

## TR-1096

# 2020年・2021年の光アクセス関連技術 の標準化動向に関する技術報告書

Technical report on the standardization trend of  
optical access related technology in 2020 and 2021

第 1.0 版

2022 年 9 月 1 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> .....	4
<b>I. 本報告書の目的</b> .....	5
<b>II. 光アクセス技術関連の SDO での最新の技術検討状況</b> .....	6
1. 要約 .....	6
2. キーワード .....	6
3. 参考文献 .....	6
4. 用語 .....	7
II-1. ITU-T G.hsp.comTC で検討されている PON スライスのためのマルチ DBA と制御アーキテクチャ ..	8
1.1 slice-aware DBA .....	8
1.2 PON スライスの制御アーキテクチャ .....	9
II-2. ITU-T G.Suppl.CoDBA での連携 DBA に関する補足文書 .....	10
II-3. ITU-T G.9804.1 での 10G 超の高速 PON の要求条件 .....	12
3.1 G.9804.1 (Higher speed passive optical networks – Requirements)策定の背景 .....	12
3.2 G.9804.1 の概要 .....	13
3.3 G.9804.1 の部分解説 .....	13
3.4 50G TDM PON へのマイグレーション (G.9804.1 / 7.3 章) .....	14
3.5 Optical spectrum issues and availability (G.9804.1 / 9.6 章) .....	16
3.6 Power reduction (G.9804.1 / 10.8 章) .....	17
3.7 Type W protection (for 50G TWDM PON and PTP WDM PON) (G.9804.1 / 11.3 章) .....	18
II-4. ITU-T での WDM-PON 検討状況 .....	21
II-5. ITU-T での ROF 技術の検討状況 .....	24
II-6. ONF SEBA プロジェクトの活動状況 .....	24
II-7. CableLab での低遅延モバイル Xhaul 技術の検討状況 .....	26
<b>III. むすび</b> .....	29

## <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	2022年9月1日	初版発行

### 3. 参考文献

本技術レポートの参考文献は、本文中に記載している。

### 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、ONF、CableLab などの標準化団体(SDO: Standards Development Organizations)において検討されている最新の光アクセス関連技術について、いくつか特徴的なものの技術調査を行い、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。

近年、光アクセス関連では、10G 超の高速化はもちろん、WDM による大容量化、シェアードアクセスシステムのスケジューリング機能の高度化、システムの仮想化、スライシング技術の導入、携帯電話基地局向け伝送路への適応など、いろいろな方面での検討、標準化が行われてきており、端末機器と伝送路・コアネットワークの間の橋渡しを提供するアクセスネットワークには、高速化や経済化以上の役割が求められるようになってきた。

特に、これまでのアクセス装置は大きく分けて、センター側終端または集約装置と、端末側終端装置、そしてそれらの装置を管理・運用する EMS(Element Management System)から構成され、それぞれ役割が独立していたオンプレミス型のアーキテクチャであったが、仮想化技術の導入により、各部の機能のクラウド上での論理化と融合が行われ、サービス導入の短時間化と運用の自動化が進んできている。

また、光アクセスネットワークも、当初の経済的に一般加入者・企業向けにブロードバンドサービスを提供するという役割から、数多く展開されてきている無線基地局への伝送網として使われるようになり、ヒトとヒト、ヒトとサーバだけでなく、IOT 含め、マシン・ツー・マシンの通信を支えるインフラとしての役割も担うようになってきている。今回の技術調査から、上記のような光アクセス業界での動向や方向性が見えてきているのではないかと考える。

II 章では、下記に列挙した各技術内容について検討状況をまとめている。

- II-1. ITU-T G.hsp.comTC で検討されている PON スライスのためのマルチ DBA と制御アーキテクチャ
- II-2. ITU-T G.Suppl.CoDBA での連携 DBA に関する補足文書
- II-3. ITU-T G.9804.1 での 10G 超の高速 PON の要求条件
- II-4. ITU-T での WDM-PON 検討状況
- II-5. ITU-T での ROF 技術の検討状況
- II-6. ONF SEBA プロジェクトの活動状況
- II-7. CableLab での低遅延モバイル Xhaul 技術の検討状況

## II. 光アクセス技術関連の SDO での最新の技術検討状況

- II-1. ITU-T G.hsp.comTC で検討されている PON スライスのためのマルチ DBA と制御アーキテクチャ
- II-2. ITU-T G.Suppl.CoDBA での連携 DBA に関する補足文書
- II-3. ITU-T G.9804.1 での 10G 超の高速 PON の要求条件
- II-4. ITU-T での WDM-PON 検討状況
- II-5. ITU-T での ROF 技術の検討状況
- II-6. ONF SEBA プロジェクトの活動状況
- II-7. CableLab での低遅延モバイル Xhaul 技術の検討状況

### 1. 要約

この文書では、2020 年と 2021 年に ITU-T、ONF、CableLab などの標準化団体において検討されたさまざまな技術の中で、PON の大容量化、仮想化、携帯電話基地局信号伝送などの点で特徴的ないくつかの項目をとりあげ、その技術内容と検討状況について紹介する。

### 2. キーワード

DBA, Network Slice, Slide-Aware DBA, PON virtualization, SDN, NG-PON2, O-RAN, FSAN, 50G PON, TDM-PON, TWDM-PON, WDM-PON, Radio over fiber, SEBA, OSS, Disaggregation, SDN, NFV, DOCSIS, Fronthaul, Xhaul

### 3. 参考文献

- [II-1-1] ITU-T G Suppl. 74 Network slicing in a passive optical network context
- [II-1-2] ITU-T Y.3150 High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020
- [II-1-3] ITU-T Y.3151 (High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020 - Part: SDN
- [II-1-4] ITU-T G.7702 Architecture for SDN control of transport networks
- [II-2-1] Supplement 71 to ITU-T G-series Recommendations (04/2021), "Optical line termination capabilities for supporting cooperative dynamic bandwidth assignment"
- [II-2-2] Cooperative Transport Interface Transport Control Plane Specification  
<https://www.o-ran.org/blog/2020/6/29/23-new-o-ran-specifications-have-been-released-in-the-first-half-of-2020>
- [II-3-1] Dezhi Zhang et al., "Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization", Journal of Optical Communications and Networking, Vol.12, No.10, D99, Oct. 2020  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9123509>
- [II-3-2] ITU-T G.9804.1, Higher speed passive optical networks - Requirements
- [II-3-3] ITU-T G.652, Characteristics of a single-mode optical fibre and cable
- [II-3-4] ITU-T G.657, Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable
- [II-3-5] ITU-T G.Sup.45, GPON power conservation
- [II-4-1] Recommendation ITU-T G.9802.1, "Wavelength division multiplexed passive optical networks (WDM PON): General requirements," Aug 2021
- [II-4-2] Recommendation ITU-T G.988, "ONU management and control interface (OMCI) specification," Nov. 2017
- [II-5-1] Supplement 55 to ITU-T G-series Recommendations (2015), Radio-over-fibre (RoF) technologies and their applications
- [II-5-2] Recommendation ITU-T G.9803 Amd.1 (2019), Radio over fibre systems
- [II-6-1] ONF SEBA Reference Design Version 2.0, March 2021, <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2021/03/ONF-Reference-Design-SEBAv2.0FINAL3.pdf>
- [II-6-2] L. Peterson et al., "Central office re-architected as a datacenter," IEEE Commun. Mag. Vol. 54, Issue 10, pp. 96-101, Oct., 2016
- [II-6-3] T. Suzuki et al., "Demonstration of IEEE PON Abstraction for SDN Enabled Broadband Access (SEBA)", IEEE J. Lightw. Tech. Vol. 39, Issue 20, pp. 6434-6442, Oct., 2021
- [II-7-1] Low Latency Mobile Xhaul over DOCSIS Technology <https://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-LLX>
- [II-7-2] <https://www.cablelabs.com/technologies/low-latency-xhaul>
- [II-7-3] Cooperative Transport Interface Transport Control Plane Specification  
<https://www.o-ran.org/blog/2020/6/29/23-new-o-ran-specifications-have-been-released-in-the-first-half-of-2020>
- [II-7-4] O-RAN仕様書 <https://www.o-ran.org/specifications>

#### 4. 用語

本補足文書では、下記の略号を用いる。

用語	解説
1PPS	one pulse per second
50G TDM PON	50Gbit/s Time Division Multiplexing PON
50G TWDM PON	50Gbit/s Time and Wavelength Division Multiplexing PON
5G	Fifth Generation 第5世代
API	Application Programming Interface
Cex	Coexistence Element
CMTS	Cable Modem Termination System
CMUD	Creation, Monitor, Update and Delete
CP	channel pair
CPRI	Common Public Radio Interface
CT	Channel Termination
Disaggregation	部品化、通信機器を構成する各機能を部品化し、サービス要件に応じて部品化された各機能の更新/入替を実現する方式
eCPRI	enhanced CPRI
eNB	evolved Node B, 3.9G 無線基地局
FSAN	Full Service Access Network
gNB	Next Generation NodeB, 5G 無線基地局
HSP	High Speed PON
LT	Line Terminal
LTE	Long-Term Evolution, 3.9G 携帯電話方式
MFH	Mobile Fronthaul
MPM	Multi PON Module
NFV	Network Function Virtualization, 従来専用装置化されていた通信機器を構成する機能を仮想化し、汎用的なハードウェア上で通信機能を実現する方式
NG-PON2	10Gbit/s を超える複数波長 PON
OBSAI	open base station architecture initiative
ODN	optical distribution network
OLT	Optical Line Terminal 光回線終端装置(局側)
OLT	optical line terminal
OMCI	ONU management and control interface
ONF	Open Networking Foundation, OpenFlow 標準化および OSS 開発団体
ONU	Optical NetWork Unit 光回線終端装置(加入者側)
OPS	optical power splitter
O-RAN	Open Radio Access Network Alliance
OSS	Open Source Software
PMD	physical medium dependent
PON	Passive Optical Network 加入者回線網の一種(1:多接続)
RoF	Radio over Fiber 光ファイバ無線
RU DU CU	Radio Unit, Ditrributed Unit, Central Unit
SCH	Scheduler
SDN	Software-Defined Network, 通信機器を伝送機能と制御機能とに分離し、ソフトウェア化した制御機能を集約し一元的に通信を制御するネットワーク
SEBA	SDN-Enabled Broadband Access, SDN 技術により実現されるブロードバンドアクセスシステムのアーキテクチャ
SNI	Service Node Interface
TC	transmission convergence
UE	User Equipment ユーザ端末(携帯端末等)
UNI	User Network Interface
URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications
VNs	virtual networks
VRs	virtualized resources
WDM	Wavelength Division Multiplex 波長分割多重
WDM-PON	WDM-passive optical network
WR-ODN	wavelength routed ODN
WRP	WR-ODN based WDM-PON
XG(s)-PON	10Gbit/s を超える単一チャネル PON
Xhaul	Fronthaul, Midhaul, Backhaul の総称

## II-1. ITU-T G.hsp.comTC で検討されている PON スライスのためのマルチ DBA と制御アーキテクチャ

2015 年から FG-IMT2020 (Focus Group on IMT-2020) にてネットワークに関する課題が議論され、ネットワーク仮想化 (SDN) の標準化が開始された。しかし、光アクセス網に関する仮想化/スライス化に関する議論は行われていなかったため、ITU-T SG13 にてスライスアーキテクチャの議論が開始され、

Y.3150 (High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020)

Y.3151 (High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020 - Part: SDN)

の勧告化が行われた。

一方、3GPP (3rd Generation Partnership Project) においても仮想化/スライス化の議論が行われており、PON スライスを 3GPP にアピールするため、無線アクセスネットワーク (RAN) への PON 適用を目的に、2019 年頃から ITU-T SG15 での議論が加速された。

また、RAN のオープン化・インテリジェント化の推進を目的に O-RAN Alliance が設立されたこともあり、PON スライスを 5G 以降の RAN に適用することを目的に、現在議論中の G.hsp にて PON スライスに関する議論を開始すべく、G.hsp.req への提案活動および G.hsp.comTC における規格化の検討が開始された。しかし、G.hsp には課題が多く、またスライスは G.hsp に限ったものではないことから、2021 年 4 月に G.hsp より独立し、G.sup.slicing が立ち上げられた。2022 年を目標に勧告化される予定である。

以下、PON スライスのためのマルチ DBA (slice-aware DBA) と PON スライスの制御アーキテクチャに関する概要を示す。

### 1.1 slice-aware DBA

slice-aware DBA は、フローレベルと、個々のフローをグループ化したスライスレベルの、2つのレベルで実行することができる。そのため、様々なサービス品質をサポートする論理ネットワークを提供する場合、サービス品質毎に複数のスライスを用意した slice-aware DBA を用いることで、サービス品質を維持しながら、上り PON 帯域を最適に利用することが可能となる

slice-aware DBA では、スライスごとに異なるプロファイル設定を行うことができる。BWmap (Bandwidth Map) は、対応するすべてのフロー (T-CONT) に関するトラフィック記述子と、PON スライス毎のトラフィック記述子の両方を考慮して、対応する HSP チャンネル上のすべての ONU のすべての Alloc-ID に対して生成される。したがって、帯域割り当ては、スライス内とスライス間の両方で制御可能である。

slice-aware DBA 方式は、論理ネットワーク間の分離を確保し、各 PON スライス内にて最適なりソースで安定したサービスを運用可能である。スライス区分は、Alloc-ID に基づくすべての T-CONT を、関連するスライスレベルのトラフィック記述子を持つスライスにグループ化することによって提供される。次に、slice-aware DBA は各スライスにスライスレベルの帯域幅を割り当てる。このような PON スライスに対する帯域設定には、静的または動的の 2つの方法がある。静的アプローチでは、PON スライスに割り当てられる帯域幅は、他スライスとは独立した固定値で設定される。動的アプローチでは、PON スライスの帯域幅割り当ては、マルチスライス DBA に基づいてスライス毎の帯域幅が算出され動的に実行される (これにより、各スライスはその最大帯域幅によって制約される)。次に、DBA は、スライス毎にスライス内の各 T-CONT に対してフローレベルの帯域割り当てを行う。ONU は、異なるスライスに属する複数の T-CONT を使用することにより、同時に複数の PON スライスに属することができる。スライスを使用する場合、すべての T-CONT は、いずれか 1つのスライスに属する必要がある。(図 1-1 参照)

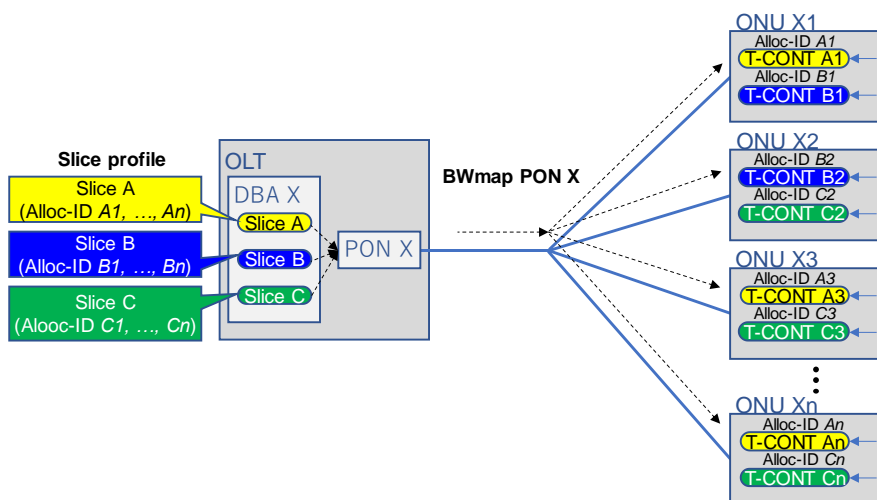


図 1-1 PON CT ごとでスライスを意識した DBA [II-1-1]

slice-aware DBA は、要件の異なるスライス毎に計算が実行され、結果を組み合わせ、BWmap が作成さ



れる。BWmap を生成する際、各スライスの要件を満たすように占有スペース（サイクル、帯域幅）が割り当てられる。図 1-2 は、各スライスの帯域幅割り当てを組み合わせさせた BWmap の例を示している。

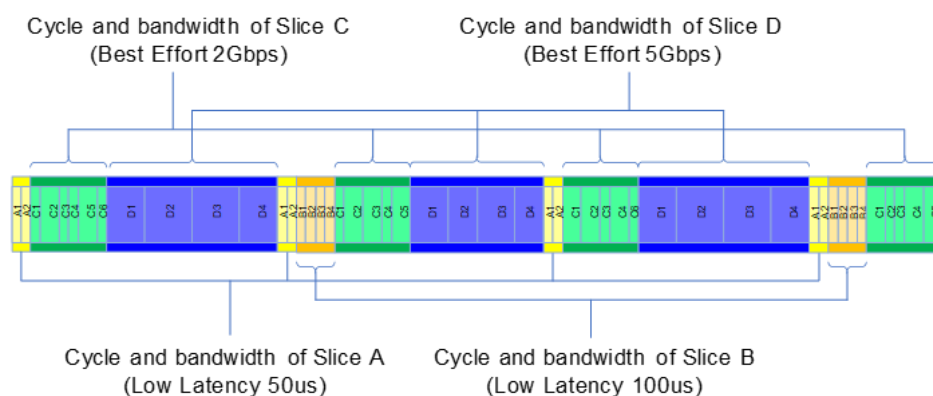


図 1-2 それぞれのスライスで帯域の割り当てを組み合わせさせた BW マップの例[II-1-1]

BWmap はスライス毎に分割されており、各スライスの DBA は個別の領域内で実行される。低遅延サービスは、その遅延要件が確保できるようにスロットおよび T-CONT 帯域が割り当てられる。

## 1.2 PON スライスの制御アーキテクチャ

ネットワークスライスを提供するシステムは、ITU-T Y.3150 [II-1-2]にて、図 1-3 に示すように 3つの主要な機能エンティティによってモデル化されている。Network slice support の SDN part は、図 1-4 に示す SDN コントローラ（SDN controller）と SDN インフラストラクチャ（SDN infrastructure（PON systems））で構成される。

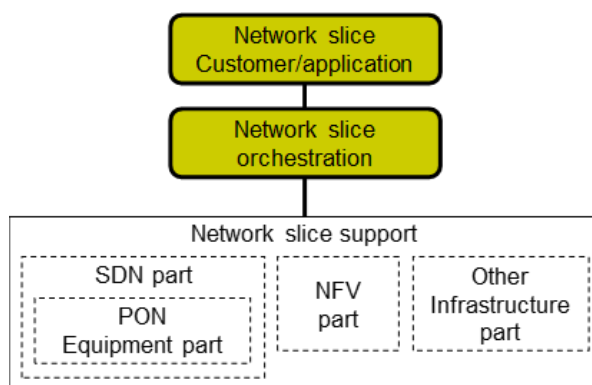


図 1-3 ネットワークスライスの対応のためのハイレベルなアーキテクチャモデル[II-1-1]

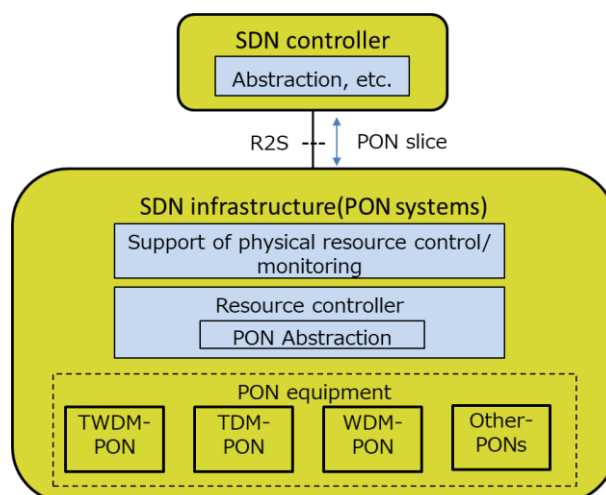


図 1-4 SDN 部の PON システムアーキテクチャモデル[II-1-1]

SDN コントローラは、ネットワークスライスオーケストレーション (Network slice orchestration) の要求に応じて、さまざまな PON スライスで構成される仮想ネットワーク (VN) を提供する。PON スライスは、ITU-T Y.3151 [II-1-3]に記載の仮想化リソース (VR) の1つである vPON に相当する。

SDN インフラストラクチャは、SDN コントローラの要求に応じて、仮想化リソースとして PON スライスを提供する。

SDN インフラストラクチャは、リソースコントローラ (Resource controller) とさまざまな PON 機器で構成される。PON 機器の例としては、TDM-PON、WDM-PON、TWDM-PON などがある。SDN インフラストラクチャには、PON 機器の監視と制御をサポートする機能がある。SDN インフラストラクチャのリソースコントローラには、DBA などの機能が、PON 抽象化 (PON Abstractoin) は、リソースコントローラ機能の一部である。PON 抽象化は、さまざまな PON 機器 (TDM-PON、WDM-PON、TWDM-PON、その他) を論理 PON リソースに抽象化する。

R2S を介して送信されるパラメータは、ITU-T G.7702 [II-1-4]の仕様に基づく一般的なパラメータと、PON スライスの CMUD (Creation, Monitor, Update and Delete) 拡張パラメータで構成される。

SDN コントローラから SDN インフラストラクチャに送信される拡張要求パラメータ (Expanded request parameters) は、SDN インフラストラクチャの情報を取得したり、SDN インフラストラクチャの PON スライスにリソースを割り当てたりするために使用できる。

SDN インフラストラクチャから SDN コントローラに返す拡張結果パラメータ (Expanded request parameters) は、SDN インフラストラクチャの情報に応答したり、SDN インフラストラクチャ内の PON スライスのステータスを監視したりするために使用できる。

拡張要求パラメータと拡張結果パラメータを使用した SDN コントローラと PON システム間の情報は、PON スライスの構成、リソース割り当て、およびリソース監視に使用される。

## II-2. ITU-T G.Suppl.CoDBA での連携 DBA に関する補足文書

ITU-T における Cooperative DBA(以下、CO DBA)の本格的議論が開始されたのは、2016年7月21日に開催されたプレナリ会議において G.989.3 Amendment に対する追記合意以降である。その目的は、NG-PON2 をモバイル規格である 3G/4G の CU-RU 間を伝送する CPRI 信号の伝送手段として適用における課題の一つであった上りトラフィックの低遅延化である(もう一つの課題である CPRI 信号のフレーム化については、標準化団体 CPRI において eCPRI として標準化されている。)。その後の議論にて、PON のスケジューリング機能と連携させるために必要な無線ネットワークのスケジュール情報伝達手段である標準インタフェースの規定について議論され、標準インタフェースである Cooperative Transport Interface(以下、CTI)プロトコルの標準化作業については標準化団体 O-RAN にておこなうものとし、ITU-T ではそれを引用する形で規定する方針が示された。また、それ以外に規定が必要なものについては補足文章として G.suppl.coDBA (後の G.suppl.71 [II-2-1]) として要件や課題を整理することとなった。次に以下、G.suppl.71 記載の概要について記す。

CO DBA では、OLT とモバイル Distributed Units(O-DU)との間のインタフェースである O-RAN CTI を使い、PON で伝送されるデータのトラフィックパターンに追従し、OLT が ONU に可変帯域割り当てをおこなうことで上り遅延時間を減少させ、PON システムによるモバイルフロントホールサービスを実現する。CTI クライアントを含むステーション機器(図 2-1 左)が OLT のノースバンドである場合、クライアントは SNI を介して OLT に接続し、PON に接続されている子機器(図 2-1 右)のトラフィック需要を通知する(図 21 参照)。

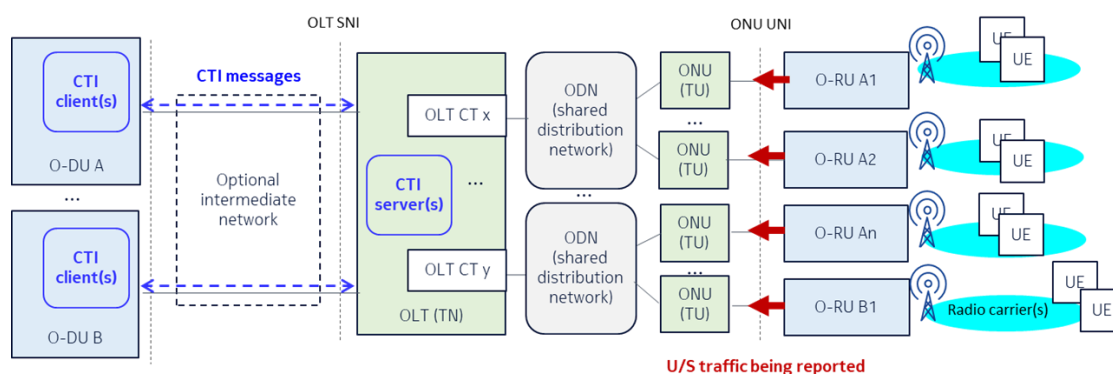


図 2-1 CTI によるモバイルフロントホール伝送[II-2-1]

CTI では、次のよう動作する。

- O-DU(図 2-1 左)は O-RU(図 2-1 右)の配下にある UE(図 2-1 右)に対し、各モバイルスロット内の無線リソースを割り当てる。割り当ては、UE からの将来での時間周期における帯域要求に基づく。つまり O-DU は、各 O-RU に対応するフロントホールトラフィックを事前に推測し、将来の帯域要求を OLT に報告する。このレポートは、トラフィック変化を追跡するために定期的に送信される。
- O-DU から OLT へレポートを送信するために使われるのが CTI である。また CTI は双方向通信(OLT は O-DU からメッセージを定期的に受信し、O-DU に対して CTI メッセージを送信)となる。

PON アクセスノードは、タグ無し、またはタグ有(シングル/デュアル)のイーサネット、オプションで UDP/IP(IPv4 または IPv6)にカプセル化された CTI メッセージ伝送をサポートする。OLT と O-DU は、単一の CTI メッセージが複数のイーサネットフレームにフラグメント化されることを避ける必要がある。そのためメッセージがフレームに対して大きすぎる場合、メッセージ内容はもともと複数メッセージに分割されて送信される。また CTI には、起動機能またはサーバとクライアント間の接続状態についての監視機能が組み込まれている。起動機能は、OLT 内の CTI サーバと O-DU 内の CTI クライアントとの間の各 CTI メッセージ交換(ビーコン/ビーコンの確認メッセージを交換)によって状態遷移上の起動状態を確立する。一方監視機能は、キープアライブメッセージを交換することにより、接続性監視をする。OLT はこのプロセスのためのタイムアウトおよびキープアライブタイマーを適用する。

またオペレータがネットワークを計画し、特定の OLT-O-DU の組み合わせで CTI メッセージを設定する上で、OLT の以下の要件を決める必要がある。

- CTI メッセージレートのパフォーマンス(CTI メッセージを受け入れる可能性のある最大レート)。
- CTI メッセージタイミングパフォーマンス(CTI メッセージの受信と対応する報告された時間間隔の開始の間の最小時間)は、図 2-2 を参照。

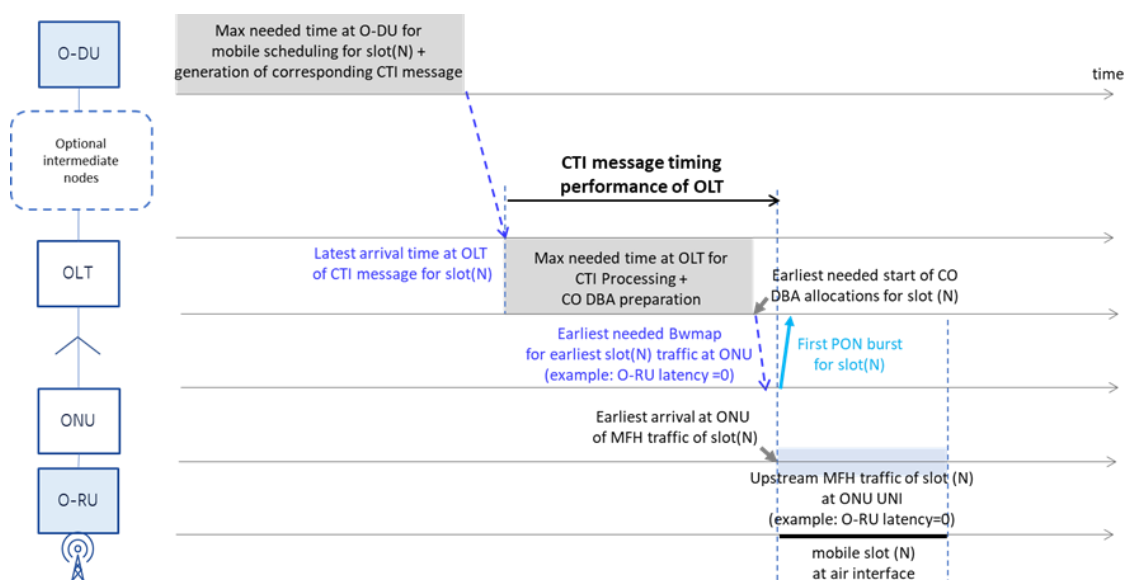


図 2-2 OLT へのメッセージタイミングパフォーマンス[II-2-1]

OLT には[II-2-2]に従って CTI メッセージを受け取り、シグナリングタイプの情報を交換するメッセージ(CTI Signaling Message)と、上りトラフィック情報を通知するためのメッセージ(CTI Report Message)がある。

#### < CTI Signaling Message >

シグナリングメッセージは起動時に使用され(ビーコンと Beack-Ack メッセージは CTI クライアントと CTI サーバの間の CTI インタラクションの開始時に送信される)、CTI クライアントと CTI サーバとの間の CTI 通信の接続性チェック(CTI の間の低いレートで両方向に交換される)、およびトラフィックレポート以外の情報を伝送するための CTI 通信(CTI サーバから CTI クライアントへの通知メッセージ)がおこなわれる。

#### < CTI Report Message >

レポートメッセージは、上流の MFH トラフィックのニーズについて OLT に通知するために使用される(図 2-3)。

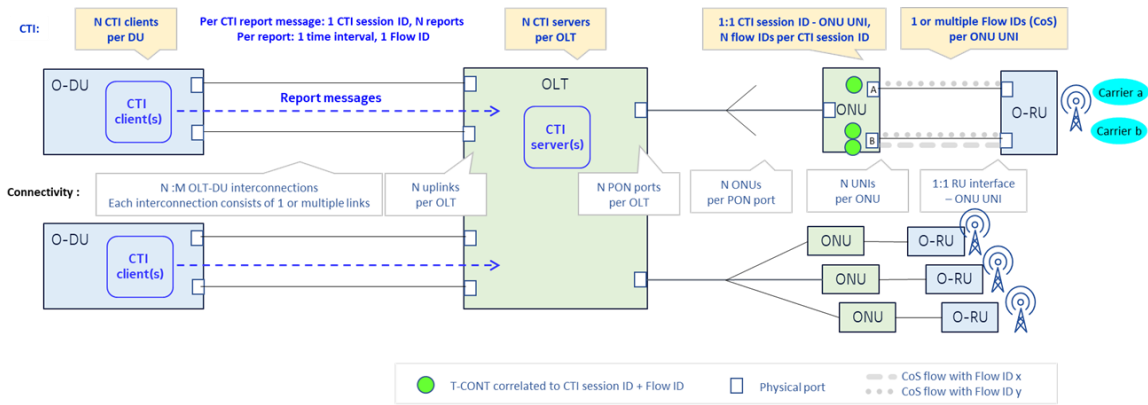


図 2-3 CTI クライアントと CTI サーバとの相互接続、識別子 [II-2-1]  
(図中の“N”と“M”は 1 以上の独立した数字を表す)

モバイルトラフィックは、各トラフィックフロー（すなわち、CTIセッションIDごとに、またはCTIセッションID + フローID の組み合わせごとに）で、対応する O-DU と O-RU の間における許容遅延時間の限界値を持つ。その制限値は、O-RU および O-DU ノードのバッファリングおよびタイミング能力によって決定づけられる。また制限値は、事前設定によって OLT に知らされている必要がある（この遅延時間は固定値で、CTI メッセージでは伝達されない）。O-DU と OLT の間の中間ノードが存在する場合、この余分なノードでも遅延時間の発生源となる。この遅延時間値も、事前設定（この遅延時間は固定値であり、CTI メッセージで搬送されていないことに留意されたい）によって OLT へ知られていなければならない。OLT での遅延値は、PON システムの残りの待ち時間を（ONU UNI と OLT SNI の間）、すなわち PON での遅延時間制限（O-RAN ではこの区間を図 2-4 に示す T34max と呼ぶ）から、中間ノードによる遅延時間を引いて反映させる必要がある。

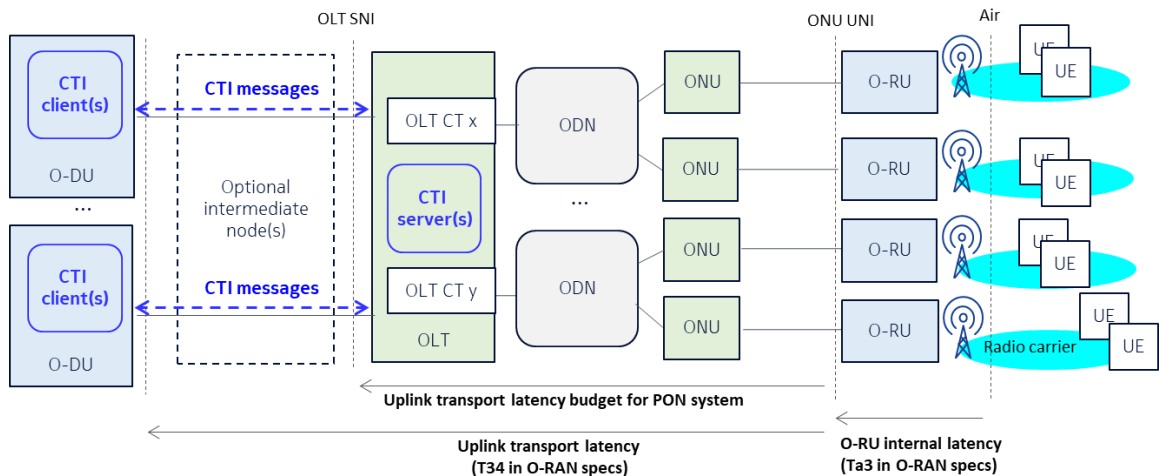


図 2-4 アップリンクでの遅延[II-2-1]

以上、本稿では G.suppl.71 における CTI を用いたモバイルネットワークシステムのスケジューリングと PON システムの DBA を連携による PON システムにおける上り遅延時間を低減化させる手法について紹介した。

## II-3. ITU-T G.9804.1 での 10G 超の高速 PON の要求条件

### 3.1 G.9804.1 (Higher speed passive optical networks – Requirements)策定の背景

産業界および標準化組織のガイドラインとすべく、2016年にFSAN（Full Service Access Network）により Passive Optical Network (PON)の将来に向けた図 3-1-1 に示すロードマップ（FSAN Standards Roadmap 2.0）が作成された。FSAN Standards Roadmap 2.0 では、次ステップのPONとして10Gbit/sを超える単一チャネルPON（XG(s)-PON+）と、10Gbit/sを超える複数波長PON（NG-PON2+）が記載された。これをガイドラインとして、ITU-T SG15/Q2において2016年より10Gbit/sを超えるHigh Speed PON (HSP)の検討（G.sup.HSP）が開始された。この検討では、1波長当たりの速度を20,25,50 or 100Gbit/sのいずれにするべきかが重要なポイ

ントになった。

これまでの PON 展開の歴史では、高速アクセスシステムの次ステップへの移行間隔は 7-8 年となっている。例えば、中国において GPON が大規模に展開されたのは 2011 年であり、XG-PON が大規模に展開されたのは 2018 年となっている。従って、次世代 PON が大規模に展開される時期は、2025 年頃となることが予想される。加えて、伝送容量についても GPON の 2.5Gbit/s から XG-PON の 10Gbit/s に増加していること、技術の進歩や市場の要求等を考慮すると、伝送容量は 4-5 倍の増加を見込むことが妥当とされた。ITU-T SG15/Q2 では 25Gbit/s を推す議論もあったが、25Gbit/s は 10Gbit/s に対して増加幅が小さく、将来的に十分ではないと認識された。一方、100Gbit/s は技術的にあまりにチャレンジングであるとされた。以上のような背景で 2018 年 1 月の ITU-T SG15 プレナリ会合において 1 波長当たりの速度として 50Gbit/s が選ばれた。

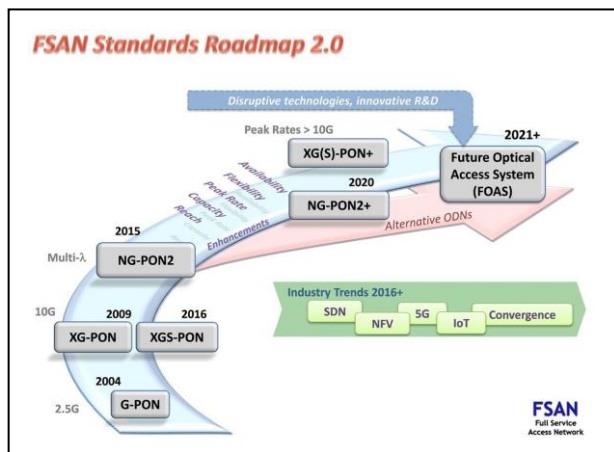


図 3-1-1 FSAN 標準ロードマップ 2.0 [II-3-1]

### 3.2 G.9804.1 の概要

前章の背景により ITU-T SG15 では表 3-2-1 に示す 4 個の標準シリーズを作成しており、そのうちのひとつである ITU-T 勧告 G.9804.1 [II-3-2]は、1 波長当たり 50Gbit/s で動作する高速 PON を家庭、ビジネス、モバイルバックホール等に適用する場合の要求条件として、システムアーキテクチャ、マイグレーションシナリオ、サービス要求条件、物理レイヤ要求条件、システムレベル要求条件、レジリエンスの要求条件を記載している。2019 年 11 月に初版が勧告されたのち、2021 年 4 月に、スライスの要求条件追加、上り方向フレキシブル FEC の要求条件追加 (オプション)、および上り 10Gbit/s 速度の要求条件削除を行った Amendment 1 が承認 (Consent) された。

表 3-2-1 高速 PON 標準シリーズ [II-3-2]

	標準名称	概要
1	ITU-T G.9804.1	高速 PON システムに対する要求条件
2	ITU-T G.hsp.50GPMD	50Gbit/s TDM PON システムの物理レイヤ要求条件 (作成中)
3	ITU-T G.hsp.TWDMPPMD	50Gbit/s TDWM PON システムの物理レイヤ要求条件 (作成中)
4	ITU-T G.hsp.COMTC	高速 PON システムの TC レイヤ規定 (作成中)

### 3.3 G.9804.1 の部分解説

#### 3.3.1 システム概要 (G.9804.1 / 6.2 System Overview)

高速 PON システムへの要求条件の概要を共通要求条件、50Gbit/s TDM PON システムの要求条件、50Gbit/s TWDM PON システムの要求条件、ポイントツーポイント高速 WDM PON について記載。

##### 3.3.1.1 共通要求条件 (G.9804.1 / 6.2.1 Common requirements)

表 3-3-1 共通要求条件[II-3-2]

要求項目	内容
1. 伝送速度	
上り、下り対象	最低サービス速度 40Gbit/s を実現する上下方向約 50Mbit/s
上り、下り非対象 (オプション)	オプション 1 : 下り約 50Gbit/s、上り 25Gbit/s オプション 2 : 下り約 50Gbit/s、上り 12.5Gbit/s または 10Gbit/s
ONU での速度サポート (オプション)	上り方向で同じ波長チャンネルで異なる伝送速度をサポート。TDMA での上り 50Mbit/s のサポートについては将来の課題
2. 最大伝送距離	
通常のアプリケーション	20km
遅延時間が厳しいアプリケーション	10km
3. 光ファイバ	ITU-T G.652[II-3-3]および ITU-T G.657[II-3-4]に準拠
4. ODNs 構成	光ファイバ、コネクタ、スプリッターおよびオプション

要求項目	内容
	として波長分波器で構成
5. TDMA ベースシステムにおける共通 TC レイヤ条件	
最大ファイバ長	60km
最大ファイバ長差異	40km
最大ファイバ長差異ステップ	20km ステップ
6. メンテナンスのためのサービス中断時間	50ms 以下
7. OLT でのパワー管理機能	対応可

### 3.3.1.2 50G TDM PON システム要求条件 (G.9804.1 / 6.2.2 50G TDM PON system requirements)

50G TDM PON システムは、単一の波長チャンネルのペア、TDM/TDMA で動作し、3.3.1.1 で規定した伝送速度の要求条件を満足する。

### 3.3.1.3 50G TWDM PON システム要求条件 (G.9804.1 / 6.2.3 50G TWDM PON system requirements)

- 同一ファイバ上に多重された複数ペアの波長チャンネルを有し、それぞれが TDM/TDMA で動作し、3.3.1.1 で規定した伝送速度の要求条件を満足する。
- ONU は、OLT からの制御により、有効な波長チャンネルのいずれにおいても調整されて動作可能。
- 異なった波長チャンネルを割り当てることにより、同一ファイバ上に異なるサービスをサポート可能。
- 増大する需要に対応してファイバ上に追加の波長チャンネルを提供して全体の容量を増大させることが可能。
- ONU 起動時に、サービス断が許容できない波長チャンネルへの影響を回避するために、他の使用可能な波長チャンネルでの起動が出来るようにする機能を有すること。
- OLT カード故障時にサービス復旧時間を 50ms 以下に抑えるための波長サービス保護機能を有すること。
- ONU のサービス速度が個々の波長チャンネルの最大速度を超える場合に波長チャンネルの結合によりサービス速度のサポートを可能にする機能を有すること。
- 有効な波長チャンネル間での負荷バランシング機能を有すること。
- Rouge ONU (指定されたタイムスロットで送信しない ONU) を無くするための複数波長を使う技術を有すること。

### 3.3.2 ポイントツーポイント高速 WDM PON の要求条件 (G.9804.1 / 6.2.4 Higher speed point-to-point WDM PON (PtP WDM PON) system requirements)

ポイントツーポイント高速 WDM PON システムへの要求条件については、将来の課題。

### 3.4 50G TDM PON へのマイグレーション (G.9804.1 / 7.3 章)

50G TDM PON に関しては、XG(S)-PON から 50G TDM PON および 10G-EPON から 50G TDS PON へのマイグレーションパスがサポートされなければならない。この場合、非対称 10G-EPON システムの上り波長は、1270nm±10nm に狭められる。

移行期においては、XG(s)-PON が 50G TDM PON と併存するためにはネットワーク内に WDM 機能を持たなければならない。図 3-4-1 や図 3-4-2 に示すように独立したデバイス CEx を備えるか、もしくはマルチ PON モジュール(MPM)を組み込むことになる。

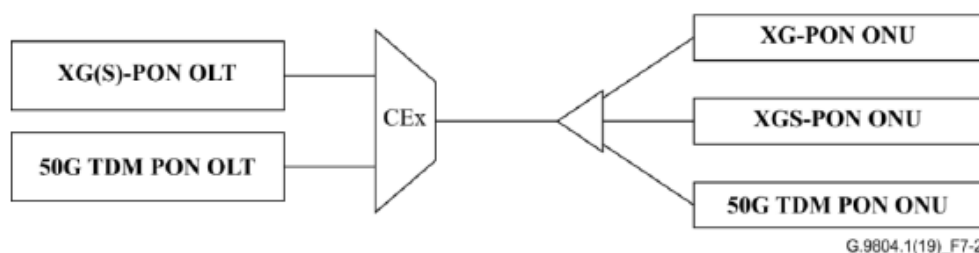


図 3-4-1 独立した CEx デバイスによる XG(S)-PON と 50G TDM PON の共存 [II-3-2]

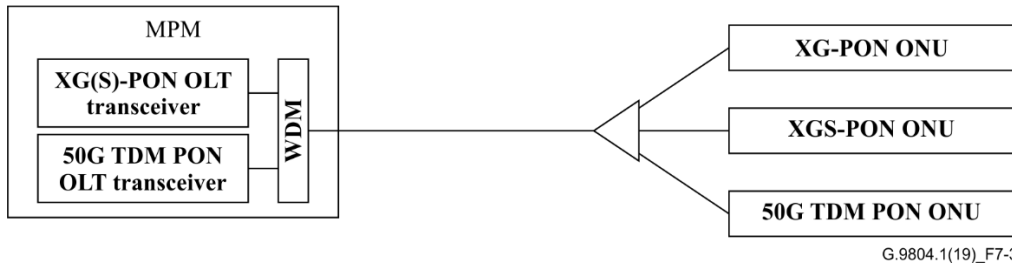


図 3-4-2 MPM モジュールによる XG(S)-PON と 50G TDM PON の共存 [II-3-2]

移行期においては、10G-EPON が 50G TDM PON と併存するためにはネットワーク内に WDM 機能を持たなければならない。図 3-4-3 や図 3-4-4 に示すように独立したデバイス CEx を備えるか、もしくはマルチ PON モジュール(MPM)を組み込むことになる。

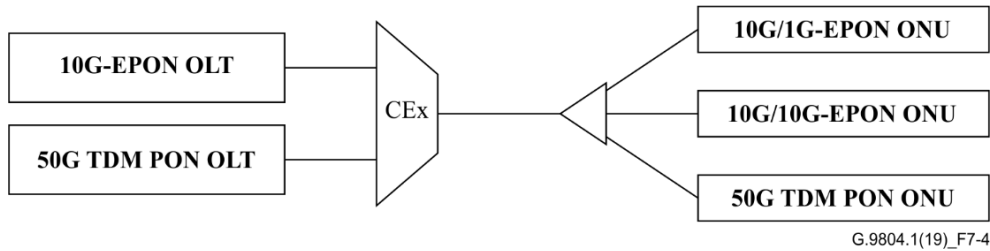


図 3-4-3 独立した CEx デバイスによる 10G-EPON と 50G TDM PON の共存 [II-3-2]

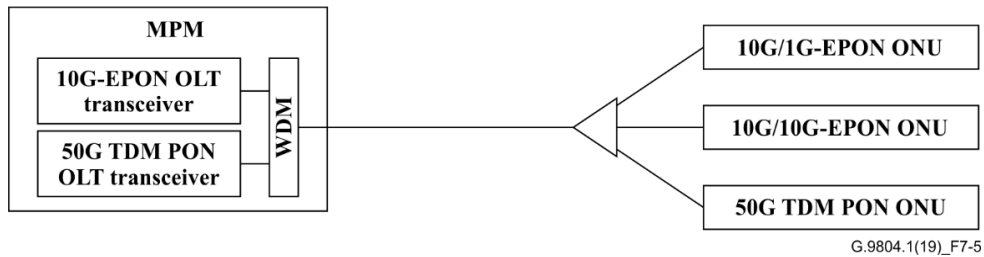


図 3-4-4 MPM モジュールによる 10G-EPON と 50G TDM PON の共存 [II-3-2]

図 3-4-5 に示すように、これまで述べてきた WDM と 2.5G~50G のマルチレート受信器をハイブリッドに共存させることで 3 種類の PON の共存が可能となる。3 種類の PON 共存は、従来の GPON のシステムおよび光パスの観点でのメリットや手ごろなコストで実現できる点で通信オペレータにとって興味あるものとなっている。WDM のみで 3 種類の PON 共存するためには別の波長ペアを追加することが必要となり、従来の ITU-T 準拠の PON で過密となっている O バンドにおいて干渉を避けることが困難であることから、図 3-4-5 では WDM TDM をハイブリッドに組み合わせた 3 種類 PON 共存の構成となっている。この構成では、GPON と高レート PON の共存は WDM で実現し、XG(S)-PON と HSP は TDM による上り方向波長共有で実現している。

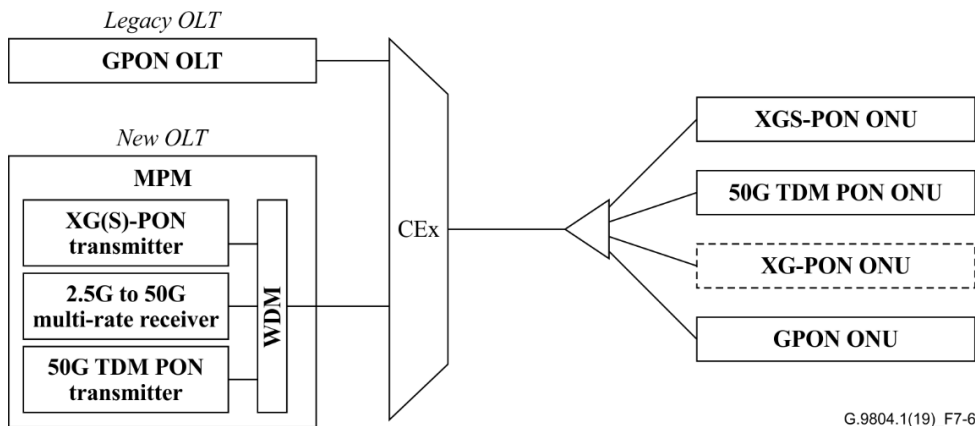


図 3-4-5 WDM とマルチレート受信器を組み合わせた 3 世代 PON 共存のシナリオ [II-3-2]

WDM のみで構成した 3 世代 PON 共存のシナリオを図 3-4-6 に示す。このシナリオでは、各世代の PON システムは個別の波長で動作する。Gigabit PON は 1G-EPON もしくは (削減された波長帯の) GPON であっても構わず、10G PON は 10G-EPON もしくは XG(S)-PON であっても構わない。従って、このシナリオでは従来の PON システムとの干渉を回避する別の波長ペアが必要となる。

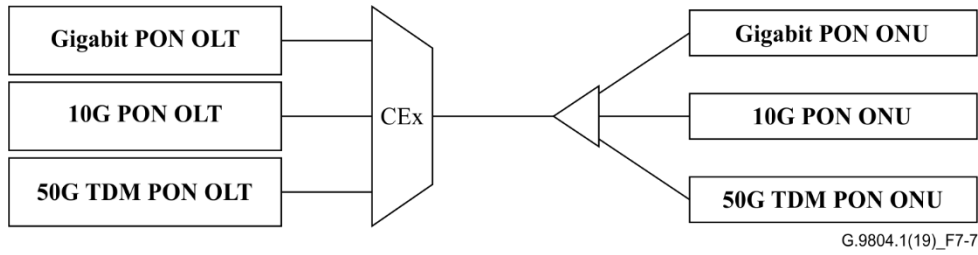


図 3-4-6 WDM のみによる 3 世代 PON の共存シナリオ [II-3-2]

### 3.5 Optical spectrum issues and availability (G.9804.1 / 9.6 章)

アクセスネットワークの多くは ITU-T G.652 [II-3-3] シングルモードファイバを適用している。よく知られているようにシングルモードファイバの特性は波長に依存している。ITU-T で定義された波長に沿った波長範囲における減衰量を図 3-5-1 に示す。光信号の減衰量は C バンドおよび L バンド低域で最も小さくなる。

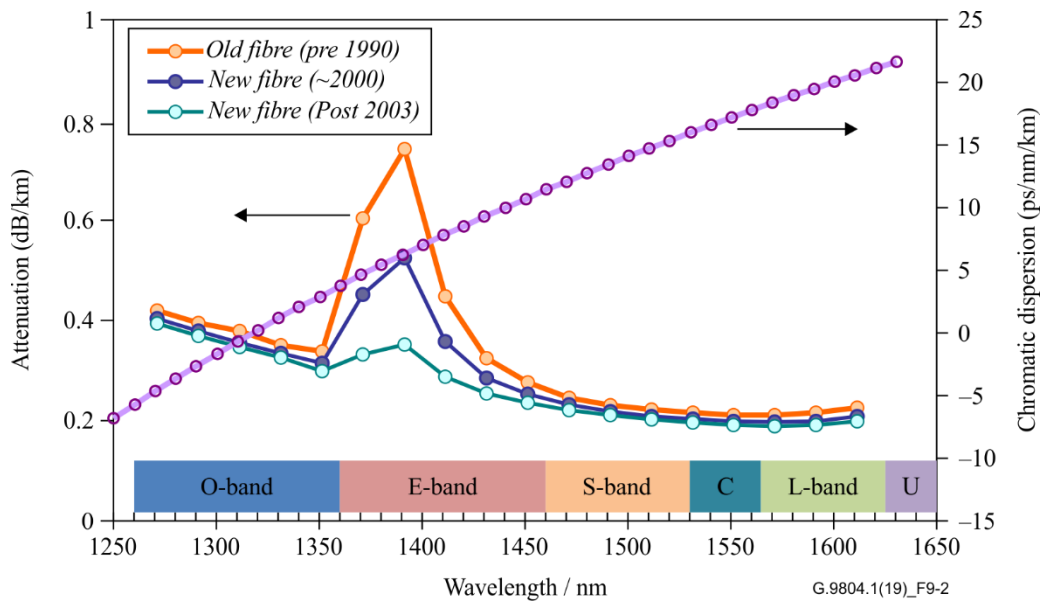


図 3-5-1 シングルモードファイバの減衰量と波長分散 [II-3-2]

伝送速度の上昇に伴って伝送距離を制限する波長分散も、シングルモードファイバにおいて 1310nm をゼロとして波長依存する。図 3-5-1 には、波長分散の特性も合わせて示している。

波長に関わるもう一つの側面として、光-電気コンポーネントの適用可能性がある。例えば、広く使われるエルビウムドープファイバアンプ(EDFAs)は、C および L バンドで機能し、一方、半導体光アンプ(SOAs)はどの波長帯においても機能するように製造される。しかしながら、レーザーの温度特性やフォトダイオードの感度といった半導体光コンポーネントの性能は、波長によって違いが生じる。

図 3-5-2 に示す従来の PON システムの波長プランとの共存が必要な HSP システムでは、マイグレーションや共存のシナリオを考慮しなければならない。



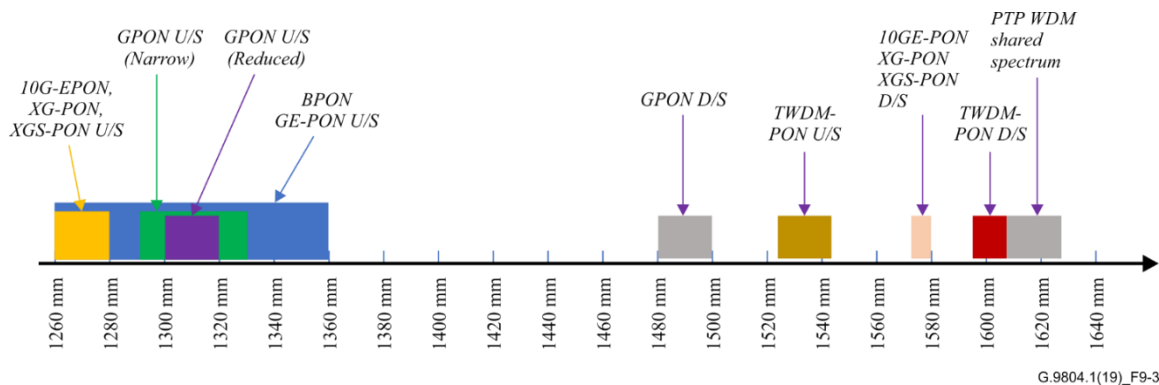


図 3-5-2 従来の PON システムの波長プラン [II-3-2]

さらに波長スペクトラムの使用を制約する要素として、既設の OLT の上り方向および ONU の下り方向に組み込まれたフィルタの特性がある。従来の PON システムの信号が集中している O バンドは、分散ペナルティが小さいことから高速 PON においても波長のターゲットとなっている。GPON、XG(S)PON と HSP の共存は、従来の PON 技術のガードバンドに対してより狭いガードバンドが求められ、きわめてチャレンジングである。下り方向においては、RF ビデオ信号と共存させるには、長距離伝送のための信号出力が高くなるとともに、ガードバンドがより広いフィルタが必要となり、さらにファイバロスが小さな C バンドの大部分を占有し、EDFA が使われる。

### 3.6 Power reduction (G.9804.1 / 10.8 章)

通信ネットワークシステムにおける電力削減は運用コスト削減 (OPEX) と温室効果ガス排出の観点で益々重要となっている。HSP システムは最もエネルギー効率が良くなるように設計されなければならない。このことは OLT に対してだけでなく、エネルギー消費が ONU 側では FTTC/B のケースを除いては共有できないことから、ONU においてもあてはまる。例えば、停電時に可能ならばバッテリーバックアップにより音声通信といったライフラインに関わるサービスを継続することがアクセスネットワークの電力削減の主な目的となる。ライフラインインタフェースは、メイン電源断のち少なくとも 8 時間、オプションとして話中で 4 時間、ONU スリープモードではさらに長時間 (例えば、1 週間) 維持されなければならない。従って、HSP システムは ITU-T G-Sup.45[II-3-4]に記載されたメカニズムに基づいて、サービスの要求条件を満たすとともにエネルギー効率の改善をしなければならない。第 2 の目標は、常時の電力削減がある。サービスの品質とユーザの体感を損なわないこともまた重要である。

50G T(W)DM-PON においては、ノーマルモードで動作中にスリープモードを入念に入れ込むというオプションがある。加えて、メイン電源が停電すると電力削減機能を起動させる。50G T(W)DM-PON におけるその細かな値の調整については、ITU-T G-Sup.45[II-3-4]で各々の電力削減技術をサービスへのインパクトも含めて比較している。

50G TWDM においては、時間および波長分割多重の各チャネルに対して ONU 側でより良い電力削減メカニズムを実現するために、入念にスリープモードを入れ込み、ネットワークオペレータが性能へのインパクトと電力削減効果のバランスを調整できるようにしなくてはならない。OLT 側のメカニズムとしては、波長の再調整をしなければならない。NG-PON2 では、これらのメカニズムを実現するためのプロトコルの調整ができなければならない。図 3-6-1 に示すように TWDM PON システム (4 波長タイプ) においてトラヒックが小さく、全てのトラヒックが単一の OLT ポートで賄えるにもかかわらずすべての OLT ポートが使われているような場合は、OLT ポートのスリープモードで電力削減が可能となる。しかしながら、図 3-6-2 に示すように、波長の再配置によって全ての ONU を同じ OLT ポート (CT1) に接続することで、他の OLT ポートを強制的にスリープモードにすることが可能となる。

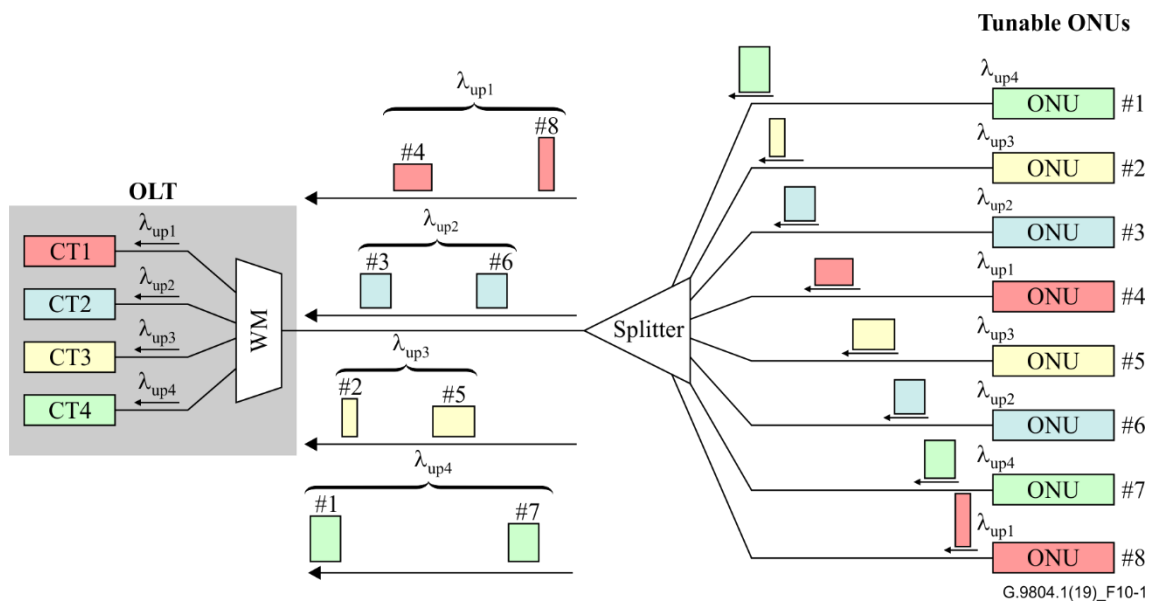


図 3-6-1 TWDM PON OLT-port sleep mode (before starting sleep mode)の例 [II-3-2]

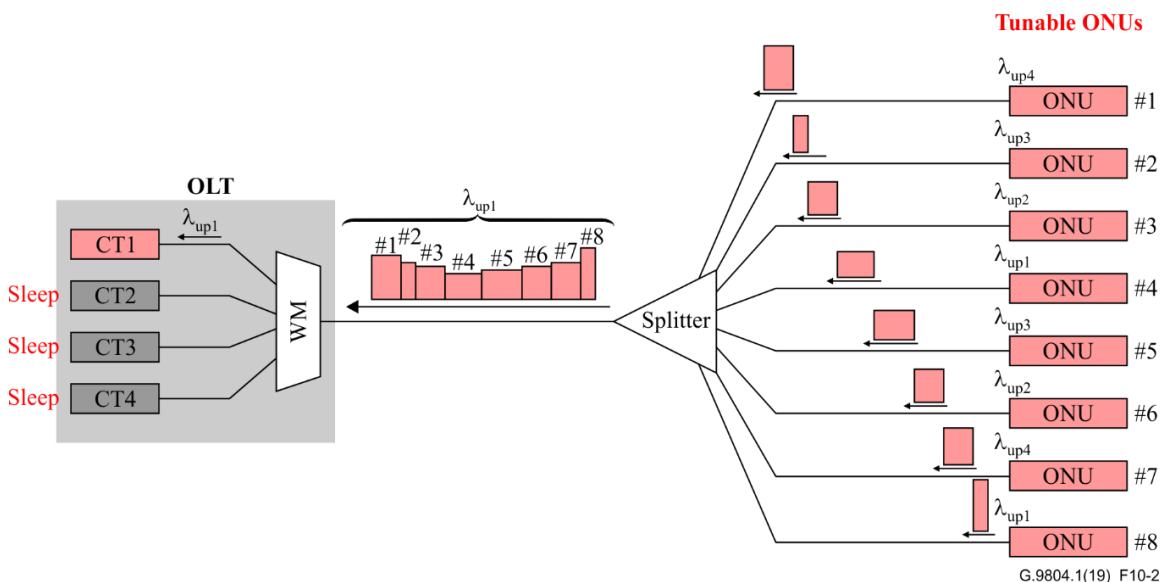


図 3-6-2 TDM PON OLT-port sleep (CT2, CT3 and CT4 are in sleep mode)の例 [II-3-2]

PtP WDM PDM PON においては、PtP WDM のチャンネルに対して ONU 側での電力削減を可能とするメカニズムには以下が含まれてはならない。

- スタンバイ状態での電力削減、および再起動時のリスクを軽減するためのサイレントスタート機能
- トラフィックが小さいもしくは無い場合に電力を削減するスリープモード

OLT および ONU の双方での電力削減方法には、以下が含まれてはならない。

- スリープモードを許容しないリンクやサービスにおいて、トラフィックおよびサービスが許容する場合の電力削減のためのライン速度の変更

### 3.7 Type W protection (for 50G TWDM PON and PTP WDM PON) (G.9804.1 / 11.3 章)

標準で新たに定義されたタイプ W プロテクションにおいては、OLT (あるいは、OLT CT) のみが保護される。いくつかのケースにおいては、タイプ W プロテクションは ONU での波長調整によって実現される。

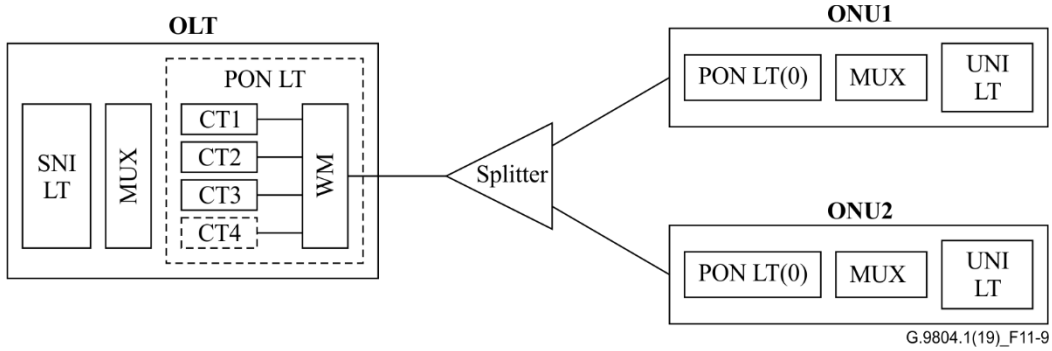


図 3-7-1 タイプ W プロテクション—OLT CT バックアップの 1:n モデル [II-3-2]

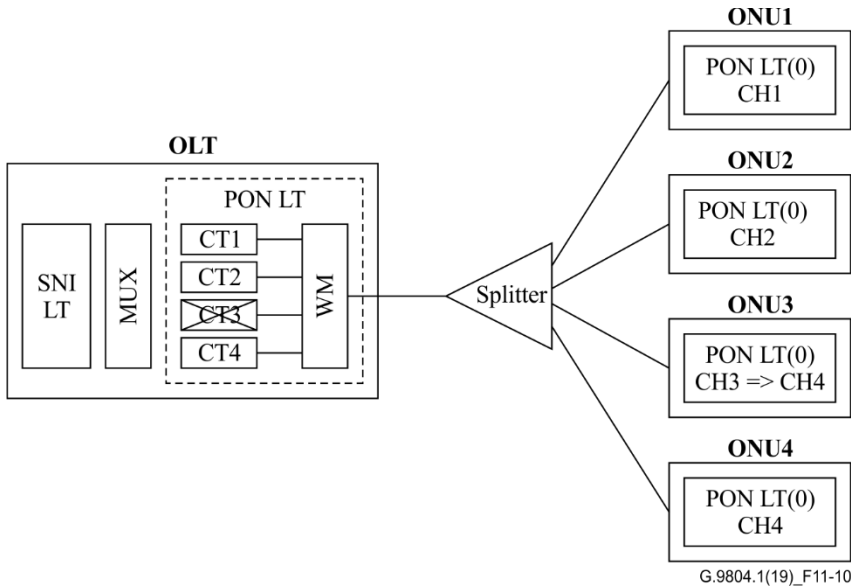


図 3-7-2 タイプ W プロテクション—全 OLT CT アクティブの 1:n モデル [II-3-2]

タイプ W プロテクションの 1:n モデルを図 3-7-1 に示す。50G TWDM PON システムにおいては、OLT CT のうちのひとつの OLT CT が、他の OLT CT のバックアップとして構成されている。図 3-7-1 では、CT4 が OLT CT のバックアップとなっている。稼働中のいずれかの OLT CT が故障すると影響を受ける ONU においてあらかじめ設定された情報に基づいてバックアップの TWDM チャンネルに合わせた調整が行われる。

図 3-7-2 には、別のタイプ W プロテクションの 1:n モデルを示す。このプロテクションは、50G TWDM PON ONU の波長調整性能に依存する。運用中は全ての OLT CT がアクティブとなっている。各 OLT CT は、他の OLT CT をプロテクト可能である。ひとつの OLT CT が故障するとそれに対応した ONU では、他の OLT CT に割り当てられた波長に合わせた調整が行われる。図 3-7-2 では、OLT CT3 が故障し、OLT CT4 がプロテクトされる。プロテクション時間を短縮する別のアプローチとして、バックアップチャンネルをあらかじめ ONU で準備しておくことができる。故障が発生すると、影響を受ける ONU は OLT からの指令を待たずにバックアップチャンネルに調整可能となる。

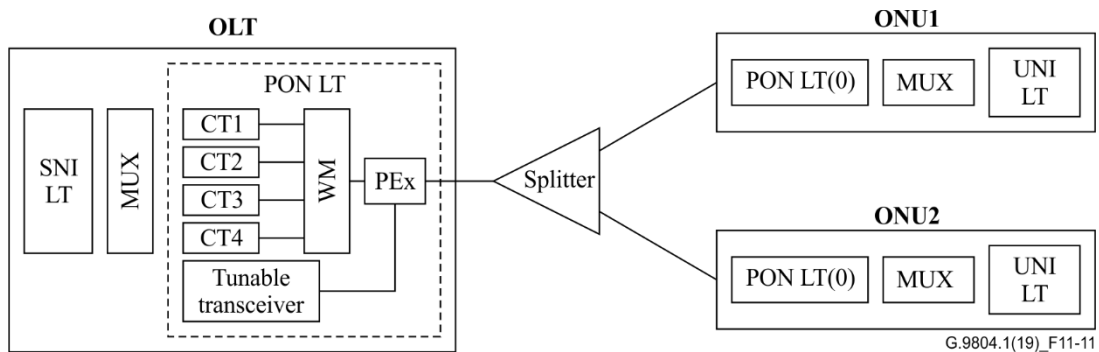


図 3-7-3 タイプ W プロテクション—(n+1):n モデル [II-3-2]

タイプ W プロテクションの(n+1):n モデルを図 3-7-3 に示す。チューナブル送受信機を備えた専用の OLT

CT がバックアップ用 OLT CT として構成される。稼働中の OLT CT が故障するとバックアップ用 OLT CT (チューナブル送受信機) は、稼働していた OLT CT と同じ波長に合わせて調整を行う。OLT の異常なふるまいを回避するために、バックアップ用の OLT CT は稼働していた OLT CT の故障を確認したあとにのみ波長の調整を実行する。プロテクションの切り替えにおいて ONU 側の対応は不要である。

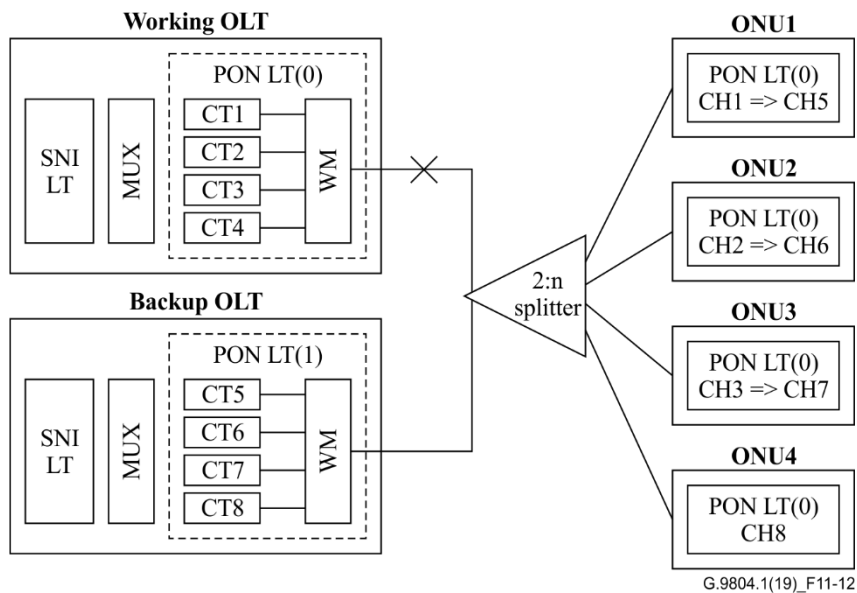
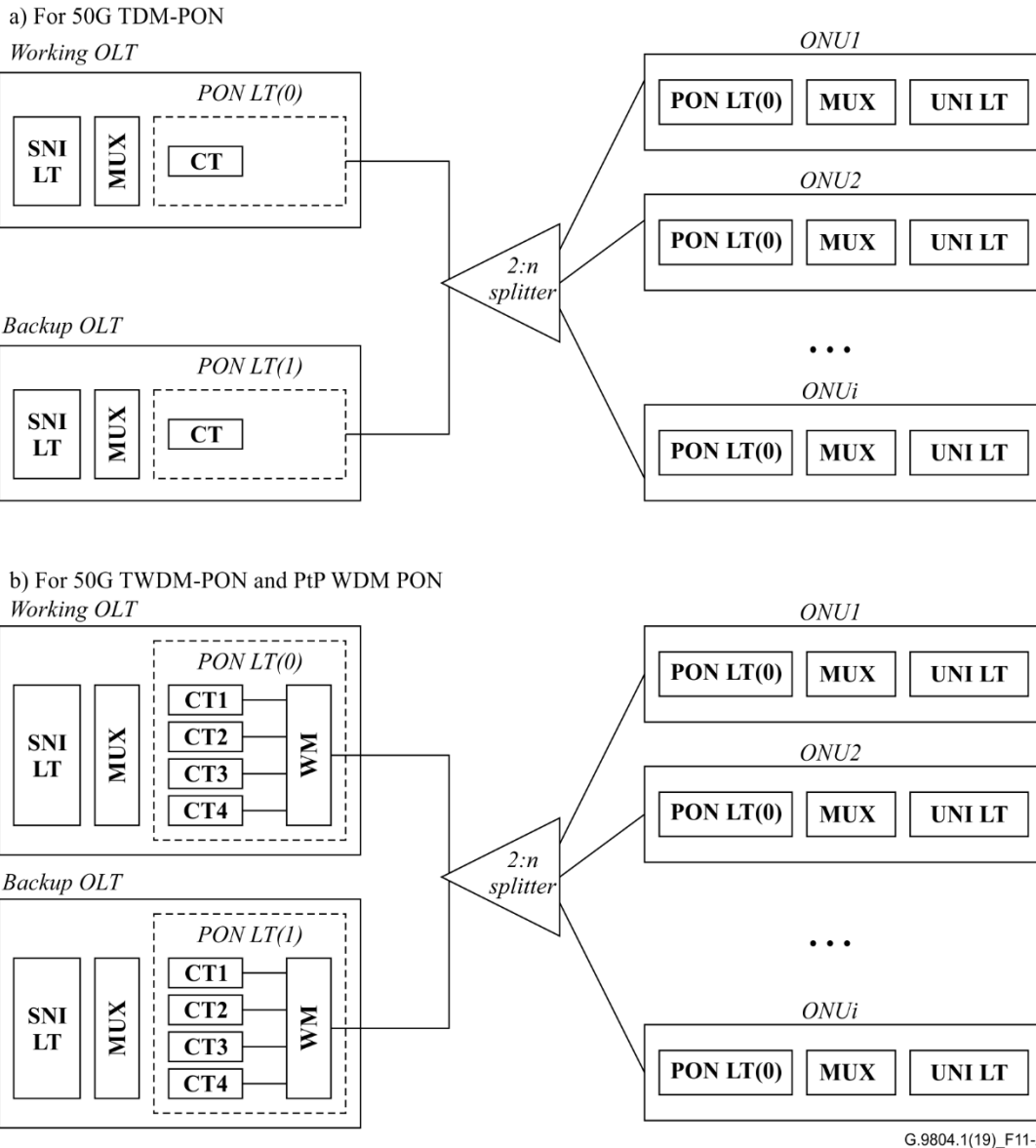


図 3-7-4 タイプ W プロテクション—dual parenting 2n:n モデル [II-3-2]

タイプ W プロテクションの dual parenting 2n:n モデルの構成を図 3-7-4 に示す。OLT CT は、稼働グループとバックアップグループの 2 つのグループに分けられる。稼働グループに故障が発生するとバックアップグループが、影響を受ける ONU に対して波長をバックアップグループに合わせて調整指示することにより伝送のプロテクションが可能となる。この構成は、OLT とフィーダーファイバが 2 重化されていることからタイプ B プロテクションと同じ特徴を有する。図 3-7-4 に示す 2n:n タイプ W プロテクションと、図 3-7-5 に示すタイプ B プロテクションの主な違いは、2n:n タイプ W プロテクションにおけるバックアップグループは、故障が発生しない時に稼働グループとは異なる波長を使って過剰なトラヒックを伝送可能であるのに対して、タイプ B プロテクションのバックアップグループは、稼働グループと同じ波長で動作する点にあることに留意しなければならない。



G.9804.1(19)\_F11-2

図 3-7-5 タイプ B プロテクションー dual parenting 1:1 モデル [II-3-2]

## II-4. ITU-T での WDM-PON 検討状況

ITU-T SG15 Q2 では、モバイルフロントホール等への適用を想定し、optical distribution network (ODN)に wavelength division multiplexing (WDM)マルチプレクサを用いた WDM-passive optical network (WDM-PON)の標準化を目指している。WDM-PON の要求条件に関する G.9802.1 [II-4-1]、physical medium dependent (PMD) および transmission convergence (TC)レイヤ仕様に関する G.9802.2 の 2つの勧告文書作成に向けた活動が進んでおり、G.9802.1 については 2021 年 4 月の ITU-T SG15 プレナリ会合でコンセントされ、G.9802.2 については 2022 年のコンセントを目指している。以下にコンセントされた G.9802.1 の概要を示す。

G.9802.1 は 1 章から 11 章で構成されており、具体的な技術に関する内容は、6 章から 11 章に、それぞれシステムアーキテクチャ、サービス要件、物理レイヤ要件、システムレベル要件、運用要件、レジリエンスとプロテクションが示されている。以下に各章の主な内容を抜粋して記す。

6 章では、システムアーキテクチャとして、図 4-1 の wavelength routed ODN (WR-ODN) based WDM-PON (WRP) が示されている。波長マルチプレクサと多くの channel terminations (CTs)から成り、各 CT はある 1 つの channel pair (CP)を用いて双方向接続を提供する。本勧告では、パッシブ波長ルータを 1 つのデバイスで構成、複数 CT を同じ optical line terminal (OLT)シャーションに収容、各 optical network unit (ONU)で 1 つの CP 利用することをスコープとする。

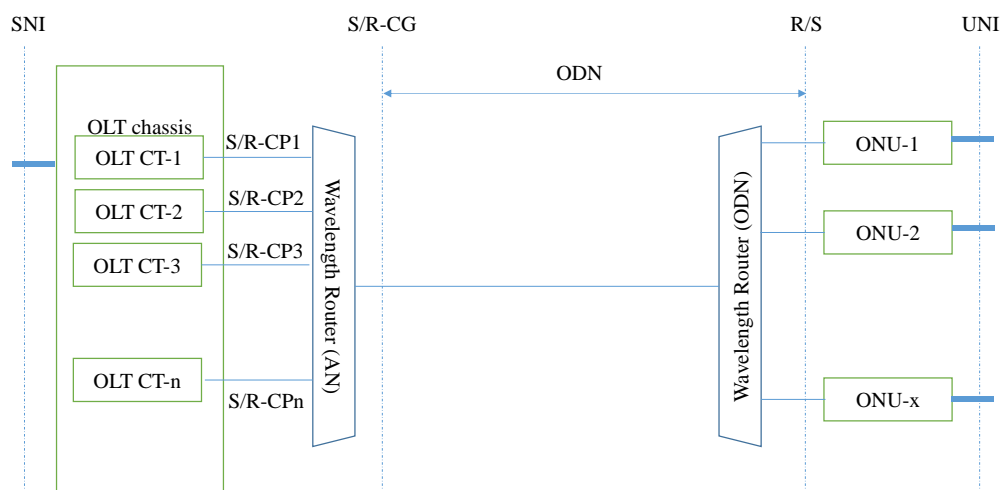


図 4-1 WR-ODN ベース WDM PON の機能参照アーキテクチャとポイント[II-4-1]

共通要件として、上下対称 25 Gbit/s または 10 Gbit/s のラインレート、異なる CP における 25 Gbit/s CT と 10 Gbit/s CT の同時サポート、12/20/40 波長 CP、ONU は ODN 上の波長ルータのいずれのポートも利用可能なことが記されている。また、展開シナリオとしては、グリーンフィールドに加えて既存システムをアップグレードしていくブラウンフィールドも含まれ、ITU-T G.9806 等で定義される従来の 1 対 1 対向の光パケットクラスに対応することが求められている。

7 章では、WRP のサービス要件として、第一にモバイルフロントホール/ミッドホール/バックホールをサポートすること、ハイエンドのレジデンシャルまたはビジネスユーザ向けサービスも除外されないことが記されている。WRP では、User Network Interface (UNI)として 1/10/25 Gbit/s Ethernet、common public radio interface (CPRI)/ open base station architecture initiative (OBSAI)、one pulse per second (1PPS)が、service node interfaces (SNI)として 1/10/25/40/50/100/200/400 Gbit/s Ethernet、CPRI/OBSAI が想定されている。さらに、モバイル向けに、高品質タイミングクロックを OLT から ONU に配信し、ONU から配下のセルサイトに正確な時刻を提供できることが必須となっている。

8 章では、物理レイヤ要件として、上述の伝送レートに加えて、ITU-T G.652[II-3-3]および G.657[II-3-4]で示されるシングルモードファイバの利用、最大伝送距離クラスとして 0~10km と 0~20km をサポートすることが記されている。

9 章では、システムレベル要件として、高いセキュリティと G-PON の基本的なテスト、診断機能を有すること、既存サービスに影響なく ONU や OLT CT を増設可能なこと、遅延や同期等に関する厳しいフロントホール要件を考慮すること等が記されている。

10 章では、オペレーション要件として、過去の PON で実装された ONU の管理、制御機能をできるだけ活用し、PON をリアルタイムで管理することが記されている。ONU 管理については、WRP 向けに適切に拡張された ITU-T G.988[II-4-2]の ONU management and control interface (OMCI)をベースとする。

11 章では、CT 障害、ODN 障害に対するプロテクションについて記載されている。図 4-2 と 4-3 はともに CT 障害に対するプロテクションで、それぞれメインとプロテクション CT を用いた方式、Optical (achromatic) Power Splitter (OPS)とチューナブル CT を用いた方式の構成例である。また、図 4-4 と 4-5 はともに ODN 障害に対するプロテクションで、それぞれ外部光スイッチを用いた方式、デュアル OLT を用いた方式の構成例である。

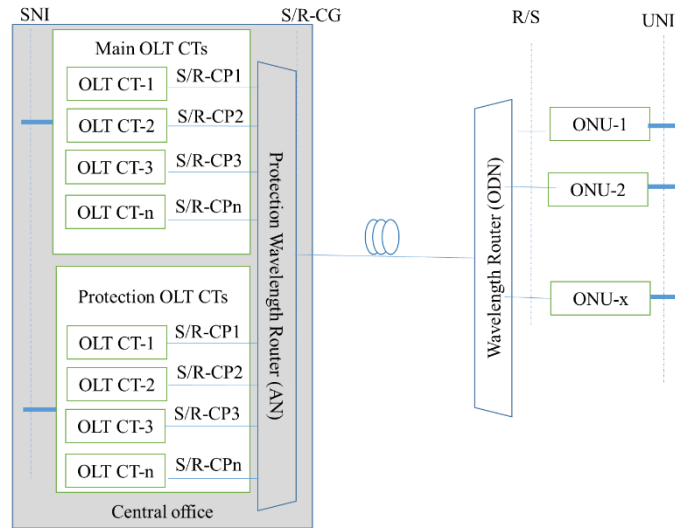


図 4-2 フル CT プロテクションの例[II-4-1]

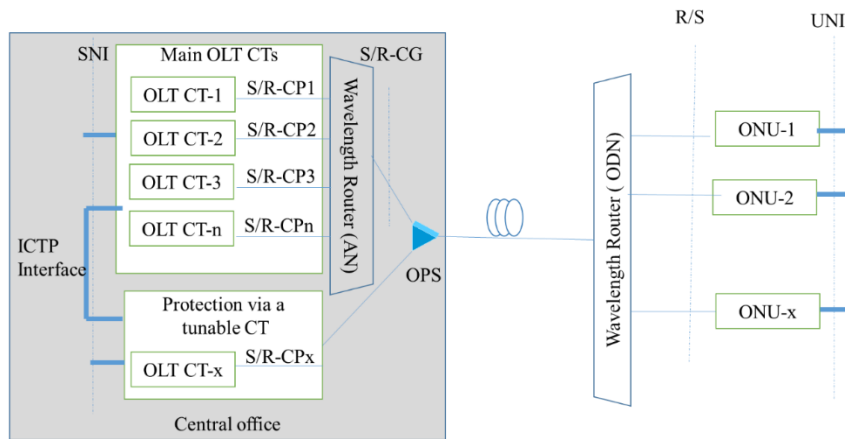


図 4-3 OPS とチューナブル CT を用いた CT プロテクションの例[II-4-1]

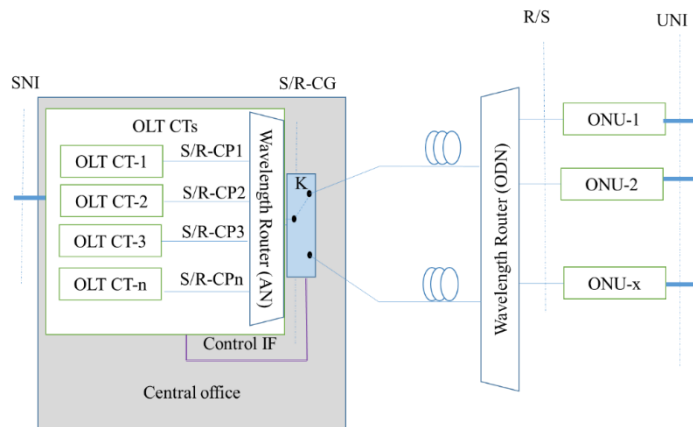


図 4-4 外部光スイッチを用いたフィーダープロテクションの例[II-4-1]

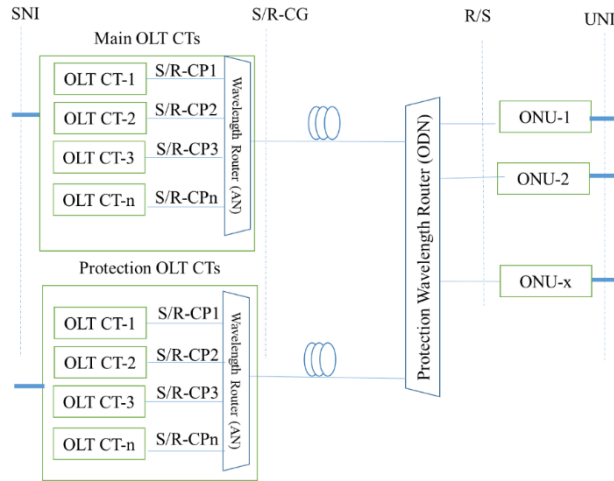


図 4-5 デュアル OLT を用いたフィーダープロテクションの例[II-4-1]

## II-5. ITU-T での ROF 技術の検討状況

ITU-T SG15 Q2 では、移動通信システムなどの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られている。これまでに RoF 技術に関する補助文書（G Suppl.55 “Radio-over-fibre (RoF) technologies and their applications”）[II-5-1]と RoF システムに関する勧告（G.9803 “Radio-over-fibre systems”）[II-5-2]が発行されているが、現在、それぞれの改訂作業が進められている。G Suppl.55 の改訂作業では RoF システムに有効な要素技術として、RoF 向け搬送波発生のためのツートーンもしくはマルチトーンの光源技術、RoF 信号向けの周波数重畳型 WDM 技術、RoF システムを無線システムの周波数変換として機能させるフォトニック周波数変換技術、RoF 信号向けの光ヘテロダイン検波技術の追加が、G.9803 の改訂作業では 5G 向けの要件と RoF システムのカスケード化の要件の追加が提案されており、現在も議論中である。

## II-6. ONF SEBA プロジェクトの活動状況

### ・SEBA とは

これまでの光アクセスシステムの進化の方向性は、ユーザトラフィックの増大に対応するための伝送速度の高速化（例えば 1 Gbps から 10 Gbps など）であった。今後の光アクセスシステムは、さらなる高速化に加えて、要件が異なる様々なサービスに柔軟かつ迅速に対応することが求められている。このように多様なサービスに対応するためには、従来の専用装置では、光アクセスシステムの機能を提供するソフトウェアが専用装置に密結合しているため、サービス毎に柔軟にカスタマイズするためには、ハードウェアレベルからの開発が必要となることが課題となっていた。このような課題を解決する手段として、光アクセスシステムを構成する機能を、汎用ハードウェアとオープンソースソフトウェア（OSS）に分離し、それらをオープンな API で接続することで、ソフトウェアの更新や入れ替えにより多様なサービスに柔軟かつ迅速に対応するディスアグリゲーション（部品化）技術を導入した光アクセスシステムの研究開発が精力的に行われている[II-6-2]。本章では、部品化技術を導入した光アクセスシステムを初めて提唱した OSS 開発団体である ONF により開発された SEBA について概説する。



・ SEBA のハイレベルアーキテクチャ

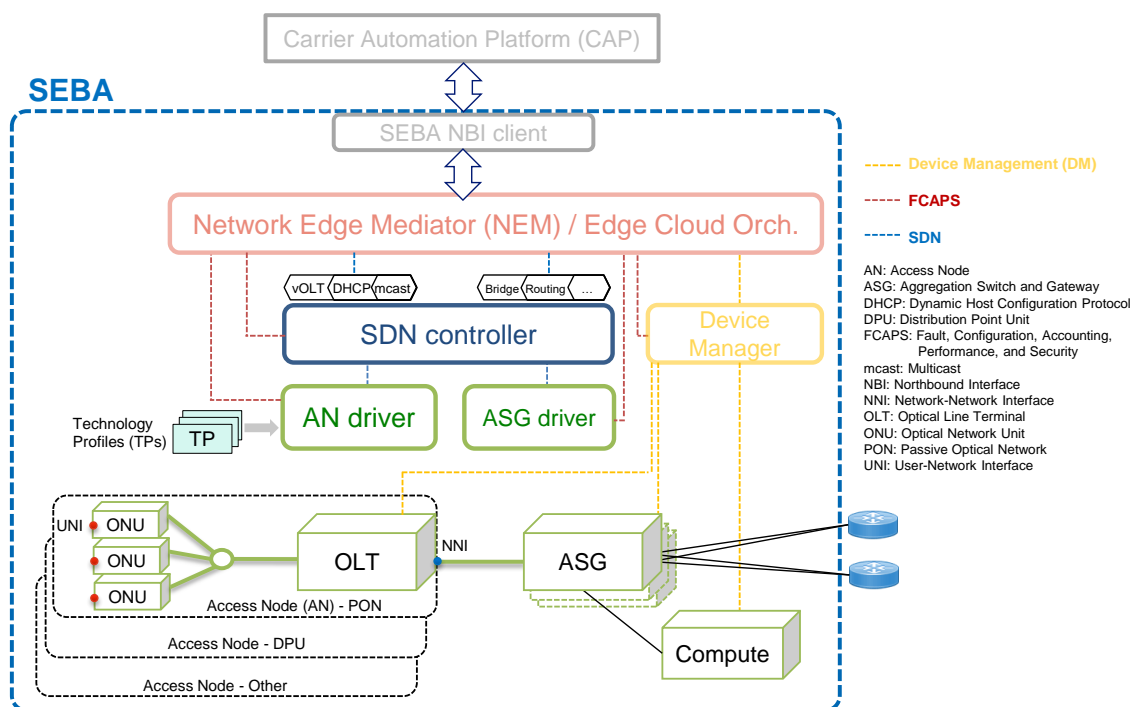


図 6-1. SEBA のハイレベルターゲットアーキテクチャ [II-6-1]

図 6-1 に示すように、SEBA は Kubernetes 環境上で動作するコンテナ化された複数のソフトウェア部品およびホワイトボックス化された OLT などのハードウェア装置により構成される。主なソフトウェア部品を下記に示す。

- ・ Network Edge Mediator (NEM) : アクセスシステムとサービス事業者との間でメディエーションレイヤとして機能する。NEM は、サービス事業者がアクセスネットワークを構成するコンポーネントやブロードバンドサービス加入者の管理のために必要な FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, and Security) 機能をサポートするために、インタフェースとコンポーネントを提供する。
- ・ SDN Control : 以下の三つの主な機能を有している。
  - 1) 従来の専用装置から制御機能（加入者トラフィック制御機能など）を取り出すとともに制御機能を集約する機能、およびそのためのアプリケーションを作る機能
  - 2) ネットワーク内のデータベースを動的にプログラムする機能
  - 3) プログラマブルな LSI 上でユーザプレーンのパケット処理を直接的にプログラムする機能
- ・ Control Applications : SDN Control に実装されるコンテナ化されたソフトウェア部品 (vOLT, DHCP, multicast など)
- ・ Access Node (AN) Driver : SDN Control からターゲットとするハードウェアに対して抽象化インタフェースを提供する疎結合したサービス群の集合体であり、G-PON, XGS-PON, 10G-EPON, NG-PON2, G.fast, FWA または DOCSIS など多様な技術タイプをサポートすることができる [II-6-3]。PON の AN ドライバは、SDN Control から PON レベルの詳細 (T-CONT, GEM-ports, OMCI など) を隠蔽し、SDN Control により簡単にプログラムされる疑似 Ethernet スイッチとして個々の PON を抽象化する。このような異なる技術の抽象化は、Technology Profile (TP) を入れ替えることにより実現される。
- ・ Aggregation and Service Gateway (ASG) Driver : ASG デバイスの管理制御機能を提供する。ユーザプレーンの集線機能（生成、削除、更新を含む）および L2/L3 のポート接続情報の収集機能や、ASG デバイスとコンピュータサーバとのパスの生成/削除/更新機能も含まれる。
- ・ Device Manager : 装置管理機能を提供し、AN/ASG ハードウェアの状態監視や電源管理を遠隔で行う。

また、図 6-1 において SEBA を構成する典型的なハードウェア装置については、下記の通りである。

- ・ Access Node types: PON, DPU, Fixed Wireless Access (FWA), ほか
- ・ Access Node device types: AN タイプ（例：PON, DPU, FWA）により定義されるデバイスタイプ

- Aggregation and Service Gateway: レイヤ2集線、レイヤ3サービス集線、サービスエッジ/BNGの機能群およびSDNにより制御される leaf-spine 網をサポートするスイッチ/ルータ
- Compute: AN ドライバ、ASG ドライバおよび管理制御プレーンモジュールをホストするサーバ

## II-7. CableLab での低遅延モバイル Xhaul 技術の検討状況

米ケーブルラボは、2020年6月23日に、「DOCSIS 技術上での低遅延のモバイル Xhaul」[II-7-1]という仕様を発行している。Low Latency Xhaul の頭文字をとって、LLX 技術と呼んでいる。

<https://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-LLX>

下記のサイトに LLX の概要が書かれている[II-7-2]。

<https://www.cablelabs.com/technologies/low-latency-xhaul>

ここでは、LLX は、ファイバ Xhaul と見分けがつかないような DOCSIS の遅延技術を提供し、ファイバ網を構築するのに必要なコストのごく一部のコストで、モバイルゲームやビデオ会議のような 5G の URLLC(超信頼低遅延)のユースケースを可能にする、としている。HFC は Hybrid Fiber-Coaxial の略で、幹線ファイバと加入者に近い部分の同軸網を組み合わせた DOCSIS ネットワークであるが、アクセス網での遅延を減らし、携帯電話網と DOCSIS 網の間でのシームレスなサービス品質提供のための枠組みを提供することにより、5G 基地局の伝送路であるモバイル Xhaul の選択肢となりえる、としている。

携帯電話網を構築するとき、全体のコストの 80%が基地局の伝送路である Xhaul のコストとしてかかってしまう。新たに光ファイバを使って Xhaul 網を構築するのではなく、すでに広範囲に展開されている DOCSIS 網を再利用することにより、Xhaul の展開時間とコストを大幅に削減できる。

DOCSIS 網を使った Xhaul でどのように低遅延を実現するかについては、モバイル網のスケジューラ情報を DOCSIS 網のスケジューラに伝達することにより、モバイルの packets がモバイル網で伝達されている間に、DOCSIS 網側で準備をしておくことにより、モバイル網と DOCSIS 網の間で一気通貫の伝送を実現しようというものである。

LLX 中の X、つまり Xhaul は、バックホール、ミッドホール、フロントホールの総称である。LLX 技術はこのように様々な展開モデルで使えるように設計されており、携帯電話網とケーブル業界が仮想化技術へ向かっていく中で、適応できるようになっている。

ケーブルラボは 2016 年の始めから LLX 技術を検討してきており、テストベッドでは 1 から 2ms の遅延を提供できることをデモしている。この技術は商用の DOCSIS システムと携帯電話システムに実装されており、今日すでに展開できる状態にある、としている。

LLX 技術仕様の中では、DOCSIS システムが、次の 3 つのシナリオで Xhaul 伝送として機能できる、としている。

1. LTE eNB の Small Cell または Macro Cell
2. 5G gNB Small Cell または Macro Cell、および
3. 802.11ax Wi-Fi Access Point (AP)

これらの外部構成要素を AE (アクセスエンティティ) と呼び、AE は、エアインタフェースリソーススケジューラが存在する場所として定義される。

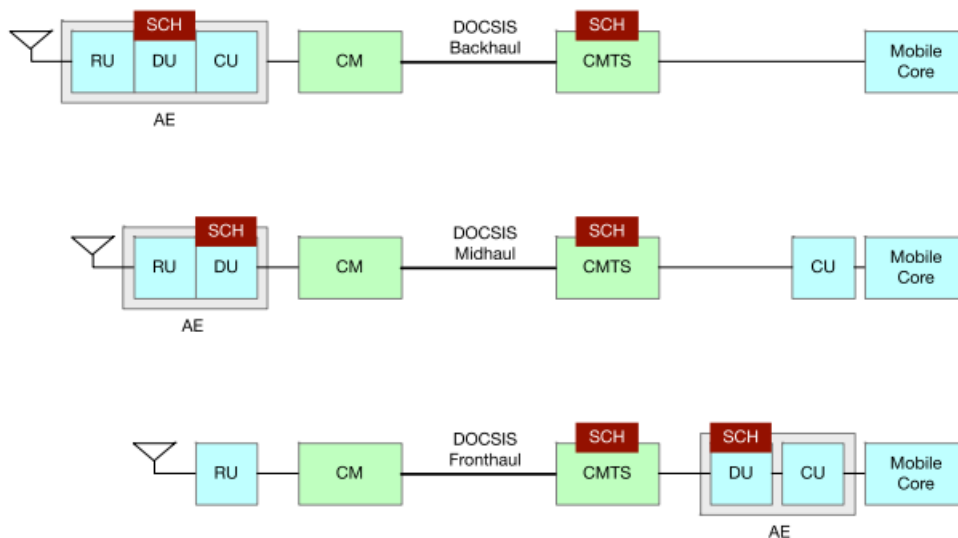


図 7-1 Xhaul でのアクセスエンティティの定義[II-7-1]

LLX では、Bandwidth Report(BWR) プロトコルを使うことにより、上記の連携を実現する。

モバイルシステムと DOCSIS を、2 つの独立したシステムとして扱くと、それぞれのシステムでのトラフィック遅延が累積してしまう。そのため、この 2 つのシステムを 1 つのパイプラインシステムとして扱うことにより、遅延時間を累積させず、最適化することができる。このパイプラインシステムを動作させるために、DOCSIS 側はモバイルシステム側からの情報を BWR メッセージの形で活用する。

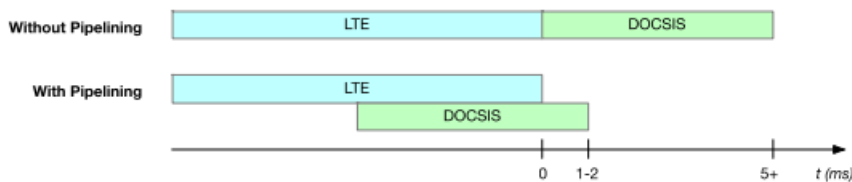


図 7-2 LTE での DOCSIS の実効的な遅延の削減[II-7-1]

BWR を使うことにより、モバイルシステムはトラフィックが到着する間に、将来の特定の時間に DOCSIS システムに帯域幅を要求することができる。CMTS スケジューラは、UE のアップストリームデータが CM(Cable Modem)に到着するのにちょうど間に合うようにその CM の上りトラフィックを許可することにより、上り方向の遅延を低減する。

BWR メッセージは、モバイルネットワークと DOCSIS ネットワークのスケジューリング機能間で交換される。モバイルスケジューラは DU 内に存在し、DOCSIS スケジューラは CMTS 内に存在する。ミッドホールとバックホールの場合、下記の図 7-3 の 1 番目と 2 番目のように、DU は DOCSIS 網の左側あり、BWR メッセージは DOCSIS 網内を通過する。このとき、DOCSIS 網内では BWR メッセージに対して適切な QoS を提供する必要がある。フロントホールの場合は、下記の図 7-3 の 3 番目のように、DU は CMTS のノースバンド側に位置しており、BWR メッセージは DOCSIS 網内を通過しない。

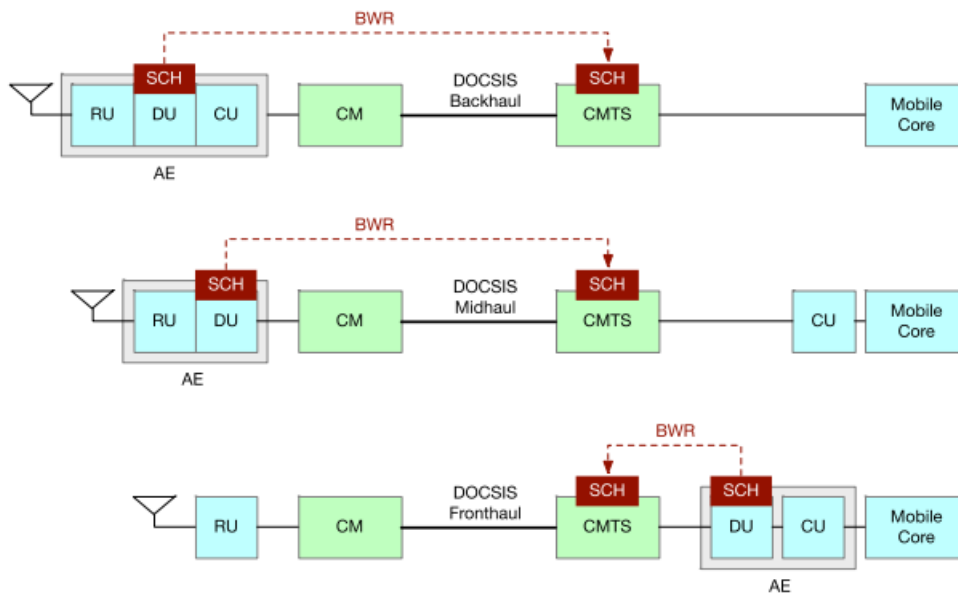


図 7-3 BWR 情報が Xhaul 内を横断している様子[II-7-1]

Air インタフェースや HFC は L2 で、モバイルシステムと DOCSIS システムの接続は L3 となるので、E2E で QoS を制御するには、これらの L2 と L3 の間でも QoS を維持させる必要がある。そのためには、モバイルシステムと DOCSIS Xhaul の間で、共通の QoS フレームワークが必要となる。お互いの QoS 機能をマッピングさせる連携が必要になるため、特に上りトラフィックでの連携について詳細に説明している。ケーブルモデムから CMTS までの上りトラフィックは、サービスフローという単位で QoS 制御をしている。AE と DOCSIS システムの間での QoS の連携として、BWR プロトコルが担う役割や、QoS フレームワークとしてのメカニズムについて詳細に説明している。

BWR の機構において、サーバ機能は CMTS 内にあり、クライアント機能は AE の中にあるという構成になっている。CMTS は CM と連携して、特別なサービスフローを使いながら AE のトラフィックを扱う。

2018 年 2 月に、5G 時代を見据えて、無線アクセスネットワークでの総合接続可能なオープンインタフェースの仕様を開発することを目的として、オペレータ 5 社によって O-RAN アライアンスが設立された。WG4 は The Open Fronthaul Interfaces Workgroup で、Cooperative Transport Interface Transport Control Plane Specification[II-7-3]、通称 CTI が規定されている。この O-RAN WG4 の仕様書 [II-7-4] の Appendix 2 に DOCSIS as a Transport Technology という章があり、“Using CTI for BWR” として BWR が紹介されている。

LLX の仕様書では、BWR プロトコルの状態遷移やメッセージフォーマット、メッセージなどについて詳細な説明をしているが、その内容などは、O-RAN での CTI と同様の内容になっている。

### III. むすび

光アクセス技術は、ベストエフォート型のインターネット接続サービスに加え、音声や映像などのブロードバンド向けトラフィックを、経済的に効率よく収容するところから始まったが、大容量化が進むと同時に用途も増え、現在は、大学などのキャンパス、工場、病院、公共施設、ホテルなどの宿泊施設、競技場、オフィスビル、交通機関、電力機関などで、無線 LAN、監視カメラ、デジタルサイネージ、POS サービス、セキュリティシステム、ビル管理システム、スマートメータ、携帯電話基地局伝送網などで使われるようになり、限られた帯域の中で、様々な QoS を必要とする複数のサービスを効率よく収容し、運用するだけでなく、L2/L3 機能や網内遅延の最適化の観点から、上位ネットワークシステムとの連携も重要になってきている。

光アクセス技術を使ったサービスの種類が増えていく中で、サービス提供までの短時間化と運用の自動化による低コスト化は必然となり、標準化団体ではさまざまな機能の仕様化やインタフェース規定が行われてきた。今後は通信ネットワーク全体の SDN 化、仮想化に必要な技術検討も行われていくと考えられる。

今回の技術調査には含めることはできなかったが、IEEE 802.3ca 25G/50G-EPON、25GS-PON MSA、ITU-T G.Suppl.5GBH、BBF CloudCO プロジェクトなど、他にも大容量化、モバイル伝送網への適応、仮想化に関する標準化活動があるので、興味のある方は是非調べてみてほしい。

標準化機関における光アクセス網に関わる検討は現在も様々な角度から続いており、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。