

TR-1110

2023～2025 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 2023 to 2025

第 1 版

2026 年 1 月 15 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
I. 本報告書の目的.....	5
II. 光アクセス技術関連の SDO での最新の技術検討状況.....	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 Suppl. 79 での PON の遅延制御に関する補足文書.....	12
1.1 はじめに.....	12
1.2 ITU-T G Suppl. 79 第 5 章 導入の内容.....	12
1.3 ITU-T G Suppl. 79 第 6 章 ユースケースと要求条件の内容.....	13
1.4 ITU-T G Suppl. 79 第 7 章 遅延制御と決定論的改善のメカニズム.....	15
II-2. BBF TR-436 と TR-486 でのアクセスシステムの自動化インテリジェント管理技術.....	18
2.1 TR-436(AIM アーキテクチャ).....	18
2.2 TR-486(AIM アーキテクチャ).....	20
II-3. BBF TR-489 での eOMCI と vOMCI を使った ONU の認証と選択.....	21
3.1 TR-489 について(TR-489 Executive Summary).....	21
3.2 TR-489 の適用範囲 (TR-489 第 1.2 節).....	21
3.3 ONU を認証、管理するためのシナリオ (TR-489 第 5 章).....	21
3.4 どのシナリオを適用するか決定について (TR-489 第 6 章).....	23
3.5 D-OLT が OLT に代わり ONU 認証を実行する場合(TR-489 第 7 章).....	24
II-4. ITU-T G Suppl. 82 (ex. G.sup.eOLT)での IT 機能を強化した OLT の検討.....	25
4.1 OLT に関連した IT 機能の導入(G Suppl. 82 第 6 章).....	25
4.2 適応シナリオとユースケース(G Suppl. 82 第 7 章).....	26
4.3 拡張型 OLT のアーキテクチャ(G Suppl. 82 第 8 章).....	28
4.4 サービスへの要件(G Suppl. 82 第 9 章).....	30
4.5 システム要件(G Suppl. 82 第 10 章).....	30
II-5. BBF TR-477 での Cloud CO における OLT の機能分離に関する検討(D-OLT).....	32
5.1 アクセス機能分離の原則(TR-477 第 4.1 節).....	32
5.2 CloudCO における D-OLT の導入(TR-477 第 4.1.2 項).....	32
5.3 仮想化サポート(TR-477 第 4.2 節).....	33
5.4 アーキテクチャ図(TR-477 第 4.2.2 項).....	34
5.5 インタフェースと定義(TR-477 第 4.2.3 項).....	35
5.6 pOLT 機能アーキテクチャ(TR-477 第 4.3 節).....	35
5.7 D-OLT 機能アーキテクチャ(TR-477 第 4.4 節).....	36
5.8 D-OLT と pOLT の間でのコールフロー(TR-477 第 4.5 節).....	36
5.9 pOLT の機能要件(TR-477 第 5.1 節).....	38
5.10 D-OLT 機能要件(TR-477 第 5.2 節).....	39
5.11 プロトコル仕様(TR-477 第 6 章).....	39
III. むすび.....	40

<参考>

1. 国際勧告等との関連

本技術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. 上記国際勧告等に対する追加項目等

なし

3. 改版の履歴

版数	発行日	改版内容
第1版	2026年1月15日	初版発行

4. 参照文献

本技術レポートの参照文献は、本文中に記載している。

5. 工業所有権

本技術レポートに関わる「工業所有権等の実施許諾に係る声明書」の提出状況は、TTC ホームページで閲覧可能である。

6. 標準作成部門

アクセス網専門委員会

I. 本報告書の目的

本技術レポートは、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、Broadband Forum(BBF)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、光アクセス業界では 10G 超サービスとして 25G-PON システムや 50G-PON システムが商用化されたりしている。また、運用管理システムでは BBF での Cloud CO プロジェクトで検討されたアクセスシステムの抽象化、仮想化を取り込んだアクセスコントローラの導入も進んできている。そこではアクセスコントローラのソフトウェアアーキテクチャや API が標準化され、さらに使われるアクセスシステムの YANG モデルも標準化されている。仮想化された OLT の機能アーキテクチャや、ONU を管理制御するプロトコルである OMCI も仮想化され、標準化されてきた。

こういった標準化技術や標準インタフェースに対応することで OLT や ONU などの物理ノードのマルチベンダー化が容易になり、ベンダーごとの EMS(Element Management System)ではなく、単一アクセスコントローラが導入できるため、OSS との統合も低コスト・短期間でできるようになる。

また光アクセスシステムで使われるトラフィックのユースケースとして、AR/VR、AI/ML、デジタルツインなどが語られるようになってきた。これらは大容量通信を必要とするだけでなく、低遅延性も非常に重要である。AI/ML、デジタルツインは、アクセスシステムの運用技術としても検討されるようになった。抽象化、仮想化されたアクセスシステムを活用して、運用を自動化したり、自律運用させたりするためである。

そして OLT を単なるトラフィック集約装置としてだけでなく、CDN 機能を組み込むことで、サービスの低遅延化や上位ネットワークでのトラフィックの最適化し、サービスを低遅延化することでユーザへの QoE(Quality of Experience)を向上させるような OLT 機能の高度化も研究されている。

ITU-T や BBF では、光アクセスシステムに対して、高い経済効率で通信サービスを提供する共有型光アクセスシステムとしてだけでなく、こういった文脈の中での標準化や補足文書を使った研究活動が積極的に進められており、今回の技術調査の中でその一端を紹介したいと考えている。

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 Suppl. 79 での PON の遅延制御に関する補足文書
- II-2. BBF TR-436 と TR-486 でのアクセスシステムの自動化インテリジェント管理技術
- II-3. BBF TR-489 での eOMCI と vOMCI を使った ONU の認証と選択
- II-4. ITU-T G Suppl. 82(ex. G.sup.eOLT)での IT 機能を強化した OLT の検討
- II-5. BBF TR-477 での Cloud CO における OLT の機能分離に関する検討(D-OLT)

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 Suppl. 79 での PON の遅延制御に関する補足文書
- II-2. BBF TR-436 と TR-486 でのアクセスシステムの自動化インテリジェント管理技術
- II-3. BBF TR-489 での eOMCI と vOMCI を使った ONU の認証と選択
- II-4. ITU-T G Suppl. 82(ex. G.sup.eOLT)での IT 機能を強化した OLT の検討
- II-5. BBF TR-477 での Cloud CO における OLT の機能分離に関する検討(D-OLT)

1. 要約

この文書では、2023 年から 2025 年に ITU-T、Broadband Forum 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 システムでの遅延制御、自動運用管理、OMCI の仮想化、OLT の高度化や機能分離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

Latency, PON, TDM, DBA, AIM, Automation, SDN, NFV, Authentication, eOMCI, vOMCI, D-OLT, MEC, eOLT, CDN, DBA, pOLT

3. 参考文献

- [II-1-1] ITU-T G Suppl. 79, Latency control and deterministic capability over a PON system
- [II-1-2] IEEE 802.1 (n.d), Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group.
- [II-1-3] ITU-T G Suppl. 71, Optical line termination capabilities for supporting cooperative dynamic bandwidth assignment
- [II-1-4] ETSI GS F5G 003 V1.1.1, Fifth Generation Fixed Network (F5G); F5G Technology Landscape.
- [II-1-5] ETSI GR F5G 002 V1.1.1, Fifth Generation Fixed Network (F5G); F5G Use Cases Release #1.
- [II-1-6] Recommendation ITU-T G.9804.2 (2021), Higher speed passive optical networks – Common transmission convergence layer specification

- [II-2-1] Broadband Forum TR-436, Access & Home Network O&M Automation/Intelligence
- [II-2-2] Broadband Forum TR-486, Interfaces for AIM
- [II-2-3] Broadband Forum TR-411, Definition of interfaces between CloudCO Functional Modules

- [II-3-1] Broadband Forum TR-489, ONU Authentication and Selection of eOMCI or vOMCI
- [II-3-2] Broadband Forum TR-451, vOMCI Interface Specification

- [II-4-1] ITU-T G Suppl. 82, Enhanced optical line termination with information technology functions
- [II-4-2] ETSI GS MEC 001 V2.1.1 (2019), Multi-access edge computing (MEC); Terminology.
- [II-4-3] ETSI GS MEC 002 V3.1.1 (2023), Multi-access edge computing (MEC); Phase 2: Use cases and requirements.
- [II-4-4] ETSI GS MEC 003 V2.2.1 (2020), Multi-access edge computing (MEC); Framework and reference architecture.
- [II-4-5] Recommendation ITU-T F.743.10 (2019), Requirements for mobile edge computing-enabled content delivery networks.

- [II-4-6] Recommendation ITU-T H.644.4 (2021), Architecture for mobile/multiaccess edge computing enabled content delivery networks.
- [II-4-7] Broadband Forum New Project Initiation Form (NPIF) WT-491(2021-11), Metro compute networking (MCN): Phase II.

- [II-5-1] Broadband Forum TR-477, Cloud CO Enhancement - Access Node Functional Disaggregation
- [II-5-2] Broadband Forum TR-384, Cloud Central Office Reference Architectural Framework
- [II-5-3] Broadband Forum TR-411, Definition of interfaces between CloudCO Functional Modules
- [II-5-4] Broadband Forum TR-413, SDN Management and Control Interfaces for CloudCO Network Functions
- [II-5-5] Broadband Forum TR-402, Functional Model for PON Abstraction Interface
- [II-5-6] Broadband Forum TR-403, PON Abstraction Interface for Time-Critical Applications
- [II-5-7] Broadband Forum TR-370, Fixed Access Network Sharing - Architecture and Nodal Requirements
- [II-5-8] Broadband Forum TR-386, Fixed Access Network Sharing - Access Network Sharing Interfaces
- [II-5-9] Broadband Forum TR-101, Migration to Ethernet-Based Broadband Aggregation
- [II-5-10] Broadband Forum TR-156, Using GPON Access in the context of TR-101
- [II-5-11] Broadband Forum WT-474, Subscriber Session Steering
- [II-5-12] Recommendation ITU-T G.984.3 (2014), Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification
- [II-5-13] Recommendation ITU-T G.987.3 (2025), 10-Gigabit-capable passive optical networks (XGPON): Transmission convergence (TC) layer specification
- [II-5-14] Recommendation ITU-T G.988 (2022), ONU management and control interface (OMCI) specification
- [II-5-15] RFC 6241, Network Configuration Protocol (NETCONF)
- [II-5-16] Broadband Forum TR-435, NETCONF Requirements for Access Nodes and Broadband Access Abstraction
- [II-5-17] RFC 7950, The YANG 1.1 Data Modeling Language
- [II-5-18] gRPC, <https://grpc.io/>
- [II-5-19] GPB, <https://developers.google.com/protocolbuffers/docs/proto3>
- [II-5-20] Broadband Forum TR-436, Access & Home Network O&M Automation/Intelligence
- [II-5-21] Broadband Forum WT-413i2, SDN Management and Control Interfaces for CloudCO Network Functions
- [II-5-22] RFC 7540, Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2)
- [II-5-23] Broadband Forum TR-489, ONU Authentication and Selection of eOMCI or vOMCI

4. 用語

本技術レポートでは、下記の略号を用いる。

用語	解説
3GPP	Third Generation Partnership Project
5G	Fifth Generation
AI	Artificial Intelligence
AIM	Automated Intelligent Management
ANI	Application Network Interface
AP	Access Point
API	Application Programmable Interface

BAA	Broadband Access Abstraction
BBF	Broadband Forum
Bmap	Bandwidth Map
BW	Bandwidth
CCSA	China Communications Standards Association
CDN	Content Delivery Network
CF	Collection Function
CML	Customer Management Layer
CO	Central Office
CO DBA	Cooperative Dynamic Bandwidth Assignment
CP	Control Plane
CPRi	Control Protocol Redirect Interface
CT	Channel Termination
CTI	Common Transport Interface
CU	Central Unit
DAW	Dedicated Activation Wavelength
DBA	Dynamic(Dynamically) Bandwidth Assignment
DC	Data Centre
DE	Decision Entity
DEMUX	Demultiplexing
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DHCP RA	DHCP Relay Agent
D-OLT	Disaggregated Optical Line Termination
DU	Distributed Unit
E2E	End to End
eOLT	enhanced Optical Line Termination
eOMCI	embedded ONU Management and Control Interface
FAN	Fixed Access Network
FBA	Fixed Bandwidth Allocation
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security
FEC	Forward Error Correction
FIE	Fixed Access Network(FAN) Intelligent Engine
FIP	Fiber In-Premises
FMC	Fixed-Mobile Convergence
FPGA	Field Programmable Gate Array
FTTB	Fibre to the Building
FWD	Forwarding
GEM	GPON Encapsulation Method
GPB	Google Protocol Buffers (Protobufs)

GPU	Graphics Processing Unit
gRPC	google Remote Procedure Call
GW	Gateway
HQ	High-quality
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IPFIX	Internet Protocol Flow Information Export
IT	Information Technology
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector
JSON	JavaScript Object Notation
L2	Layer 2
L3	Layer 3
LAN	Local Area Network
MEC	Multi-access Edge Computing
MF	Model Function
Mfc	Flow Control Interface
MGMD	Multicast Group Membership Discovery
Minf	Management Interface
ML	Machine Learning
MP	Management Plane
MUX	Multiplexing
NF	Network Function
NFV	Network Function Virtualization
NFVI	Network Function Virtualization Infrastructure
OAM	Operation, Administration & Maintenance
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Terminal
OMCI	ONU Management and Control Interface
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OPEX	Operating Expense
OT	Operational Technology
PLC	Programmable Logic Controller
PMD	Physical Medium Dependent
pOLT	physical Optical Line Termination
PON	Passive Optical Network
PP	Packet Processing
PPF	Pre-Processing Function
PPPoE	PPP over Ethernet
PPPoE IA	PPPoE Intermediate Agent

PRC	Primary Reference Clock
PRTC	Primary Reference Time Clock
PTP	Precision Time Protocol
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
R/S	Receive/Send
RG	Residential Gateway
RPC	Remote Procedure Call
RU	Radio Unit
S/R	Send/Receive
SCi	State Control Interface
SDN	Software Defined Network
SDN M&C	SDN Management and Control
SLA	Service-Level Agreement
SNI	Service Node Interface
SNMP	Simple Network Management Protocol
SR	Status Reporting
SyncE	Synchronous Ethernet
TC	Transmission Convergence
T-CONT	Transmission Container
T-GM	Telecom Grandmaster
TM	Traffic Monitoring, Traffic Management
TML	Transmission Medium Layer
TR	Technical Report
TSN	Time Sensitive Network
TSTV	Time Shifted TV
U/S	Upstream
UE	User Equipment
UNI	User Network Interface
UP	User Plane
UPF	User Plane Function
vAC	virtual Access Controller
vBMap	Virtual Bandwidth Map
vDBA	Virtual DBA
vFW	virtual Firewall
VLAN	Virtual LAN
VNF	Virtual Network Function
VoD	Video on Demand
vOMCI	virtualized ONU Management and Control Interface

VR	Virtual Reality
WAN	Wide Area Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity
XML	Extensible Markup Language
YAML	YAML Ain't Markup Language
YANG	Yet Another Next Generation

II-1. ITU-T G Suppl. 79 でのPONの遅延制御に関する補足文書

1.1 はじめに

ITU-T G Suppl. 79 [II-1-1]は、passive optical network(PON)システムにおいて通信遅延を低減し、決定論的な(予測可能で保証された)通信特性を実現するための技術的指針をまとめたもので、2023年12月に補足文書として承認された。本補足文書策定の背景として、PONの適用領域が従来のブロードバンド提供から産業用途や5G通信収容へ拡大し、遅延・ジッタに厳しい要求が生じている点が挙げられている。

ITU-T G Suppl. 79では、製造業向けPONやtime sensitive network(TSN)ネットワーク[II-1-2]におけるPONシステムなど低遅延・高信頼が求められるユースケースを示し、それらの要件を整理するとともに、PON側で遅延制御・決定論的動作を達成するための技術(動的帯域割当制御の工夫、フレーム設計の改善等)を検討し、将来的な拡張の可能性についても議論している。適用範囲としてはoptical line terminal(OLT)～optical network unit(ONU)間のPON区間に焦点を当て、OLTやONU内部の伝送媒体層transmission medium layer(TML)で調整可能な遅延要因に絞って分析しており、それ以外の上位ネットワークや端末側の遅延要因は対象外となっている。本技術レポートでは、全7章で構成されるITU-T G Suppl. 79の内、第5章 導入、第6章 ユースケースと要求条件、第7章 遅延制御と決定論的改善のメカニズムに関して、各章の概要を紹介する。

1.2 ITU-T G Suppl. 79 第5章 導入の内容

ITU-T G Suppl. 79の第5章では、PONを介した端末間通信の機能モデルが提示されている。図1-1は、PONアクセス網を介して離れた機器間でトラフィックを送受する際の参照モデルである。遅延に関与する部分として、端末側ONUおよび局側OLT内部の伝送媒体層TML(physical medium dependent(PMD)およびtransmission convergence(TC)レイヤ)を示している。また、2つのONUに接続された端末同士の通信において、図1-2aでは異なるOLT間で通信する場合、図1-2bでは同一OLT内で完結する場合が示され、両ケースでの通信経路の違いが確認できる。これらの図から、通信経路におけるPON区間(OLT/ONUのTML機能+optical distribution network(ODN))と、その他のネットワーク区間との関係が視覚的に示されている。

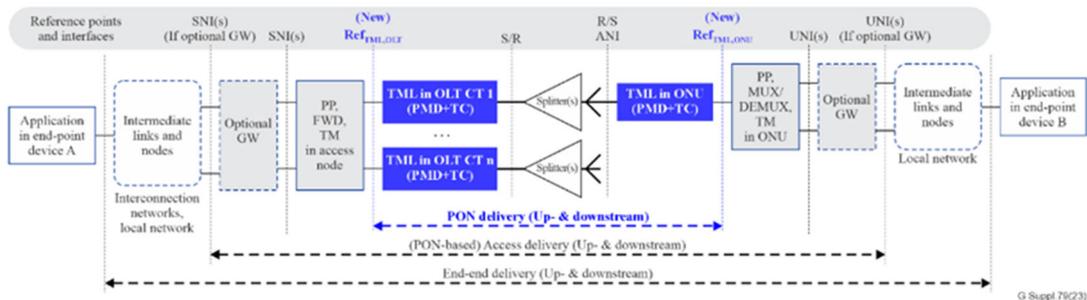


図 1-1 PON 接続デバイスとリモートデバイス間の参照機能モデル [II-1-1]

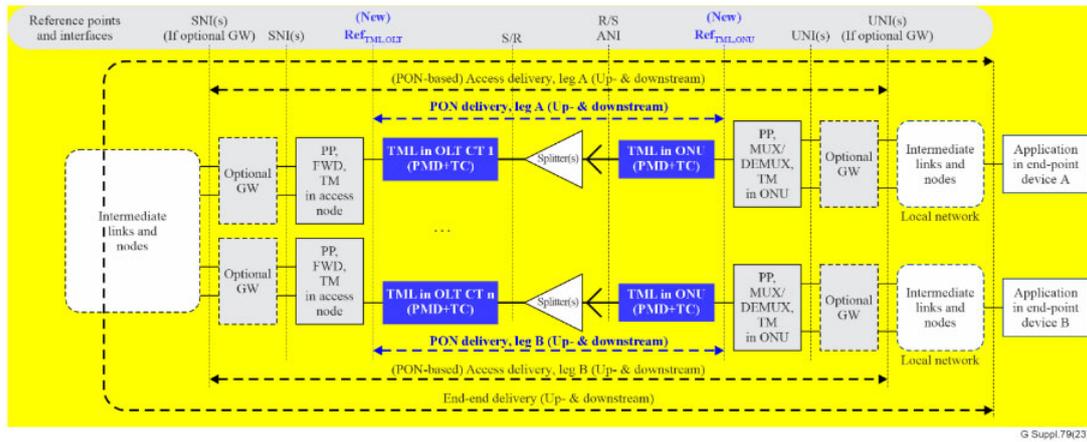


図 1-2a SNI を通じて相互接続される 2 つの PON 接続デバイス間の参照機能モデル [II-1-1]

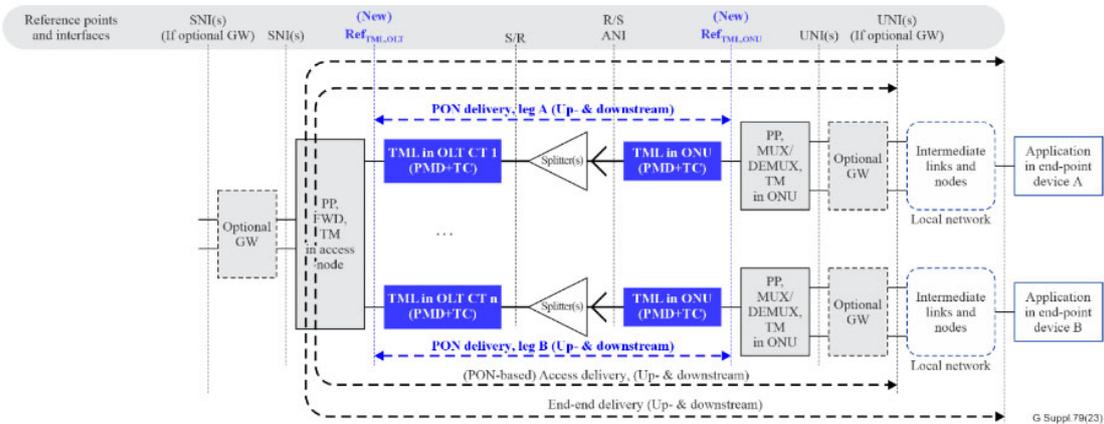


図 1-2b アクセスノード内で相互接続される PON 接続デバイス間の参照機能モデル [II-1-1]

1.3 ITU-T G Suppl. 79 第 6 章 ユースケースと要求条件の内容

ITU-T G Suppl. 79 の第 6 章では、PON システムに対して特に低遅延かつ通信遅延の予測可能性(決定性)が求められるユースケースとして、製造業における産業ネットワークと TSN 技術と連携する通信ネットワークを挙げ、それぞれで必要とされる要件を紹介している。これらは近年の通信インフラの応用分野で特に PON に新たな役割が期待されている領域であり、従来のベストエフォート型 PON では考慮されていなかった厳格な遅延・ジッタ要件が発生する。

1.3.1 製造業向け PON

工場内ネットワークに PON を適用して多数の機械・制御装置を光ファイバで接続し、リアルタイム制御信号の超低遅延伝送とクラウド連携による大容量データ通信を両立するシナリオが示されている。図 1-3 に典型的な製造業向け PON 構成が示されており、programmable logic controller(PLC)や高精細カメラ等の機器が ONU に接続され、PON 経由で OLT に集約されることで、工場内の機器間通信(東西方向)とクラウドとの通信(南北方向)が統合されている。同期および非同期のトラフィックの場合は遅延・ジッタ 500 μ s 未満 [II-1-4]、ネットワーク制御トラフィックの場合は 10ms~1s 程度 [II-1-5]といったようにアプリケーション毎に許容遅延が大きく異なる。これらを単一の PON 基盤上で共存させるため、PON システムには高優先度トラフィックの識別・優先転送、適切なスケジューリングによる帯域制御、および必要に応じた同期制御などを組み合わせ、サービス品質を差別化することが要求される。

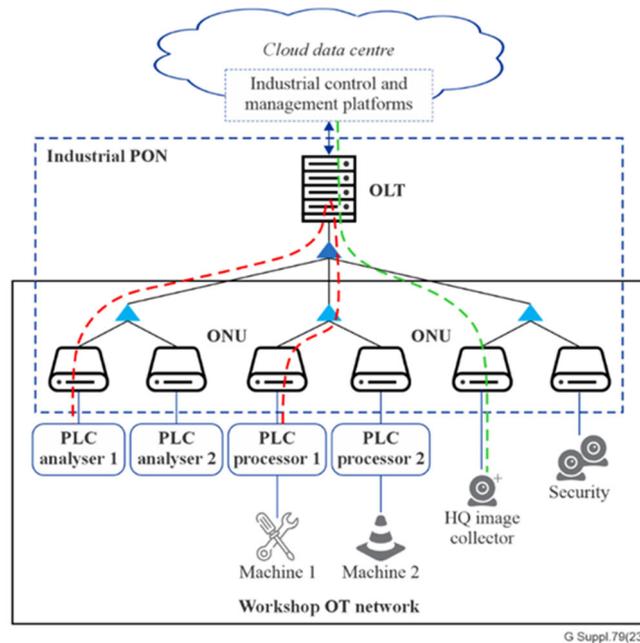


図 1-3 典型的な製造業向け PON システム [II-1-1]

1.3.2 TSN と連携する PON

TSN は IEEE 802.1 規格群により定義されるタイムセンシティブな通信を実現するためのイーサネット拡張技術で、スケジューリングやフロー制御、時刻同期によってネットワークの決定論的動作を可能にするものである。PON は通常イーサネットの収容網として利用されるが、本ユースケースでは PON 自体が TSN ネットワークの一部として機能することが想定される。図 1-4 は、PON が TSN スイッチ群の一部となって複数 ONU 間のローカルなタイムセンシティブ通信(東西方向)および ONU 経由で接続された端末～上位サーバ間の通信(南北方向)を収容しつつ、一般トラフィックも転送可能な構成である。この場合、TSN 側から各フローの周期・許容遅延等の情報を OLT に提供し、それに基づいて PON の dynamic bandwidth assignment(DBA)をフロー単位で決定論的に制御することが提案されている。具体的には、TSN の時刻同期 (precision time protocol(PTP)や synchronous ethernet(SyncE))により OLT と ONU を含むネットワーク全体で共通の時間基準を持ち、各 ONU のタイムセンシティブフローに適したタイミングで送信枠を割り当てることで、従来と比較して遅延ばらつきを抑えた転送を実現する。

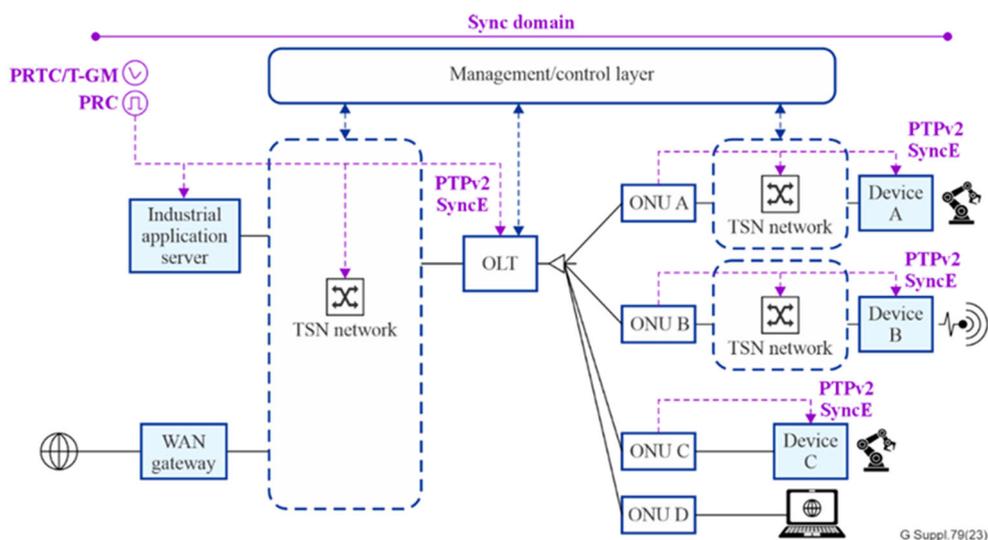


図 1-4 TSN ネットワークにおける PON システム [II-1-1]

1.4 ITU-T G Suppl. 79 第 7 章 遅延制御と決定論的改善のメカニズム

ITU-T G Suppl. 79 の第 7 章では、PON 区間で遅延を左右する要因を分析し、遅延を低減し決定論的動作を高めるための具体的な手法を紹介している。前述の通り、本補足文書の分析対象は OLT～ONU 間の PON 区間に限定されるため、OLT/ONU 装置内の伝送処理および PON 固有の制御動作に着目して議論を進めている。

1.4.1 PON 区間における遅延要因の分析

遅延要因としては、距離に比例する光ファイバ伝搬遅延、ONU/OLT 装置内部でのフレーム処理遅延、TDM-PON のスケジューリング制御に起因する遅延(上り送信割当の待ち時間等)に大別できる。下り方向では、OLT 側でのフレーム多重・forward error correction(FEC)符号化処理、光伝送路での伝搬、ONU 側での復号処理という一連の過程で遅延が生じるが、 μs オーダーの処理遅延であり、距離に起因する光路遅延と合わせても比較的安定した遅延となる。一方、上り方向では、ONU が OLT から受け取る帯域マップに従い送信バーストを生成する際の待ち時間が遅延に影響する。各 ONU は最長距離の ONU にタイミングを揃えて送信する必要があるため近距離 ONU ほど等時化による待機時間が発生し、さらに DBA の割当間隔によっては ONU 側にパケットがキューイングされることで追加の待ち行列遅延が発生する。また、上り方向では ONU の距離測定・同期調整(レンジング)時に送信休止期間(クワイエットウィンドウ)が入るため、その間のパケットが一時的に待たされジッタの要因ともなる。

1.4.2 遅延低減および決定論的動作のための主な技術

第 1.4.1 項の分析に基づき、以下のような遅延低減技術が紹介されている。

・協調 DBA(cooperative(CO)DBA)[II-1-3]の活用:

外部システム(例: TSN コントローラや 5G 基地局制御装置)からトラフィック発生タイミングの事前情報を OLT に提供し、それをもとに ONU ごとの送信枠をプロアクティブに割り当てる協調型の DBA 手法である。これにより、従来型 DBA のようにキューが溜まってから割当を調整するのではなく、最初から必要な帯域を確保できるため、遅延のばらつきを大幅に抑制できる。図 1-5 では、従来型 DBA(status reporting(SR)/ traffic monitoring(TM)方式)、固定帯域割当、協調 DBA の 3 方式について遅延特性やリソース効率の比較が示されている。固定帯域は、遅延は安定するが未使用帯域が生じやすく、従来 DBA は、平均遅延は低いもののジッタが大きいのにに対し、協調 DBA は高い利用効率を保ちつつジッタを抑制できることがメリットとして示唆されている。

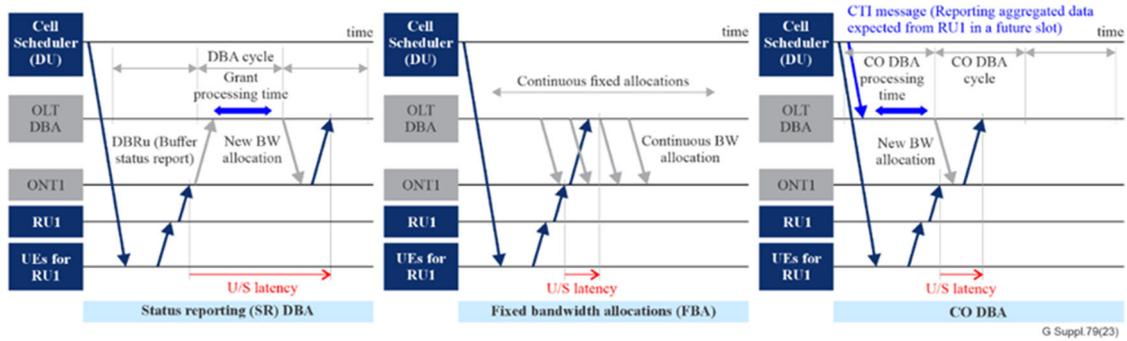


図 1-5 SR/TM DBA、固定帯域割当、CO DBA の比較 [II-1-1]

・フレーム周期の短縮・サブフレーム化:

図 1-6 に示される様に、従来 PON は 125 μ s 周期で帯域割当を行うため最悪 125 μ s 近い送信待ちが生じ得るが、フレームをさらに細分割して 1 フレーム内に複数回の送信機会を設けることで待ち時間を大幅短縮できる。一例として 4 台の ONU を用いた実験では、フレームを 2 分割した場合で最大遅延約 64 μ s、4 分割した場合には約 39 μ s まで短縮でき、ジッタもそれに依りて低減する結果が得られている。但し、過度な細分割はオーバーヘッド増大やスループット低下を招くため、現実的な範囲でのバランス設計が必要である。

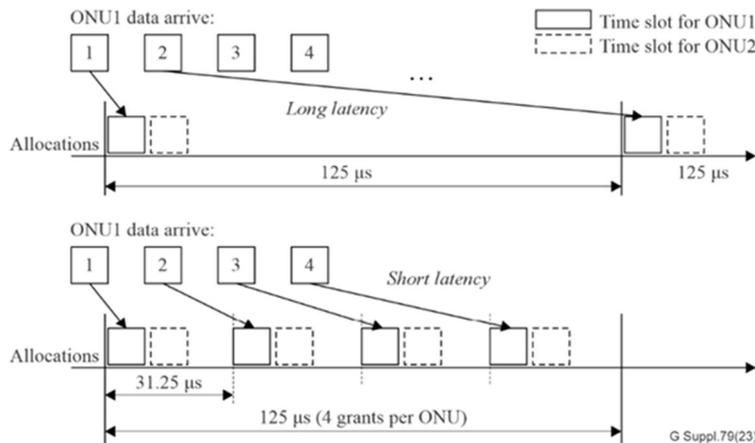


図 1-6 一般的なバースト割り当てとフレームベースの高密度バースト割り当てメカニズム [II-1-1]

・優先度制御と帯域プロファイルの最適化:

OLT/ONU 内部の待ち行列遅延を最小化するために、高優先度トラフィックを極力キューに滞留させない設定が重要である。具体的には、下り方向では遅延敏感なフローに対してキューイングをバイパスまたは最小限にするスケジューリングを行い、上り方向では上述の協調 DBA 等により常にタイミング通りに送信することで ONU 側のバッファ滞留を防ぐ。PON 標準としては各トラフィック種別を収容する transmission container(T-CONT)に適切な優先度と帯域保証量を割り当てるのが基本的な対策となる。FEC 処理の遅延は存在するが、これは符号間遅延として一定でありジッタ要因にはならないため、全 ONU で一律に適用しておけば決定性を損なうものではない。

・レンジング動作の影響低減:

前述のレンジングに伴うクワイエットウィンドウを可能な限り短縮・削減する技術も重要である。50G-PON 規格には dedicated activation wavelength(DAW)[II-1-6]と呼ばれる手法が盛り込まれており、必要に応じてレンジング用のクワイエットウィンドウを短縮することで上り通信の中断時間を減らすことができる。他にも、レンジング頻度を下げたり実施タイミングを制御したりすることで、通常通信への影響を緩和できる。4 台の ONU を用いた実験結果においても、クワイエットウィンドウを短くするほど遅延への影響が小さい

ことが示されている。

・高精度時刻同期の導入:

IEEE 1588 PTP や SyncE 等によるネットワーク全体での時刻同期は、協調 DBA をはじめ PON 内の各種制御を時間軸で調和させる基盤となる。OLT が受け取った同期信号を ONU に配信することで、ONU 間や ONU-OLT 間でフレームの送受信タイミングを揃えることができる。これにより、全 ONU の上り送信スケジュールを同時刻基準で制御でき、遅延ばらつきを更に抑制できる。また、各パケットにタイムスタンプを付与して遅延測定・フィードバックするような高度な制御も将来的には考えられる。本補足文書では具体的プロトコルには踏み込んでいないが、時刻同期は決定論的ネットワークの前提条件であると強調されている。

II-2. BBF TR-436 と TR-486 でのアクセスシステムの自動化インテリジェント管理技術

Broadband Forum(BBF)は、ブロードバンドサービスの普及促進、システム管理・制御プロトコル仕様および相互接続仕様策定を推進するグローバルな業界団体であり、近年は、SDN(Software Defined Network)/NFV(Network Function Virtualization)などの仮想化・部品化技術を導入したアクセスシステムやそれらを管理制御するための各種仕様策定に注力している。その中で、アクセスシステムの管理制御を自動化する AIM(Automated Intelligent Management : 自動化インテリジェント管理技術)の仕様化(TR 化)が、2023 年に完了した。

BBF における AIM は、TR-436 “Access & Home Network O&M Automation/Intelligence” [II-2-1]および TR-486 “Interfaces for AIM” [II-2-2]の 2 文書により仕様化されている。TR-436 は AIM を実現するアーキテクチャ要件を、TR-486 はアーキテクチャを構成する機能ブロック間のインタフェース要件を仕様化した文書である。本技術をホーム・アクセスネットワークの管理制御に適用することにより、例えば通信障害時の原因特定から復旧対処まで従来オペレータが実施していた工程の全自動化や、異なる無線 LAN 間の与干渉を削減することによる通信品質の最適化の全自動化が期待できる。さらに、本技術が標準仕様となることで、全自動化の機能全体を効率良く実現し、世の中に広く利用されることが期待される。

以下に、TR-436 および TR-486 の概要を示す。

2.1 TR-436(AIM アーキテクチャ)

図 2-1 に、AIM の参照アーキテクチャを示す。AIM では、管理制御対象のノードの状態・情報を収集し、その変化に基づきあらかじめ決められたポリシーに従って適した設定を分析し、管理制御対象を自動制御する。AIM を実現するための主要構成機能は以下のとおりである。

- ① 収集・分析部(AIM DE : AIM Decision Entity) : 状態・情報の収集およびポリシーに基づく分析を行う
- ② E2E AIM オーケストレータ(E2E AIMO : End-to-End AIM Orchestrator)、ドメイン AIM オーケストレータ(Domain AIMO : Domain AIM Orchestrator) : オペレータにより指定される分析用ポリシーを収集・分析部に設定する

収集・分析部による分析結果(新たな設定)は SDN コントローラを介して管理制御対象に投入される。管理制御対象から情報収集してから制御を行うまでの一連の処理を、AIM ではパイプラインと呼び、E2E AIM オーケストレータとドメイン AIM オーケストレータが、パイプラインを作成・管理する役割を担う。なお、「ドメイン」は 1 つの AIM パイプラインが管理制御する対象範囲を示すが、AIM アーキテクチャを広範に適用できるように、仕様文書においては抽象的に定義している。一例としてアクセスネットワークやエッジネットワーク、トランスポートネットワークなどをそれぞれドメインと定義することが可能であるが、これに限定されない。また、ドメイン内の自動管理制御のみでなく、複数のドメインをまたいだ自動管理制御を実現するためのドメイン間連携方式(Domain Federation)についても規定されている。

次に、収集・分析部(AIM DE)の詳細について解説する。収集・分析部(AIM DE)は、収集機能(CF : Collection Function)、事前処理機能(PPF : Pre-Processing Function)、分析機能(MF : Model Function)と呼ばれる副機能の組合せにより構成される。収集機能(CF)は、管理制御対象から状態・情報の収集を行う機能である。事前処理機能(PPF)は、分析を実施する前にフィルタリングや統計処理といった収集データの一次処理を行う機能である。分析機能(MF)は、一次処理された収集データに対して分析を行う機能である。分析を行う方法としては、あらかじめ定められたロジック(モデル)に基づき判断するルールベースと、深層学習に代表されるような機械学習ベースとが挙げられる。事前処理機能(PPF)や分析機能(MF)の実施内容は実現したい自動管理制御に依存するものであるため、本仕様文書では具体的な規定は行わず、自由度の高い実装が可能となっている。図 2-2 に、収集・分析部(AIM DE)の実装例を示す。同図に示すように、各副機能は柔軟に組み合わせる

ことや、複数の収集・分析部(AIM DE)を連結することも可能であり、こちらも柔軟な実装が許容されています。なお、これら副機能は、図 2-2 に示される NFVI(Network Function Virtualization Infrastructure : 仮想化リソース)上に実装されることを前提としている。

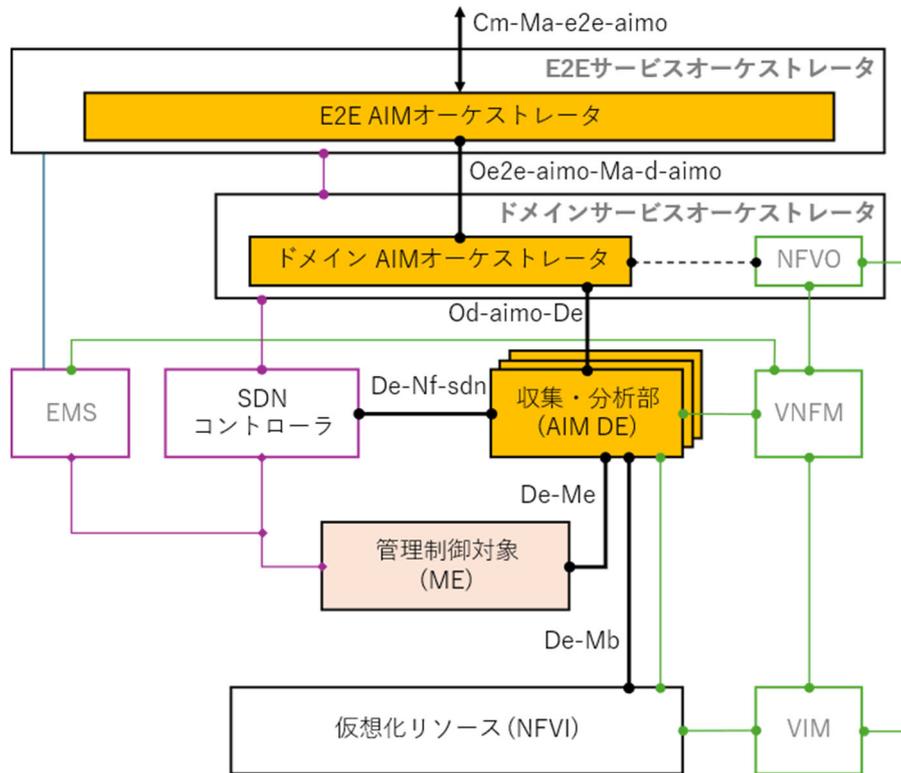


図 2-1 AIM の参照アーキテクチャ [II-2-1]

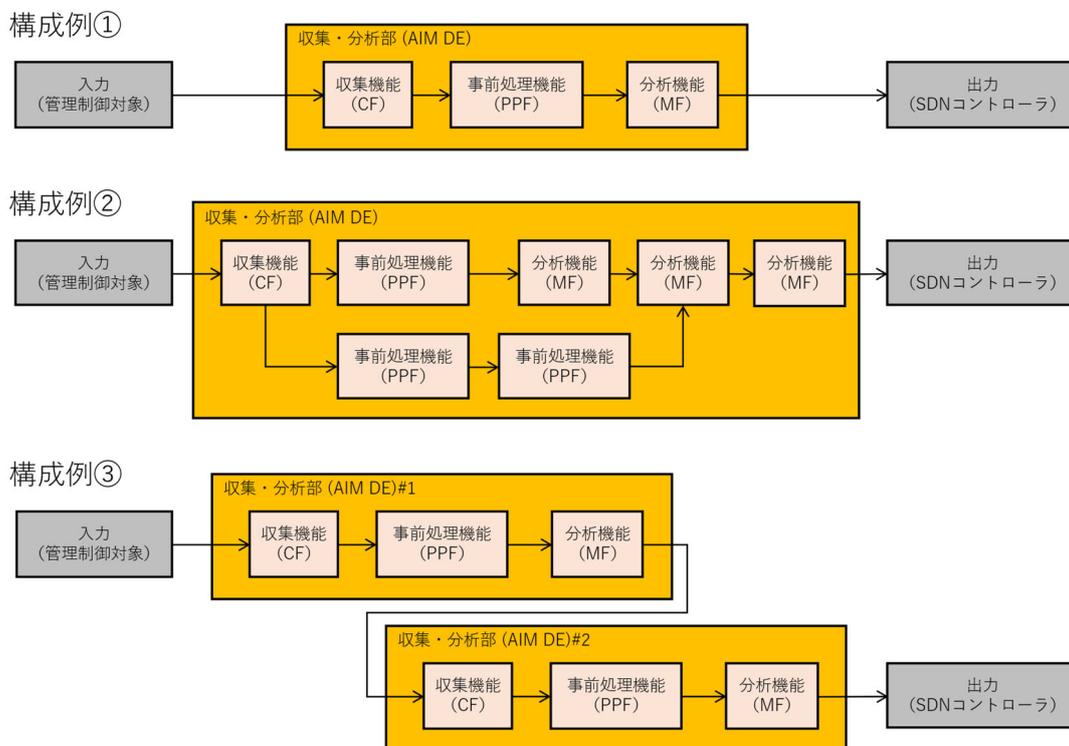


図 2-2 AIM における収集・分析部の構成例 [II-2-1]

2.2 TR-486(AIM アーキテクチャ)

表 2-1 に、TR-486 にて規定されている、AIM のインタフェースを示す。各インタフェースが用いられる区間は、図 2-1 を参照願う。AIM のインタフェースは、AIM パイプラインを生成・管理・監視するための管理用インタフェースと、AIM パイプラインの一部として用いられるパイプライン用インタフェースに大別される。

以下のインタフェースは、管理用インタフェースに該当する。

- Cm-Ma-e2e-aimo
- Oe2e-aimo-Ma-d-aimo
- Od-aimo-De

一方で、以下のインタフェースは、パイプライン用インタフェースに該当する。

- De-Nf-sdn
- De-Me
- De-Mb

表 2-1 に記載されたとおり、管理制御用インタフェースはプログラマブル API として一般的になっている REST(RESTful API)やそれを基にした RESTCONF がプロトコルとして採用されている。一方で、パイプライン用インタフェースは NETCONF や、効率的な装置間通信を実現するために作成された gRPC(google Remote Procedure Call)がプロトコルとして採用されている。TR-486 では、特に AIM パイプラインを構築する主要インタフェースである De-Mb について、プロトコルやデータモデリング言語の仕様化はなされたが、その上でやり取りをする具体的な YANG データモデルまでは仕様化に至っておらず、今後の改版での仕様化が期待される。

表 2-1 AIM で仕様化されたインタフェース

インタフェース名	説明	主要な要件
Cm-Ma-e2e-aimo	Customer Management Layer (CML) に開示するインタフェース。CML に対して、AIM のリソース情報や AIM にて実施可能な情報の提供と、要求受付を行う	<ul style="list-style-type: none"> • HTTP または REST プロトコル • YAML/JSON 形式 • インテント型通信 • TF Forum にて規定される API を踏襲
Oe2e-aimo-Ma-d-aimo	E2E AIM オーケストレータに対して AIM パイプラインの生成や管理・監視の要求を可能にするためのインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> • HTTP または REST プロトコル • YAML/JSON または XML 形式 • インテント型通信 • TM Forum にて規定される API を踏襲
Od-aimo-De	ドメイン AIM オーケストレータが AIM の構成機能やパイプラインの生成や管理・監視を行うためのインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> • RESTCONF プロトコル • XML または JSON 形式の YANG モデル
De-Nf-sdn	収集・分析部の分析結果を SDN コントローラに通知するためのインタフェース。また、収集・分析部が SDN コントローラを介して管理制御対象の状態・情報を収集するためにも使用可能	<ul style="list-style-type: none"> • TR-411 にて規定される Occo-Nf-sdn インタフェースを踏襲
De-Me	管理制御対象から状態・情報を収集するためのインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> • 収集方式として Push 型, Pull 型, Streaming 型, Bulk 型を規定 • NETCONF, gRPC, Message Bus 等
De-Mb	収集・分析部を構成する副機能部間の通信に用いられるインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> • Message Broker または Client/Server 型通信 • JSON または XML 形式

II-3. BBF TR-489 での eOMCI と vOMCI を使った ONU の認証と選択

3.1 TR-489 について(TR-489 Executive Summary)

現代のネットワークでは、特に ONU の認証と管理において、クラウドと仮想化への依存度が高まっている。そのため、管理システムと OLT が、ONU の認証と管理をどちらが単独で担当するかを合意するプロセスを規定することが重要になる。

TR-489[II-3-1]では、様々な導入シナリオにおける管理プレーン(Management Plane)と OLT の機能的な責任分担を規定する。また、TR-489 は、OLT に組み込まれ、管理システムによって、または分散型 OLT(D-OLT)ソフトウェアコンポーネントによって実行される、ONU の認証と ONU 管理を扱うすべてのアプリケーションのリファレンスとなることを目的とする。

3.2 TR-489 の適用範囲 (TR-489 第 1.2 節)

TR-489 では、OLT と管理プレーンが、ONU がネットワークに接続された際に認証を行い、組み込み OMCI(eOMCI)機能を使用する OLT で管理するか、仮想化 OMCI(vOMCI)機能を使用する管理システムで管理するかを決定するために遵守すべき機能アーキテクチャ、シナリオ、インタフェース、及び要件について包括的な定義を提供する。

なお、デバイスの管理には BBF YANG モデルを使用することを前提とする。

3.3 ONU を認証、管理するためのシナリオ (TR-489 第 5 章)

TR-489 では、以下に示す 4 つのシナリオを取り上げる。

3.3.1 シナリオ 1: 管理プレーンが ONU を認証し、vOMCI 経由で管理

管理プレーンが ONU の認証と管理の直接的な権限を保持する。ONU 認証は、管理プレーンの ONU デバイスアグリゲーション機能に依存することになる。管理プレーンは、TR-451 [II-3-2] に従って ONU 管理責任を実現し、YANG/OMCI 変換は vOMCI 仮想エンティティ内で実行される。

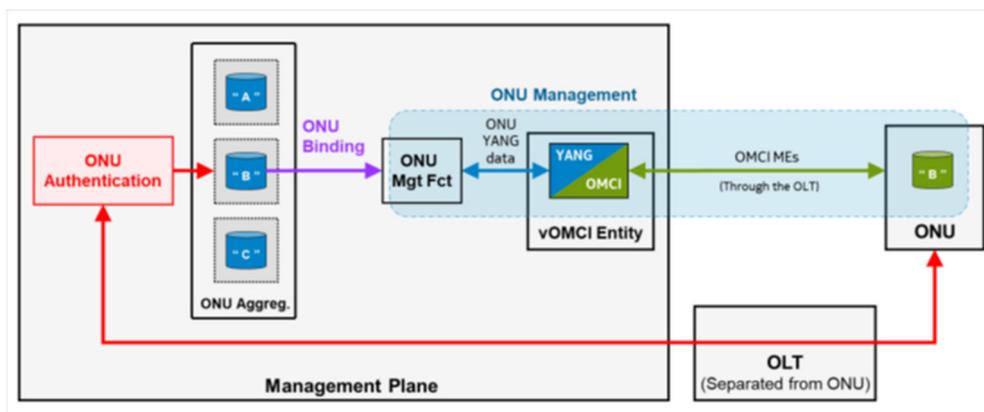


図 3-1 シナリオ 1 のネットワークエンティティのマッピング機能 [II-3-1]

3.3.2 シナリオ 2: OLT が ONU を認証し、管理プレーンが vOMCI 経由で管理

管理プレーンは ONU 管理の直接的な権限を保持するが、ONU 認証権限は OLT に委譲する。シナリオ 1 と同様に、管理プレーンは TR-451 [II-3-2]に従って ONU 管理責任を実現し、YANG/OMCI 変換は vOMCI 仮想化エンティティ内で実行される。

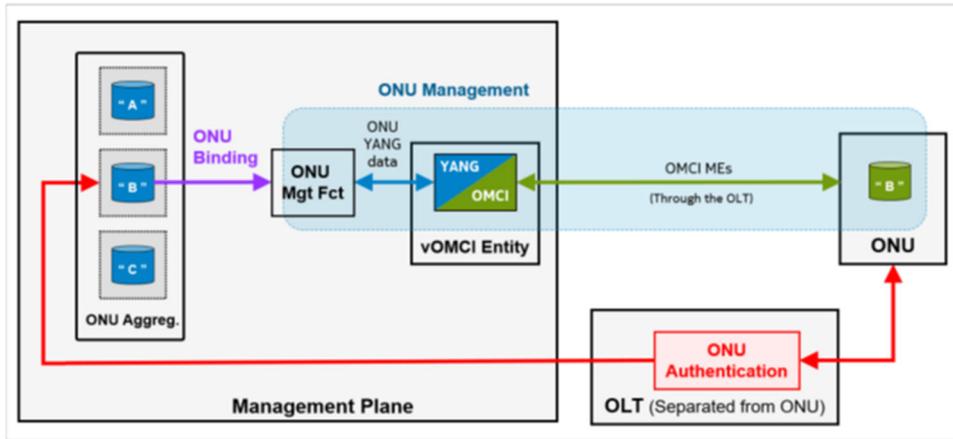


図 3-2 シナリオ 2 のネットワークエンティティのマッピング機能 [II-3-1]

3.3.3 シナリオ 3: 管理プレーンが ONU を認証し、OLT が eOMCI 経由で管理

管理プレーンは ONU の認証権限を保持するが、ONU の管理権限は OLT に委譲する。このシナリオでは、管理プレーンは認証対象の ONU のリストを保持する。

また、OLT デバイスには、自身の YANG 設定に組み込まれた、ONU デバイスのリストを持つローカル ONU アグリゲーション機能が含まれる。OLT は ONU を管理するために eOMCI 機能を使用する。

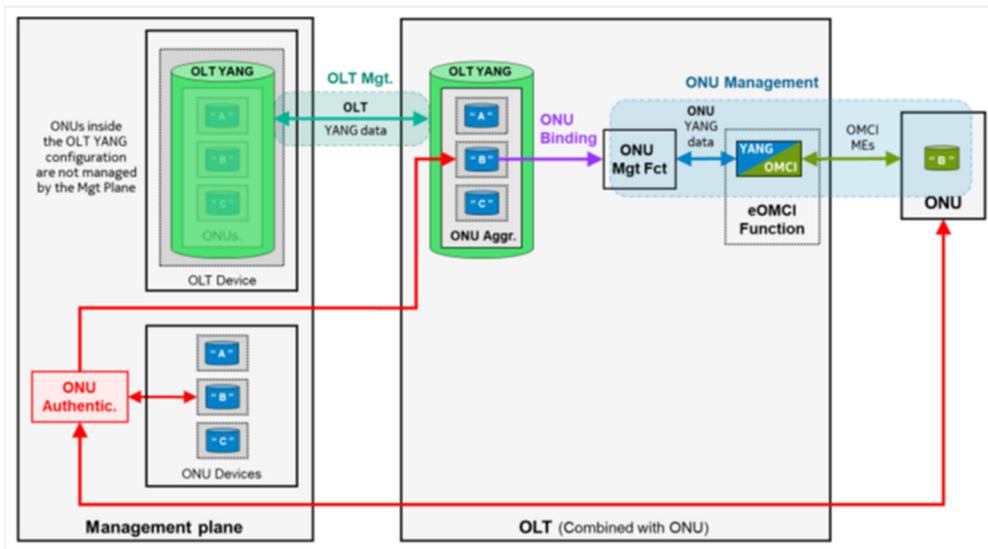


図 3-3 シナリオ 3 のネットワークエンティティのマッピング機能 [II-3-1]

3.3.4 シナリオ 4: OLT が ONU を認証し、eOMCI 経由で管理

管理プレーンが ONU の認証と管理の両方の権限を OLT に委譲する。OLT デバイスには、自身の YANG 設定に組み込まれた、ONU デバイスのリストを持つローカル ONU アグリゲーション機能が含まれる。OLT は ONU を管理するために eOMCI 機能を使用する。

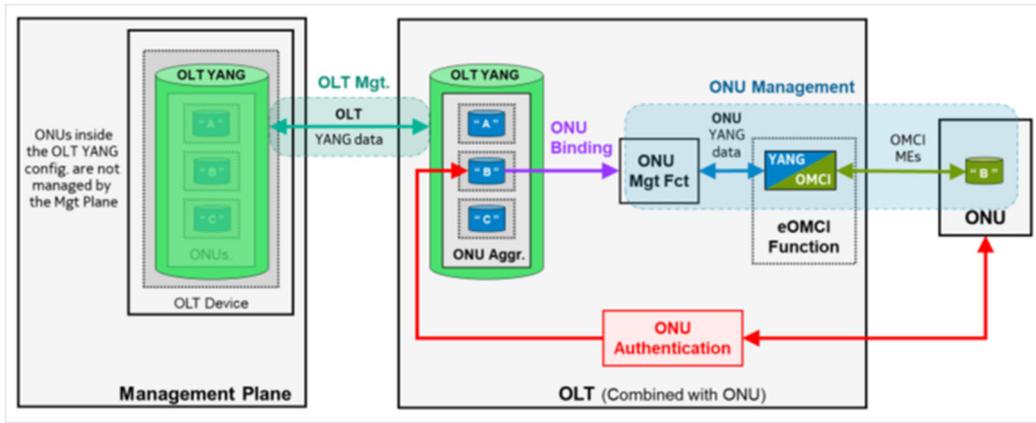


図 3-4 シナリオ 4 のネットワークエンティティのマッピング機能 [II-3-1]

3.3.5 シナリオのまとめ

4 つのシナリオは、以下の図 3-5 の通りにまとめることができる。これは、ONU 認証と ONU 管理が、管理プレーンまたは OLT にマッピングする際に直交する機能であることを示している。

	Management Plane Manages ONU (vOMCI)	OLT Manages ONU (eOMCI)
Management Plane Authenticates ONU	Scenario 1	Scenario 3
OLT Authenticates ONU	Scenario 2	Scenario 4

図 3-5 ONU 認証と管理の 4 つのシナリオ [II-3-1]

3.4 どのシナリオを適用するか の決定について (TR-489 第 6 章)

ONU がネットワークに接続されると、OLT とデバイス管理プレーンは、それぞれの側で、どのシナリオでこの ONU を処理するかを一貫して決定する必要がある。一般的な原則は以下の通りである。

- OLT が ONU を認証できると想定され、かつ認証できる場合、OLT は ONU を認証する。次に、OLT は eOMCI を使用して ONU を自身で管理できるかどうかを判断する。そうでない場合、OLT は管理プレーンを利用して ONU に vOMCI を適用する。
- OLT が ONU を自身で認証できないと想定され、かつ認証できない場合、OLT はデバイス管理プレーンの ONU アグリゲーション機能を利用して未知の ONU を認証する。その後、OLT は(うまくいけば)識別された ONU が正当なものであり、認証すべきかどうかの確認を受け取る。
- OLT とデバイス管理プレーンの ONU アグリゲーション機能の両方が ONU を認証できず、したがって管理できない場合、ONU はサービスを開始できない。その段階で、イベントは管理プレーンの上位にエスカレーションされる必要がある。

OLT は各 ONU に対してこの決定プロセスを実行し、4 つのシナリオのどれが ONU に適用されるかを判断する。これは次の図 3-6 で示される。

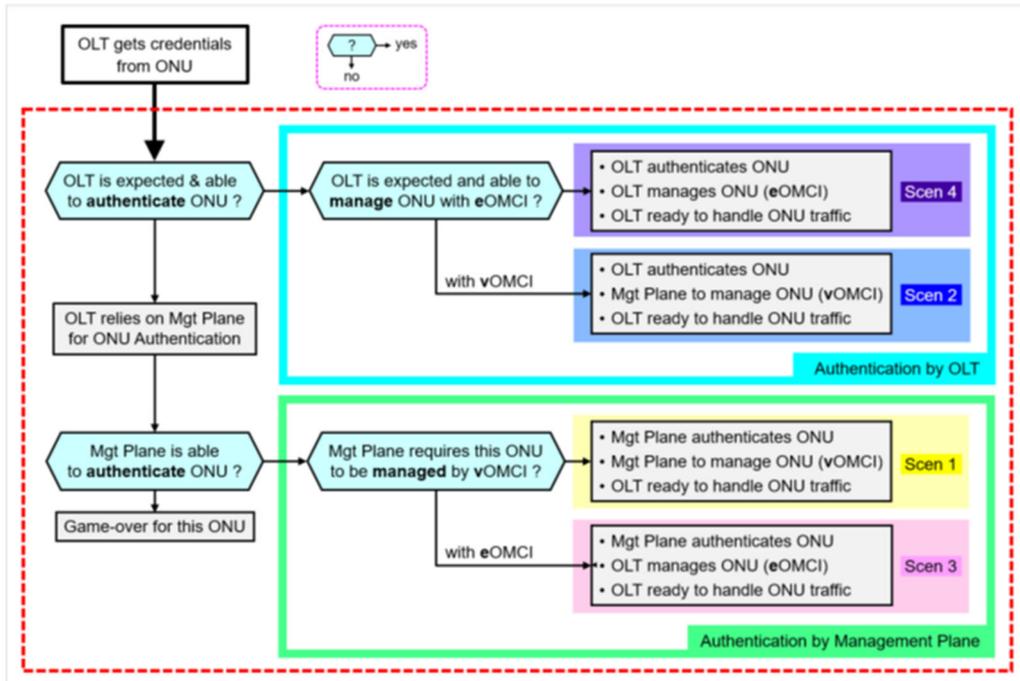


図 3-6 OLT がどのシナリオを ONU に適用するか原則 [II-3-1]

3.5 D-OLT が OLT に代わり ONU 認証を実行する場合(TR-489 第 7 章)

OLT 分散化の一般的な目標は、物理 OLT (pOLT) から離れた分散型 OLT (D-OLT) ソフトウェアコンポーネントによって、OLT の一部の機能を実現することである。ONU 認証に関しては、リモート D-OLT コンポーネントが pOLT に代わって ONU 認証を実行し、pOLT のリモートコプロセッサ(remote co-processor)のような役割を果たす。これは下図 3-7 に示される。

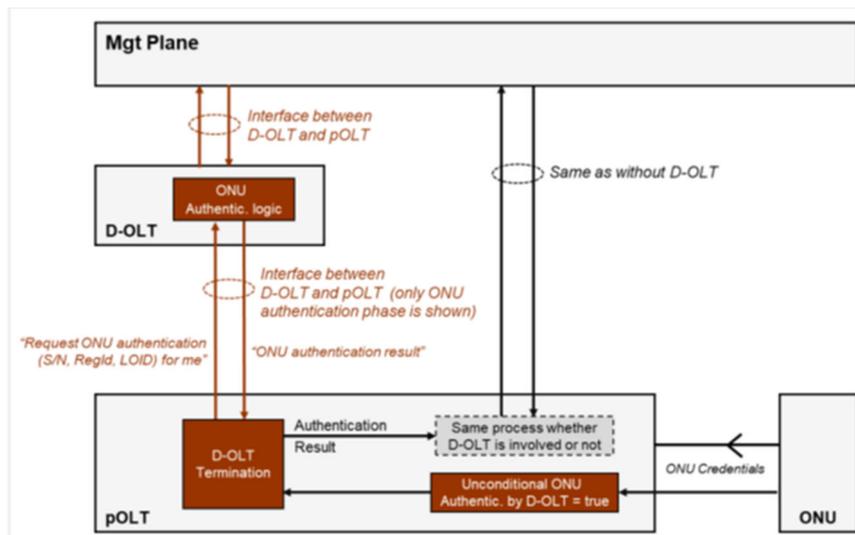


図 3-7 D-OLT ソフトウェアコンポーネントにより実現される ONU 認証 [II-3-1]

pOLT で D-OLT ONU 認証機能が有効の場合、pOLT は接続された各 ONU に対して D-OLT に認証を依頼する。D-OLT が ONU 認証結果(成功または失敗)を報告すると、pOLT は自身が ONU 認証機能を実行したかのように処理を進める。

シナリオ 2 および 4 における D-OLT ONU 認証の一般的な使用法として。ONU 認証は、pOLT 自体ではなく D-OLT によって実行される。

II-4. ITU-T G Suppl. 82 (ex. G.sup.eOLT)での IT 機能を強化した OLT の検討

4.1 OLTに関連した IT 機能の導入(G Suppl. 82 第6章)

OLT は数多く展開されることから、OLT 全体の装置コストを下げるために、加入者のトラフィックをシンプルに L2 で集約する装置として位置付ける通信事業者もいれば、加入者に最も近い通信装置として、キャッシュ機能を使ってコンテンツへのアクセスを最適化したり、セキュリティ機能を提供したり、柔軟な QoS 機能を実施するなどして、加入者に高付加価値なサービスを提供するためのゲートウェイとして位置付ける事業者もいる。

G Suppl. 82 [II-4-1]では、enhanced OLT、つまり拡張型 OLT として、今後さまざまな種類の大量のトラフィックが登場していく中で OLT が高度化することによって、ネットワークアーキテクチャとしてもユーザエクスペリエンスとしてもいろいろなメリットを期待できるとしている。

例えば、4K/8K、クラウド VR、クラウドゲーム、オンライン教育などの映像サービスの登場により、多くの加入者が視聴するコンテンツに対しては、エッジのストレージ機能、キャッシュ機能によってネットワーク負荷を下げるができる。このように、いかに洗練されたネットワーク運用を実現し、付加価値サービスの品質を保証するかが事業者の主要な関心事となっている。アクセスネットワーク NE は、負荷状態、システム正常性、接続およびパイプライン伝送品質、ならびに特定のサービスおよびアプリケーション経験の品質監視機能を提供する必要がある。

本補足文書では、アクセスネットワークの運用に貢献するような機能に焦点を当てている。これらの機能には、認識、計算、接続、記憶、制御メカニズムが含まれる。本補足文書は、コンテンツ配信ネットワーク (CDN) やエッジコンピューティングなどの IT 機能をサポートする OLT を実現するためのガイドラインとなる。

4.1.1 標準化や研究の開発状況(G Suppl. 82 第6.1節)

本補足文書では、ストレージやコンピューティングなどの拡張機能を OLT で持たせ、それらを最適に適応する方法の研究に重点を置いている。エッジストレージ機能に関しては、CDN ではすでに成熟した機能になっている。エッジコンピューティング機能はさまざまなユースケースがあり、MEC(Multi access Edge Computing) [II-4-2][II-4-3][II-4-4] の要素も含めて、さまざまな研究機関や標準化団体、つまり、ETSI、3GPP、OpenFog、中国の edge computing consortium (ECC)、China communications standards association(CCSA)などで研究されている。ITU-T でも、F.743.10[II-4-5]や H.644.4[II-4-6]などで検討されている。

4.1.2 UPF(User Plane Function)機能を備えた MEC サーバ(G Suppl. 82 第6.2節)

eOLT では、さまざまな UPF(User Plane Function)を提供できる。まず、MEC に実装される機能がある。これには、よりよい QoS の提供やキャッシュ機能による低遅延化、上位ネットワークを使わないことによるセキュリティリスクの低減、上位ネットワークや上位 DC の負荷の低減などがある[II-4-7]。また、キャンパスユースケースとして、vAC(virtual Access Controller) や vFW(virtual FireWall)などの VNF(Virtual Network Function)の機能を eOLT で提供することもできる。サービストラフィックのホップ数を増やさずにネットワーク仮想化機能を提供でき、ネットワーク展開のアーキテクチャとしても簡素化できる。

4.1.3 Fixed-mobile convergence (FMC) CDN ノード(G Suppl. 82 第6.3節)

eOLT では、接続された固定端末とモバイル端末の両方に対して CDN(Contents Delivery Network)の機能も提供できる。加入者が同じスポーツコンテンツや TSTV(Time Shift TV)、VoD(VoD)にアクセスすると、大量の反復トラフィックが生じてしまうが、CDN のキャッシュ機能により、加入者には低遅延でコンテンツを提供でき、上位ネットワークでのトラフィックを最適化できる。CDN をネットワークエッジに展開するケースが増えてきており、CDN ノードを OLT 室(アクセスオフィス)に持ってきたものをアクセス CDN と呼ぶ。

4.2 適応シナリオとユースケース(G Suppl. 82 第7章)

4.2.1 情報処理拡張 PON(G Suppl. 82 第7.1節)

情報処理拡張 PON には大きく 2 つの側面がある。一つは PON 管理のための情報処理で、もう一つは情報処理タスクのための PON である。

・PON 管理のための情報処理

PON につながる Wi-Fi 環境では、テレビ、タブレット、携帯電話などのさまざまな端末がつながり、Web ブラウジング、ライブビデオストリーミング、AR/VR などさまざまな帯域や遅延などの要求を持つアプリケーションが使われる。このようにユースケースが増えると、使用するスペクトルの競合や、端末のローミングなどの問題が起きてくる。こういった問題の解決法のひとつに、Wi-Fi スペクトルの管理がある。例えば、OLT は DBA を制御してエンドツーエンドの最適スケジューリングを実施できる。これにより、スペクトルの利用効率が上がり、干渉と遅延が削減できる。PON では、光パスや PON パラメータの予測と最適化、Wi-Fi 無線の管理と最適化、Wi-Fi MAC 再送信、QoS キューの最適化、そして、Wi-Fi と DBA の共同スケジューリング機能といった情報処理機能が必要である。

・情報処置タスクのための PON

拡張型 eOLT は加入者に最も近いネットワーク装置であるので、より優れた高精度映像配信サービスを提供できる。また、例えば大量のホームビデオをイベント認識処理にかけたいとき、プライバシーを考慮してインターネット上のサーバまでアップロードせず、eOLT で処理することが考えられる。さらに顔認証や行動認識、スマートキー、侵入検知なども PON システムで閉じた機能として提供することも可能である。

4.2.2 QoE(Quality of Experience)機能を強化した PON(G Suppl. 82 第7.2節)

現状、通信事業者はユーザの QoE を能動的に取得・評価する手段を持っていないため、ユーザからの苦情を受けてからでないと対応できない。トラブルシューティングに時間がかかり、その間のユーザの QoE は下がってしまう。ONT でトラフィックを監視し、サービス品質問題を検出する方法もあるが、ONT が高価になってしまい、多額の投資が必要になってしまう。

ネットワークのきめ細かな管理と品質保証を実現するために、別な方法でよりよい QoE を提供する機能が必要である。一つのソリューションは図 4-1 に示すように、OLT にこのための情報処理能力を持たせ、加入者のネットワークとサービス品質を能動的に監視・分析することである。通信事業者はサービス品質が悪いユーザを特定したり、ユーザの QoE を積極的に評価できる。監視ポイントをユーザにより近い OLT に置くことで、サービスに基づいたきめ細やかな監視を行い、アプリケーションの特性に沿ったサービスを提供できる。

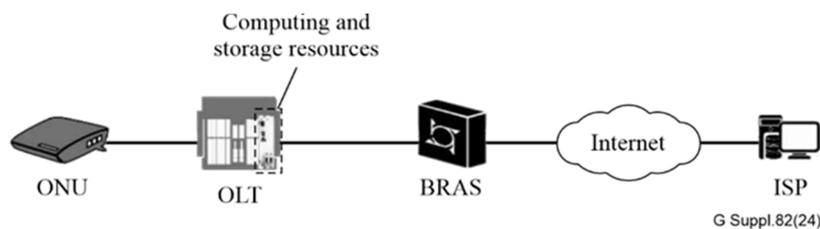


図 4-1 拡張型 QoE 機能を持った PON [II-4-1]

4.2.3 eOLT を使ったインテリジェントな省エネ機能(G Suppl. 82 第7.3節)

OLT がトラフィックの特性に基づいて動的に電力管理できれば、通信事業者は OPEX コストを節約し、環境保全のための低炭素を実現できる。OLT では、階層的な省電力戦略を実行するために固定アクセスネットワーク(FAN)インテリジェントエンジン (FIE) が開発されている。これにより、eOLT は消費電力を単に測定するだけでなく、サービスごとのトラフィックやネットワークの特性から消費電力の動向を分析し、AI/ML

での推論により動的にシステム内部のパラメータを変更させて、ファン速度の変更、クロック機能のオンオフ、インタフェースの Tx/Rx のパワー調整などで、OLT の消費電力を最適化できる。

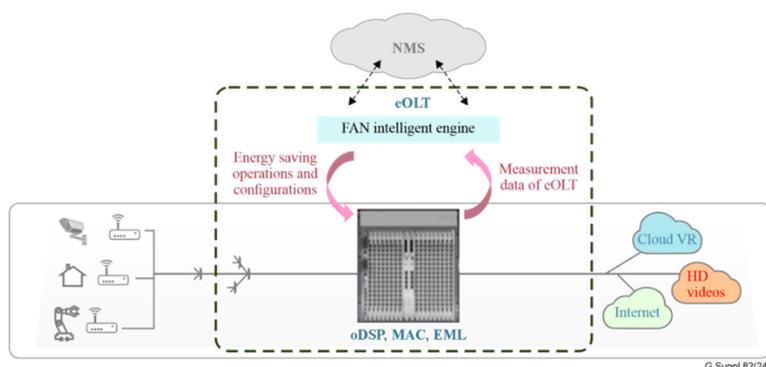


図 4-2 インテリジェントな省電力型 eOLT [II-4-1]

4.2.4 eOLT を使った Wi-Fi の調整(G Suppl. 82 第 7.4 節)

Fiber In-Premises (FIP) や Fiber to the Building (FTTB) の発展により、家庭、コミュニティ、オフィス、工場などで同一 OLT の配下に複数の ONU があり、そこにそれぞれアクセスポイント(AP)が接続されているようなケースもある。図 4-3 では、アクセスシステムとして、同じ PON インタフェースに関連する Wi-Fi ネットワークが、FIE(Fixed Access Network(FAN) Intelligent Engine)によってツリー状のトポロジとして表現できることを示している。eOLT は、AP のパフォーマンス、ステータス、AP からの干渉強度に関するデータを監視および収集し、組み込まれている AI/ML 機能とモデルを使用して定期的に分析と最適化を行い、干渉問題をタイムリーかつ効果的に認識し、タイムリーにパラメータ調整を提供する。これによりユーザの QoE を向上させることが可能となる。

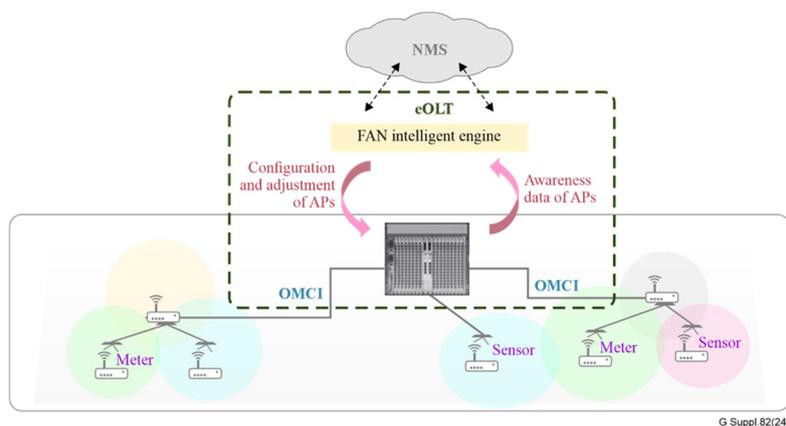


図 4-3 eOLT を使った Wi-Fi 調整のデモンストレーション [II-4-1]

4.2.5 eOLT を使った階層的 DBA(G Suppl. 82 第 7.5 節)

さまざまなアプリケーションやサービスが、遅延時間、帯域幅、可用性など、さまざまな SLA 要素を必要としているが、従来の OLT が持つ共通に使われる動的帯域幅割り当て (DBA) サブシステムでは、それらを識別できず、保証もできない。eOLT では、複数の DBA システムを管理することでソリューションを提供できる。図 4-4 では、複数の DBA モジュール、つまりシステム DBA モジュール、チップ DBA モジュール、スライス DBA モジュールと、それらを調整する FAN Intelligent Engine を示している。システム DBA モジュールは各サービスのトラフィックの特性と、eOLT のアップリンクの空き帯域容量を考慮する。チップ DBA モジュールはインタフェースレベル DBA を実行し、特定の ONU にタイムスロットを割り当てる。スライス DBA モジュールは、各アプリケーションのサービスキューの優先度を考慮する。

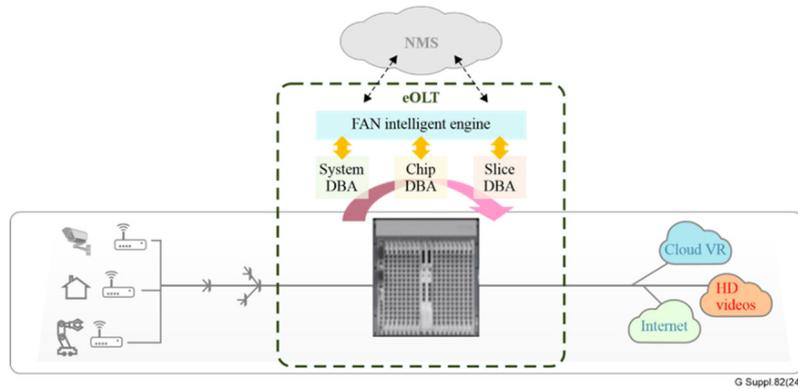


図 4-4 eOLT を使った階層的 DBA のデモ [II-4-1]

4.2.6 クラウド VR サービスとエッジ CDN 機能(G Suppl. 82 第 7.6 節)

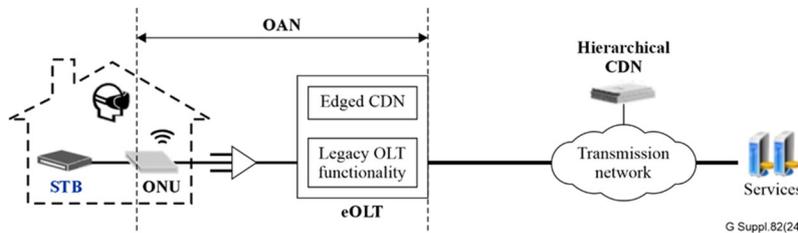


図 4-5 クラウド VR サービスのアーキテクチャと PON の位置付け [II-4-1]

映像トラフィックは一般的に休日や重要イベントなどの時間帯特性を持ち、その時に再生頻度が高いため、ネットワーク能力がサービス要求を満たせなくなる可能性がある。また、新しいデジタル経済では、クラウド仮想現実 (Cloud VR) 動画、VR ゲーム、VR アプリケーションは主要なトラフィックの一部を占めるようになってきている。VR アプリケーションには低遅延伝送が重要で、適切な低遅延が担保されないと、ユーザは船酔いやめまいの症状を引き起こす可能性がある。CDN 拡張機能を持った eOLT によって、これらのトラフィック帯域問題や低遅延伝送問題に対応できる。

まず、映像配信でのトラフィック帯域問題に対しては、再生頻度の高いビデオコンテンツを eOLT で保存・配信することで、バックボーンネットワークの帯域幅を節約し、ビデオの伝送遅延を低減することが可能になる。VR での低遅延伝送問題に対しては、CDN サーバの GPU(Graphics Processing Unit)コンピューティング能力を使う VR レンダリング機能(立体的な映像をリアルタイムで生成する機能)をユーザにより近い eOLT で提供することで、クラウド VR サービスのネットワークパフォーマンスを向上させることができる。図 4-5 はこういったエッジ CDN 機能を OAN(Optical Access Network)内でユーザに近い eOLT で提供する様子を示している。

4.3 拡張型 OLT のアーキテクチャ(G Suppl. 82 第 8 章)

4.3.1 拡張型 OLT のフレームワーク(G Suppl. 82 第 8.1 節)

図 4-6 は拡張型 OLT のフレームワークを示す。拡張型 OLT は、従来の OLT と比較して、さまざまな機能が強化されている。具体的には、認識機能、計算容量、接続機能、ストレージ機能、制御機能である。

- 1) 認識機能 ... eOLT では、ストリームデータ収集メカニズムと分析能力が重要であるため、データ監視方法、収集プロトコル、収集範囲、収集頻度、データ前処理技術などが強化されている。
- 2) 計算容量 ... 従来の OLT ではトラフィックの転送に特化しているが、eOLT では、リアルタイムなシミュレーション、トラフィック予測、参照機能が、追加で組み込まれた情報処理リソースを強化している。
- 3) 接続機能 ... 従来の OLT は静的な接続を提供しているが、eOLT ではオンデマンドの要求に対応するために動的なアプリケーションレベルでのフローを提供し、さらにアプリケーションスライスにも動

的にマッピングする。

- 4) ストレージ機能 ... ストレージ機能が制限されている従来の OLT に比べて、eOLT ではストレージ機能が強化され、低遅延、低損失、高セキュリティ、スケーラブルなアクセスネットワークを提供する。
- 5) 制御機能 ... 体験品質を重視するブロードバンドネットワークにとって、上記の各機能や eOLT の設定調整機能は重要である。従来の SDN 機能と比較して、eOLT はローカル制御機能を強化し、インテリジェントな集中制御機能を提供する。

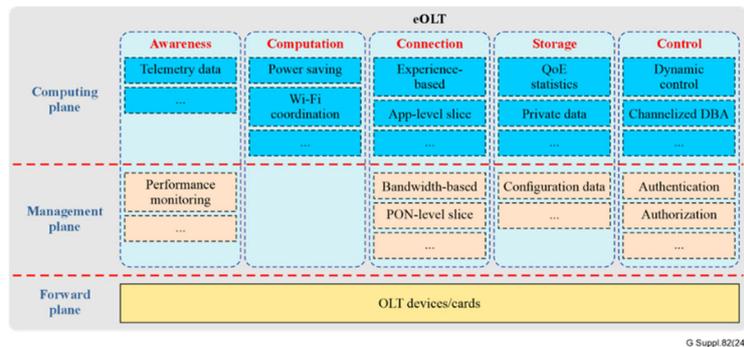


図 4-6 拡張型 OLT のフレームワーク [II-4-1]

4.3.2 一般的な機能要件(G Suppl. 82 第 8.2 節)

4.3.2.1 拡張型認識機能の要件(G Suppl. 82 第 8.2.1 項)

拡張認識機能としては、下記のようなデータ収集プロトコル、データ収集モデル、データ収集インタフェースなどを強化する必要がある。

- SNMP、IPFIX などの標準データ収集プロトコル。
- 標準のデータ収集モデル。データ収集の対象と頻度はユーザの目的に従ってデータ収集モデルを動的に変更することで対応する。
- 標準のデータ収集インタフェースとサブスクリプションインタフェース。
- 環境監視データ、ユーザ体験関連パラメータ、アプリフローレベルの接続状態などの機器からのデータ収集機能。
- ONU からのさまざまなデータ収集のための拡張 OMCI プロトコル。

4.3.2.2 拡張型計算処理の要件(G Suppl. 82 第 8.2.2 項)

拡張型計算処理のために、データ処理や、AI/ML モデルのトレーニング、展開、推論のためのリソースが必要である。

- FPGA、GPU、CPU などの統合計算ハードウェアの管理、抽象化、測定などの機能。
- さまざまな計算および参照要求に応じてカスタマイズされた計算リソースの割り当てや負荷分散機能。
- さまざまなローカル AI/ML 計算および参照タスク呼び出しのためのオープン標準インタフェース。
- 効率的な設定、管理、アカウント管理、監視などの計算リソース管理のためのオープン標準インタフェース。
- ONU と eOLT の間で計算リソースの認識し、共有するための拡張型計算調整プロトコル。

4.3.2.3 拡張型ストレージ機能の要件(G Suppl. 82 第 8.2.3 項)

ユーザのインターネットトラフィックのデータストレージとして対応するために、さまざまなストレージ機能が必要である。

- さまざまな種類のストレージハードウェアリソースをオンデマンドで展開、管理、拡張に対応する

機能。

- データストレージのリソース割り当て、負荷分散、フォワード機能との連携のための標準的なオープンインタフェースへの対応。
- 構造化、半構造化、非構造化データストレージを含む、さまざまなデータ構造のデータストレージ機能。
- ONU 省電力モードに基づくデータキャッシュ機能。
- ストレージデータを保護するためのセキュリティメカニズム、など

4.3.2.4 拡張型接続機能の要件(G Suppl. 82 第 8.2.4 項)

eOLT では、瞬時に正確に、動的でオンデマンドな接続に対応する機能が必要である。

- 事前に定義されたアプリケーション識別子や、アプリケーションフローの識別機能の対応。
- 特定の拡張型 OMCI を使ったアプリケーションフロー接続の設定のためのオープン標準インタフェースの対応。
- 遅延、ジッタ、帯域幅要件などの SLA に基づいたアプリケーションフロー接続の品質保証をするためのオープン標準インタフェースの対応。
- SLA データとユーザ体験データの監視に基づいて、アプリケーションフロー接続のオンデマンド管理と調整を行うための標準インタフェースへの対応。

4.3.2.5 拡張型制御機能の要件(G Suppl. 82 第 8.2.5 項)

拡張制御機能として、オンデマンドな接続要求に対する設定や調整を行う機能が必要である。

- 計算、シミュレーション、予測、参照結果に基づいたリアルタイムのネットワーク制御と管理機能への対応。
- 接続の SLA に基づいた性能監視情報とユーザ体験評価結果に基づいて、アプリケーションフロー接続を動的に調整する機能への対応。
- クラウド環境に展開された制御機能との連携や、ローカル制御機能の標準インタフェースに基づいた SDN コントローラとの連携への対応。
- リアルタイムの評価、シミュレーション、予測結果に基づく ONU の集中制御と設定機能への対応。
- ONU が持つ計算リソースやストレージの集中的な割り当て、調整、および設定機能への対応。

4.4 サービスへの要件(G Suppl. 82 第 9 章)

4.4.1 アプリケーションレベルでの QoS(G Suppl. 82 第 9.1 節)

eOLT は、ユーザ体験を向上させるために、アプリケーションごとに異なる遅延、帯域幅、ジッタなどのサービス品質を保証する機能を実装する必要がある。また、アプリケーションを識別し、QoS を測定しながら、さまざまなアプリケーショントラフィックを別々の伝送ネットワークスライスにマッピングできる。

4.5 システム要件(G Suppl. 82 第 10 章)

4.5.1 OAM メカニズムの拡張(G Suppl. 82 第 10.1 節)

信頼性と確実性があるトラフィック伝送を保証するには、接続の品質とステータスをリアルタイムで監視する必要がある。eOLT は OAM メカニズムを強化して、静的インベントリデータ、動的リソースデータ、アプリケーションレベルの接続品質データを監視する。

4.5.2 省電力(G Suppl. 82 第 10.2 節)

通信事業者の OPEX や排出する温室効果ガスを削減するため、省電力の重要度は上がってきており、eOLT

は、トラフィック状態によって、フルサービスモード、ドーズモード、スリープモードを切り替えることができる。

4.5.3 動的帯域幅割り当て(DBA) (G Suppl. 82 第 10.3 節)

eOLT は、SLA 要件と実際のトラフィックの状況に基づいて、アプリケーションレベルのフロー間で上りの帯域幅を効率的に共有できるように、DBA に対応する必要がある。実際のトラフィックの状況を考慮するために、DBA には次の 2 つの方法がある。

- ステータスレポート(SR)DBA では、ONU が eOLT に送るバッファ占有レポートを使用
- トラフィック監視(TM)DBA では、eOLT で監視する実際のアップストリームトラフィック量を、ONU に割り当てた帯域幅と比較して使用

II-5. BBF TR-477 での Cloud CO における OLT の機能分離に関する検討(D-OLT)

5.1 アクセス機能分離の原則(TR-477 第 4.1 節)

アクセスネットワークの分離とは、アクセスネットワークを、従来型のモノリシックハードウェアノードと密に結合したソフトウェアの組み合わせから、分散型であったり、連携する機能の組み合わせへと変革することを指す。これらの機能の組み合わせは、従来型のノード、汎用ハードウェアアプライアンス、あるいはクラウドプラットフォーム内のネットワーク機能として仮想化されたものなど、様々なホスティングプラットフォームでホスト可能で、これにより、アクセスネットワークをこういったホスティングエコシステムへと変革できる。

TR-384 Cloud CO Reference Architectural Framework [II-5-2]では、アクセスノードや OLT が持つ様々な機能の分離について述べていて、いくつか仮想化できる機能について述べているが、具体的にどのように機能を仮想化したり、どのように OLT を物理装置と仮想化機能で分け、その間でどう連携するか、といったことについては述べていない。TR-477 Cloud CO Enhancement - Access Node Functional Disaggregation [II-5-1]では、OLT を仮想化環境で動作する分散 OLT(D-OLT)と、物理的に設置されてフィールドの光ファイバーインフラを終端する物理 OLT(pOLT)に分け、そこでのアーキテクチャや機能要素(NF: Network Function)、要件、インタフェース、プロトコルなどを定義している。インタフェースやプロトコルが定義されることにより、異なるベンダーが提供する D-OLT 機能と pOLT を組み合わせることも可能になる。いくつかの機能を仮想化したときのユースケースについて、インタフェースやシーケンスをふまえてどのような動作をするかについても述べている。

ここでは、D-OLT と pOLT を次のように定義する。

- D-OLT 分散型 OLT。仮想化対象となるすべての機能の論理ホストを表す。pOLT に近いローカルサーバに配置することも、クラウド内に配置することもできる。また、複数の場所に分割して実装することもできる。
- pOLT 物理 OLT。アクセス回線、L2 ユーザープレーン機能、および仮想化されないすべての関連する機能に対応する物理ノード。

このアーキテクチャによって、以下のような様々な利点が期待できる。

- NF が持つプログラマビリティの特性から、自動化された OAM による運用が可能になる
- オープンなインタフェースが使われていることから、様々なベンダーが D-OLT の NF や pOLT を開発でき、イノベーションが期待でき、エコシステムが育つ
- ネットワークとサービスの更新のためのテストと導入のライフサイクルの短縮
- D-OLT には新しいサービスモデルや機能の NF を必要に応じて柔軟に導入、更新できる
- pOLT のハードウェア設計は簡素化できるため、調達コストを最適化できる
- D-OLT も pOLT もネットワークの成長に応じて投資することができるようになる
- D-OLT にデータセンターのようなノード設計、スケール、手順が導入できる

この技術レポートの目的は 2 つある。

- 仮想化できる機能の定義と標準化
- 論理的な分散型 OLT (D-OLT) と物理 OLT (pOLT)に割り当てられた機能間のインタフェース(プロトコル、データモデル)を定義する

5.2 CloudCO における D-OLT の導入(TR-477 第 4.1.2 項)

CloudCO として展開される場合、D-OLT はアクセス SDN 管理および制御層内の機能として位置付けられ、そこでは D-OLT の要件と機能、および pOLT へのインタフェースを実装している。NF(Network Function)が個別の機能として展開される場合、D-OLT は関連する NF の管理を目的として、NF およびその他のアクセ

ス SDN(Software Defined Networking)管理エンティティへのインタフェースを実装する。D-OLT の機能を集中型アクセス SDN 管理および制御の機能内、OLT デバイス、BAA(Broadband Access Abstraction)層、または別のコンピューティングプラットフォームのいずれかにホストするかは、その機能の実装に必要な NF の機能ではない要件(イベント遅延、アプリケーションのスケラビリティなど)に基づいて決定される。図 5-1 に CloudCO での D-OLT の位置づけを示す。

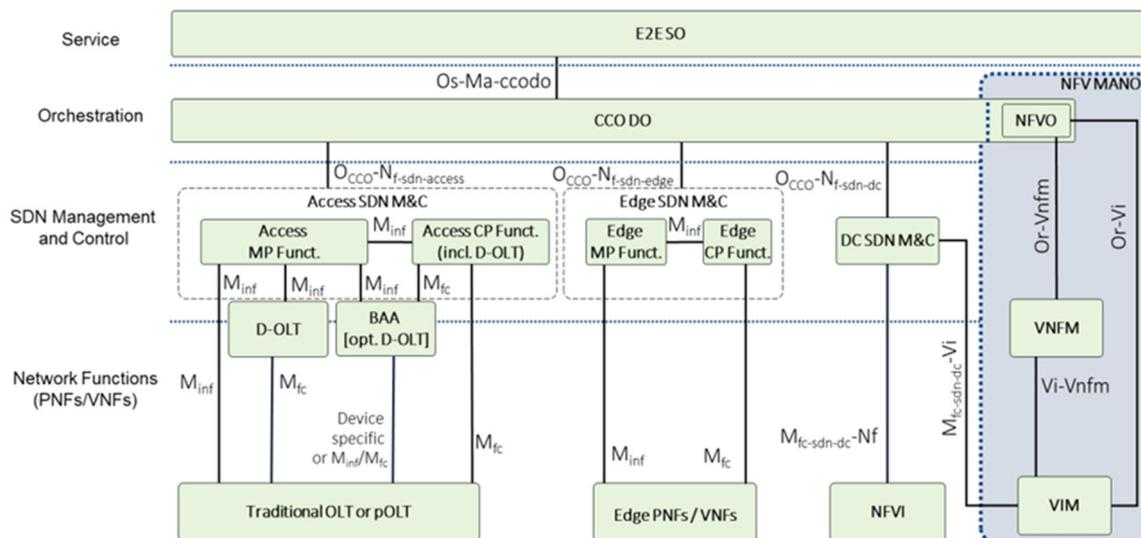


図 5-1 Cloud CO での D-OLT [II-5-1]

D-OLT は必ずしも「1 つだけ」というわけではない。D-OLT 機能は、SDN M&C(Management and Control) 層、独立した BAA 層(特定の OLT用アダプタを備えた D-OLT プラットフォームなど)、あるいは独立してスケールするスタンドアロンコンテナなど、広範囲に分散配置できる。データモデルも同様に柔軟に設計されており、bbf-device-aggregation (デバイス集約に関する BBF の要件に対応するために YANG モデルで定義されたモジュール)の内外を問わず利用可能である。

5.3 仮想化サポート(TR-477 第 4.2 節)

D-OLT に対応する多くの機能は仮想化できる。表 5-1 に仮想化で対応している機能の例を示す。

表 5-1 D-OLT で仮想化できる機能 [II-5-1]

機能	タイプ	BBF TR 参照	説明
1 DHCP リレー エージェント	UP/CP	TR-101 [II-5-9] TR-156 [II-5-10]	DHCP RA は、pOLT から DHCP パケットを受信し、ローカルで処理する機能である。新しいオプションを追加し、コントロールプレーンまたはデータプレーンを介してパケットを DHCP サーバに転送する場合がある。
2 PPPoE 仲介エージェント(IA)	UP/CP	TR-101 [II-5-9] TR-156 [II-5-10]	PPPoE IA は、pOLT から PPPoE パケットを受信し、PPPoE サーバとやり取りする機能である。新しいタグを付加し、コントロールプレーンまたはデータプレーンを介してパケットを PPPoE サーバに転送する場合がある。
3 マルチキャスト プロキシース ヌーピング	UP/CP	TR-101 [II-5-9] TR-156 [II-5-10]	MGMD D-OLT NF はマルチキャスト メッセージ (参加、離脱など) のコピーを受信し、pOLT からレポート機能と統計機能の一部をオフロードする。

4	ONU 認証	UP/CP	ITU-T G.984.3 [II-5-12] ITU-T G.987.3 [II-5-13] ITU-T G.988 [II-5-14]	ONU 認証機能 : OLT による ONT の認証を D-OLT に移行し、不正な ONT がオンラインになるのを防ぐ[II-5-23]。
5	vDBA	UP/CP	TR-402 [II-5-5] TR-403 [II-5-6]	従来の PON では、OLT ハードウェアに単一の DBA スキームが実装されている。vDBA は D-OLT 内で動作する。vDBA により、各ユーザは割り当てられた T-CONT のアップストリーム容量、レイテンシ、ジッタを制御できる。
6	vOMCI	MP と UP/CP	TR-451	仮想化 OMCI (vOMCI) ソリューションでは、従来は光回線終端 (OLT) ネットワーク要素内に組み込まれていた OMCI 機能をオペレータのクラウドネットワークに移動する。

5.4 アーキテクチャ図(TR-477 第 4.2.2 項)

図 5-2 は、アクセス SDN M&C と D-OLT および物理 OLT 間のインタフェースである Minf および Mfc を含む、D-OLT のアーキテクチャを示している。

この技術レポートでは、D-OLT と pOLT 間のインタフェース Mfc を定義している。Mfc インタフェースは、仮想化される機能に応じてアクションを実行する 3 つの異なるサブインタフェースで構成されている。

- 管理インタフェース (Mfc_Minf) : D-OLT 機能は、Mfc_Minf を使用して、分散機能に固有の pOLT 構成、運用データ、RPC、および通知を管理する。
- 制御パケットリダイレクトインタフェース(Mfc_CPRi) : このインタフェースは、D-OLT と pOLT の間で DHCP や PPPoE などの制御パケットを転送およびトンネリングに使われる。
- 状態制御インターフェー(Mfc_Sci) : このインタフェースは、ユーザープレーンのトラフィック動作を変更するためのルールと、ユーザープレーンと制御プレーン間のパケットのリダイレクトのためのルールを動的にプログラムするために使用される。トラフィックルールが pOLT にプログラムされると、pOLT はルールに従って加入者の制御トラフィックおよび/またはデータトラフィックを転送する。

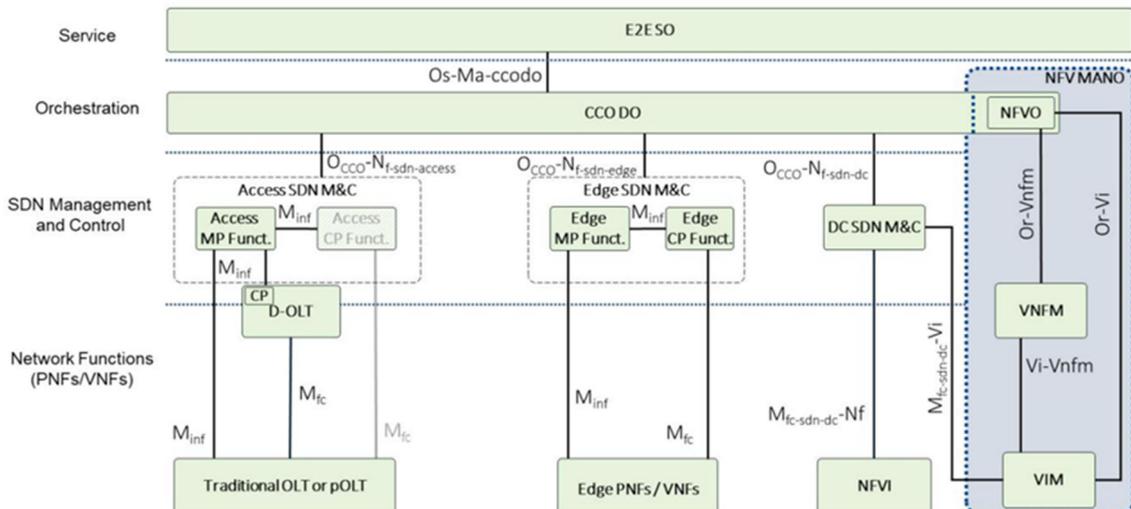


図 5-2 D-OLT アーキテクチャ [II-5-1]

図 5-3 は、D-OLT の 3 つの展開シナリオを示している。

- (a) D-OLT と物理 OLT の直接的な関係。これは、D-OLT が 1 つの物理 OLT のみを管理することを表す。
- (b) 単一の D-OLT が複数の pOLT を管理する。ここでは例えば、仮想化が必要な機能は集中化されている。
- (c) 複数の D-OLT が同じ pOLT を管理する。ここでは例えば、複数の仮想化機能が同じ物理エンティティを参照する場合で、ネットワーク共有、またはスライシングのようなケースに関係する。

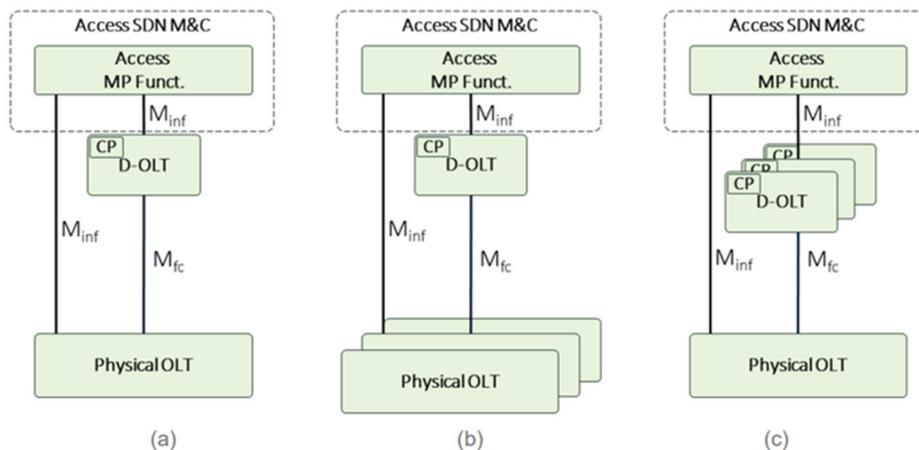


図 5-3 D-OLT のさまざまな展開シナリオ [II-5-1]

図 5-4 では pOLT の機能アーキテクチャを示すが、ここに示している 1 つの論理的な D-OLT は、冗長性を目的として複数のインスタンスのクラスターとして実装される場合もあるが、機能展開シナリオやインタフェースは変わらない。

5.5 インタフェースと定義(TR-477 第 4.2.3 項)

D-OLT の影響を受けるインタフェースは次のようになる。

- M_{inf} リファレンスポイントは管理プレーン FCAPS 機能を提供し、関連するインタフェースプロトコルは通常 NETCONF/YANG[II-5-4]に基づいている。
- M_{fc} リファレンスポイントは制御プレーン機能を提供し、リファレンスポイントの様々なサブインタフェースで複数の制御プレーンプロトコルを利用できる。表 5-2 は、M_{fc} インタフェースの 3 つのサブインタフェースで使用されるプロトコルとデータモデルを示している。

表 5-2 MFC インタフェースの 3 つのサブインタフェースのプロトコルとデータモデル [II-5-1]

サブインタフェース (M _{fc})	機能カテゴリ	プロトコル	エンコーディング	データモデル
M _{fc} _Minf	管理	NETCONF[II-5-15][II-5-16]	XML	YANG[II-5-17]
M _{fc} _Sci	フロー制御	gPRC[II-5-18]	GPB[II-5-19]	YANG[II-5-17]
M _{fc} _CPRi	フロー制御	gPRC[II-5-18]	GPB[II-5-19]	N/A

5.6 pOLT 機能アーキテクチャ(TR-477 第 4.3 節)

pOLT の機能アーキテクチャと関連インタフェースについては、図 5-4 で説明する。pOLT は次の機能をサポートする。

- アクセス回線に関する機能

- L2 ユーザープレーン機能
- 仮想化されていないすべての関連機能

また、次のインタフェースもサポートする必要がある。

- アクセス SDN M&C に向けた M_{inf} は、WT-413i2[II-5-21]に従って仮想化されていない関連するすべての FCAPS 機能
- TR-477 第 4.2.1 項の表 1 に従って仮想化されるすべての機能の D-OLT への MFC インタフェース

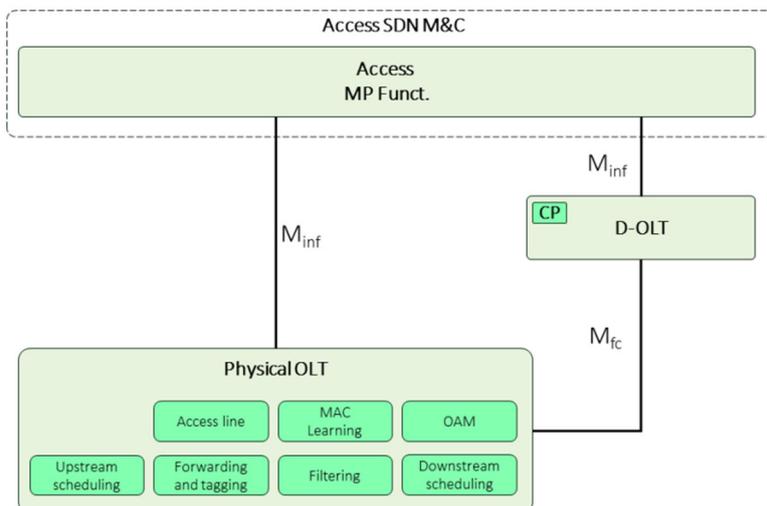


図 5-4 pOLT の機能アーキテクチャ [II-5-1]

5.7 D-OLT 機能アーキテクチャ(TR-477 第 4.4 節)

D-OLT の機能アーキテクチャを図 5-5 に示す。D-OLT は、仮想化対象となるすべての機能のための論理ホストを表す。pOLT に近いローカルサーバ、クラウド内の中央、または 2 つの場所に分割して配置できる。

D-OLT は、D-OLT によってホストされるすべての NF に対して次のインタフェースをサポートする。

- FCAPS 機能のための Access SDN M&C に向けた M_{inf}
- pOLT に向けた M_{fc}

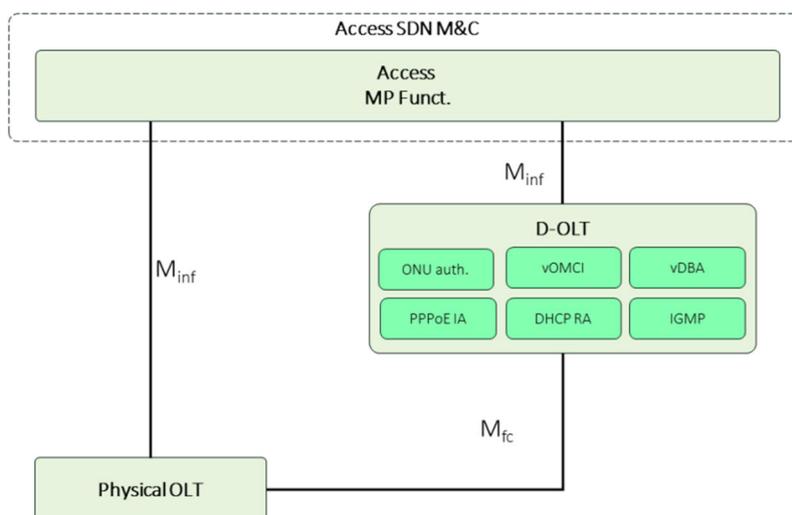


図 5-5 D-OLT の機能アーキテクチャ [II-5-1]

5.8 D-OLT と pOLT の間でのコールフロー(TR-477 第 4.5 節)

TR-477 第 4.5 節では本章の表 5-1 の各機能について、実装方法が詳細に説明されているが、ここでは例と

して5番目のvDBAの実装内容、コールフローについて説明する。

ハードウェアに実装されていたDBA機能(物理DBA、PHY-DBA)は、ソフトウェアコンポーネントとして実行される1つまたは複数のvDBA機能と、pOLTに配置されたデータプレーンレベルでデータを処理するトラフィック処理エンジンに分解される。

各仮想DBA(vDBA)のアルゴリズムは、pOLTの対応するスライスの仮想帯域幅マップ(vBMap)を計算し、計算されたvBMapをpOLT上のトラフィック処理エンジンに渡す。トラフィック処理エンジンは、各ONUへの送信時間スロットの割り当てを行う。TR-402 [II-5-5]に従い、複数のvDBA機能がpOLTの同一のPONポート上で動作することが想定されている。

以下と図5-6で、同じPONポートに接続されたONU1とONU2に対するvDBAの処理フローを説明する。この例では、ONU1はvDBA1のアルゴリズムを使い、ONU2はvDBA2のアルゴリズムを使う。

1. アクセスMP(Management Plane)機能は、プロファイル設定をD-OLT(+vDBA1&vDBA2)に送信する。アクセスMPはEMS(Element Management System)に相当し、D-OLTに、どのOLTを制御するか、vDBA機能に関連するDBAプロファイル、PHY-BMapフレームサイズなどを指示する。
2. アクセスMP機能は、Minfインタフェースを介してpOLTとD-OLT間の通信を初期化するためのパラメータ(エンドポイントのIPアドレス、ポート、プロトコルなど)を設定する。
3. Mfc_CPRIトンネルの作成後、pOLTとD-OLTは機能情報を含むHelloメッセージを交換する。
4. Mfc_ScIトンネルの作成後、pOLTとD-OLTは機能情報を含むHelloメッセージを交換する。
5. Minfインタフェースを使用して、アクセスMP機能はD-OLTのvDBA機能に加入者情報を設定する(ステップ1でまだ実施されていない場合)。
6. アクセスMP機能は、Minfインタフェースを使用してpOLT内のサービスを設定し、ONUからpOLTへのパケットフローが実施できるようにする。これにはVLAN、T-CONT、GEMポート情報が含まれる。ONU側の設定は、組み込みのOMCIスタックを使用するか分散型vOMCI機能を利用して、pOLTから直接プッシュできる。pOLTに送信されるリクエストは直接送信することもできるし、アダプテーション層が存在する場合は、必要に応じてアダプテーション層を介して送信することもできる。また、この時点で、サービス上でパケットリダイレクトが有効になり、適切なMfc_CPRIエンドポイントが指定される。
7. ONUは、新しい送信許可を待つ間、アップストリームデータのバッファリングを実行する。
8. ONUはキューイングサイズを上りの伝送許可の要求としてpOLTに報告する。
9. ONUから送信されるキューステータスのレポートメッセージは、pOLTによってD-OLTに中継送信される。
10. D-OLT内のvDBA機能が、ONUの仮想帯域幅マップ(vBMap)を計算する
11. vBMapsがpOLTに配信される
12. vBMapsが分析され、各フレームインターバルでのRG/ONUに適用可能な物理帯域幅マップ(PHY-BMap)に統合される。
13. pOLTはPHY-BmapとしてRG/ONUに送信許可を送信する。この送信はフレーム間隔(つまり125μs)ごとに行われる。
14. ONUは割り当てられた送信許可に従ってバッファリングされたアップストリームデータをpOLTに送信する。

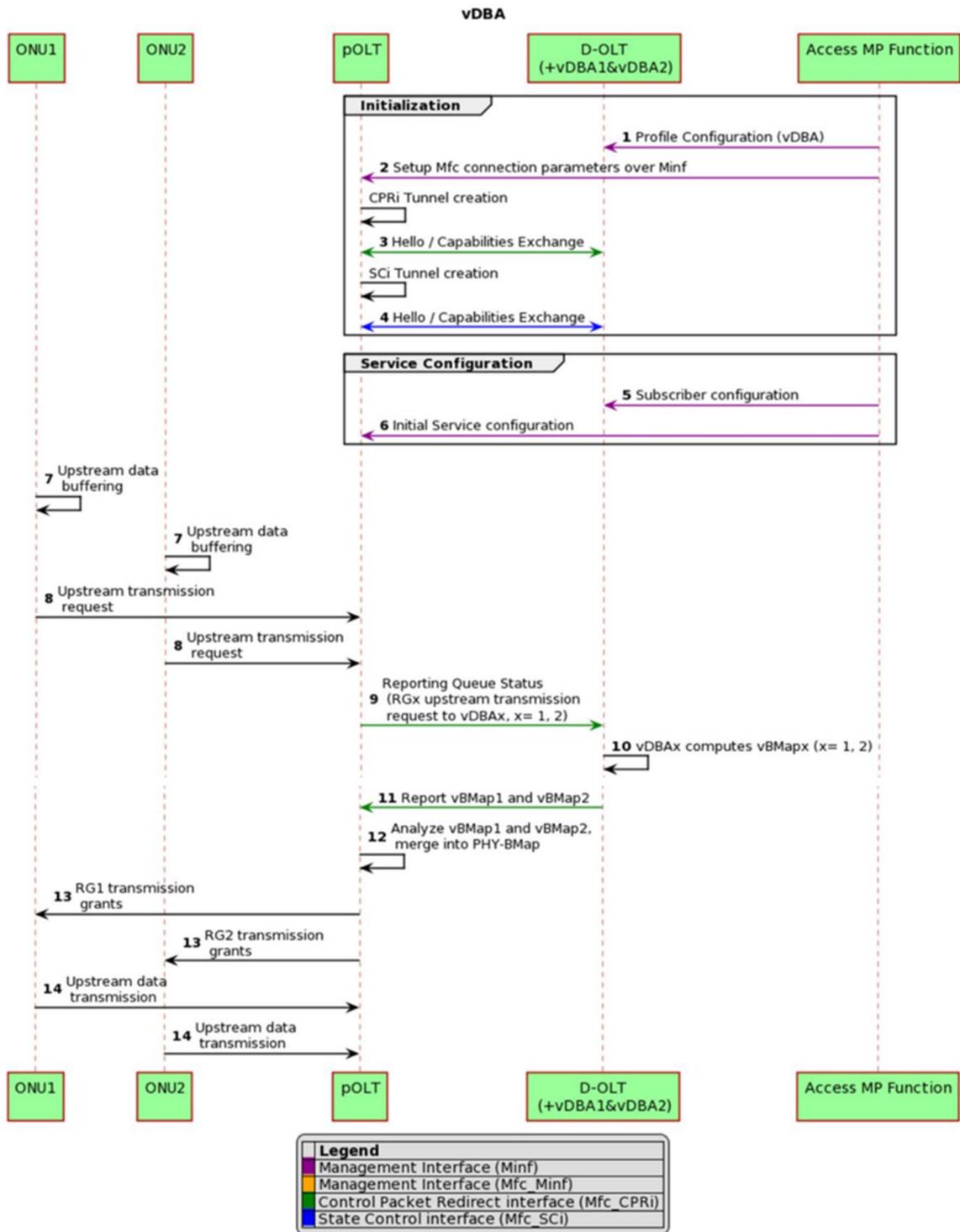


図 5-6 仮想 DBA コールフロー [II-5-1]

5.9 pOLT の機能要件(TR-477 第 5.1 節)

pOLT の機能要件には次のようなものがある。

- [R-1] D-OLT と組み合わせる場合、TR-477 第 4.2.1 項の表 1(本章 表 5-1)に定義されている機能のうち、pOLT は少なくとも 1 つ以上の分離機能をサポートする必要がある。
- [R-2] D-OLT と組み合わせる場合、pOLT は TR-477 第 4.2.2 項に規定された実装オプションをサポートしなければならない。
- [R-3] D-OLT と組み合わせる場合、pOLT は少なくとも 1 つの D-OLT の機能とインタフェースする必要がある。

- [R-4] D-OLT と組み合わせる場合、pOLT は複数の D-OLT の機能とインタフェースできる能力が必要。
- [R-5] D-OLT と組み合わせ、分散化された機能の場合、pOLT は分散機能に対して TR-477 第 4.5 節で定義されているコールフローをサポートする必要がある。

5.10 D-OLT 機能要件(TR-477 第 5.2 節)

D-OLT の機能要件には次のようなものがある。

- [R-6] D-OLT は、TR-477 第 4.2.1 項の表 1(本章 表 5-1)で定義されている少なくとも 1 つ以上の機能とサービスの分離機能をサポートする必要がある。
- [R-7] D-OLT は、TR-477 第 4.2.2 項で規定された実装オプションをサポートしなければならない。
- [R-8] D-OLT は、複数の pOLT に対して分散された機能をホストできる必要がある。
- [R-9] D-OLT は、TR-477 第 4.2.3 項の表 2(本章 表 5-2)で定義されているサブインタフェースとプロトコルをサポートしなければならない。
- [R-10] サポートされている分散機能については、D-OLT は TR-477 第 4.5 節で定義されているコールフローをサポートする必要がある。
- [R-11] D-OLT は TR-436 [II-5-20]で定義されたテレメトリデータパイプライン要件をサポートしなければならない。

5.11 プロトコル仕様(TR-477 第 6 章)

TR-477 第 6 章では、本技術レポート第 5.3 節の表 5-1 の各インタフェースに使われるプロトコルの詳細について説明している。それぞれのインタフェースの内容については本技術レポート第 5.5 節を参照。Mfc_Mint は YANG データモデルで記述され、XML でエンコードされて NETCONF で送られる。Mfc_Sci は YANG ベースのメッセージだが、Google Protocol Buffers (GPB) でシリアライズされ、Google RPC (gRPC)メッセージ転送プロトコルを使って送られる。Mfc_CPRi は、制御パケット (DHCP、PPPoE など) を pOLT 経由で D-OLT にトンネリング転送する。

各種メッセージや詳細な要件については TR-477[II-5-1]の原文を参照されたい。

III. むすび

2025年には、ITU-T Q2/SG15では光アクセスシステムでの低消費電力化を検討する G Suppl. 45 Power conservation in optical access system や、基地局向け伝送で PON をモバイルフロントホールとして活用するための検討である G.Supp.LLSoT(W)DM(Low Layer Split Mobile Fronthaul over T(W)DM PON)、また、50Gの次の世代の高速化 PON システムについて検討する G Suppl. 88(ex. G.Supple.VHSP(Very High Speed PON))などが補足文書として検討されている。

ITU の補足文書では、同期技術も含めこれまでも基地局向け伝送に関連する文書がいくつか出てきたり、現在も検討されており、5G のミリ波の基地局のようなセル範囲の小さい多数の基地局でのユースケースが期待されたが、現状は各携帯電話事業者での 5G のミリ波の基地局の展開があまり進んでおらず、今後展開が本格的に始まるときに PON 技術の活用が検討されることが期待されている。

商用システムでは、10G サービスの加入者が増えてきただけでなく、25GS-PON が商用サービスとして使われ始め、さらに 50G-PON の商用システムもリリースされてきた。50G の次の世代に関しては、まだ目標となる速度帯域も決まっていない状況だが、その標準化が終わり、商用システムが出てくるまでにはまだ数年かかると思われる。

PON の大容量トラフィックのユースケースの筆頭は上記にもあるような基地局向け伝送でのモバイルフロントホールであるが、AI/ML、VR/AR、デジタルツインといったアプリケーションが広く展開され、トラフィックが本格的に PON の上で使われると、10G の PON システムでは足りないと言われている。

Broadband Forum では 3 つに分かれていた光アクセスの分野(Fiber Access Network、Physical Layer Transmission、COMMON YANG)が、Access Work Area という一つのプロジェクトに統合され、ファイバ、メタル、ワイヤレスネットワーク(HS-PON、XGS-PON、25GS、NG-PON、Gfast など)などのアクセスネットワーク技術を横断した、ラストマイルブロードバンド展開のためのマルチベンダー相互運用性を提供する技術仕様とテスト計画の開発に重点を置くように統合された。

Broadband Forum で検討されてきた Cloud CO での Netconf/YANG ベースのアクセスコントローラは商用導入が進み、対応した G.fast や PON システムをリリースするベンダーも増えてきて、アクセスコントローラ、DPU/CPE、OLT/ONU などでのマルチベンダーの対応が容易になってきた。さらに、仮想化アクセスプラットフォームを活用して、AI/ML を使った機能開発も進んでおり、アクセス網の運用を自動化したり、システムで自律的な運用ができるような検討も進んできている。

さらに国内では IEEE PON が広く導入されているが、導入から 20 年たつ中で機器更改の必要性が出てきており、その次世代システムの選択肢の中で ITU-T PON への移行を検討している通信事業者も増えてきている。

上記のような様々な状況の中で、技術の標準化の動向を理解し、活用することはますます重要になってきており、TTC アクセス網専門委員会 次世代光アクセス網 SWG は関連する SDO(Standards Development Organization)の動向を把握し、報告していきたいと考えている。