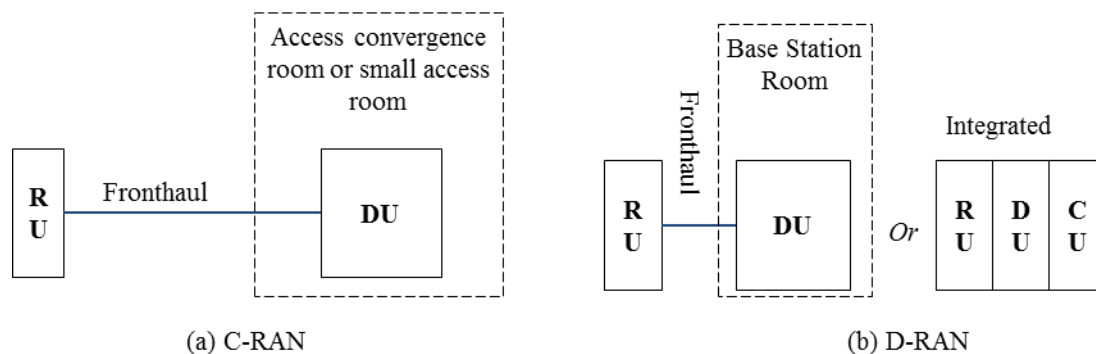


図 II-6-6.RAN 導入シナリオの図

さらに、図 II-6-7 に示されるように、C-RAN の展開は大規模および小規模の集中の 2 つのカテゴリに分けることができる。大規模集中モードでは、DU は一般にアクセスコンバージェンスルームに配置される。一方、小規模集中モードでは、DU はスモールアクセスルームに置かれる。

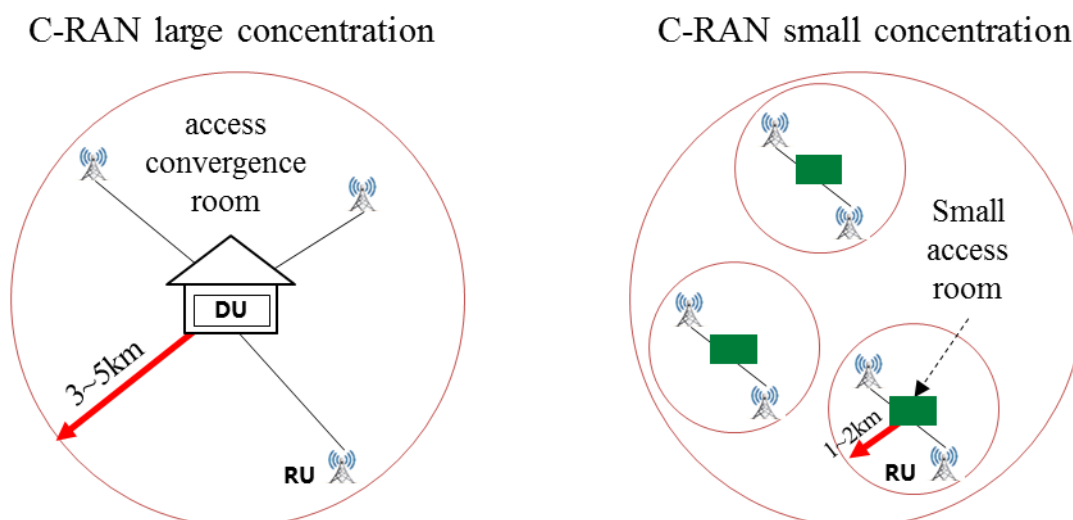


図 II-6-7. C-RAN 展開の 2 つのカテゴリ

7. 5G フロントホール伝送における要求条件

本章ではフロントホール伝送における要求条件に影響を与える 5G NR の側面について議論する。RAN 及びサービスレベルの背景の簡単な説明の後、帯域、遅延、同期/ジッタ、OAM のより詳細な要求条件に関して議論する。

7.1 RAN およびサービスレベルの背景

3GPP は一つの共有のネットワーク内で 4G 及び 5G が共存及び協調する無線アクセス技術 (RAT) を含めた RAN アーキテクチャを検討している [II-4]。この混在するネットワークアーキテクチャとは別に、大きく異なる RF 接続形態 (6GHz 以下、6GHz 以上、massive MIMO、Multi-layer MIMO) だけではなく、大きく異なるトラフィック特性をもつ様々なサービス (表 II-7-1) を 5G ネットワーク単体として含む [II-12]。しかしながら、これらすべてのサービス及び技術は同じネットワーク内の同じ時間に必ずしも提供、使用されない。例えば、超大量接続通信 (mMTC) アプリケーションは多くの場合、製造現場のような閉じたネットワークで使われ eMBB アプリケーションと共存する必要はない。他のシナリオでは、複数のサービスが同じ無線ハードウェア (アンテナや RF 装置) を使うかもしれないが、フロントホール伝送はトラフィックや遅延要件に依存するため、異なるサービスに対して異なるかもしれない。

表 II-7-1. さまざまな 5G サービスに対し要求されたトラフィック特性の概要
(ITU-R M2083 [II-12] の図.3 を参照されたし)

無線技術	ピーク速度	平均速度	e2e遅延 (サービスレベル)
拡張モバイルブロードバンド (eMBB)	5-10 / 20 Gb/s (UL/DL)	100 Mb/s per user in urban/suburban areas 1 – 4 Gb/s (hot spot areas)	10 msec
高信頼性低遅延通信 (URLLC) / クリティカルマシンタイプ通信 (D2D も含む)	eMBBよりもはるかに小さい： N x Mb/s	eMBBよりもはるかに小さい： n x Mb/s	1 – 2.5 msec
超大量接続通信 (mMTC)	eMBBよりもはるかに小さい： N x Mb/s	eMBBよりもはるかに小さい： n x kb/s - n x Mb/s	1 – 50 msec

7.2 伝送帯域要求条件

伝送帯域の観点から、より高いレイヤ分割である Option 1-7 での最も重要な特性は無線インタフェース上のユーザトラフィックとともに伝送されるデータ量が増えるということである。したがって、これらの分割点での伝送は集約ネットワークアーキテクチャにおける統計多重効果による恩恵を得ることができる。対照的に、Option 8 はユーザトラフィックがあるかないかに関わらず、とても高い速度での固定ビット速度伝送を必要としている。そのため、統計多重を利用することはない。

異なる分割オプションでのビット速度の可能な範囲に関する大まかな見識を提供するため、表 II-7-2 はある特定のセルシナリオ [II-4] に対して計算された伝送データ速度を示している。評価に使われたパラメータは次の通り：100MHz 無線帯域、256-QAM 変調、8 MIMO レイヤ、32 アンテナポート (上り、下りともに同じ)、Option 7a/b/c での IQ データ表記に対する可変ビット幅 (I、Q サンプル毎に 7 から 16 ビット)。

表 II-7-2 に示されるビット速度は上記の非常に特定のセルサイトにのみ適用されることに注意することが重要である。1 つまたは複数の分割点でのビット速度はセルサイト構成の変更に伴い敏感に変化するため、他のセルサイトに対してそのまま適用されることはない。それらは、どの程度のオーダの大きさなのかを印象づけるためだけに役立つ。F1 および Fx での必要な伝送容量に関するより詳細な評価は 10 章に記載されている。

表 II-7-2. 参考文献 [II-4]² Annex-A の異なる機能分割インタフェースでの伝送ビット速度及び遅延
(上記の注意事項に注意)

プロトコル分割オプション	要求下り帯域	要求上り帯域	片方向遅延 (桁のオーダ)
Option 1	4 Gb/s	3 Gb/s	1 - 10 msec
Option 2	4016 Mb/s	3024 Mb/s	
Option 3	[II-lower than Option 2 for UL/DL]		
Option 4	4000 Mb/s	3000 Mb/s	100 to few 100 µsec
Option 5	4000 Mb/s	3000 Mb/s	
Option 6	4133 Mb/s	5640 Mb/s	
Option 7a	10.1-22.2 Gb/s	16.6-21.6 Gb/s	
Option 7b	37.8-86.1 Gb/s	53.8-86.1 Gb/s	
Option 7c	10.1-22.2 Gb/s	53.8-86.1 Gb/s	
Option 8	157.3 Gb/s	157.3 Gb/s	

表 II-7-2 の例にある数値は、無線チャネルの最適状態下での必要な伝送ビット速度のピーク値を表している。上記のようなある特定の状態における 4G モデルを使ってこれらは計算されている。分割オプション 2 と 6 と 7 (太字) に注目すると、この特定の例に対する伝送ビット速度は、

- Option 1 (バックホール) と比較し、Option 2 (F1 インタフェース) では 1 パーセント未満増加する。
- Option 8 (従来のフロントホール) と比較し、Option 7a/b/c は 2-15 分の 1 に減少し、Option 6 は 30-

² © 2017. 3GPPTM の TS と TR は、共同で著作権を有する ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TSDSI、TTA、TTC の所有物です。更なる修正が加わることがあり、情報提供のみを目的として、現状のまま提供されず。さらなる利用は固く禁じられています。

40分の1に減少している。

しかしながら、一般的には異なる分割オプション間の伝送帯域は固定の比率にはならないことは注意しなければならない。例えば、上記例において、32アンテナが8MIMOレイヤのみ提供する（すなわち、32アンテナ毎に8個の独立したユーザデータストリーム）代わりに、各々のアンテナポートが1MIMOレイヤを提供した場合（すなわち、1アンテナ毎に1ユーザデータストリーム）、バックホール容量は表で示されている4Gbpsではなく、下り方向で16Gb/sとなる。それでも、分割Option 8での合計速度は157.3Gbpsとなる（ラインコード無のCPRI速度）。

実際には、無線インタフェースのスループットは無線チャネルの実際の状態（インタフェース、反射、環境状態など）に伴い変化する。同様に、このスループットの変化に伴い異なる分割オプション（Option 8を除く）でフロントホール伝送容量が変化する必要がある。これらの詳細に関わらず、表II-7-2で示された分析は選択された機能分割が伝送レイヤでの必要なビット速度へのどの程度影響を与えるかについて有用な定量的指標を提供している。

7.3 遅延要求条件

下記では無線アーキテクチャでのより低いレイヤ分割オプションでの次世代のフロントホール遅延の要求条件と、それとは別に、無線ネットワークによって提供されるサービスからの遅延の要求条件を議論する。

RAN 関連の遅延の要求条件

遅延の観点では、分割オプション1-8のインタフェースでの伝送は2つに分類化される。

- 数 msec の範囲の遅延の“非リアルタイム”伝送 (Option 1-3)
- 数百 μ sec の範囲の遅延の”リアルタイム”伝送 (Option 4-8)

LTE ネットワークでは、カテゴリ間の差別化要因は HARQ ループ (Hybrid Automatic Repeat Request) が分割インタフェースを横断しているか否かである。横断している場合、 μ 秒の要求条件が適用され、横断しない場合、伝送遅延は msec 内であるアプリケーションレイヤの要求条件によって特定される。4G ネットワークでは、HARQ ループは同期プロセスであり、その期間は 1m 秒の TTI 長 (Transmission Time Interval) の 8 倍、すなわち、8msec の往復時間 (RTT) と厳格に関係づけられている。一般的な今日のハード及びソフト実装を考慮すると、Option 8 インタフェースの伝送では、通例数百 μ sec の RTT となる。

注釈：この伝送遅延に対する異なる値は下記文献で見られる；たとえば、[II-4] では 250 μ sec の片方向遅延が言及されている。しかしながら、この値は標準化上では明確に特定されていない。この値は HARQ ループの特定のベンダ実装に依存する。

5G ネットワークでは 1msec のサブフレーム長は 1, 2, 4, …32 スロット (4G での TTI の代わりに) に分割され、たとえば、1msec または 31.25 μ sec となる [II-13]。これに加えて、HARQ プロセスは同期から非同期 HARQ へ変更されるであろう。

低いレイヤの分割の遅延値は昨今 2 つのリリースされた文書で示されてきた：

- 伝送ネットワークでの eCPRI の遅延要求条件は [II-9] で規定されている。4 つの異なるクラスが定義されている：片方向遅延で 50, 100, 200, 500 μ sec
- xRAN グループでは遅延はフロントホール 1 リンクの何れかの端点にある無線装置の処理能力から導かれるアプローチをとっている [II-10]。装置は装置の組み合わせに依存して異なるクラスに分類されており、残留遅延は片方向 350 μ s もしくはそれ以上の値を可能とする。

遅延要求に関連したサービス

5G サービスの遅延は複数の産業レポート、ホワイトペーパー、標準化により示されている：

- NGMN 5G ホワイトペーパー [II-1] の表 1：遅延期待値を含むユーザ体感要求条件が収集されている
- TS 22.261, V16.1.0 [II-14] の表 7.2.2-1：低遅延、高臨場シナリオでの性能要件
- TR 38.913, V14.3.0 [II-15] の 7.4、7.5、7.6 節：制御プレーン、ユーザプレーン、まれな小パケットに対する遅延
- ITU-R M.2410-0 (11/2017) [II-16] の 4.7 節：ユーザプレーン遅延と制御プレーン遅延

これらの文書は多くの同じ側面を説明しているが、それぞれの遅延の要求条件は完全に合意されているわけではない。唯一の合意は eMBB サービスに対してであり、ユーザプレーンの遅延要求が片道 4msec で合意されている。mMTC および URLLC サービスに対する共通の遅延要求条件は存在しない。

7.4 同期要求条件

モバイルネットワークに関連する時刻同期の要求条件は参考文献 [II-17] の Tables II.1 と II.2.で記されている。

フロントホールのシナリオへの要求条件の展開に関する分析は [II-18] で検討中である。

下記分析は CPRI 団体 [II-9] の検討を基本としている。下記で記された複数の側面は、[II-18] の分析結果を考慮するために改訂される必要があるかもしれない。読者はこれらの参考文献のアップデートをチェックすべきである。

複数の 3GPP 及び ITU-T 標準で採用されている eCPRI グループは表 II-7-3 に示すように時刻精度の要求条件を4つのクラスに規定している [II-9]。表 II-7-3 でのパラメータに対する定義は図 II-7-1 に示されている。これら4つのクラスでは Class A+及び Class B はセルサイト間のシナリオに適用可能であり、PON システムを使つての伝送も可能であり、我々の議論に関係している。セル内リンク内で複数のホップ (E-O-E 変換) がある場合、時刻精度の要求条件は表 II-7-3 で示されている値よりもさらに厳しくなることは注意する必要がある。

表 II-7-3 に示されているように、伝送ネットワークに対する時刻エラーの要求条件は 20 ns (Class A+, Case 2) 及び、100/190/200 ns (Class B) となる。Class A+の Case 2 は高精度即位サービスのような新しいユースケースをサポートするためのものである。

表 II-7-3. eCPRI で規定されている時刻精度の要求条件 [II-9]

Category (note 1)	Time error requirements at UNI, TE			3GPP Time alignment error (TAE) requirements at antenna ports
	Case 1 (note 2)		Case 2 (note 3)	
	Case 1.1 (note 4)	Case 1.2 (note 5)		
A+	N.A.	N.A.	20 ns (relative)	65 ns (note 6)
A	N.A.	60 ns (relative) (note 7)	70 ns (relative)	130 ns (note 6)
B	100ns (relative) (note 7)	190 ns (relative) (note 7)	200 ns (relative)	260 ns (note 6)
C (note 8)	1100 ns (absolute) (note 9)		1100 ns (absolute) (note 9)	3 us (note 6) (note 10)

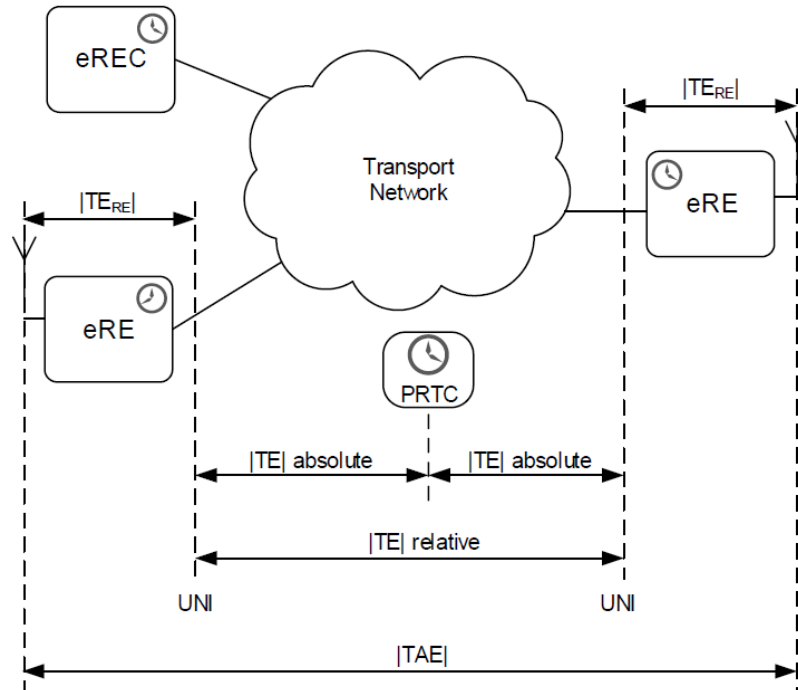


図 II-7-1. 時刻精度の規定 [II-9]、eRE : eCPRI 無線装置、eREC : eCPRI 無線制御装置

7.5 OAM 機能

4G LTE では伝統的に OAM 機能はバックホールリンクでは Ethernet により提供されるが、フロントホールリンクにおいては、CPRI プロトコルではモニタ機能はない。ただし、モニタ機能が無いことは、BBU と RRH がセルサイトで一緒に配置されており、同じモバイルオペレータにより管理されているため、問題にならない。

5GNR では、ネットワーク集中化により無線ネットワークレイヤと伝送レイヤ（これらは無線オペレータと有線オペレータの異なる管轄下にある可能性が高い）間の調整が必要となるであろう。誤りや性能低下検出といった OAM 機能は実装され、調整される必要があるであろう。その結果、各々のオペレータは自身のネットワークセグメントを監視でき、他のオペレータに情報を渡すことができる。

7.5.1 無線の観点からの OAM 要求条件

無線 OAM 機能は主に無線オペレータにとって重要である。伝送ネットワークがトランスペアレントに伝送することができる限り、それ以上のインタラクションは必要ない。しかしながら、次の文書は OBSAI と eCPRI で実装されている OAM 種類について短くまとめられている。

OBSAI

OBSAI システム規定文書 [II-19] (2006 年版) では OBSAI 基地局の OAM&P (OAM 及びプロビジョニング) 機能のハイレベルなコンセプトが記されている。規定は BTS 内部機能のみサポートしており、要求される OAM&P 性能を提供する。

- OBSAI BTS モジュールの配備を可能とする構成管理機能
- OBSAI BTS モジュールの状態を確認する障害管理機能
- OBSAI BTS モジュールの性能基準を集約する性能管理機能
- ソフトウェアのインストールおよびアップデートに関連するソフトウェア管理機能

eCPRI

最新の eCPRI 文書ではネットワーク接続監視は規定されていない。しかし、[II-9] で使われることが可能である多くの手段及び標準を提供している。これらは二つの方式がある。

- 1) EthernetOAM : IEEE 802.1Q (Ethernet connectivity fault management) [II-20] および ITU-T G.8013/Y.1731 (OAM functions and mechanisms for Ethernet based networks) [II-21] によると、バックホールネットワークでは Ethernet で提供されている監視要素を用いる。
- 2) eCPRI により以下のメッセージが定義されている。: Internet Control Message Protocol (ICMP) for IPv4 and

IPv6 および、特に表 II-7-4 の message types 2,3,6,7, and/or 64-255。

表 II-7-4. eCPRI メッセージタイプ (参考文献 [II-9] の表 4)

Message Type #	Name	Section
0	IQ Data	3.2.4.1
1	Bit Sequence	3.2.4.2
2	Real-Time Control Data	3.2.4.3
3	Generic Data Transfer	3.2.4.4
4	Remote Memory Access	3.2.4.5
5	One-way Delay Measurement	3.2.4.6
6	Remote Reset	3.2.4.7
7	Event Indication	3.2.4.8
8 - 63	Reserved	3.2.4.9
64 - 255	Vendor Specific	3.2.4.10

7.5.2 伝送の観点からの OAM 要求条件

一般的に、伝送リンクではサービスレベルアグリーメント (SLA) の観点から OAM は下記パラメータを含むべきである。

- 光リンク監視：光トランシーバパラメータ、チャネルディスカバリ、レジストレーション、波長配置、ループバックテスト等
- 性能監視：スループット、フレームロス率、誤り識別子及び管理、有効性、遅延、ジッタ等。

フロントホールリンクの OAM 機能の実装に対して 2 つのコンセプトが参考文献 [II-22] で記載されている。[II-22] では CPRI/eCPRI に焦点を当てているが、コンセプトは他の機能分割インタフェースにも適用可能である。

- 1) ペイロードと帯域をシェアしていない専用管理チャネル (アンテナサイト管理チャネルとは異なる) を使ったアウトバンド監視
- 2) Ethernet、OTN、軽量の CPRI フレーミング、もしくは PON といったプロトコルのオーバーヘッド内で行うインバンド監視。インバンドスキームはペイロードと帯域をシェアする。

階層的なネットワークでは、上位レイヤのオーバーヘッドが下位レイヤのペイロードとなる。したがって、アウトバンド及びインバンドの使用はそれを考慮する必要がある。

もう一つの重要なことは OAM 信号がフロントホールネットワークへの多大な遅延を引き起こすべきでないことである。物理ラインに近い低いレイヤ (例えば、IP もしくはより高いレイヤではなく、PMD、PCS、または MAC レイヤ) へ OAM メッセージを挿入することが推奨されている。

8. 5G フロントホールトランスポートのための PON アーキテクチャ

この章では、どのように Passive optical network (PON) が 5G NR フロントホールを実現できるのか、またどのように携帯ネットワーク構成要素 (CU, DU と RU) を PON (OLT,ONU) の中に転送対象としてマッピングできるかについて議論する。3GPP と IEEE の双方では、[II-23], [II-3] の中でレイヤネットワークアーキテクチャの概念として描かれている。それらの定義によると、OLT/ONU が Transport Network Layer (TNL) に属しているならば、CU/DU/RU は、Radio Network Layer (RNL) に所属することになる。それら定義を図 II-8-1 に示す。

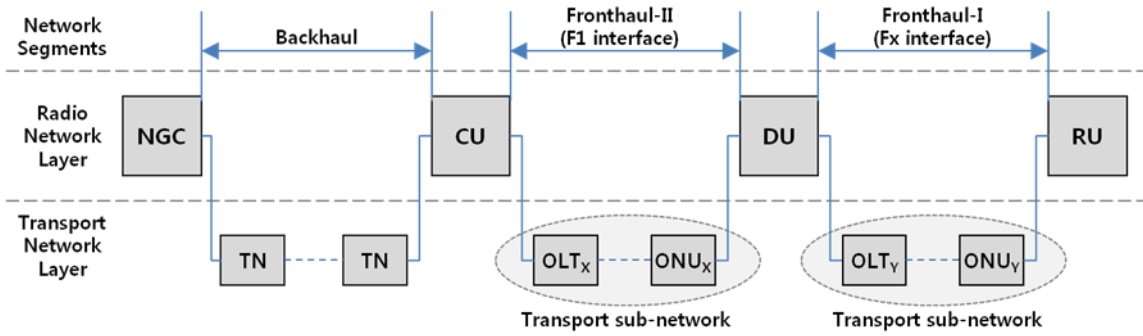


図 II-8-1. Radio Network Layer (CU,DU,RU) と Transport Network Layer (OLT,ONU) を示すレイヤ構成の概念 (TN: Transport Network [II-23])

図 II-8-2 は、OLT/ONU に対して CU/DU/RU をマッピングする 3 つのシナリオ例を示す。ここで示される F1 と Fx インタフェースは単なる例である。

図 II-8-2 (a) に示されている F1 インタフェースによる高レイヤでの分離では、DU と RU の間の低遅延化に適用可能である。Fx インタフェースによる低レイヤでの分離は、図 II-8-2 (b) に示している。このシナリオでは、一般的にクラウドネットワークへの適用が可能である。図 II-8-2 (c) は、カスケード接続された分割シナリオを示しており、密集した市街地にあるスモールセルの配備に最適である。F1 と Fx インタフェースの双方を用いた平行分離案を図 II-8-2 (d) に示す。このシナリオでは、高/低の遅延時間要求を満足させる混在した配備が可能である。上記に述べた中で、最適なアーキテクチャの選択をするためには、サービスに基づいた遅延時間とパフォーマンスの他に、配備シナリオにも依存する。加えて、図 II-8-2 の 3 つの基本的な構成の中にある ODN (Optical Distribution Networks) は、point-to-point (PtP)、star、または tree 構成へさらに拡大することができる。

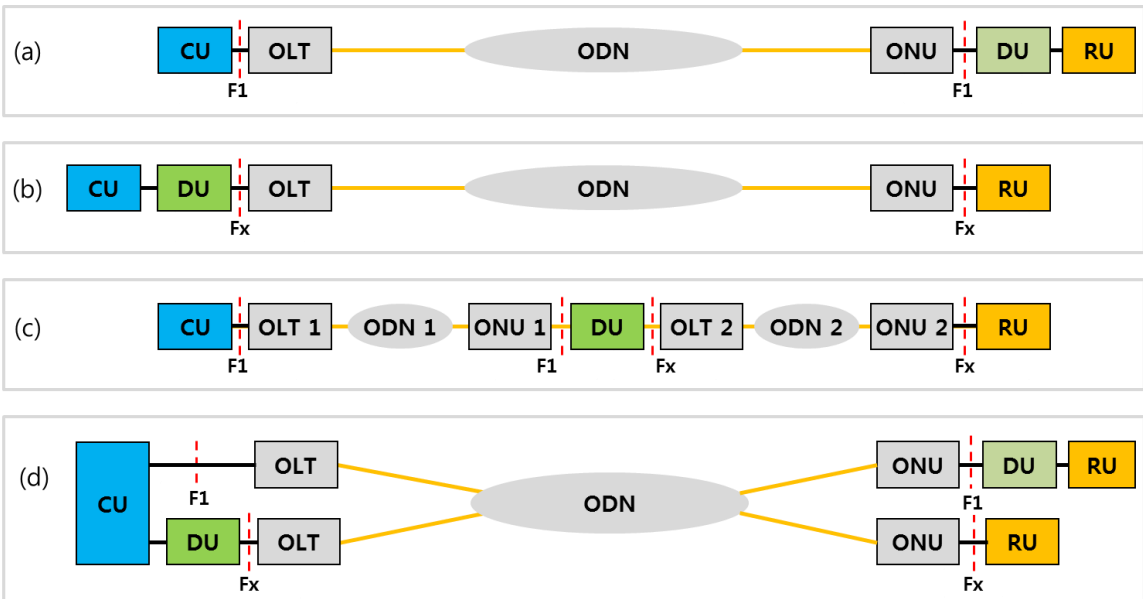


図 II-8-2. Optical フロントホールの中の PON に対する CU/DU/RU のマッピング (a) high layer split, (b) low layer split, (c) cascaded split, (d) parallel split

9. 現実的な PON システムソリューション

各オペレータの導入要件に応じ、時として、5G アンテナサイトは、2G/3G/4G サービスを提供するため、同じアクセスファイバシステムは、下に示す複数の F1 と Fx インタフェースを提供しなければならない：

1. 5G 用の複数の F1 インタフェース (順次導入される 5G "キャリア" 毎に 1 ポート) と、2G/3G/4G のための複数のイーサネットバックホール
2. 複数の Fx インタフェース (5G RU 毎に 1 ポート) と、2G/3G/4G のための複数のイーサネットバックホール (または 4G CPRI フロントホール)

他の状況では、5G ネットワークが従来の RAN から分割されたファイバシステムとフロントホールネットワークを使用する場合、上のケースを適用しない。

この節で、我々は 6 つの考える PON における実施例と、5G フロントホールを提供するためのユースケースについて議論する。表 II-9-1 には、それらの実施例の概要を示す。

表 II-9-1. 考えるユースケースの概要

Section #	Associated Scenario	Functional split supported	Services
9.1.1	固定と無線サービス双方のための(固定アクセスサービスのよ うな)従来TDM PONと PtP WDMのオーバー レイ	Fx	低遅延サービス,クラウド/仮想化
9.1.2		F1'	さらなる遅延許容性
9.1.3		F1, Fx	混在したサービス
9.2.1	無線サービスだけの専 用PON	Fx	低遅延サービス,クラウド/仮想化
9.2.2		F1	さらなる遅延許容性
9.2.3		F1, Fx	混在したサービス

9.1 WDM オーバーレイした従来の PON

無線フロントホールを提供するための即効性のあるソリューションは、固定アクセスサービスと帯域を共有せず、従来の PON に対して、新しい波長をオーバーレイさせることである。NG-PON2 TWDM、および PtP WDM は、このシナリオに該当する。

9.1.1 低レイヤ分割

Low layer split を提供するための実施例を図 II-9-1 に示す。Low layer split は、非常に厳しい遅延時間要求するため、多くの ONU/RU が一つの TDM 方式による波長を共有する場合、RU 間の帯域共有を減少させるためにより多くの波長リソースが必要となる。

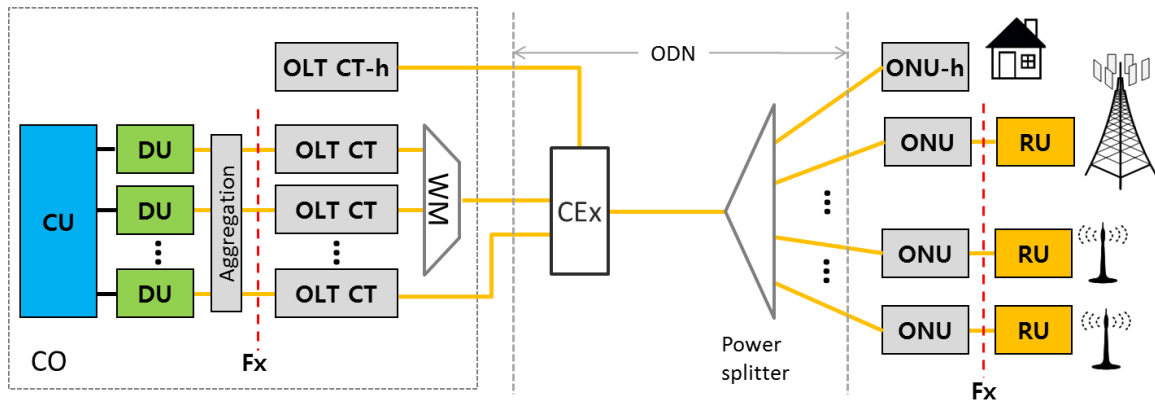


図 II-9-1. WDM にオーバーレイする従来 PON による Low Layer split フロントホール

※図中では、簡略化により省略しているが、各 OLT CT は、多数の ONU をサポートできることに注意。

9.1.2 高レイヤ分割

High layer split は、遅延時間と帯域共有がより許容的となる。Low layer split を提供するための実施例を図 II-9-2 に示す。カスケード接続された split は、図の右下の部分で示したように、2 番目の ODN を付加した時に提供される。また Low layer split と比較して、少数の波長リソースで済むと予想される。しかし一方で、Central office (CO) に処理機能を集約化することができません。

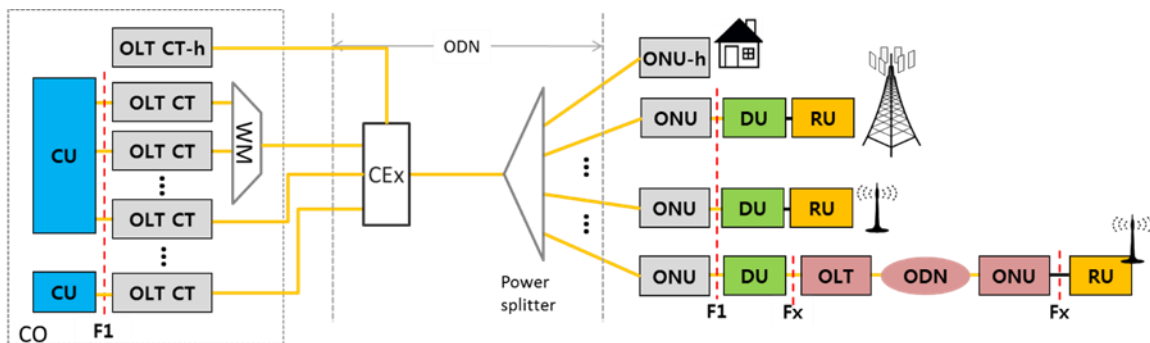


図 II-9-2. WDM にオーバーレイする従来 PON による High Layer split フロントホール
 ※図中では、簡略化により省略しているが、各 OLT CT は、多数の ONU をサポートできることに注意。

9.1.3 高レイヤと低レイヤ混在した分割

NG-PON2 での PtP WDM のように、WDM によるオーバーレイによって Low layer と High layer split の双方による混在構成が可能である。この異なる構成は、図 II-9-3 に示したように Central site から分散配置された RU を持つ分散 RAN 構成を許容する。なお CU は、図 II-9-3 に示したように複数ユニットに分離できることに注意してください。またそれらは同じユニットに共有することもできる。混在構成の課題は、同じ PON 上によって生じる遅延時間と帯域の幅広い変動要求を提供できるかということである。

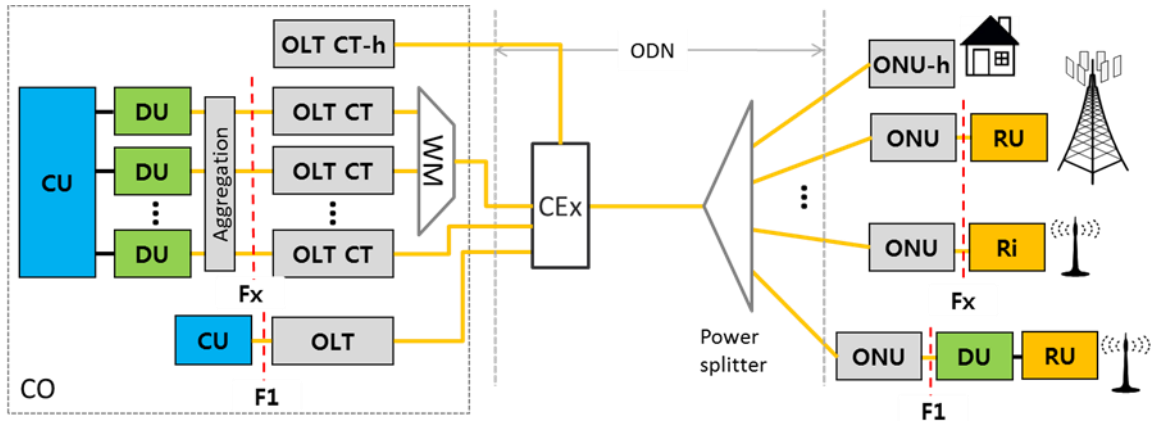


図 II-9-3. WDM にオーバーレイする従来 PON による Low layer と high Layer split フロントホール
 ※図中では、簡略化により省略しているが、各 OLT CT は、多数の ONU をサポートできることに注意。

9.2 無線サービスに特化した PON

固定ユーザーサービスに対するサービス悪化を避けるために、より現実的なシナリオは、モバイルフロントホールに特化した PON の構築である。

9.2.1 低レイヤ分割

図 II-9-4 に示すのは、Low layer split を提供するモバイルフロントホールに特化した PON の実施例である。Low Layer split においては、遅延要求が厳しいため、WDM-PON はこの実施例におけるよい対象となる。またモバイルフロントホールに特化した TWDM-PON であれば、時分割多重の能力に優れているため、より効率的になる。しかし一方で、動的帯域割り当てとレンジング制御が必要となる。

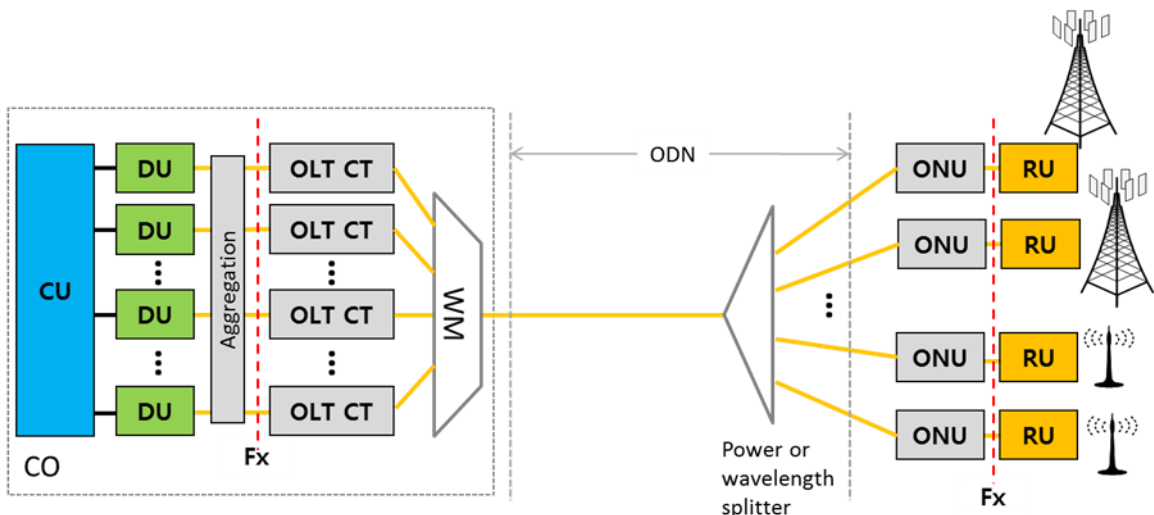


図 II-9-4 モバイルフロントホールに特化した PON による Low Layer split フロントホール
 ※図中では、簡略化により省略しているが、各 OLT CT は、多数の ONU をサポートできることに注意。

9.2.2 高レイヤ分割

High layer split は、図 II-9-5 に示す無線サービスに特化した PON によって提供できる。Low layer split と比較すると、必要帯域と遅延時間双方の要求条件が緩和される。

9.1.2 節の実施例と似て、図の右下の部分に示すように、2 番目の ODN が追加された時にカスケード分割が提供可能となる。

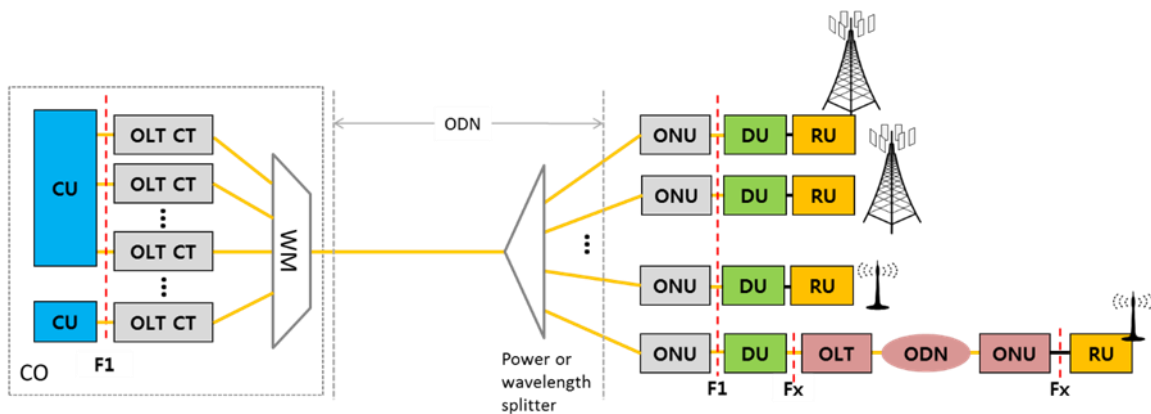


図 II-9.5. 無線サービスに特化した PON による High Layer split フロントホール

※図中では、簡略化により省略しているが、各 OLT CT は、多数の ONU をサポートできることに注意。

9.2.3 高レイヤと低レイヤ混在した分割

図 II-9-6 に示すように CO からネットワーク下位にある RU を考慮すると、Low layer と High layer split が混在した PON が考えられる。しかし、各 split における帯域と遅延時間の要求条件が異なるため、混在することにより幾つか課題が生じる。CU が図 II-9-8 で示すようにユニット単位に分割できることに注目してください。またそれら CU は、同じユニットを共有することもできる。

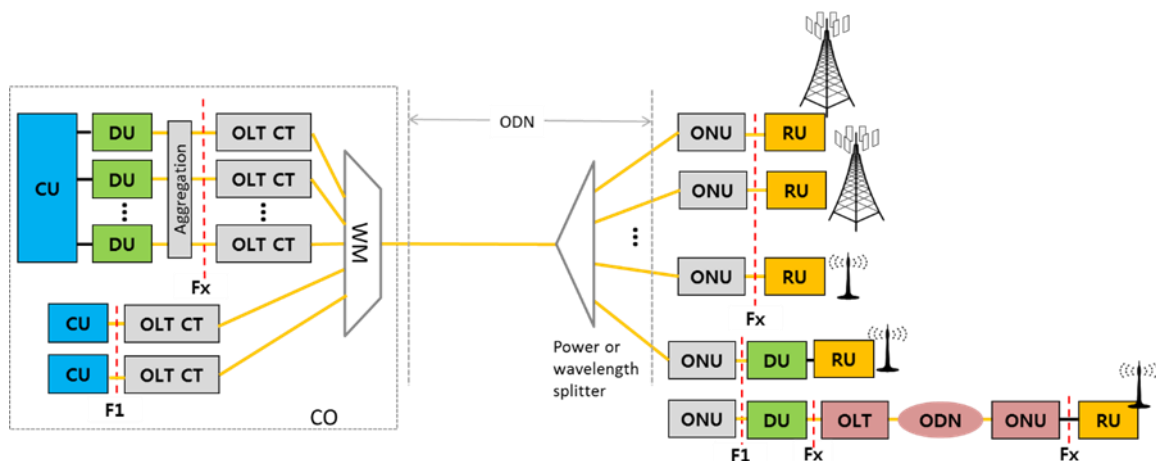


図 II-9.6. 無線サービスに特化した PON による Low layer と high Layer split を混在させたフロントホール

※図中では、簡略化により省略しているが、各 OLT CT は、多数の ONU をサポートできることに注意。

9.3 PON システム実装例

F1 とバックホールインタフェースに関しては、10 Gb/s を超えるデータ速度の TDM-PON は、帯域と遅延の要求の両方を満たすのに十分であるといえる。TDM-PON では、従来の動的帯域割当 (DBA:Dynamic Bandwidth Allocation) のメカニズムが msec のオーダーで遅延を起こす。これは遅延に敏感な 5G のサービス、特に Fx インタフェース上には適応できない。この問題を緩和するために、連携 DBA (CO-DBA, Cooperative DBA) [II-24] のような、遅延を改善する多くのメカニズムが提案されてきている。一方、WDM-PON は DBA を必要としないため、低遅延サービスのためのよい候補として挙げられる。この節では 5G サービスのための、低遅延の TDM-PON、TWDM-PON、WDM-PON の実装例を提供する。ここで覚えておかななくてはならないのは、ひとつの方法ですべての実装に適応できるような方法はない、ということである。特定のソリューションはそれぞれのオペレータの展開のニーズに依存する。

9.3.1 低遅延帯域割当を使った TDM-PON

TDM-PON が 5G フロントホールの伝送に使われるとき (図 II-9-7 参照)、下りの遅延は低いが、上りの遅延は数 msec のオーダーになってしまう。これはそれぞれの ONU が、まず OLT に要求を送り、OLT が上りのデータの衝突が起こることを防ぐために、それぞれの ONU に上りの帯域を割り当てるためである。低遅延を必要とするフロントホールに TDM-PON を使うためには、上りの遅延を減らすことが必要である。

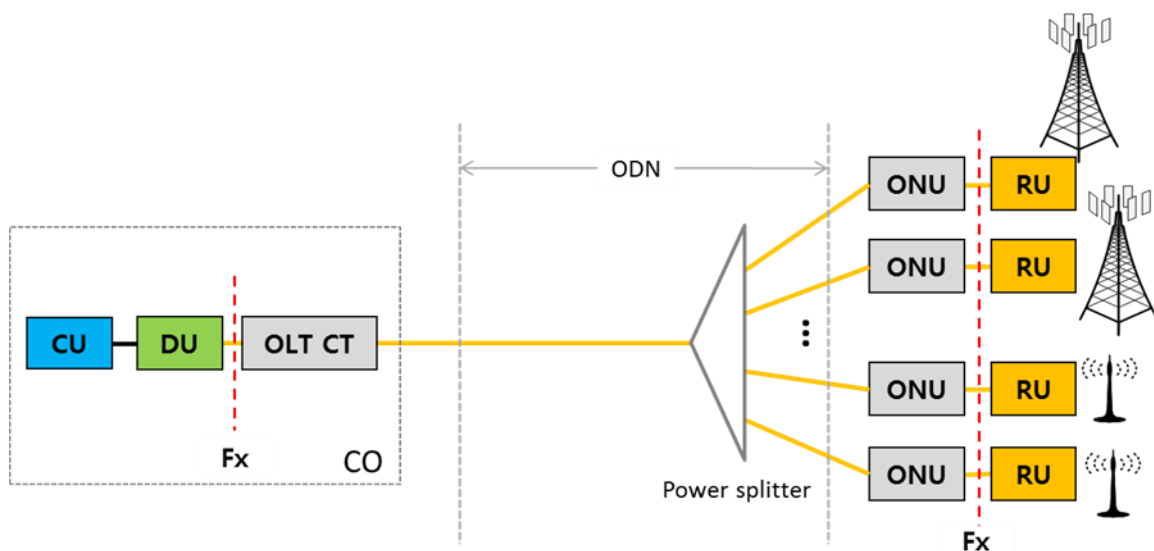


図 II-9-7. 5G フロントホール伝送のための TDM-PON (低レイヤ分割のフロントホールの例)

9.3.1.1 差別化をしたサービスクラス

ひとつの方法として、上り方向でサービスクラスを差別化し、モバイルのトラフィックを高優先に割り当てる方法がある [II-25]。例えば、図 II-9-8 に示すように、サービスクラスは一般的には、固定帯域、保証型 (Assured) 帯域、非保証型 (Non-Assured) 帯域、ベストエフォートサービスから構成されている。固定帯域クラスは最優先として確保され、必要性にかかわらず、周期的に上り帯域を割り当てる。他方、保証型帯域クラスは固定帯域と同様だが、必要性がなければ帯域は割り当てられない。そのため、DU もしくは RU から生成されたモバイルトラフィックは固定帯域クラスにつなげられ、保証帯域と低遅延の上り伝送が可能になる。

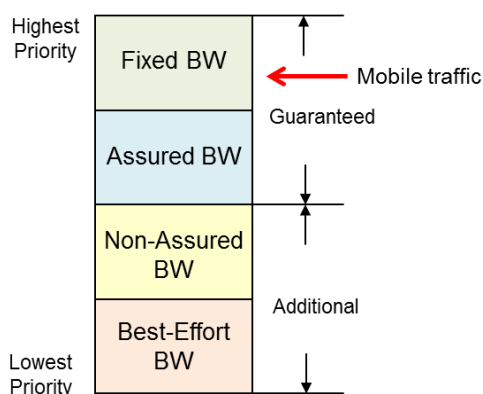


図 II-9-8. 異なるサービスクラスによる 5G フロントホール伝送のための低遅延スケジューリング

9.3.1.2 光 - モバイル連携 DBA (CO DBA)

モバイルトラフィックに最優先 (固定帯域) を適応するとき、欠点としては、帯域はピーク速度を元に割り当てられ、この帯域の使われていない部分は他のノードや他のサービスに再び割り当てられないことである。

TDM-PON の DBA を使って、OLT はそれぞれの ONU に帯域割当情報を送り、それぞれの ONU は割り当てられたタイムスロットにおいてのみ上りデータを送ることができる。従来の DBA の手法では、動的な上りトラフィックと、設定されているトラフィックの契約を考慮に入れる。これらはそれぞれの ONU の上りのトラフィックとバッファの状態レポートの監視を元にして受動的に行われる。この結果として、光通信装置とモバイル通信装置は互いに情報のやりとりを行わないため、DU または RU からの上りのデータは、帯域割当が終了するまで ONU 内で待つことになる。

9.3.1.2.1 モバイルフロントホールのための CO DBA メカニズムの例

CO DBA により、図 II-9-9 のように、モバイルのスケジューラ (CU/DU) と OLT の PON のスケジューラ (DBA) の間では情報のやりとりが導入される。モバイル装置 (各 UE) の要求は CU/DU への上りの帯域を要求し、DU/CU は割当の結果を各 UE に送り返し、対応する情報を OLT に信号として送る。これにより、OLT はあらかじめ上りの帯域の割当を決定することができる [II-24]。OLT はこれらの上りのモバイルトラフィックの到着時間までに帯域を割り当てる。この方法では、ONU のバッファの内容をフィードバック

し、モバイルトラフィックの存在を検知することに DBA が時間を使わずにすむ。これにより、低遅延の上り伝送が可能になる。

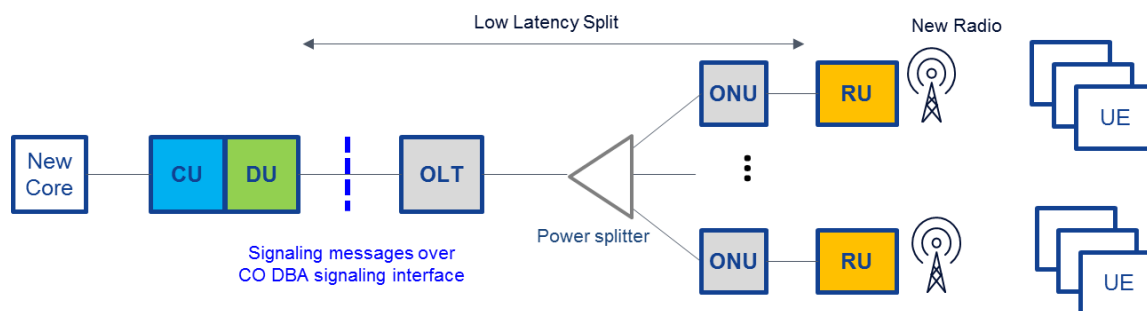


図 II-9-9. モバイルフロントホールのための CO DBA シグナリングインタフェース

図 II-9-10 はモバイルのスケジューリングプロセスの時間のダイアグラムの例を示しており、次のフェーズから成る。

- 各 UE は与えられた 5G NR のスロット (N) の中でデータを送り、将来のスロット (N+A, 例えば LTE ではこれは N+8 になる) のためのエアインタフェースの容量を要求する。
- CU/DU はスケジューリングの決定を行い、それぞれの UE に、その将来のスロット (N+A) のためにそのときの UE に割り当てたエアインタフェースのリソースについて知らせる。
 - 並行して、CU/DU は対応する UE へのスケジュール割当にもとづき、RU ごとの対応するフロントホールの負荷を推定する。
 - CU/DU は、このトラフィックの識別子を含んだ特定の信号メッセージを使い、OLT に、RU ごとに与えられたスロット (N+A) のためのトラフィック負荷を知らせる。
 - OLT はそのトラフィック識別子に対応した T-CONT のために、与えられたスロット (N+A) にその DBA を適応する。
- それぞれの UE は与えられたスロット (N+A) の中で、エア上で上りトラフィックを送る。これは RU において進められ、PON 上でのフロントホールバケットとして伝送される。それぞれの UE はさらに他の将来のスロット (N+2*A) のための要求を送る。

UE と CU/DU のやりとりの繰り返し頻度は、すべてのスロットで 1 度ずつである。CU/DU と OLT の間の CO DBA のやりとりの繰り返し頻度はトラフィックの変動に依存するが、最大でもすべてのスロットで 1 度ずつである。

ここで RU は ONU の UNI に接続された論理的なインタフェースとして参照されることに注意が必要。実際の実装の中では、物理的な RU 装置の中で統合された複数の RU インタフェースを持つことが可能である。

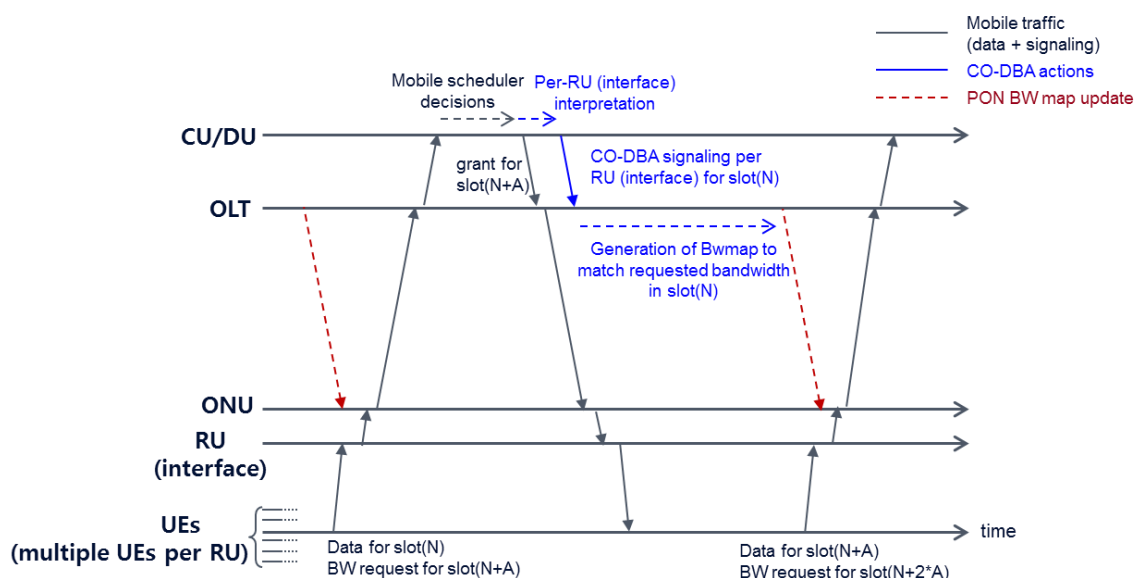


図 II-9-10. 光通信装置とモバイル通信装置の CO DBA の時間ダイアグラムの例

9.3.1.2.2 モバイルフロントホールのための CO DBA アーキテクチャの例

可能性がある他の方法として考えると、相対する ONU の UNI と RU のインタフェースの間の接続にはい

くつか基本的なケースがあり、図 II-9-11 のように示すことができ、次のことが考察される。

- それぞれの OLT は複数の CU/DU とやりとりすることができ、複数の CU/DU と接続することになる
- それぞれの CU/DU は複数の OLT 上の複数の PON 上で RU を収容することができる。これにより複数の OLT とつながることになる
- それぞれの PON は異なる CU/DU に関連しているいくつかの RU の組み合わせきったものを提供できる
- それぞれの RU はひとつの CU/DU とだけ関連している
- それぞれの RU は複数のインタフェースを持つことができ、それぞれのインタフェースは ONU の UNI に接続される。

ここでは RU インタフェースと ONU の UNI を接続するために 4 種類の可能性のある方法があり、図 II-9-11 に示されている。実際に、いくつかの方法は他よりも、より理にかなっているといえる。

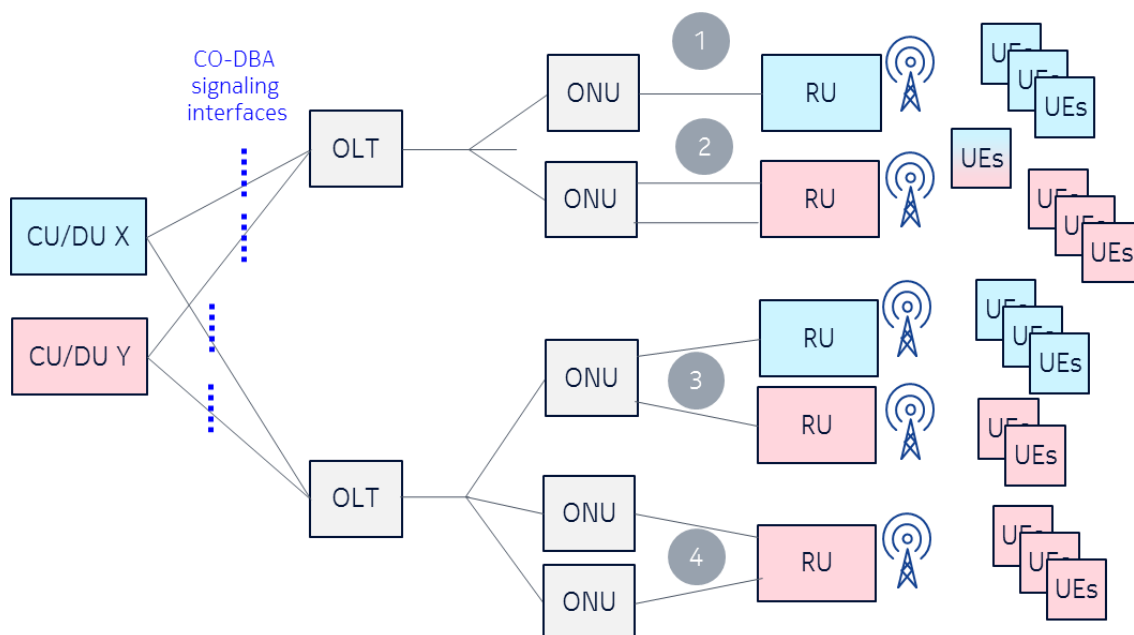


図 II-9-11. CO DBA のためのアーキテクチャのバリエーション

さらに CO DBA は、同じ PON 上で異なる低遅延サービスを異なる遅延要求で混在させることができ、同じ PON 上で低遅延と非低遅延サービスを混在させることもできる。

9.3.1.2.3 CO DBA の機能の役割

CO DBA の中での主な機能の役割は以下のようになる。

- CU/DU と OLT は論理的な CO DBA 信号インタフェースで接続される。これらは同じ物理インタフェースでデータトラフィックを共有する。
- CU/DU はこのトラフィックの、与えられた時間間隔と与えられたサービス、必要な最大の上り遅延のために、どのくらいのトラフィックが必要かを決定する。CU/DU は対応した RU に対して、ONU を通じて PON に接続されて、対応する OLT へのシグナルメッセージの中でそのようなレポートを通信する。
- CU/DU 装置はレポートごとに ID を追加し、サービスとその対応する RU インタフェースを識別する。
- CU/DU は、RU が期待した帯域の中で、様々な変化に対応するためにこの情報をアップデートする。
- OLT はこれらのシグナリング情報を受け、解析し、その対応する T-CONT にレポートを関連づけるための ID を使う。OLT はシグナルメッセージにしたがって、PON に帯域割当を行う。

9.3.2 低遅延サービスのための TWDM-PON

NG-PON2 のような TWDM-PON は、TDM-PON の持つすべての低遅延の機能をそのまま持つ中で、ONU を起動するオーバーヘッドを排除するためのユニークな機能を持っている。これにより、すべての標準ベースのシングルチャネルの PON システムとは違いがあることになる。

シングルチャネルの TDM-PON システムは本質的に、新しい、または再起動してくる ONU を起動させるための非通信時間 (quiet window) を必要とする。20km のファイバ距離の差がある G.987 XG-PON と G.9807.1 XGS-PON の標準では、ONU の発見のために 250 μ s の一般的な非通信時間と、それぞれの発見された ONU のための 200 μ s をターゲットにした非通信時間を求めている。非通信時間の間、OLT CT は一時的にサービス中の ONU からの上りの伝送を抑制するが、これにより、PON のすべてのトラフィックフローに

より引き起こされる瞬間的な遅延とジッタが発生する。

複数のチャンネルを持つ TWDM-PON システムは波長チャンネルペアの一部を、新しい、または復帰してくる ONU を起動させるために割り当てることができる。ここで、低遅延操作のために確保してある、ひとつまたはそれ以上の波長チャンネルペアは、周期的に起こる非通信時間により妨げられることがない。G.989 NG-PON2 では、波長の確保が、下りの波長チャンネルプロファイルのシリアル番号割当タイプ表示パラメータ (Serial number grant type indication parameter) によって行われる (G.989.3 の 11.3.3.14 節を参照)。いったん ONU が、割り当てられた起動用波長チャンネルペアの中で起動すると、この ONU は低遅延波長チャンネルペアでの運用に引き継がれる。システムが一定のレンジング、または等化遅延 (equalization delay) の連携のための他の手法を実装している場合 (G.989.3 の Appendix VII を参照)、この起動した ONU の引継ぎは低遅延オペレーションチャンネルの中で他の ONU のサービスを妨げることはない。

9.3.3 低遅延サービスに対する WDM-PON

WDM-PON デザインは例えば図 II-9-11 で示される。OLT からの信号 (それぞれ異なる波長のチャンネル) はセルサイトへ送信する前に波長多重器で合成される。ODN では波長スプリッタ (一般的にはアレイ導波路グレーティング (AWG)) は異なる ONU へそれぞれの波長を転送し、それぞれの ONU はアンテナの 3 セクタの一つをサポートする RU へ接続される。

例えば、初期デザインパラメータは表 II-9-2 である。このデザインは 6 セルサイト 18 ONU をサポートするために 14dB という非常に保守的な光パス損失 (OPL) を想定している。ほとんどのリンクは 10km 以内であり、最大でも 20km となる。OLT は伝送分散ペナルティを考慮していない概算であることは注意すべきである。このテーブル内の幾つかのパラメータは特別な技術を選択することよりさらに調整されることできる。

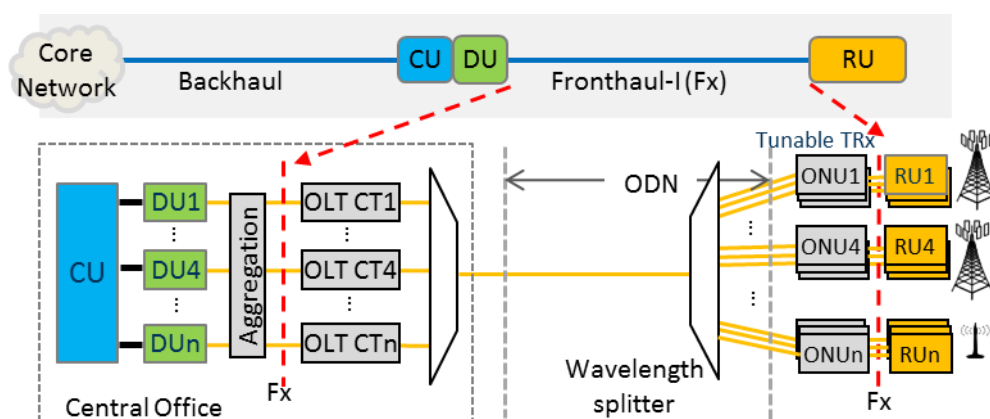


図 II-9-11. Fx フロントホールインタフェースに対する WDM-PON の実装の一例

表 II-9-2. 図 II-9-9 を例にした WDM-PON デザインパラメータ

OPL: 14dB	Data Rate and Reach	20 ONUs per PON port
<ul style="list-style-type: none"> ファイバ損失 : 3.5dB (10km) 接続損失 : 2dB (4*0.5) AWG損失 : 5.5 dB 光マージン : 3dB 	<ul style="list-style-type: none"> チャンネル当たり 25Gb/s ほとんどの距離 < 10km 部分的に 20km のリンク 	<ul style="list-style-type: none"> 5-6セルサイトに 15-18 の波長ペア ; 予備として 2-5 波長ペア

表 II-9-2 のデザインパラメータに加えて、下記キーとなる要求条件が検討されている。

- 25Gb/s フロントホール信号のトランスペアレント伝送
- カラーレス ONU 波長チューニング性能とコストのトレードオフ
- トラフィック監視やトラフィックチャンネルループテストのような送信チャンネルテストを含む WDM-PON システムの管理性能
- DU-RU 間の要求条件を保証する品質を持つ周波数及び時刻同期信号 (SyncE および IEEE1588v2) の SNI から UNI へのトランスペアレント伝送
- 7 章でのフロントホールの要求条件に適合した遅延 (ファイバ伝送遅延及び WDM-PON システム内の処理遅延も含む)
- ファイバの消費を節約し、建設コストを削減するための 1 芯双方向伝送

10. PON 物理レイヤ要求事項

10.1 容量

10.1.1 F1 インタフェースにおけるスループット要求事項

F1 インタフェースにおけるユーザデータのピーク速度は、Small Cell Forum が出版した文献 [II-11] の Appendix C の PDCP-RLC 分岐点のケースに記載された方法、および、3GPP の LTE 対応の資料 TS 36.213 [II-28] もしくは 5G 対応の資料 TS 38.214 [II-29] で引用されている無線チャンネルパラメータを用いて算出することができる。このモデルでは、セル内に UE が 1 個のみ存在し、回線が最大速度（回線が占有できるピーク速度）で通信できるという条件のもと F1 インタフェースで伝送される最大データ速度が導出される。この速度は無線リンクの周波数帯域幅、個別のデータストリームの数（MIMO レイヤ）および QAM の変調次数（すなわち、x-QAM の 2 次元対数）に概ね比例する。これは、バックホールの帯域幅よりも最大で 3% 大きい。

複数の UE がセル内で同時に通信する集約されたデータ速度は、チャンネルの条件が最適でないことや通信量がダイナミックに変化することなど多くの理由により、このピーク速度よりも小さくなる。トランスポート網の容量を見積る際には、NGMN の提案（文献 [II-30] において NGMN は通常の運用条件における平均速度とピーク速度の比率は 4~6 倍であるとしている）に準じて「回線混雑時の平均速度」は回線占有時のピーク速度の 20% という想定による影響が考慮される。

固定回線ネットワークの F1 インタフェースで必要な帯域幅においては、固定回線の伝送プロトコルに依存するオーバーヘッドに加えて、制御やスケジューリング、同期メカニズムにより付加される容量も考慮しなくてはならない。F1 インタフェースにおける上記の生のユーザ速度に対する容量の増加は伝送状況やパケットサイズの分布に応じて変化する。文献 [II-31] では、簡単のためにユーザデータ速度に対する平均増加量は 20% と想定している。

続く 2 つの節では、様々な無線リンクの構成で動作するセルサイトの集合に対して上述のアプローチを適用した 2 つの異なったネットワークシナリオについて検討する。

10.1.1.1 集約した F1 インタフェースにおけるデータ速度の算出 - 事例 1

(OLT に接続された) 一つの CU と (各々が ONU に接続された) 複数の DU を接続する単一の PON で構成される x-haul ネットワークを図 II-10-1 に示す。DU には複数の RU が専用の Ethernet で 1 対 1 接続されている。

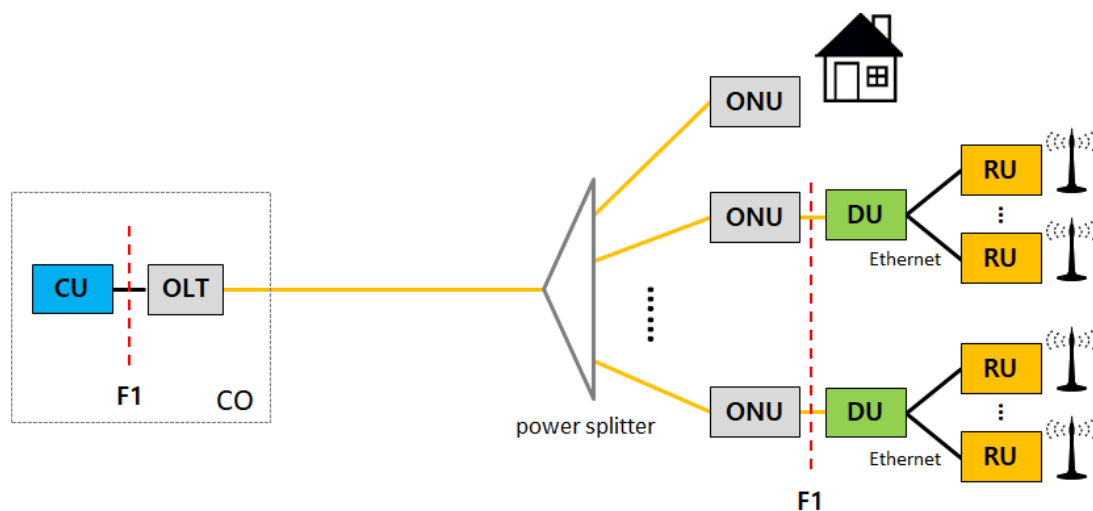


図 II-10-1. CU と複数 RU 間を繋ぐ F1 インタフェースに単一の PON を適用した場合

まず、バックホールのピーク伝送容量は単一の RU が様々な MIMO レイヤ、RF 帯域や異なる QAM の次数の条件で動作する場合について算出される（表 II-10-1）。すでに上述したように表中の数値には、無線インタフェースのピークデータ速度に付加する固定回線の 20% のオーバーヘッドが含まれている。サブ 6GHz 帯を使う場合、搬送には 100MHz までの無線周波数の帯域と 64QAM を想定する（縦の区分線の左側の列）。6GHz を超えるミリ波を使う場合は、200MHz またはそれ以上の帯域を想定し、変調は 256QAM となる（区分線の右側の列）。

表 II-10-1. 単一の RU を収容する単一の DU に対するバックホールのピークデータ速度

MIMO	Peak backhaul data rate from a single DU serving a single RU (Mbps)						
16	718	1436	2872	7180	19008	38016	76032
8	359	718	1436	3590	9504	19008	38016
4	180	359	718	1795	4752	9504	19008
2	90	180	359	898	2376	4752	9504
1	45	90	180	449	1188	2376	4752
	10	20	40	100	200	400	800
RF Bandwidth (MHz)							

同じ DU で集約された複数の RU からのトラフィックの場合 (図 II-10-1 参照)、MGMN は個々の RU のデータ速度を N セルの場合について結合する 2 通りの方法を提案している [II-30]。以下に数式を示す。

$$B_{aggr}(N) = \max(B_{peak}, N \times B_{avg}) \quad (1)$$

ここで、 $B_{aggr}(N)$ は N セル集約時の速度、 B_{peak} は単一セルが回線占有時のピーク速度、 B_{avg} は回線混雑時の単一セルの平均速度である。

各々が専用の RU に接続されたセル (もしくはアンテナセクター) が 10 個の場合、共通の DU で集約された伝送容量は、単一 RU でのバックホールのピーク速度の 2 倍となる ($10 \times$ 平均速度 $= 10 \times 0.2 \times$ ピーク速度 $\times 1.02$)。係数 1.02 は、バックホールと比較した F1 インタフェースにおける平均的なオーバーヘッド分を示す。表 II-10-2 は、結果として得られる表 II-10-1 に対応する伝送速度を示している。想定する無線の構成に応じて、一つもしくは複数の DU が 2.5Gbps (無色)、10Gbps (緑色)、25Gbps (黄色) もしくは 50Gbps (赤色) の単一の光回線に収容可能である。

表 II-10-2. 10 個の RU を単一の DU に集約した F1 インタフェースの速度

MIMO	aggregated F1 interface data rate from a single DU, serving 10 RUs (Mbps)						
16	1465	2930	5860	14649	38780	77560	155120
8	732	1465	2930	7324	19390	38780	77560
4	366	732	1465	3662	9695	19390	38780
2	183	366	732	1831	4848	9695	19390
1	92	183	366	916	2424	4848	9695
	10	20	40	100	200	400	800
RF Bandwidth (in MHz)							

10.1.1.2 集約した F1 インタフェースにおけるデータ速度の算出 - 事例 2

本節では NGMN Alliance が提唱した別の数式 [II-30] に基づいた集約した F1 インタフェースにおけるデータ速度の算出例を示す。

$$B_{aggr}(N) = \max(B_{peak} + (N - 1) \times B_{avg}, N \times B_{avg}) \quad (2)$$

NGMN によるとアンテナセクターの 1 つがピーク速度で動作し、他の 2 つが平均速度で動作する時にセルはピーク容量で動作すると想定している。いくつかの 4G の展開においては無線ユニットとアンテナは分離されているが、5G においてそれらは図 II-10-2 に示すように一つの RU に集約することができる。

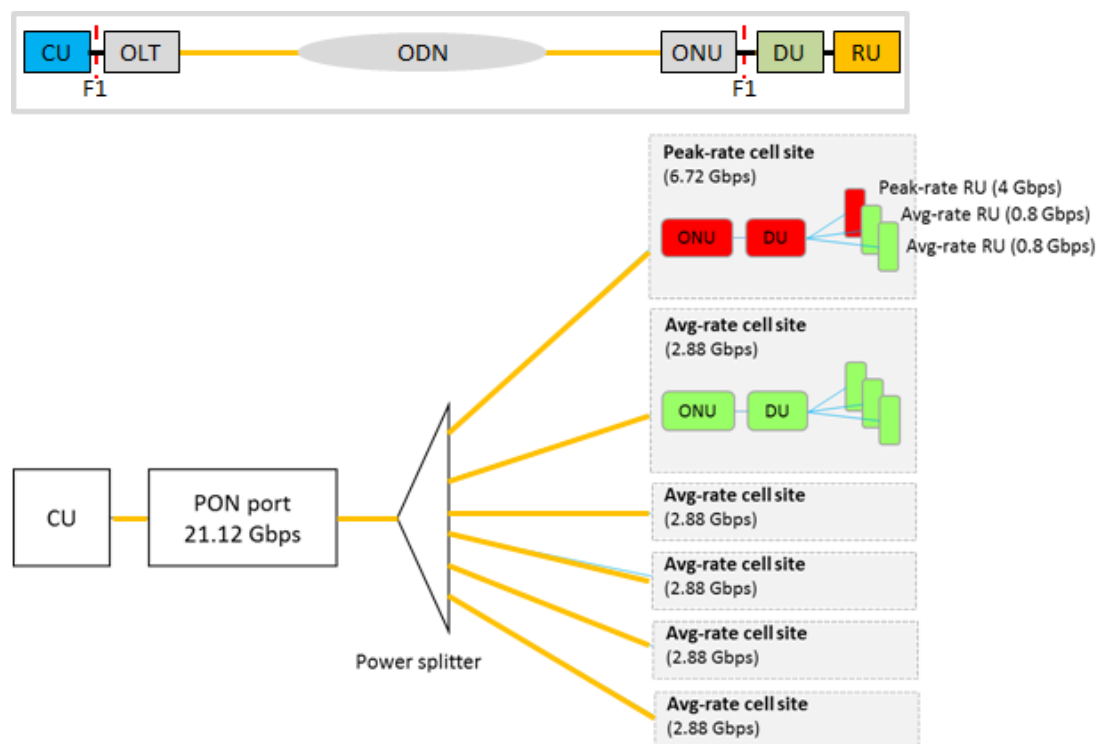


図 II-10-2. PON ポート当たり要求される容量を計算するためのネットワーク構成

5G New Radio におけるカバレッジを改善しセルの敷設密度を上げるために、高域および低域の2つの無線周波数帯が使われることが予想されている。低域の周波数帯（例えば、3.5/3.7GHz）は通常のカバレッジに対応するマクロセル、高域の周波数帯（例えば、26/28GHz）は主にホットスポットエリアに対応したマイクロセルで使われる。表 II-10-3 にこれまでの節で記載したルールに従って予測したいいくつかのデータ速度に関する要求事項を示す。

表 II-10-3. 256QAM 搬送における F1 での信号帯域に関して想定される要求事項

Radio frequency band	Number of Tx/Rx antennas	MIMO layers	Radio channel bandwidth (MHz)	Peak data rate per RU (Gb/s)	Average data rate per RU (Gb/s)	F1 data rate per cell site: 1*peak+2*avg (Gb/s)	Transport data rate for F1 (Gb/s)
5G, low freq (3.5/3.7 GHz)	16T16R	4	100	2	0.4	2.8	3.36
	64T64R	8	100	4	0.8	5.6	6.72
5G, high freq (26/28 GHz)	4T4R	2*2	2*400	8	1.6	11.2	13.44

表 II-10-3 の 64T64R の例を使う場合、このセルに対応する伝送データ速度の総計（ピーク速度）は、6.72 Gb/s (= $1 \times 4 \text{ Gb/s} + 2 \times 0.8 \text{ Gb/s}$) $\times 1.2$ となる。一方、全ての RU が平均速度で動作している場合、セルは平均値で動作していると考えられ、この例ではその値は 2.88 Gb/s (= $0.8 \text{ Gb/s} \times 3 \times 1.2$) となる。よって、単一の PON ポートから成る図 II-10-2 に示す CU ポートにおいて要求される容量は 21.12Gbps となる。ここで要求される容量に対しては 25Gbps PON が対応可能である。

10.1.2 低レイヤ分岐におけるスループット要求事項

TS38.101 [II-26] での調査後、3GPP は Option 6 (MAC-PHY) もしくは Option 7 (Mid PHY) での分岐に基づいた gNodeB の構成による低レイヤ分岐についても規定することを決定した。

Option 6 での分岐におけるピークスループットは、Option 2 での分岐の場合と同等である（上述してきた F1 での考察参照）。文献 [II-28] 記載の数式は 5G numerology [II-29] を使って導出可能である。上述と同じ NGMN Alliance の集約時の算出方法 [II-30] は、Option 6 での分岐構成に対しても適用可能である。

Option 7 での可能な分岐におけるピークスループットの算出は、文献 [II-4] の Annex-A にあるように、CMCC の考える Option 7 での分岐 (Option 7a, 7b, 7c) に関する寄書 [II-33] に基づいており、一方、ピークデータ速度は NTT DoCoMo の寄書 [II-34] にある数式によって見積もられる。これらの分岐は eCPRI の規定 [II-9] で定義されている intra-PHY 分岐点とは異なるものである。従って、G.sup.5GP では Small Cells Forum [II-9] が eCPRI の IID および、IU または ID に対応する Split II および Split I (DL のみ) に対して提供した数式をピーク伝送容量の算出に適用することを提案している。これにより eCPRI ベースの分岐につい

て回線占有時のピーク速度が概算できる。

ここで、Option7の分岐 (SCF Split I および Split II) におけるピークと平均の比率は文献 [II-28] の記述や前述の F1 インタフェースで使った比率 (20%ルール参照) には従わないことに注意しなければならない。従って、intra-PHY 分岐については、集約アルゴリズムと平均スループットの計算に関して今後の検討課題である。

低レイヤの分岐については様々な SDO においてまだ検討中であるため、本補足資料の将来の改版でより詳細が提供されるであろう。

10.2 ファイバ長および分岐比

PON を 5G 無線の伝送系に適用する場合、ファイバ長はサービスの遅延要求 (7.3 節) で、分岐比は使用帯域 (7.2 節) で制約される。家屋を対象とした通常の PON の伝送距離と分岐数はここでは適用できない。

Fx インタフェースの場合、DU と RU 間の厳しい遅延要求によりファイバ長が通常の家屋を対象としたファイバ長よりも短く制限される可能性がある。TDM-PON の分岐比は帯域要求により制約される可能性がある。WDM-PON の場合、オペレータが準備可能な波長数が制約の対象となる。

F1 インタフェースの場合、遅延要求は msec のオーダーとなり、ファイバ長は長くできる。帯域要求は Fx インタフェースの場合ほど厳しくはならない。

まとめると、5G 無線の伝送系に新たな PON システムを設計する時には、遅延と帯域の要件を入念に考慮して PON のファイバ長と分岐比を決定する必要がある。

10.3 光スペクトラム

G-PON, XG-PON, XGS-PON, および NG-PON2 の波長プランは、各々、ITU 勧告 G.984.2, G.987.2, G.9807.1, および G.989.2 に規定されている。EPON および 10G-EPON の波長プランでは、各々、G-PON および XG-PON の波長プランを引用している。

5G 無線フロントホール用に PON システムを設計する場合、減衰と波長分散を考慮しなくてはならない。単一モードファイバ (SMF) の特性は波長に依存する。SMF 内を伝送する光信号の減衰量は C バンドで最小となり、L バンドで若干高くなる。SMF では波長分散がゼロとなる領域は ~1310nm である。光スペクトラムの選択は、光-電気変換素子の入手性にも影響される。既設システムとの共存が求められる場合には、既設フィルターの特性および敷設システムに対するガードバンドが別の 2 つの決定要因となる。

11. PON システム要求事項

5G トランスポートをサポートするための PON システムに関する要求事項は、一般的に以下に示す 3 つのカテゴリに分類される。

11.1 無線ネットワークにおける要求事項

遅延や同期といった無線ネットワークにおける要求事項に関して、PON システムは 5G NR 仕様に準拠する必要がある。例えば、(表 II-7-2 に示す) 片方向遅延 100 μ s という仕様に関しては、ファイバ単体の伝搬時間が 5 μ /km であるため、遅延が 100 μ s を超過する距離 20km 以上のサポートは不可能である。

また、同期に関しては、7.4 章に示す仕様に準拠する必要がある。PON システムが 5G NR トランスポートの実現解となるためには、同期タイミングエラーに関する要求を満たすことが重要である。同期タイミング精度に影響を及ぼすいくつかの要因については、以下のような議論がされている (文献 [II-35]) 。

1. 上下波長毎のファイバ伝搬遅延: 例えば、XG-PON の場合、上下波長毎 (上り 1270nm、下り 1577nm) の屈折率の違いにより、伝送距離 20km で 61.2ns の違いが生じる。
2. EqD (Equalization Delay) 精度: XGS-PON に関しては、DOW (Drift Of Window) の勧告値に従い、EqD 精度は ± 3.2 ns 以下となる。
3. 内在タイミング補正: OLT および ONU において、論理演算やその他要因による遅延が内在する。1 つの大きな要因は下り SerDes による遅延であり、XGS-PON においては、 ± 6.4 ns 程度の差異が発生する。
4. システムを構成するハードウェアに内在する差異: プリント基板配線パターンにより、別々の信号が、別々の経路を伝送される場合がある。これらの差異は、一般的にはシステムレベルで調整可能である。

本紙にてこれまで議論しているように、Fx インタフェースをサポートするには、データ速度 25Gb/s 以上の PON が必要となる場合がある。これらの高速な PON を 5G トランスポートに適用するためには、同期タイミング制約に関して解決しなければならない更なる課題が存在する。

11.2 PON - 無線インタフェースの連携に関する要求事項

PON- 無線インタフェースに関する要求事項として、TDM-PON による CO DBA のサポートは言うまでもない。WDM-PON は物理レイヤにて P2P で提供されるので、無線ネットワークとの疎通は TDM-PON に比べて容易である。TDM-PON および WDM-PON とともに、1 つの CU/DU が 1 つ以上の OLT 波長チャネルを柔軟にサポートできるように、OLT と CU/DU 間を相互に多重接続可能な構成とする必要がある。無線に関する SDO とのリエゾン、次ステップに向け、現在進行中である。

11.3 無線ネットワークから見えない PON 内部の要求事項

サービスデータの 캡セル化、PON チャネル監視制御、OLT/ONU タイミング制御、メッセージ・データ暗号化、プロテクションなどの、無線ネットワークからは見えない PON 内部の要求事項に関しては、できる限り現在規定されている PON 仕様に従う。新規仕様は必要に応じて作成される。

11.3.1 PON における OAM 機能をサポートするためのインプリメント

TDM-PON システムでは、ネイティブな OAM 機能の提供に関して、伝統的に、OMCI (ONT Management and Control interface) が利用されている。NG-PON2 の PIP WDM-PON では、AMCC が波長単位のモニタリングをサポートする。ここでは、PON が、どのように in-band および out-of-band でのモニタリング手法をサポートできるかを検討する。

Out-of-Band モニタリング

out-of-band モニタリングの最も素直なインプリは、モニタリングおよびデータ転送に別々の波長チャネルを使用することである。これは、PON 上の全波長を制御するために OAM 用波長を 1 つ割り当てることで、WDM-PON、TWDM-PON にてインプリ可能である。また、この管理用チャネルは、(一時的な輻輳に耐力のある) 非フロントホール用途で使用される。しかし、この手法は代わりに 2 つのトランシーバが必要になる。潜在的に魅力のあるスキームとしては、XGS-PON や NG-PON2 などを利用した無線システムの OAM として、G-PON などの低コストで共存可能なシステムを利用することである。

代替手段としては、ペイロードと同じ波長に out-of-band チャネルを構築する方法がある。NG-PON2 の P2P WDM-PON や一般の WDM-PON では、各波長で、AMCC により OAM シグナリングチャネルを提供可能である。

注) AMCC に関しては 2 つの方法がある。1 つは、高速なペイロード信号に対して低速なエンベロープ変調をかける手法であり、もう 1 つは FEC エンコードされた転送フレーム内のリザーブビットを使用する方法である。

特定の WDM-PON ペイロードタイプ (たとえばイーサネット) においては、イーサネットプロトコルのペイロード領域ではなくアイドル領域に OAM メッセージを埋め込むといったアプローチをとることも可能である。

上記すべてのインプリでは、OAM データは out-of-band であり、ペイロード帯域を減少させることはない。

In-Band モニタリング

PON 上での in-band モニタリングに関しては、OMCI がネイティブな OAM 機能を提供し、OMCI を OAM 情報転送に使用することができる。ただし、CPRI フレームといった無線信号を GEM フレーム 캡セル化する必要がある。また、上りパーストは遅延や同期に関する要求事項に影響を及ぼすため、さらなる注意が必要である。P2P イーサネットリンクにおいては、使用帯域が少ない (毎秒 10 パケット以下) 標準的な OAM 機能の使用が好ましい。

III. アクセス網への仮想化技術の適用

近年、データサーバに対する運用・管理の煩雑さ解消を目的とした仮想化技術が進展している。ネットワークにおいても、従来 PC 型端末が大多数を占めていた状況から、モバイル端末や IoT (Internet of Things) 機器と多種・多様な機器がネットワークに接続される状況に変化し、増大する接続端末の管理、およびネットワーク構成や設定変更の柔軟性や効率的なネットワーク帯域管理によって、サービスへの迅速な対応が可能になると期待されている。そのような背景から、各標準化団体において、ネットワークの仮想化技術についての議論が行われている。本章では、標準化団体の内 International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (以下、ITU-T)、および Broadband Forum (以下、BBF) における近年の動向について述べる。

1. ITU-T における動向

ITU-T では、仮想化の取り組みを 2 つの Study Group (以下、SG) で取り組んでおり SG13 ではアーキテクチャについて、SG15 ではインタフェース規定について議論している。SG13 の研究課題として、IMT-2020 (5G) の非無線部分に特化したネットワークの仮想化とスライスの生成管理部 (Orchestration) の要件、アーキテクチャ機能及びアプリケーションインタフェースに関する研究と OSS (Open Source Software) の利用可能性とガイドの検討等が設定された。仮想化アーキテクチャ検討は、2017 年 11 月の SG13 において、図 III-1-1 に示すスライス利用のための基本アーキテクチャ (Y.3150) を合意した [III-1]。基本アーキテクチャでは、サービスプロバイダーである Slice Customer、スライスを制御し管理を行う Slice Life Cycle Management & Orchestration、スライスを構成する物理資源である Slice Support の三層から構成される。また、Slice Life Cycle Management & Orchestration と Slice Support 間のインタフェースを R1 と定義している。

図 III-1-1 に示す基本アーキテクチャが合意された後、2018 年 4 月から、基本アーキテクチャを詳細化するための新しい Work Item が開始され、2018 年 7 月 SG において、詳細アーキテクチャが提案された。これは、基本アーキテクチャを、既存装置/伝送装置/サーバ系装置に分離し、光アクセス装置を伝送系 (SDN) で仮想化の規定を行うこととしており、2018 年 10 月 SG にて承認を得た。今後、2019 年 3 月に開催される本会合にて勧告草案として承認される見込み予定である。

一方、SG15 では 2019 年から SDN Controller と SDN Applicable Hardware 間の R2S インタフェースを規定する予定である。

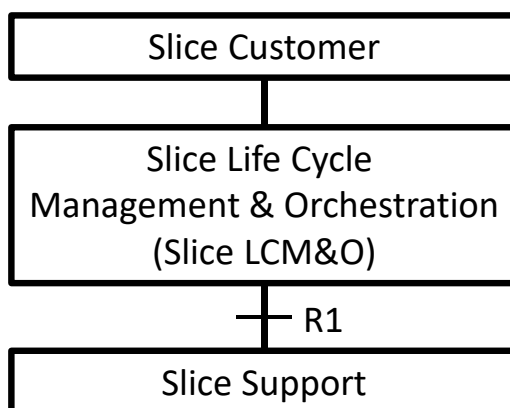


図 III-1-1 スライス構築の基本アーキテクチャ [III-1]

2. BBF における動向

2.1 BBF でのアクセスネットワークの仮想化技術の検討について

BBF においてアクセスネットワークの仮想化に向けた検討が行われている。ここでは、次世代 CO として Central Office (以降 CO) のクラウド化の検討のための ① CloudCO プロジェクトと、そのビジョンを具現化するための ② Open Broadband-Broadband Access Abstraction (OB-BAA) というオープンソースをつかった実装プロジェクトについて述べる。BBF は約 200 の通信事業者やベンダが参加している固定系ブロードバンド技術やサービスを推進する業界標準化団体で、これまでも ADSL から始まり、VDSL、G.fast、GPON などの運用やマルチベンダー化のための標準化や技術レポートなどを提供してきている。仮想化技術により、TCO 削減、オペレーションの自動化、新サービスの TTM (Time to market) の短縮、ネットワークスライス (アンバンドルサービス含め) などが期待される。事業者はオープン・ソフトウェア・フレームワークから、様々なベンダからのハード、ソフトを選択でき、独自のサービスを短時間で構築することが可能になる。

2.2 CloudCO プロジェクトについて

BBF では 2016 年からクラウド技術を活用した次世代の CO に関する検討が始まった。CloudCO プロジェクトは、2017 年に 1 年間の活動を目標に、CO の機能を再構築し、クラウド化するためのプロジェクトとして始まった。この実証ラボとして、Open Broadband というコラボスペースも立ち上がっている。2018 年 1 月には TR-384 Cloud Central Office Reference Architectural Framework が、また 2018 年 4 月には TR-416 CloudCO Use Cases and Scenarios が発行されている。同様に、Working Text として次のようなものがある。

- WT-408 Co-existence with/migration from legacy systems
- WT-411 Functional module Interface definitions
- WT-412 Test cases for CloudCO systems in Open Broadband Labs
- WT-413 Migration to SDN-enabled management and control

図 III-2-1 に TR-384 での CloudCO の参照アーキテクチャ、図 III-2-2 に CloudCO プロジェクトで検討された各文書と、それらのオープンブロードバンドの中での位置づけを示す。

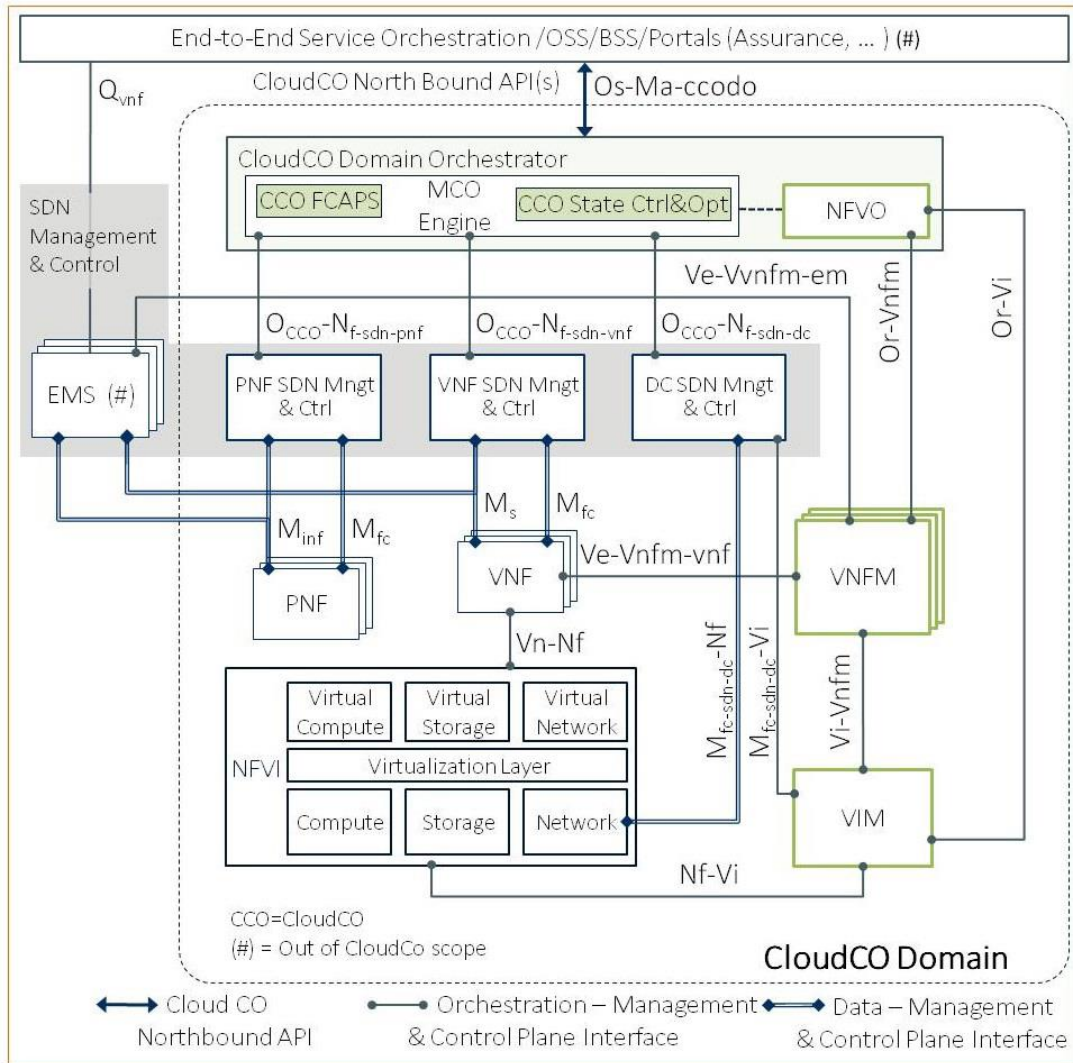


図 III-2-1 TR-384 における CloudCO 参照アーキテクチャ [III-2]

How CloudCO projects map on to Open Broadband

- ① CloudCO architectural framework (TR-384)
 - ② CloudCO Interfaces (WT-411)
 - ③ Software reference implementation
 - ④ CloudCO migration & co-existence (WT-408)
 - ⑤ Hardware reference implementation
- + App notes, test cases, etc.

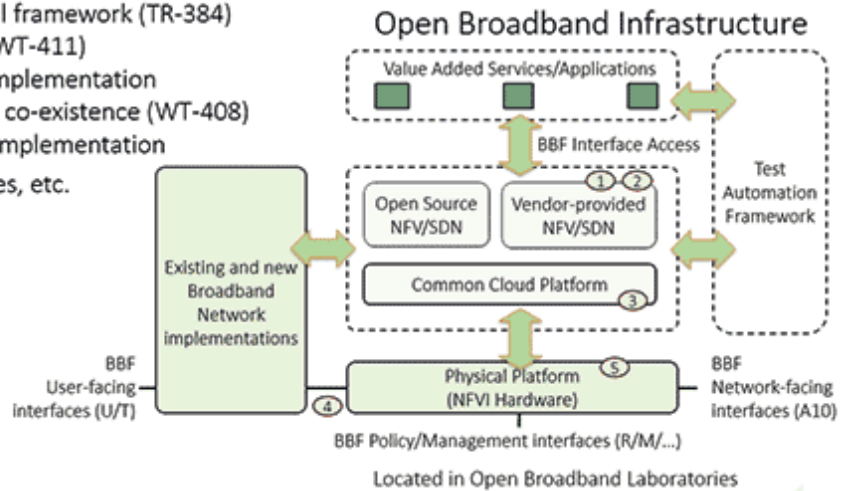


図 III-2-2 CloudCO とオープンブロードバンド [III-3]

CloudCO は下記サイトに次のように述べられている。(https://www.broadband-forum.org/cloudco より)
 Cloud Central Office (CloudCO) は、ネットワーク機能を提供するために SDN、NFV、クラウド技術を活用したセントラルオフィスのホスティングインフラストラクチャーを再定義するもので、BBF 20/20 ビジョンに沿ったものである。これを行うことにより、TR-101 や TR-178 などによってこれまでに追加的に展開されてきたアクセスと集約のネットワークのアーキテクチャを根本的に再定義する。

CloudCO の機能にはノースバンド API を通じてアクセスすることができ、事業者やサードパーティが、API 利用装置からどのようにその機能に到達するかは隠蔽しながら、その機能を使うことができる。これを実現するために、SDN や NFV が使われ、CO に展開されているクラウドのようなインフラの上で動作させる。

また、下記サイトでは CloudCO プロジェクトの価値について次のように述べられている。(https://www.broadband-forum.org/marketing/download/Introducing_BBf_CloudCO.pdf より)
 プロバイダは、自身のネットワークが、適応性が高く、アジャイルで、拡張性があり、活発であってほしいといつも思っている。同時に、市場に提供する時間も短縮しながら、CAPEX、マイグレーション、OPEX のコストも下げたい。CloudCO、共通プラットフォーム、コアの機能の再利用などの特性を統合することは、上記のサービスに関するすべての問題につながる。これにより事業者はすべての様々なアクセス技術をひとつのネットワークで動作することができ、柔軟に革新的なサービスを展開できるようになる。

2.3 OB-BAA プロジェクトについて

Open Broadband-Broadband Access Abstraction (OB-BAA) プロジェクトでは、CO に置かれるようなアクセス装置が抽象化され、機能別に再構築され、インタフェースが定義されるが、そのインタフェースではオープンソース技術が使われる。ネットワーク装置の抽象化により、ネットワーク機能の仮想化 (論理化) と自動化 (プログラマビリティ) が可能になる。具体的な実装のために、代表的な抽象化の手段として YANG モデル、インタフェースプロトコルとして NETCONF が使われ、これにより特にマルチベンダー対応が容易になる。

図 III-2-3 に OB-BAA のアーキテクチャと、それにより差別化できるポイント、図 III-2-4 に OB-BAA が上位 SDN 管理・制御機能と、下位のアクセスノード (AN) に提供する機能を示す。

OB-BAA の差別化ポイントとは?

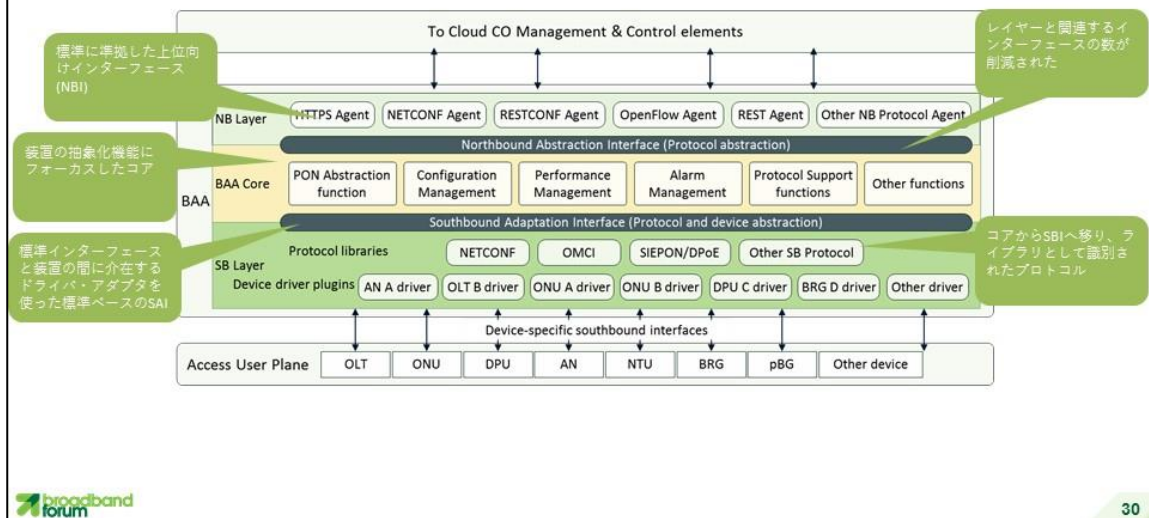


図 III-2-3 OB-BAA の差別化ポイント [III-4]

OB-BAAが提供する機能

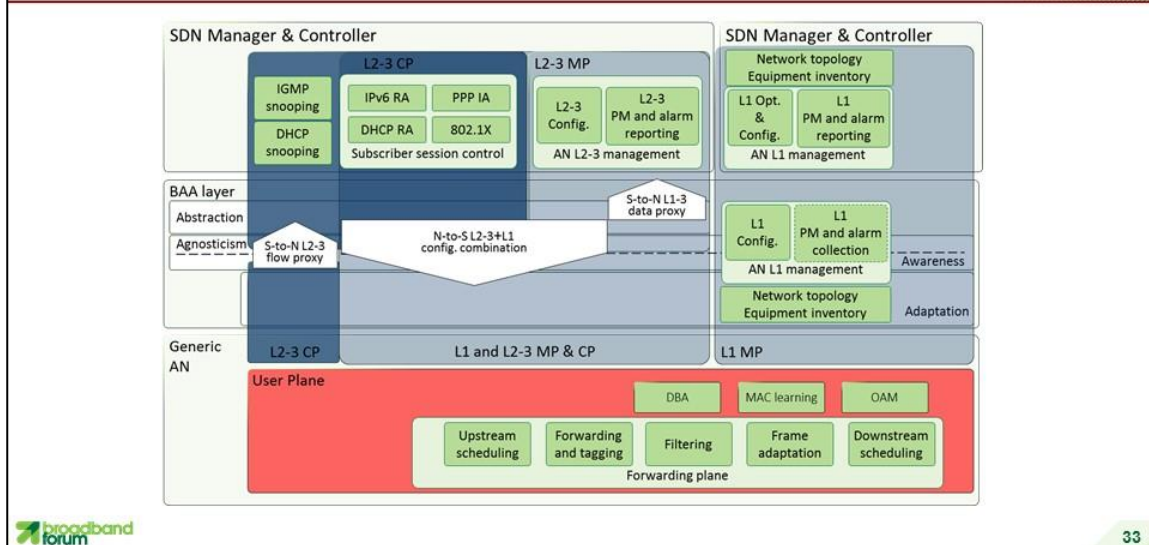


図 III-2-4 OB-BAA が提供する機能 [III-5]

アクセス装置の YANG モデル化は、2016 年 7 月に TR-355 YANG Modules for FTTdp Management として DSL システムの YANG データモデルがリリースされているが、その後、PON システムに対しても同様に WT-385 YANG model for management of ITU-T PON がリリースされており、この TR-385 も 2019 年に計画されている。これらの YANG モデルは各システムベンダーにおいてアクセスシステムへの実装が進んでいる。これまでは複数のサービスやマルチベンダーなどの垂直統合には多大な労力を必要としてきたが、仮想化された制御・管理プラットフォーム上での水平統合プラットフォームで運用することで、TCO 削減をしたり、自動化などによる運用の高度化を行ったり、サービス開発や導入を柔軟かつ短時間で行うことができるようになる。

例えば、従来まで機器の状態収集に用いられてきた SNMP は、単発的に状態を知るには便利だが、複雑なケースを包含する自動処理といったことは難しい。NETCONF では、装置内の状態や設定内容を見ながら状態別に個別の処理を適応する、というプログラムも可能になる。ヨーロッパでは、G.fast が広がるにつれ、数多くのマイクロノードを効率よく展開、運用する必要があり、モニタリングやトラブルシューティングもできるだけ自動化していきたいという要望がある。オーストラリアでは、G.fast のマルチベンダーシステムを単一の管理監視システムに統合するために BBF で標準化された NETCONF/YANG モデルが使われている。また、アクセス回線上でコンシューマ向けサービスだけでなく、企業向けサービスや無線基地局などのバックホールなど、様々なサービスに使うときや、他事業者向けのアンバンドル対応として、仮想化技術を使っ

たネットワークスライシングも視野に入れた検討が行われている。OB-BAA プロジェクトの成果として、BBF は 2018 年 8 月に OB-BAA の最初のコードと文書のリリースを発表した。さらに 10 月には OB-BAA のマイナーリリースを発行している。これと同時に、10 月の BBWF イベントでの BBF のブースにおいて、OB-BAA のデモが行われた。これは、複数のベンダの OLT と DPU が同じコマンドとメッセージベースの NETCONF プロトコルと、関連する共通な YANG データモデルを使って、管理、制御するというデモである。この OB-BAA の最初のリリースの成功により、OB-BAA のプロジェクトチームはセカンドリリースを 2019 年の 2 月に発行するように鋭意作業中である。このリリースでは、現在のアクセス装置も管理や制御のために CloudCO の実装の中で仮想化できる。2018 年 12 月には、TR-413 SDN Management and Control Interfaces for CloudCO Network Functions がリリースされた。今後、この TR-413 で定義された共通の YANG データモデルを使って、さらにたくさんの管理や制御の例が示されていく予定である。

2.4 PON Abstraction Interface for Time-Critical Applications プロジェクトについて

BBF では、2016 年 10 月に DBA など高速処理が必要な機能の仮想化（部品化）を目的とした PON Abstraction Interface for Time-Critical Applications (TCA) プロジェクトが承認され、2017 年 3 月から審議が開始された。DBA はリアルタイム性が高いアクセス機能のため、①Cloud CO プロジェクトでは PNF (Physical Network Function) の一つとして仮想化やソフトウェア部品化の対象外となっていた。しかし、TCA プロジェクトでは、DBA 機能をサービス要件に依存するソフトウェア部と依存しない共通処理（ハードウェア）部とに分離し、API を介して連携・制御することにより、同機能の部品化と API の仕様化を実現した。同仕様は、TR-402 Functional Model for PON Abstraction Interface および TR-403 PON Abstraction Interface Specifications として、それぞれ 2018 年 10 月および同年 12 月に一般公開された。このような API により、適用するサービスに応じて、異なるアルゴリズムが実装された DBA ソフトウェア部品の入れ替えを、柔軟かつ迅速に行うことが可能となる。本仕 API 仕様のユースケースの 1 つとして、5G 以降のモバイルネットワークにおいて、複数のスモールセルを TDM (Time Division Multiplexing) -PON 技術により効率的に収容する際に、FTTH サービス向け DBA 機能を低遅延対応 DBA 機能に入れ替えることにより、光アクセスシステムの柔軟かつ迅速なモバイルシステムへの適用が期待される。

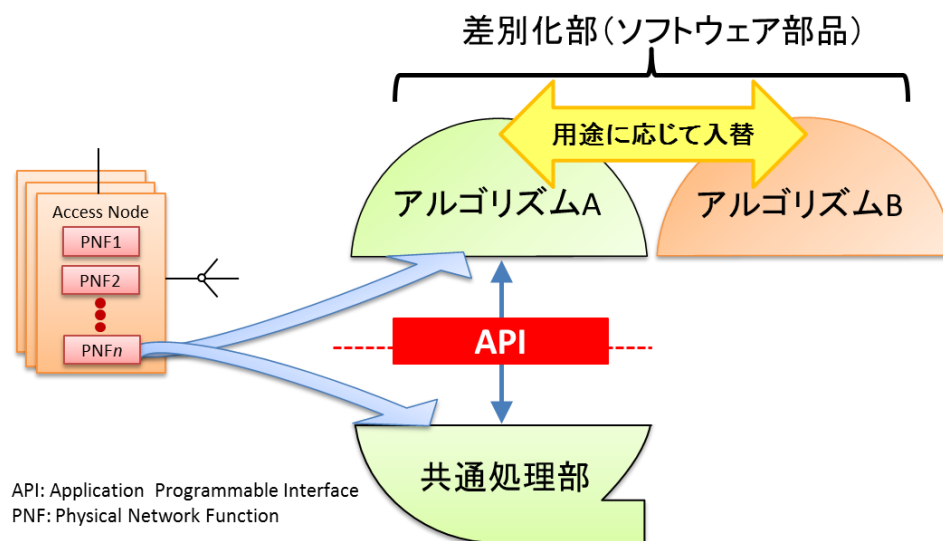


図 III-2-5 高速処理が必要なアクセス機能の部品化のための基本方針 [III-6]

3. ONF における動向

ONF は、通信事業者が主導の非営利団体であり、現在 88 の通信事業者やベンダなどが参加して、ネットワークの部品化 (disaggregation) に関する検討が行われている。ONF の取り組みによる成果物の一つである ONOS (Open Networking Operating System) は、通信事業者向けに開発された OS であり、そのユースケースの CORD (Central Office Re-architected as a Datacenter) は、「局舎をデータセンタとして再設計する」コンセプトに基づき局舎機能を部品化 (Disaggregation) し、ONOS コントローラ、汎用ハードウェアおよび OSS で再構築することを特長とする。このような部品化により、ネットワーク構築・運用にかかるコストの低減と、迅速なサービスインが期待される。

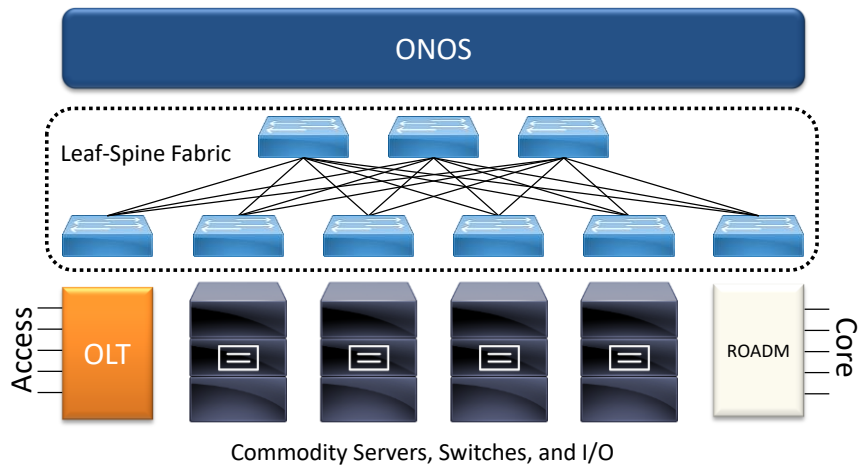


図 III-2-6 R-CORD のアーキテクチャ [III-7]

CORD の内、マス向けアクセスネットワークを想定したアーキテクチャが、R (Residential) – CORD である。従来の CO では、専用装置で、かつ仕様が非公開の OLT が用いられてきたのに対し、R-CORD ではオープン仕様のホワイトボックス OLT およびホワイトボックススイッチ網 (Leaf-Spine Fabric)、汎用サーバおよび OSS から構成されることを特長とする。R-CORD において、主信号の制御プロトコルは OpenFlow が、設定・管理の制御プロトコルについては、NETCONF/YANG が使われる。

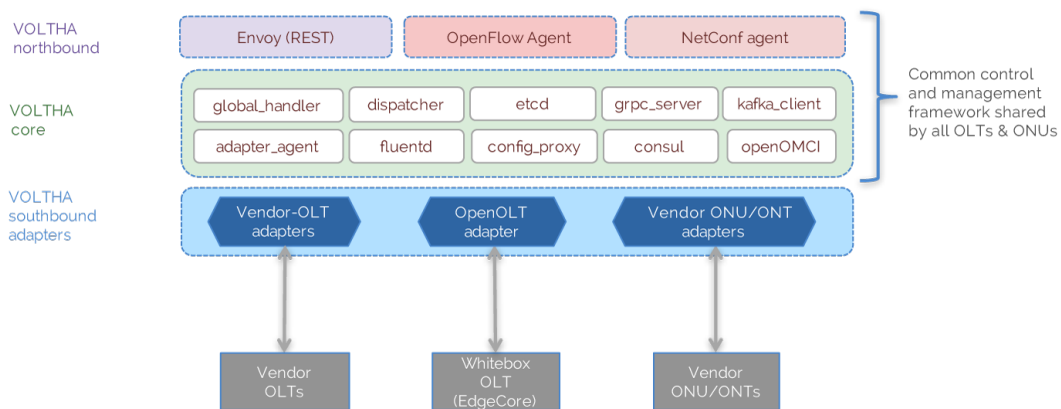


図 III-2-7 VOLTHA のアーキテクチャ [III-8]

R-CORD の取り組みにおいて、2016 年 9 月より、ベンダ独自仕様の OLT ハードウェアおよびプロトコルを抽象化することを目的とした新プロジェクト VOLTHA (Virtual OLT Hardware Abstraction) が開始された。VOLTHA では、OLT や ONU を含む PON システム全体を一つの擬似的な Ethernet スイッチとして抽象化することにより、ONOS などの SDN コントローラから方路などの各種設定が簡素化されることを特長とする。VOLTHA は、2017 年 9 月に ITU-T G-PON/XGS-PON に対応した初版をリリースし、現在では IEEE EPON/10G-EPON (2019 年 6 月リリース予定)、ITU-T NG-PON2、G.fast 対応など各種機能拡充が進められている。

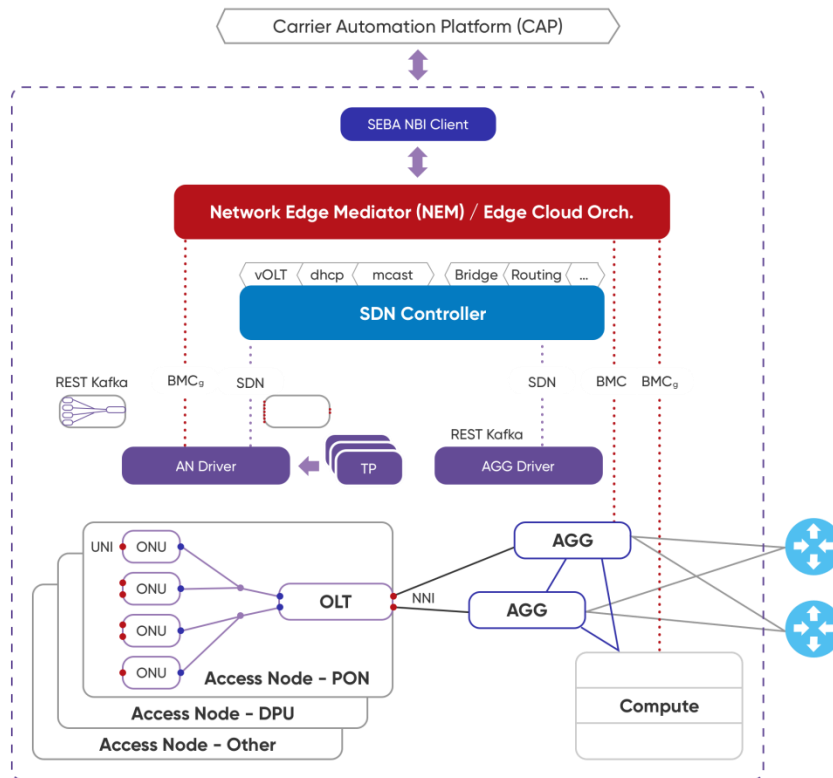


図 III-2-8 SEBA のアーキテクチャ [III-9]

2018年6月、ONFにおける取り組み体制の変更がアナウンスされ、新たなアクセス向けアーキテクチャとしてSEBA (SDN Enabled Broadband Access) の基本アーキテクチャが Reference Design として公開された。基本構成は R-CORD を踏襲しているが、通信事業者が保有する OSS (Operation Support System) と、SEBA とを接続してアクセスネットワークを運用・管理・制御するための NEM (Network Edge Mediator) を新たに定義し、FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security) 機能の強化が図られた。SEBA の各種仕様をまとめた文書は、2019年3月の公開を予定しており、従来の PON に加え、G.fast および将来的には DOCSIS も SEBA のスコープとしている。

参考文献

- [III-1] ITU-T Y.3150, “High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020,” Jan 2018
- [III-2] <http://www.broadband-forum.org/download/TR-384.pdf>, Figure 13: CloudCO reference architecture
- [III-3] <http://www.intercomms.net/issue-30/nsd-5.html>
- [III-4] https://wiki.opencord.org/download/attachments/4981456/vOLTHA_April_2018_BAA.pdf, p3
- [III-5] https://wiki.opencord.org/download/attachments/4981456/vOLTHA_April_2018_BAA.pdf, p8
- [III-6] 浅香ほか、“Broadband Forum (BBF)におけるアクセス系仮想化技術の標準化動向”, NTT 技術ジャーナル 2018年5月号, pp51-54
- [III-7] L. Peterson et al., “Central office re-architected as a datacenter,” IEEE Commun. Mag. Vol. 54, Issue 10, pp. 96-101, Oct., 2016.
- [III-8] <https://www.opennetworking.org/voltha/>
- [III-9] <https://www.opennetworking.org/reference-designs/seba/>

IV. 新たな伝送方式

ITU-T SG15 Q2 では、モバイルフロントホール等への適用が可能な光ファイバ無線 (RoF: radio-over-fiber) 技術の標準化に関しても議論を進めている。2015 年 7 月の SG15 全体会合において、RoF 技術に関する補助文書 (G Suppl.55 “Radio-over-fibre (RoF) technologies and their applications”) [IV-1] の正式合意とともに、RoF システムに関する勧告 (G.RoF “Radio-over-fibre systems”) の文書作成作業を開始した。その後、3 年余りの議論を経て、2018 年 10 月の SG15 全体会合において、RoF システムに関する勧告は G.9803 [IV-2] と採番されてコンセンサスされた。以下では、コンセンサスされた G.9803 の概要についてまとめる。

まず、基本アーキテクチャの章では RoF システムが満たすべき要件がまとめられており、RoF システムは光ファイバ網を介して、無線通信サービスのための波形情報を伝送できることとされている。また、RoF システムが備える機能としては少なくとも、RoF システムに波形情報を入力する電気インタフェース、RoF 信号生成のための波形情報の電気・光変換、光ファイバに RoF 信号を送出する光インタフェース、光ファイバから RoF 信号を受信する光インタフェース、RoF 信号受信のための波形情報の光・電気変換、RoF システムから波形情報を出力する電気インタフェース、があることを規定している。なお、同勧告では、波形情報とは、電波型式と負荷データを指しており、周波数変換により調整・変更が可能な周波数帯までは含めていない。さらに、システムアーキテクチャとしては一般的に、単方向伝送や双方向伝送の一对一の構成、及び、それらを複合した多対多の構成が考えられている (図 IV-1~IV-3 参照)。

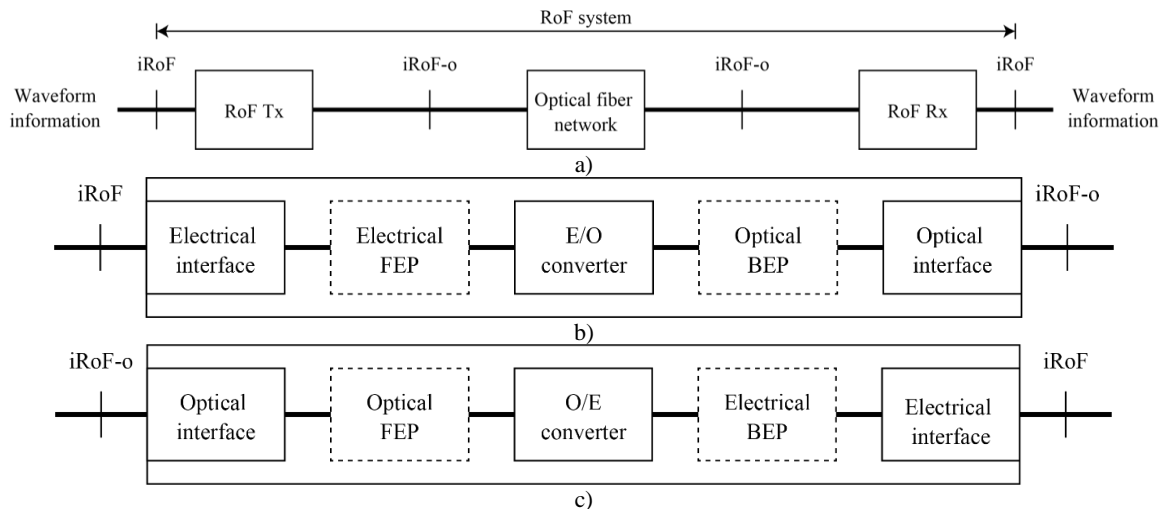


図 IV-1 RoF システム (単方向伝送) の基本構成 :

a) 典型的なシステム構成, b) 典型的な RoF 送信機 (RoF TX) , c) 典型的な RoF 受信機 (RoF Rx) [IV-2]

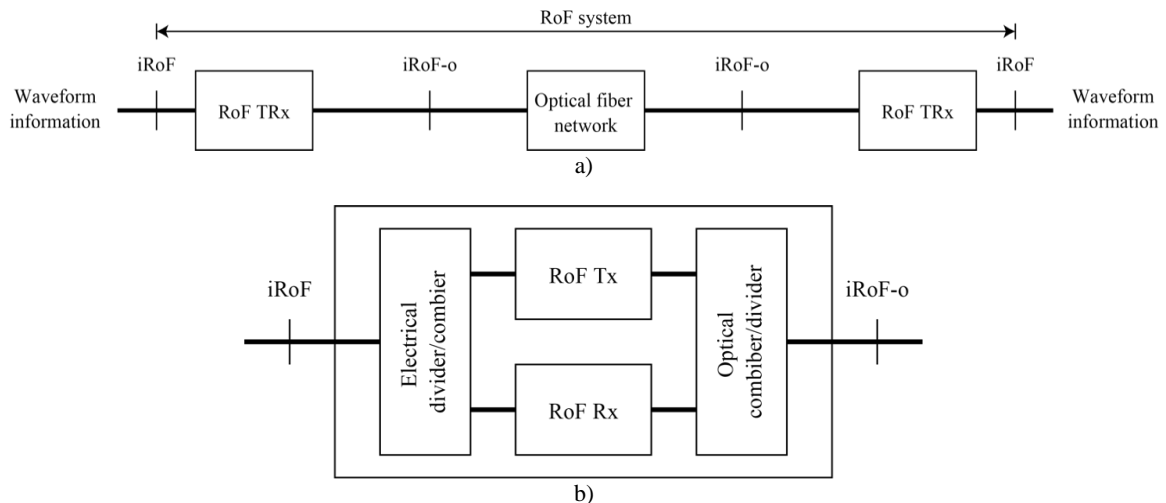


図 IV-2 RoF システム (双方向伝送) の基本構成 :

a) 典型的なシステム構成, b) 典型的な RoF 送受信機 (RoF TRx) [IV-2]

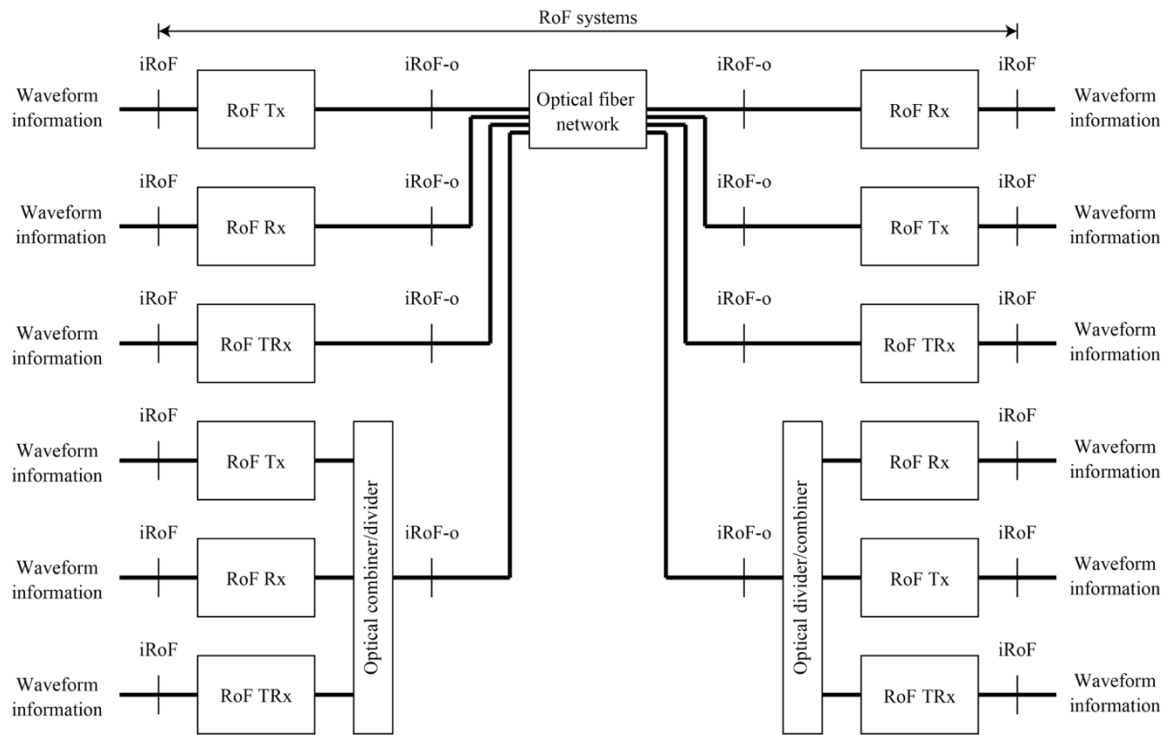
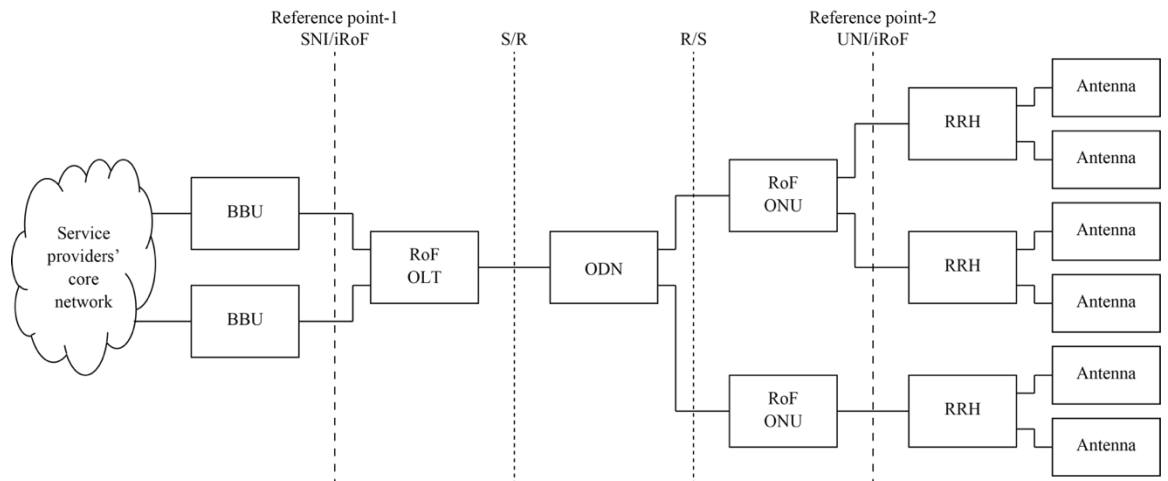


図 IV-3 RoF システム (複合型) の基本構成 [IV-2]

次に、基本要件の章ではすべての RoF システムに共通する要件がまとめられており、アンテナから送出される無線信号は電波法で定められた品質を満たすこと、遅延は無線通信サービスで求められる要件を満たすこと、アイ・セーフに係る要件を満たすこと、RoF 送受信機間及び各種インタフェース間でインターオペラビリティを有すること、の4点が規定されている。

さらに、光分配網を介して IMT システムを支えるアナログ RoF システム (図 IV-4 参照) と (滑走路上の) 異物検出システムを支える RoF システム (図 IV-5 参照) の2つ具体的なシステムについて、それぞれの基本的な要件もまとめられている。前者は特に、IMT システムにおけるモバイルフロントホールとしてアナログ RoF 技術を適用したものである。



BBU: BaseBand Unit
 OLT: Optical Line Terminal
 ODN: Optical Distribution Network
 ONU: Optical Network Unit
 RRH: Remote Radio Head

SNI/iRoF: Service Node Interface (Reference point-1)
 UNI/iRoF: User Network Interface (Reference point-2)
 S: The point on the optical fiber just after RoF OLT (downstream) or RoF ONU (upstream)
 R: The point on the optical fiber just before RoF ONU (downstream) or RoF OLT (upstream)
 iRoF: The point just before and just after the RoF system

図 IV-4 IMT システムを支える典型的な RoF システム [IV-2]

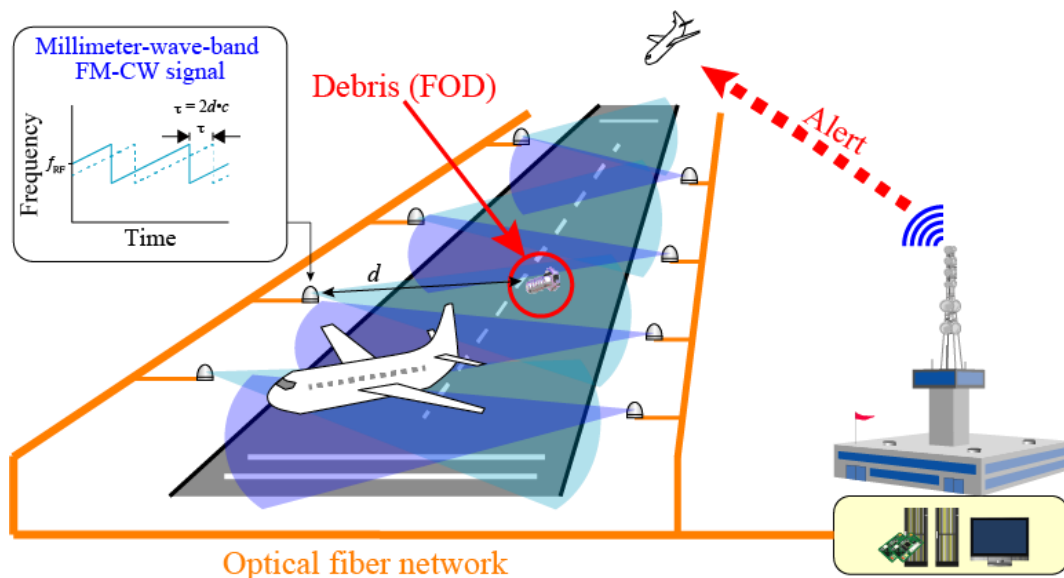


図 IV-5 異物検出システムを支える典型的な RoF システム [IV-2]

参考文献

[IV-1] ITU-T G.Supp.55 (07/2015), Radio-over-fibre (RoF) technologies and their applications

[IV-2] ITU-T G.9803 (11/2018), Radio over fiber systems

V. むすび

第5世代移動体通信システム (5G) は本報告書を発刊する2019年に北米、韓国において世界最初の商用サービスが開始され、日本においても2020年より開始される予定である。5Gの商用展開により世界のデータトラフィックはこれまで以上に飛躍的に増加し、5Gの特長である「大容量」、「多数接続」、「低遅延」に低コストで対応できる5Gフロントホール光アクセス網の構築が求められている。

本報告書では、5Gフロントホールに適用する主要技術として、PON (Passive Optical Network) を適用する場合の要件、仮想化技術、光ファイバ無線 (RoF : radio-over-fiber) 技術を取り上げ、ITU-T や BBF および ONF における最新の検討状況をまとめた。標準化機関 (SDOs) における5Gフロントホール光アクセス網に関わる検討は現在も続いており、TTC アクセス網専門委員会 次世代光アクセス網 SWG では、今後、追加/変更される内容を本報告書の改版により反映させていく予定である。