1FINITY
a Fujitsu company

MPLS JAPAN

B1T(Beyond 1T)伝送技術動向ならびに将来光伝送網(OTN・APN)に向けた考察と提言

2026/10/26

栃尾 祐治

振り返り・今日お話しすること

- 過去数年(2019, 22-23, 25年)、B400G/B1T動向としてお話したことの更新になります
  - 昨年2025年はB1T動向ということで、1.6T関連の動向を、特にITU-T SG15で作業中のFlexOに絡んだB1T動向について紹介
    - https://mpls.jp/2025/presentations/mpls2025-01-02-tochio.pdf
- 今回は、以下の点について紹介します
  - ITU-T, IEEE, OIFにおけるB1T(主に1.6T)関連の標準化、特に、主要勧告が承認されたITU-T B1T関連の最新動向を中心に紹介 (昨年の答え合わせ)
    - 加えて、3.2Tに向けた状況
    - ITU-T動向をいいことに脱線して、ITU-T SG15 におけるL1 Security 事情 (QKD,PQC)
  - B1T時代(将来)の光伝送に向けた考察・提言
    - 今年も**ネットワーキング**視点並びに(IOWN GF) APNということで、拡張性に向けた考察
    - 具体的には、(APNの)マルチドメイン拡張とは？について考察と提言に

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

本日の報告内容(構成)

- B1T関連(主に1.6T)標準化動向
  - IEEE P802.3aj、OIF (1600k関連)
  - ITU-T B1T向けFlexO (メイン)
    - G.709.1, G.709.6を中心にB1Tに向け最新動向(勧告)紹介
  - その他
    - 3.2T事情?1.6Tを支えるであろう技術
    - ITU-TにおけるL1 Security 事情
- 将来の光伝送網に向けた課題と考察
  - ネットワーキング視点
  - (APNの)マルチドメイン拡張とは？

- お断り
  - 基本的に標準化動向に基づく個人の見解が中心であり、一部を除き弊社の見解でありません(弊社見解は明示します)
  - 標準化に関しては原則公開情報をもとに資料を紹介しますが、一部、審議中の内容をもとに当方の解釈・推測で紹介するものが含まれます。これらは将来を確約するものでないため取り扱いにご注意ください
  - 発表の一部には、いわゆる国プロに関連するものが含まれますが、当発表は、国プロ成果としての発表ではありません
  - 限られた時間の発表のため、スキップするスライドがあるかしれません(後日ご確認を)。また公開資料一部で文字検索できない予防策をかける予定です

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

1FINITY
a Fujitsu company

B1T関連(主に1.6T)標準化動向

主にIEEE, OIF

はじめに1.6T関連の標準化動向(サマリ)

- IEEE802.3 (P802.3dj)
  - ***Media Access Control Parameters for1.6 Tb/s and Physical Layers and Management Parameters for 200 Gb/s,400 Gb/s, 800 Gb/s, and 1.6 Tb/s Operation***
  - 前回の報告では、9月(今ごろ)承認としていたが、今年中にやや延伸
  - ~~主な残課題　D3.3でほぼ完成~~
    - ~~200G/lane PHY向けのLink Training / end-to-end path startup function~~
    - ~~200G/lane IMDD optical PHY関連~~
      - ~~Transmitter quality metrics~~
      - ~~Testing methodology~~
- 新Project P802.3dvを承認 (2026/9/25)
  - ***Physical Layers and Management Parameters for 400 Gb/s, 800 Gb/s, and 1.6 Tb/s Electrical and Single-Mode Fiber (SMF) Optical Interfaces Based on 400 Gb/s/lane Signaling***
- OIF
  - **1600ZR**: > 80km; Coherent DWDM
    - 400ZR/800ZRの1.6T
  - **1600ZR+**: < 1000km; Multi-span; Coherent DWDM
    - ITU-Tでいうところの Long Reach(LR)的なもの。PCS前提
  - **1600CL:** > 10km; Coherent; P2P;
    - OIF 800LR の 1.6T相当
    - FEC巡り議論継続中
- いずれも、今ごろ標準化見込みであったが、延伸気味
  - 1600ZR はそろそろ承認見込み

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

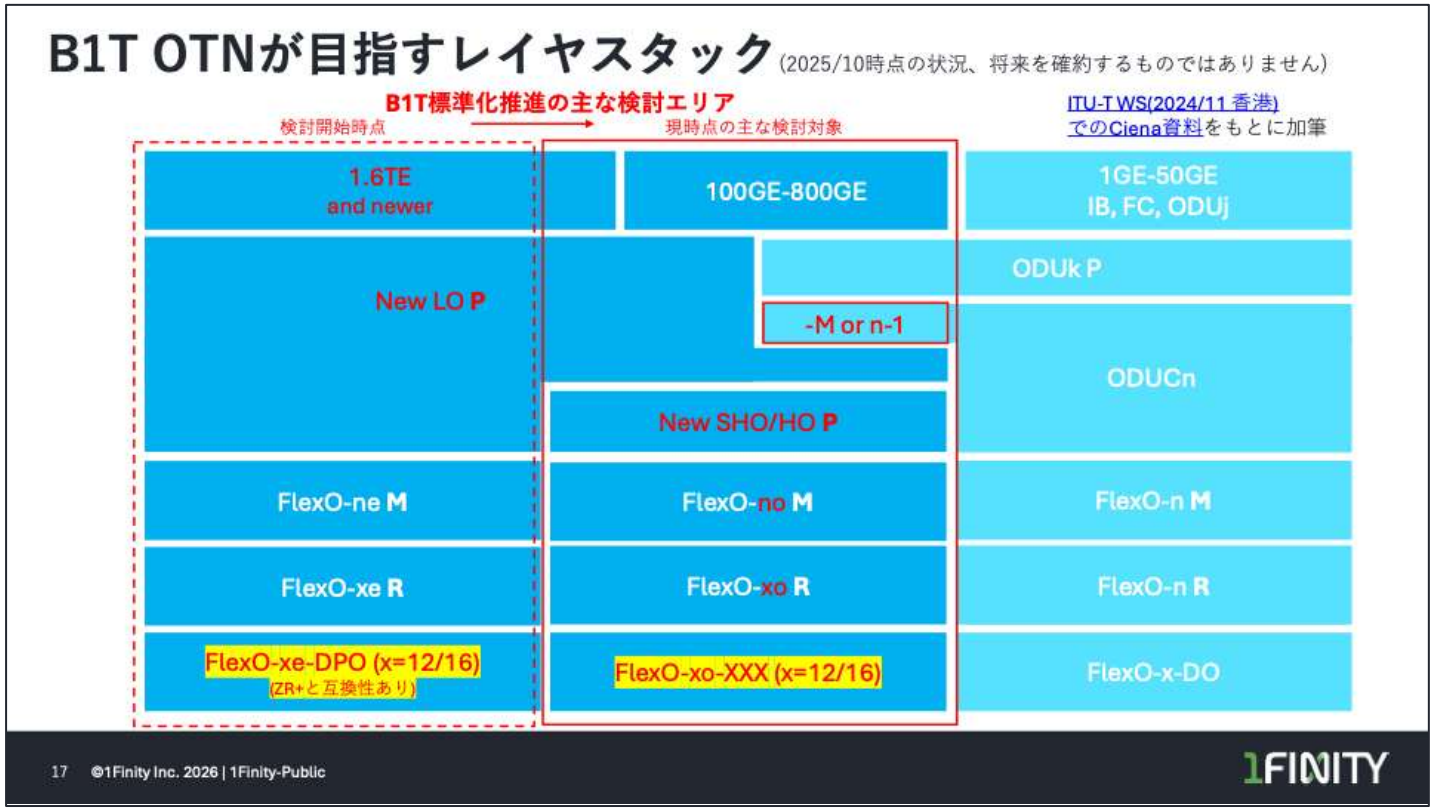
1FINITY
a Fujitsu company

B1T関連(主に1.6T)標準化動向

ITU-T

ここで報告する内容(サマリ)

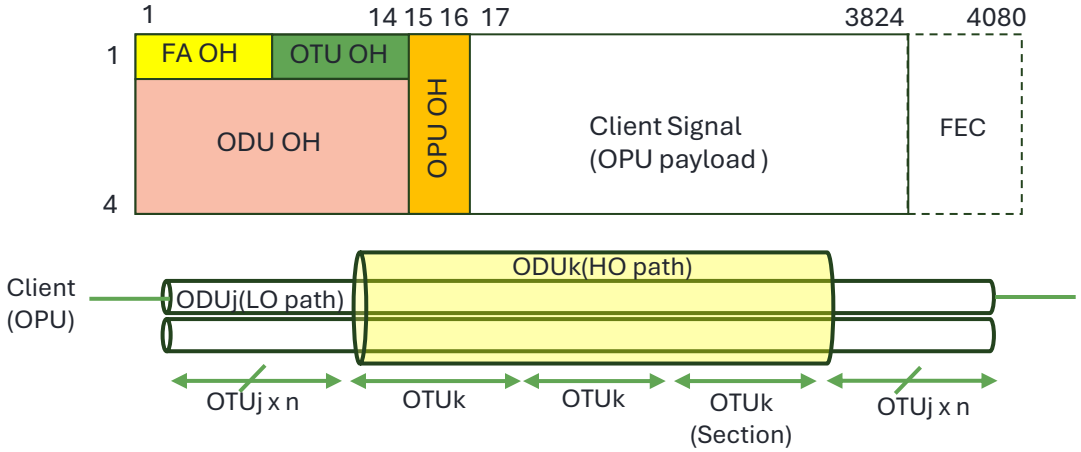
- 2026/7のITU-T SG15本会合にて、B1T OTN に関する主要な勧告がコンセントされ、先ほど(10/22)に承認となったので:
  1. 承認された勧告 (主にG.709.1, G.709.6) について紹介
  2. 昨年示したこの図の答え合わせ (大体右記の通り)
  3. 今後の課題について紹介



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

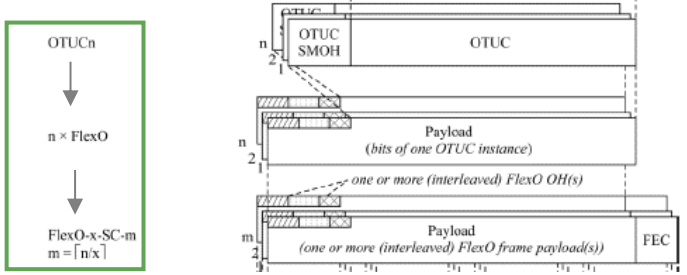
OTN と FlexO (簡単な復習) [既出]

- **OTN Frame(G.709) とネットワーキング例**



- **FlexO(G.709.1)とは**
  - G.709で既定の、B100G向けOTN (OTUCn)を転送するためフレーマー定義

(ITU-T G.709.1から抜粋)



例
n=8 i.e., 800G(OTUC8)を
400G FlexO (m=4), i.e.,
FlexO-4で伝送する場合

↓

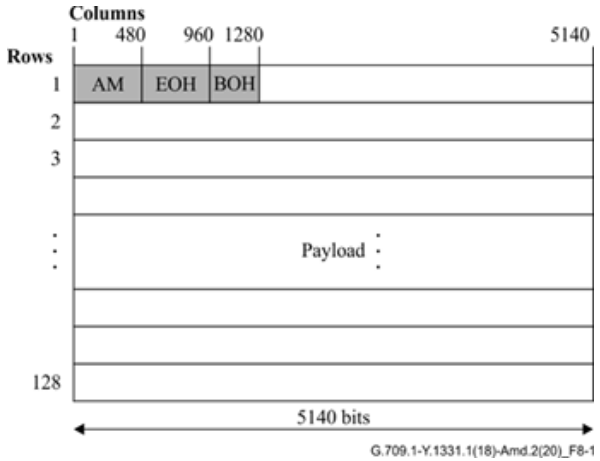
OTUC ベースに8(n)個の
FlexOフレームを作成

↓

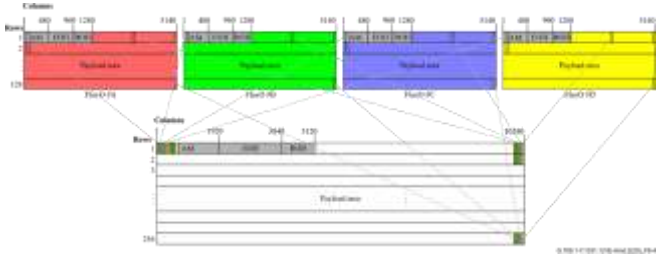
FlexO-4 フレーム x 2
に再編。FEC(SCなど)
をつけて光伝送を行う

  - 多重・Regen(ator)機能は提供するが**パス定義は無し**

- **FlexO Frame (100G基本フレーム)**



FlexO-xはこのフレームを
再編・拡張
- FlexO-2: 10280 x 128
- FlexO-4: 10280 x 256
- :



- EOH/BOH: Extended/basic Overhead
  - EOH/BOHの詳細は、最新G.709.1 or MPLS Japan 2023参照
- BOHに、クライアントを種別するための Payload type の規定が存在するが、一部は、OIF (x00ZR) 向け、IEEE802.3 (800GBASE-ER1) 向けに割り当て (reserve)
  - IEEE向けのものは、PTP精度向上のため
- EOHは、Regen, FlexOSecなどに使用
  - FlexOse: リンク (Section) 単位で提供

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

ITU-T勧告(G.709, G.798)[既出]

- **ITU-T G.709シリーズ:**
  - 主にOTN/FlexO frameを規定(2024に800Gまで完成)
  - **G.709/Y.1331 (2020) + amd3 (2024)**
    - **Interfaces for the optical transport network**
      - いわゆるOTN frame勧告(OTU/ODU/OPU)
  - **G.709.1 (2024)**
    - **Flexible OTN common elements**
      - FlexOフレーム共通要素(FECは含まない)
  - **G.709.3 (2024)**
    - **FlexO LR for B100G**
      - [100G, 200G, 400G] x [SC, CFEC, OFEC]
  - **G.709.5 (2024)**
    - **FlexO SR**
      - RS FEC, including 800G
  - **G.709.6 (2024)**
    - **FlexO LR for B400G**
      - [400G, 800G] x [OFEC] x Ethernet optimized

  FlexO

  - 他、G.709.2/Y.1331.2(2018):OTU4+SC FECと G.709.4(2020): 25G/50G OTUが存在

- **参考: ITU-T G.798シリーズ**
  - いわゆる装置処理勧告と呼ばれ、装置処理の他警報定義など規定
- 2025年10会合までは単一勧告で存在
  - **G.798 (2023) + Amd3 (2025)**
    - **Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks**
- 2025年10月会合で4分割し合意
  - **G.798**
    - 以下の勧告を束ねる親玉。(既存G.798との互換維持)
  - **G.798.2(G.798.media)**
    - L0との接点(Modulator/Demodulator周り)を記載
  - **G.798.3(G.798.odu)**
    - G.709などOTN (fgOTN)を記載
  - **G.798.4(G.798.flexo)**
    - FlexOシリーズを記載

G.798.1(装置タイプ)は近い将来取り下げ(Superseded)の予定

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

ITU-T G.709シリーズ(最新動向)

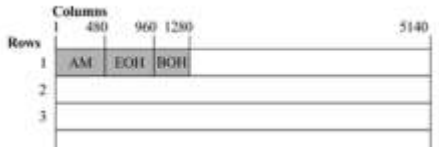
- **SG15本会合(6/29-7/10)**で以下の勧告をコンセント(現時点では承認済み)
- **G.709.1 (2026)**
  - **Flexible OTN common elements**
    - FlexOパス定義(Sec込み)、FlexO-no/xo定義
- **G.709.5改正2 (2026)**
  - **Flexible OTN short reach interfaces**
    - 800G FlexO-8o-RSH追加(FlexO-16o-DSHも今後は検討)
- **G.709.6 (2026)**
  - **Flexible OTN B400G and B1T long reach interfaces**
    - FlexO-16o/12o-DPO-16QAM2定義
- **G.709.7 (2026)**
  - **Optical transport network module framer interfaces**
    - 100G/200G FOIC定義
- **G.709.3改正1 (2026)**
  - **Flexible OTN B100G long reach interfaces**
    - FlexOlevelde-skew記載追加

B1T OTN (FlexO) 関連勧告
以下、G.709.1, G.709.6中心に紹介

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

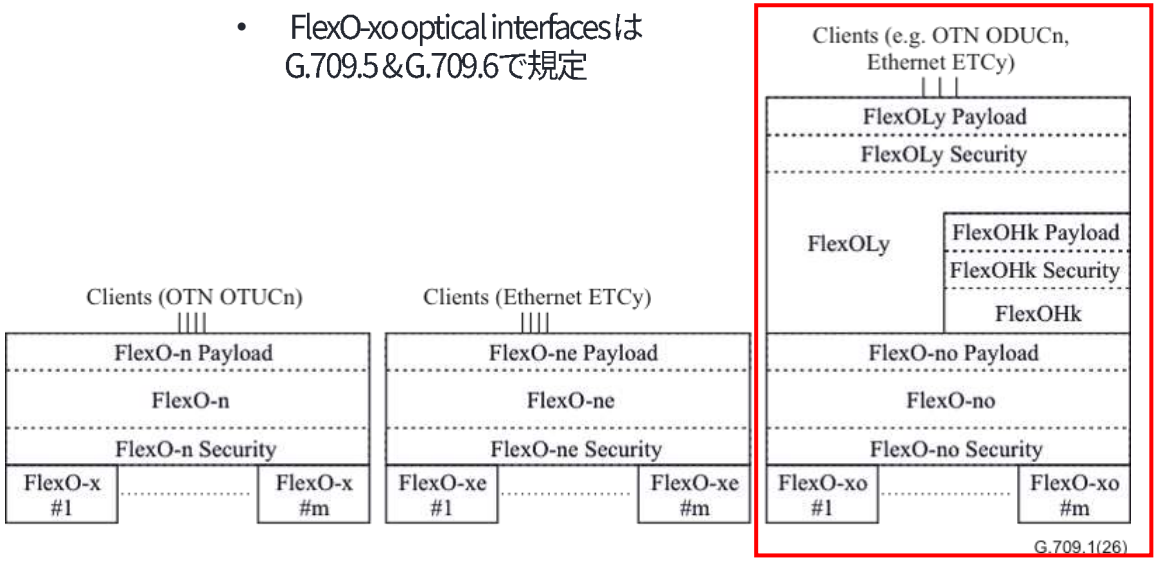
High-level summary of G.709.1

- **既存 FlexO-n overhead 刷新**



  - No use of AM/BOH/EOH
    - use **ISOH, RSOH, MSOH and POH** instead
  - Multiplexing section layer (FlexO-n(e,o))新機能定義
    - TTI, APS, and DM
- **FlexO Path (FlexOPy)の導入**
  - 従来FlexO-n(e, o)フレームとは異なる構成
  - LO/HOサポート
  - Path layer にも Security (FlexOSec) 導入
- **Supporting 1.6T Ethernet client**
- その他、FlexO-n と異なる ODUCn mapping into FlexO-noの定義

- **FlexO-no and xo 定義** (以下FlexO-no |xo)
  - Multiple clients into FlexO via HO/LO FlexOPy
  - G.709.1はFlexO-xo(フレーム)を規定
    - FlexO-xo optical interfacesは G.709.5 & G.709.6で規定



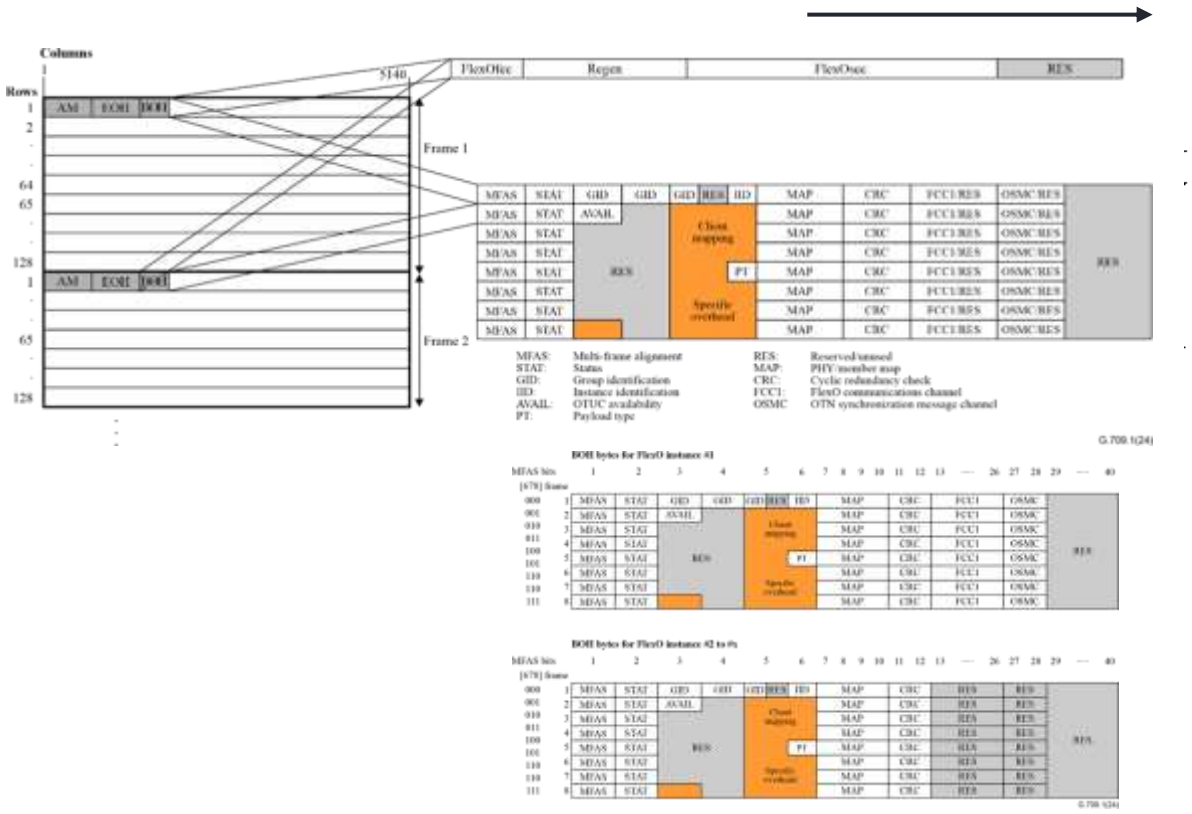
- その他(詳細は他勧告で定義予定)
  - FlexO path の線形プロテクションスイッチング (G.873.1)
  - FlexO発見メカニズム (G.7714.1)

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

G.709.1 – Updates

Interface Specific Overhead
Multiplexed Section Overhead
Regenerator Section Overhead

- **8.1 FlexO section frame structure**
  - FlexO OH (overhead)の定義など更新
    - ISOH, RSOH, SEC, MSOH and POH instead of BOH and EOH.
  - Before



- 改訂のポイント
  - 表記の変更(16バイトx10行(1280bits))
  - EOHにあったRESをMSOHに定義し直し
    - うち、1バイトとTADに定義(TTI,APS,and DM)

FlexO Section Instance #1

Column #

Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Interface Specific Overhead															
2																
3																
4																
5	MFAS	RES					TTI	STAT	FCC0							
6	Authentication Tag (AT)															
7	KCC	RES	☑	CST	RES	Frame Number (FN)									RES	
8	RES							TAD	MFAS	STAT	GID/IID/PT/Client/RES				MAP	
9	MAP		CRC		FCC1											
10	FCC1		OSMC		RES											

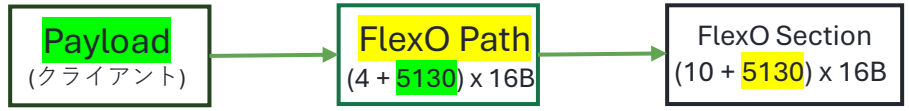
FlexO Section Instance #2..n/x

Column #

Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Interface Specific Overhead															
2																
3																
4																
5	MFAS	RES						STAT	RES							
6	Authentication Tag (AT)															
7	KCC	RES	☑	CST	RES	Frame Number (FN)									RES	
8	RES								MFAS	STAT	GID/IID/PT/Client/RES				MAP	
9	MAP		CRC		FCC1											
10	FCC1		RES													

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

G.709.1 – Updates



- 11 FlexO Path frame and maintenance
  - 16バイトx4行(512bit) OH
    - with 5130 × 16 payload

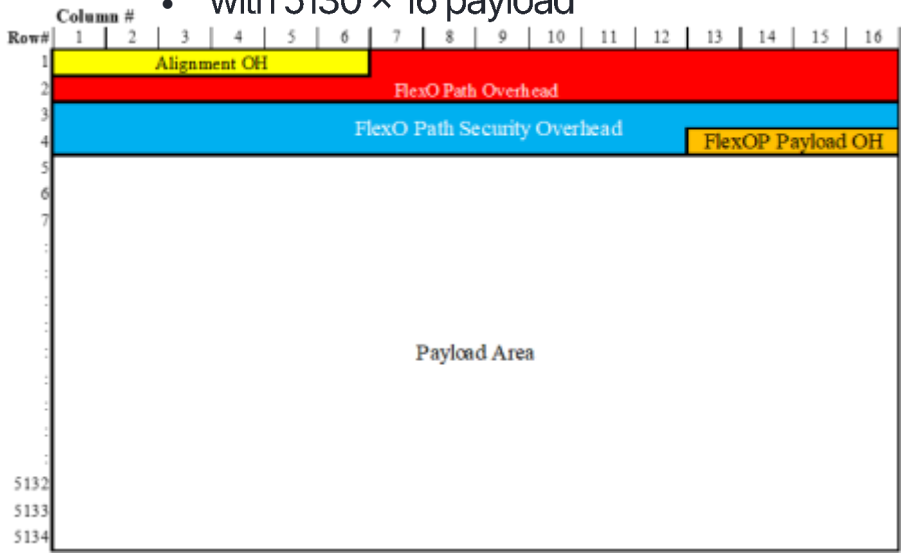
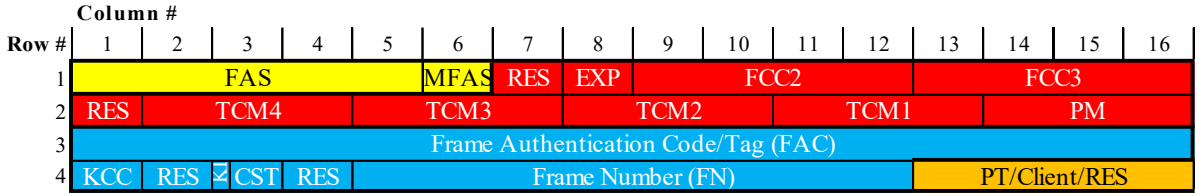


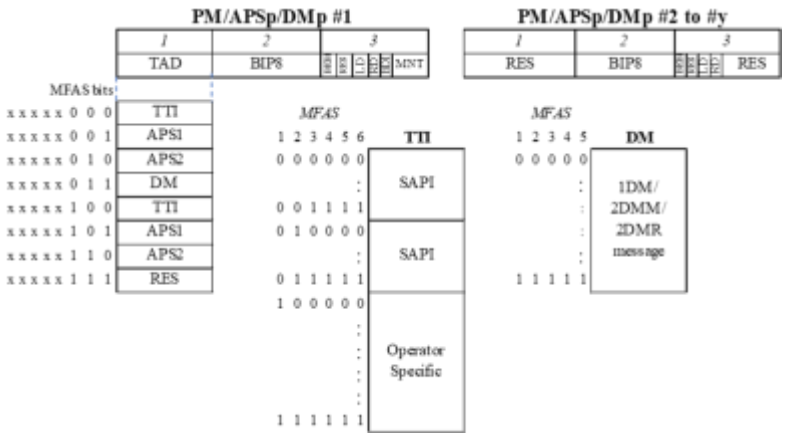
Table 11-1 – FlexOPy (P = L, H) bit rates

Interface Type	FlexO-y Path nominal bit rate	FlexOPy bit-rate tolerance
LO FlexO-y Path (P = L, FlexOLy)	y × 5134/5140 × 514/544 x 1445/1624 × 766 × 156250 kbit/s	±20 ppm
HO FlexO-y Path (P = H, FlexOHy)	y × 169/168 × 640 × 156250 kbit/s	±20 ppm
NOTE 1 – The nominal FlexOLy bit rate is approximately: y × 100 504 980.228 kbit/s. NOTE 2 – The nominal FlexOHy bit rate is: y × 100 595 238.095 kbit/s.		

- 12 FlexO Path overhead



- 12.2 FlexO path overhead (POH) description
- 12.4FlexOP payload overhead





POHは従来(ODU)の定義を踏襲
- PM + 4TCM + FCC2&3
- PMには、TTI, APS, DM (TAD)を定義
  - DMは、G.8312 と同じ定義

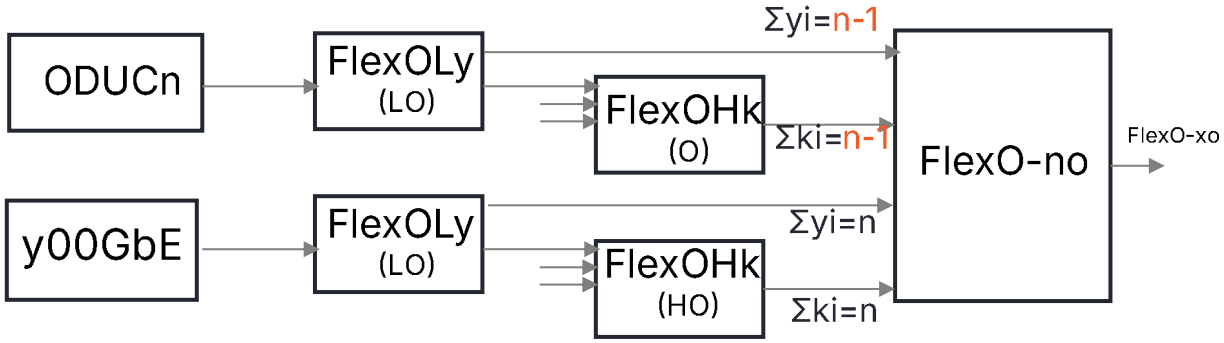
12.3 FlexO path security overhead description は Section layer 向けFlexOを踏襲

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

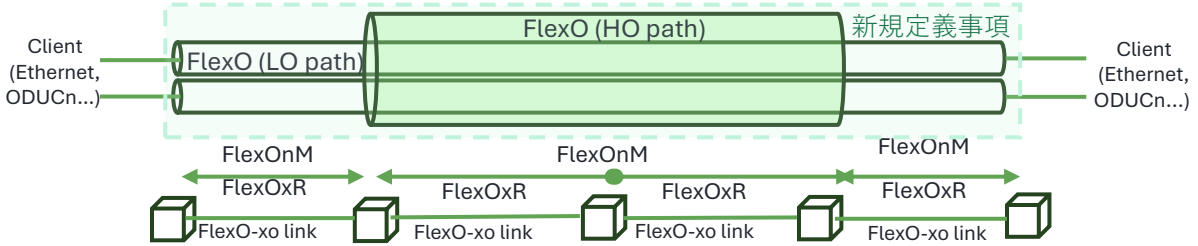
G.709.1 – Updates

- **FlexO-no|xoの定義**
- 二つの課題に対する解決案として新規定義
  - FlexO path layer導入のインパクト低減
    - FlexOP フレームを定義すると、OH分の帯域増加が発生、これを低減したい
  - クライアントEthernet, ODUCn の収容
    - 特に Ethernet (y00GbE)を優先したい
      - FlexO-16相当 には 1.6T 相当のEthernet収容
- **FlexO-no|xo とは**
  - FlexO-ne|xeに比較的近い速度で定義
    - FlexO-n|x: n|x * 105 643 510.782 kbps (105.6 Gbps)
    - FlexO-ne|xe: ne|xe * 100 622 438.327 kbps (100.6 Gbps)
    - 0.18％ ↓
    - **FlexO-no|xo: no|xo * 100 803 988.162 kbp (100.8 Gbps)**
  - FlexO Path (HO/LO) に Ethernet, ODUCn を収容可能 (ただしODUCnは条件付き)

- FlexO-no mapping scheme



  - ODUCn と FlexOLy の関係は i : i+1
    - すなわちFlexO-16oは ODUC15 (ODU4 x 15) しか収容できない
  - FlexO-no|xoにより、ODU同様のネットワーキングを提供



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

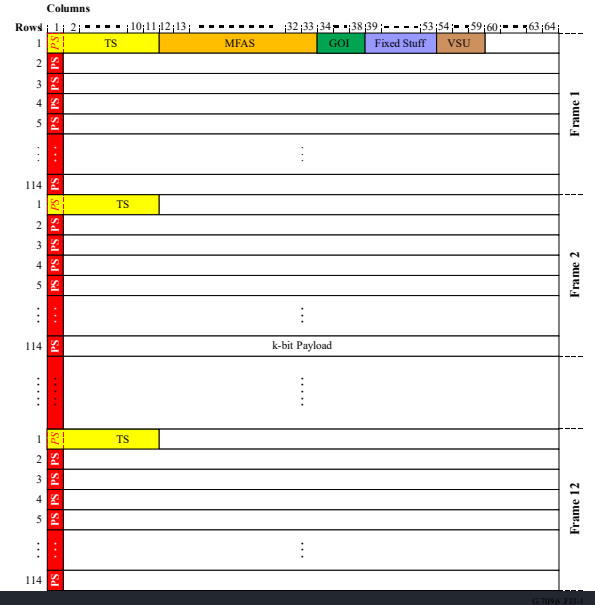
High-level summary of G.709.6

- G.709.6改訂更新事項
  - **1.6T and 1.2T long reach interfaces** with OFEC and probabilistic constellation (DPO) (13章)
    - FlexO-16|12**o**-DPO
    - 2 sub carrier多重(2DSC)で定義
      - FlexO-16|12o-DPO-16QAM2 (詳細は下記に)
  - その他(追記事項)
    - FlexO skew to scope of clause 10
    - digital sub-carrier nomenclature to clause 11 and 12
  - **FlexO-16|12o-DPO-16QAM2**
    - DSPフレームを含めた伝送レートはどちらも約2TB/sほど

Table 13-2 – FlexO-xo-DPO types and bit rates

FlexO-xo-DPO type	FlexO-xo-DPO nominal bit rate	Bit-rate tolerance
1.2T FlexO-12o-DPO-16QAM2	12 × 175104/104599 × 771/680 × 569 × 156 250 kbit/s [2]	±20 ppm
1.6T FlexO-16o-DPO-16QAM2	16 × 58368/46517 × 771/680 × 569 × 156 250 kbit/s [3]	
NOTE – The nominal FlexO-xo-DPO bit rates are approximately: 2 025 011 706.894 kbit/s (FlexO-12o-DPO-16QAM2), 2 023 768 605.785 kbit/s (FlexO-16o-DPO-16QAM2).		

- 13章で FlexO-xo-DPO (DSPフレーム)処理を規定
  - OIF1600ZR+と同じ処理
  - FlexO-xo clientを2DSCを前提にFlexO-xo-DPOフレーム生成
    - 詳細は次スライド
    - 補足：GOI（Generic Optical Information）
      - 光伝送方式を対向に伝える論理チャネルみたいなもの



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

[参考] G.709.6 –13章

FlexO-xoデータ

↓ 2056行単位処理・CRC/PAD追加

POC structure (PCS/OFECに入力できるちょうどよい長さに)

↓ スクランブル

PCS入力

↓ PCS処理(確率的に16QAMシンボルの内側/外側の出現比を調整)

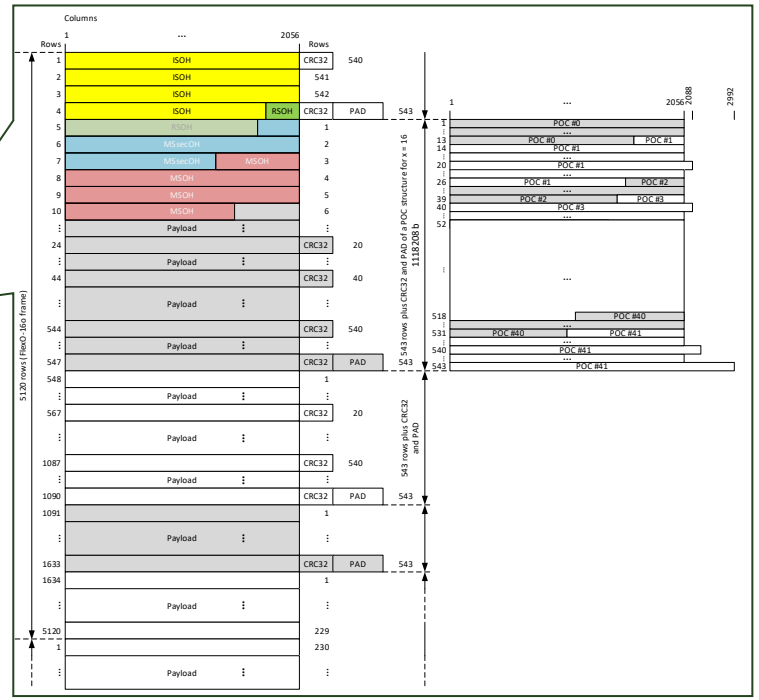
OFBG

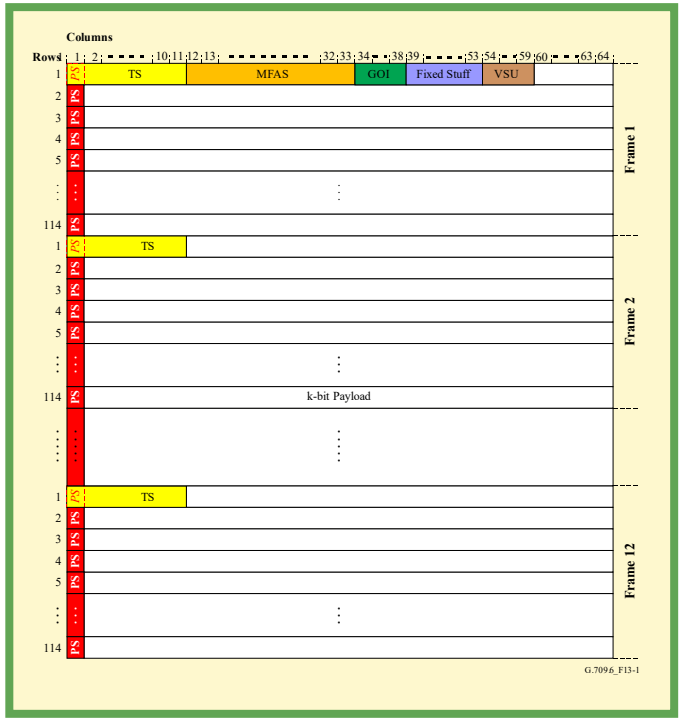
↓ OFEC符号化(パリティを追加し)

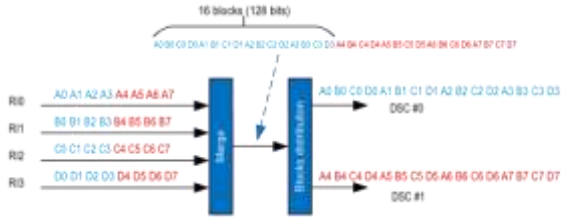
OFBGP

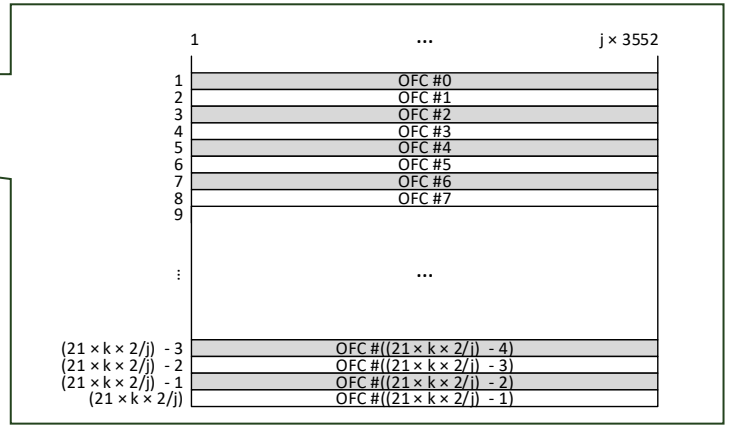
↓ インタリーブ、RIマージ、2DSC分配

FlexO-xo-DPO payload



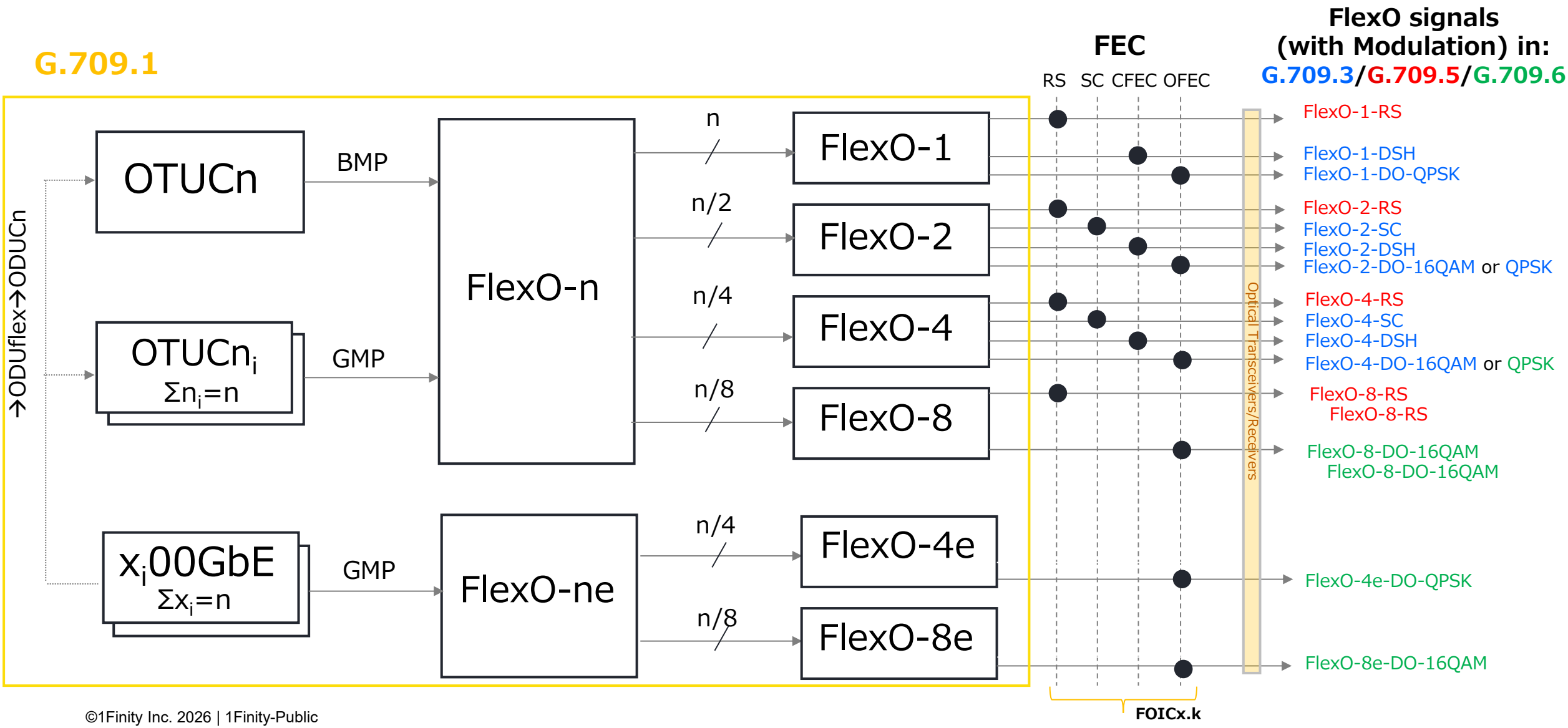






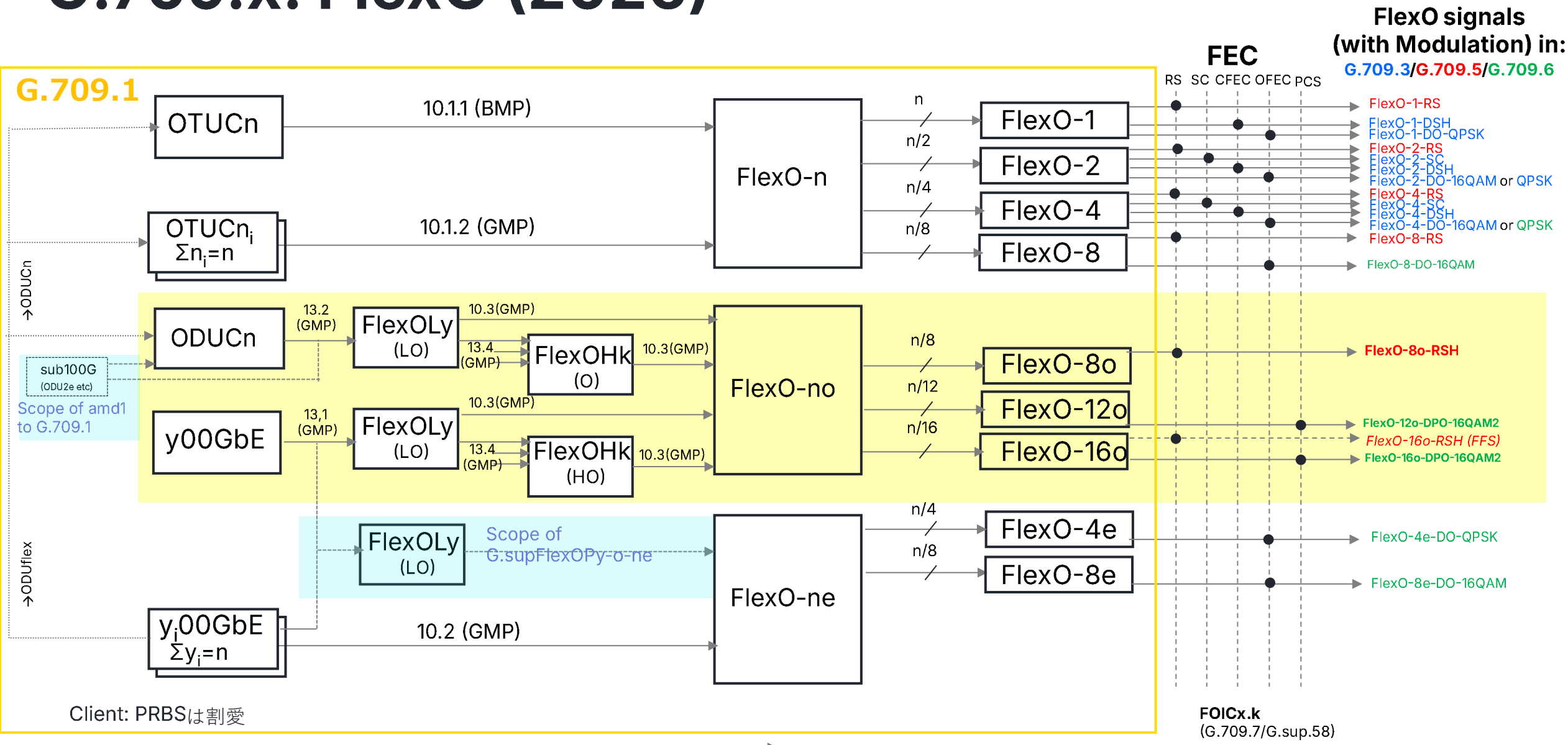
©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

G.709.x: FlexO多重階梯 (2024) [before 2026/10]



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

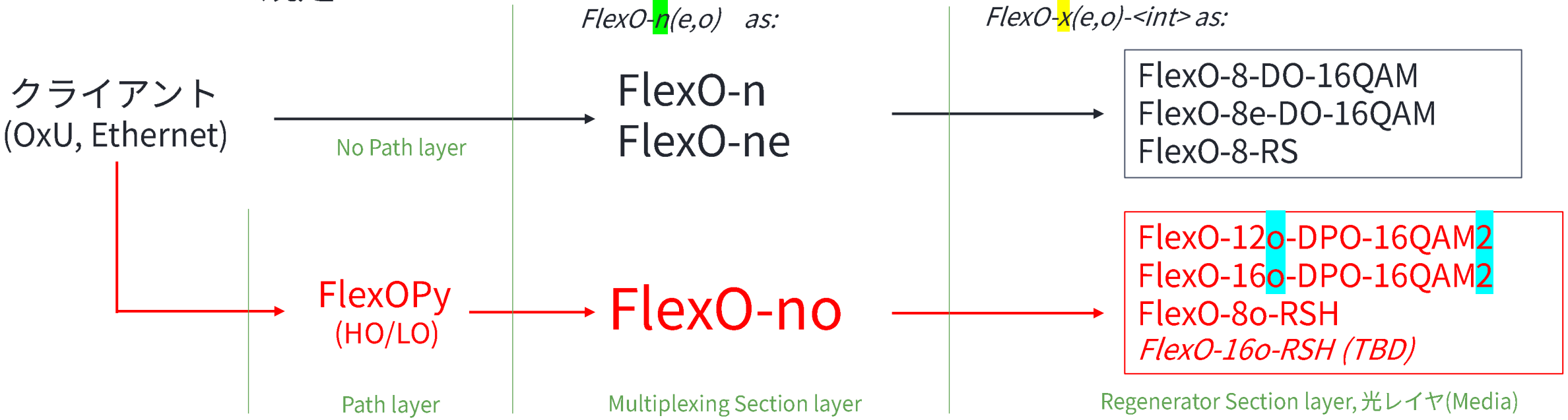
G.709.x: FlexO (2026)



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

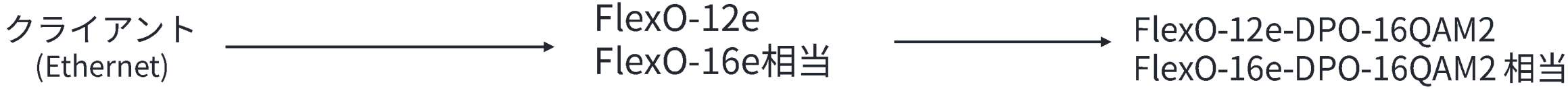
FlexO (2026): G.709.1 & G.709.6 800G 以上抜粋 (とG.709.6課題)

- G.709.1
  - フレーム規定



- G.709.6, G.709.5
  - 光インタフェース規定 (800G以上)

- 参考: OIF 1600ZR+



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

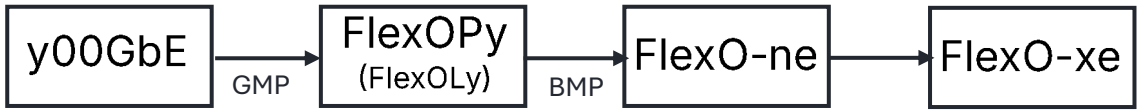
G.709.6課題とG.sup.FlexOPy-o-ne

- G.709.6で定義された1.6T/1.2T FlexO光インタフェースは以下の二つのみ
  - FlexO-16o-DPO-16QAM2
  - FlexO-12o-DPO-16QAM2
    - G.698.2で合意されたApplication codeもこの二つ
- 実は、以下の伝送方式も検討中ではある
  - 2DCSでなく**1DCS/4DCS**による変調
    - 主に中国から。伝送特性面で一長一短あり、OIFに従い、2DCSは採択したが、1DCS/4DCSを推す声もまだある



    - https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/2026/0711/Documents/3%20-%20Qirui%20Fan.pdf
  - FlexO-**16e|12e**-DPO光インタフェース
    - OIF 1600ZR+と同じ光インタフェースであり、そもそもFlexO-16eベースで検討開始したものFlexO-16oとの優位性が見出せず、G.709.6では未採用

- これらインタフェースのG.709.6に記載には、今は定義のないネットワークシナリオが明確になることを条件にG.709.6への記載を検討する形で進行中
  - 現在のB1Tネットワークシナリオ
    - G.698.2: Metro DWDM up to ~400–450 km, through 3–4 ROADMs (not precluding 6–7)
    - G.696.1: Engineered intra-domain lines reaching beyond 450 km.
- **G.sup.FlexOPy-o-ne** (補助文書)
  - **Transport of FlexO path on Ethernet optimized FlexO**
  - FlexOPy (LOだけ) をFlexO-ne (n=y)にマッピングし、FlexO-ne/xeで簡略的にFlexO pathレイヤを提供
  - 見かけ上はFlexOPフレームを使わず、FlexO-neのReservedをPath layer向けフォーマットに適用する
  - Mapping Schemes



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

[参考] High-level summary of G.709.5

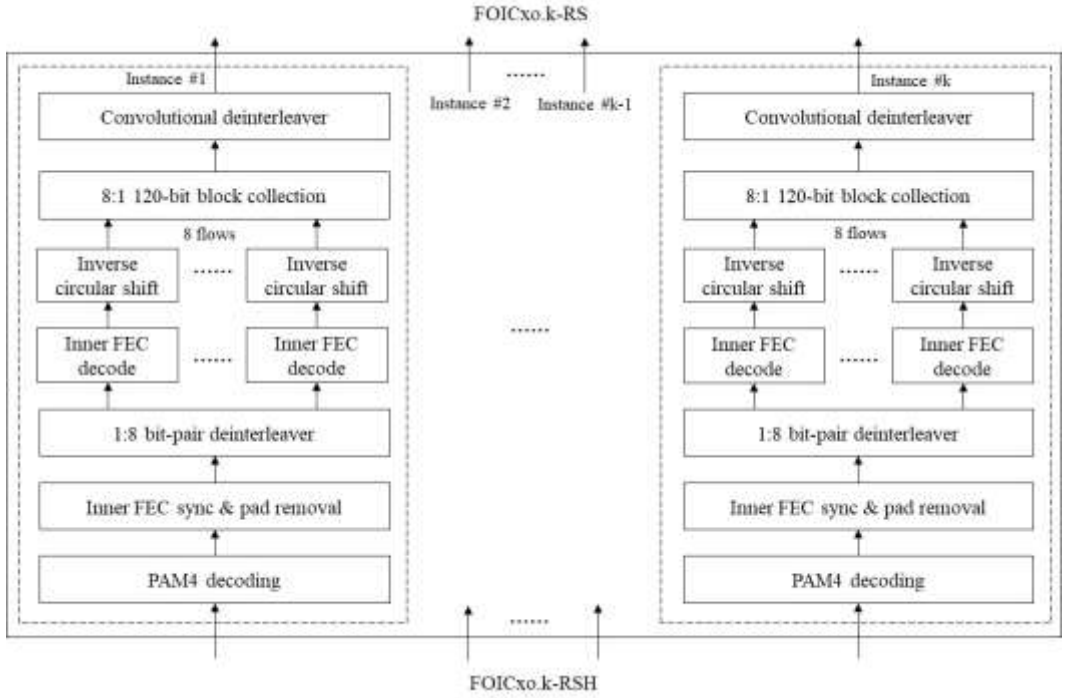
- **Amd1 to G.709.5**
  - adds FlexO level de-skew to clause 10
  - new 800G (8o) ~~and 1.6T 16 (o)~~-interfaces based on 200G/lane architecture and in alignment with IEEE 802.3dj
  - FEC: RS FEC concatenated with inner Hamming FEC (RSH)
  - FlexO-16o-DSHの検討もあったが、1.6T FR8 or LR8 modulesが市場にないことを理由に、Amd１(改正1)への記載は見送り
    - ただしG.709.7との関係で、Annex D/G.709.7に移動
- New clause 15:
  - **15 800G FlexO-8o-RSH interface**

Table 15-1—800G FlexO-8o-RS bit rate

FlexO-8o-RS nominal bit rate	Bit-rate tolerance
8 × 6/5 × 569 × 156 250 kbit/s	±20 ppm
NOTE 1—The nominal 800G FlexO-8o-RS bit rate is approximately: 853 500 000 kbit/s.	

FlexO-8-RSは約894G

- New clause 15:
  - **15 800G FlexO-8o-RSH interface**
    - FOIC8o.4-RSH to FOIC8.4-RSH



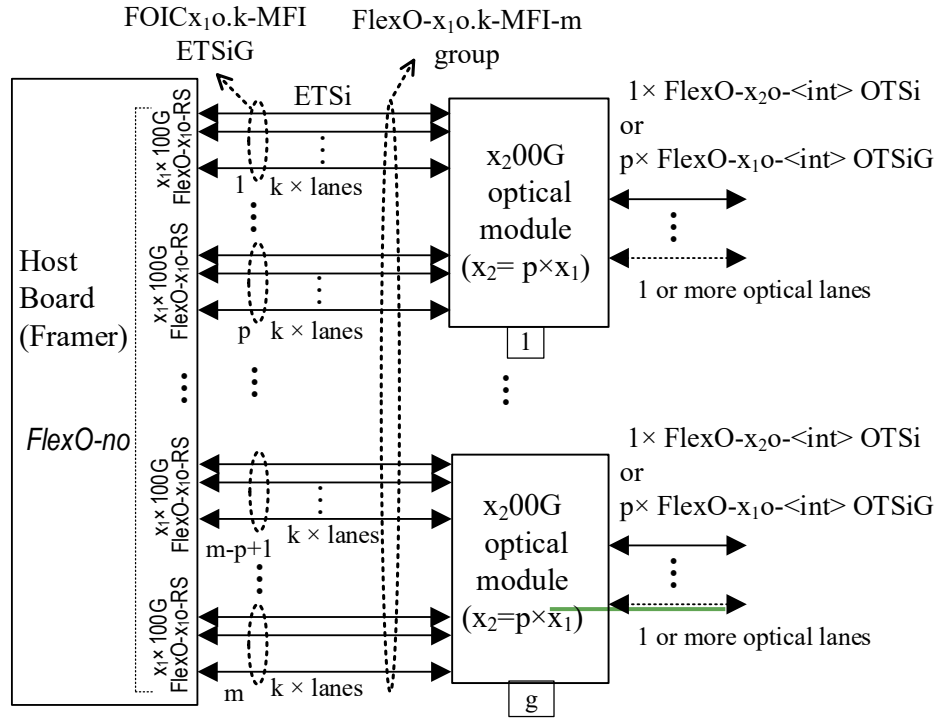
©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

[参考] High-level summary of G.709.7

- **Optical transport network module framer interfaces (MFI)**
  - 光モジュールホスト側におけるinteroperable electrical OTNインタフェース規定
  - FOICx.k-MFI formats定め、ここMFIを IFとして OTN signals (e.g., FlexO-n or FlexO Path) 転送の参照点に
  - MFIは **100G or 200G**電気レーンを基本
  - このIFで用いる電気パラメータは OIF-CEI implementation agreement (IA)で定める規定・テスト手法にも従う
  - Ethernet Pluggable の AUI相当であり、APN-TでいうところのHost interfaceに対応
- G.709.7で定義しているMFI
  - **FOIC1o.1-MFI and FOIC1e.1-MFI* interfaces**
  - **FOIC4o.4-MFI and FOIC4e.4-MFI* interfaces**
  - **FOIC2o.1-MFI interface**
  - **FOIC4o.2-MFI and FOIC4e.2-MFI interfaces**
  - **FOIC8o.4-MFI interface**
  - **FOIC16o.8-MFI interface**

*: moved from G.sup58
(G.sup58は50G以下電気レーンを対象に)

- **FOICxo.k-MFI framer to module example applications**



m FOICx1o.k-MFI interfaces each using k CEI-112G or CEI-224G lanes, carrying FlexO-no signal to g bonded [x2×100G] optical modules [g = m/p, x2 = p×x1 and x1×m ≥ n].
One or more optical lanes could be supported by each [x2×100G] optical module

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

Beyond 1.6T (e.g., 3.2T, 6.4T)は…? [個人的予測]

- **B1T関連 (これから3.2T以降)**
- いずれ、DC系ネットワークの特にScale upとしての需要は迫っている(はずだ)が、
- 標準化としての動き(例: 3.2T Ethernet, 3200ZRなど)は現時点では提案なし
  - G.709.5 (SR FlexO)でも、FlexO-16o-DSHの標準化はペンディングになっているが、これは800x2 (2DR4など)の方が現実的なためが理由
  - この流れは3.2Tでも継承されている可能性大
  - FlexO-32oは、3.2T Ethernet, 3200ZRの標準化が決まり、かつメトロなどでの明確なアプリケーションへの要求があってから作業
    - なので当面G.709.5, 6の3.2T対応は当面ないと考えていい
  - OIFで3200CLの可能性はあり？

https://techtimes.dexerials.jp/photonics/coherent-lite-pic/#16T32TCoherent_LitePIC
https://note.com/mahjong_lab/n/n598d8b16cb3b

- 実現に向けて必須となる技術要素
  - 電気レーン448G(x8)化の実現
  - 実装面
    - OSFP(-XD), QSFP-DDでの実現性
    - 特に消費電力・電気レーン収容
  - スイッチ側の技術(IF)の進化
    - 3.2T IFがこないことには実現困難
- 結局のところデバイス系(光電融合)
  - CPO/CPA
  - NPO (アリババがOIFで提案あり)
  - XPO, CPXなどのMSA動向にも注目

規格団体（MSA）	主なアプローチ
XPO MSA (Arista)	高密度プラガブル (抜き差し可能なモジュール型)
OCI MSA (NVIDIA/AMD等)	シリコン集積型 (光チップの半導体直結)
Open CPX MSA (Microsoft等)	CPO / NPO (光学エンジンのパッケージ統合)

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

その他(参考): ITU-TでのQKD or L1 securityとOTN事情

- ITU-T SG13(Q16)では、新規勧告“Y.QKDN-OTN-fr” という勧告草案検討開始
  - **Framework for integration of quantum key distribution network and optical transport network**
    - Y.QKDN-OTN-frはSG15でも議題に。SG13には連携を取ること前提に作業

- ITU-T SG15での L1Sec事情
  - G.sup76は発行済み “**Optical transport network security** “
    - ただし現在のOTNsec規定は　FlexOsec (Multiplexing section layer) のみ
  - QKDないしはPQCと伝送網(OTNなど)特化した議論は無し
  - FlexOsec (Path layer)充実化で、鍵配信プロトコルの検討の動きあり
    - IKEv2 based? MKA based?
  - G.sup76の拡張も含め再検討開始
    - 特定プロトコルには触れない方向

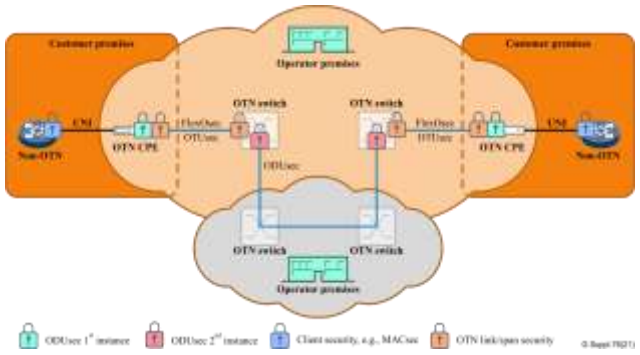
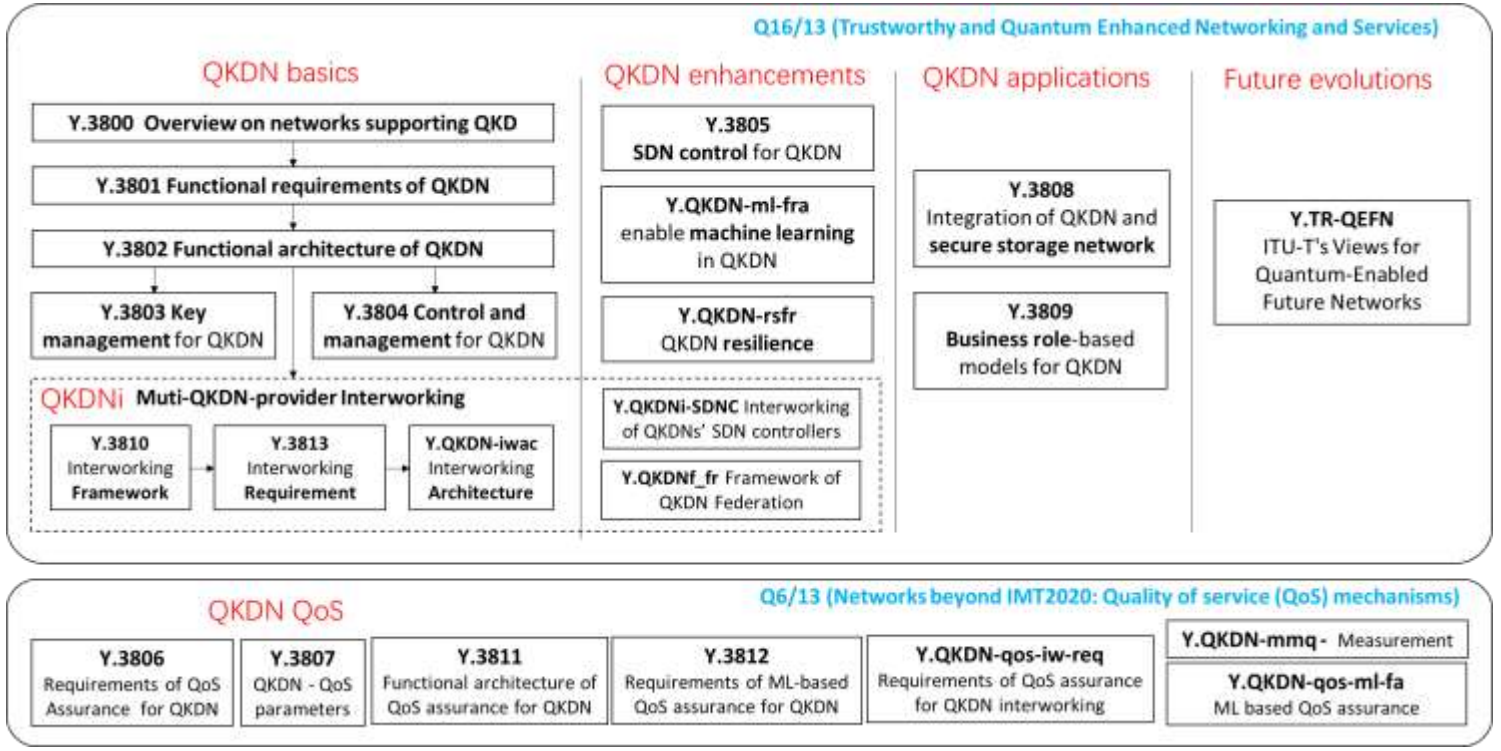


Figure 7-1 – Layered security example

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

その他(参考): QKD事情 (ITU-T SG13)

- SG13 の勧告体系
  - ITU-T Y Suppl. 74 (2023)



  - 現在進行中のWI (抜粋): Key word は TLS, QKDN interworking, QoS assurance
    - Y.QKDN-TLS (QDKN&TLS) Y.QKDN-qos-req-or (Orch w/QoS Assu), Y.QKDN-car-iw (Cryptographic appli regifor IW) , Y.QKDNi_ccm (IW - Concatenating model); Y.QKDNi_km (IW: Key mgmt)

- Use cases in Y.Suppl.80 (2023)
  - UCC1: QKD combined with other cryptographic primitives
  - UCC2: QKD integrated with various TCP/IP protocols
  - UCC3: QKD implemented in various network topologies
    - metropolitan access network, inter-city backbone network, **satellite network**
  - UCC4: QKD with different user device categories
  - UCC5: QKD integrated in various network forms
    - 5G, SDN/NFV-based, cloud computing, blockchain, TSN
  - UCC6: QKD applied in different vertical sectors
    - Smart factory, Social safety, Medical , Center…

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

1FINITY
a Fujitsu company

将来の光伝送網に向けた課題と考察

こんなプレスリリースご存じですか？



https://www.1finity.co.jp/newsroom/press-release/low-latency-energy-efficient-networks-ITU-T

- KDDI筆頭に弊社含む全7社連名で、低遅延・低消費電力ネットワーク(i.e., APN)に関する国際標準化(ITU-T Y.3335)達成したというPR
- ITU-T Y.3335 (ex Y.L2E2net-frm)
  - **Framework of low latency and energy efficient networks**
  - 勧告作成の主な沿革
    - **2024/7会合** ITU-T SG13勧告化作業承認
      - その後、約3か月ごとの本会合・中間会合を経て寄書提案を経て草案更新
      - 日本(Japan)として提出した寄書もあり
    - **2026/7会合**(6/23-7/2)でコンセント(合意🔨)
      - 8/13正式承認(→8/21本PR)
  - APNとPRしていますが、勧告内ではL2E2 networkと表現

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

ITU-T Y.3335 (ex Y.L2E2net-frm)一枚で話すと…

- 以下の勧告化 すなわち、
  - IOWN Global Forum “Functional Architecture for Multi-domain IOWN Networking” (link)
  - “APN共通基盤技術” (**光ネットワークフェデレーション技術**)国プロ成果 (link)

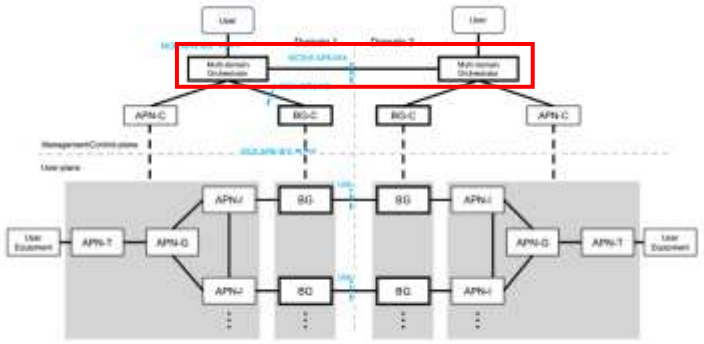
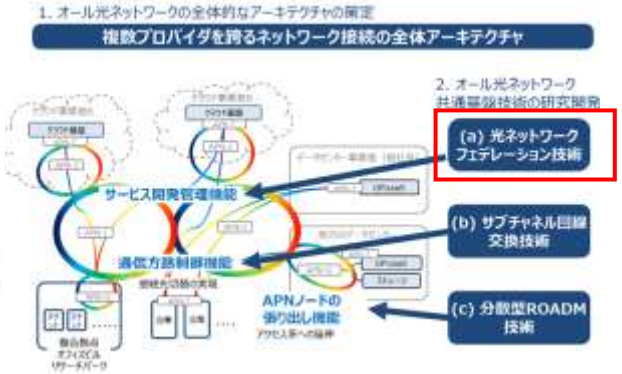
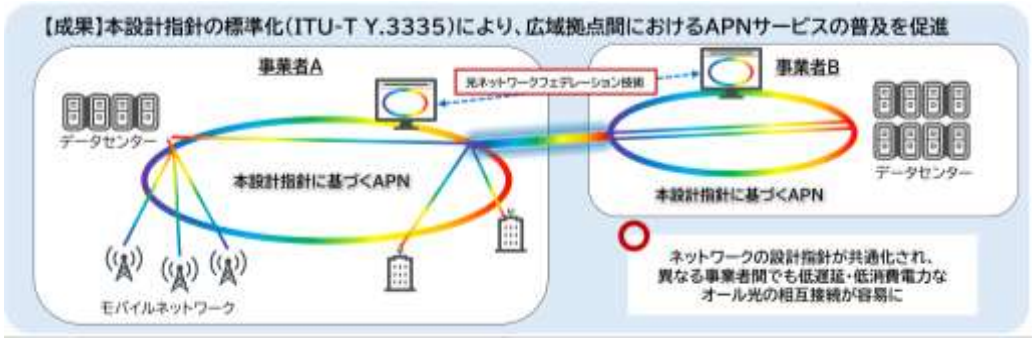


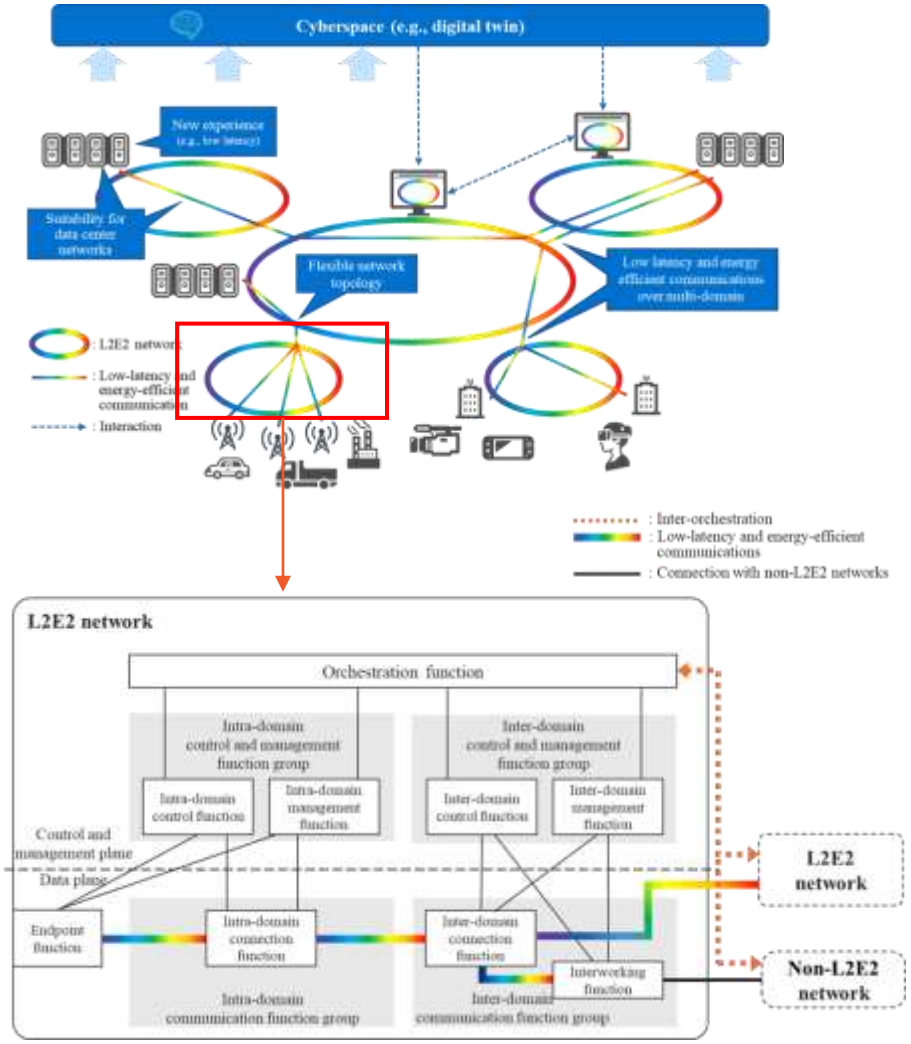
Figure 7: High-level Architecture for Multi-domain IOWN Networking



基金事業」委託研究「オール光ネットワーク共通基盤技術の研究開発」（JPJ012368C09001）



- Figure 1 and Figure2 in ITU-T Y.3335



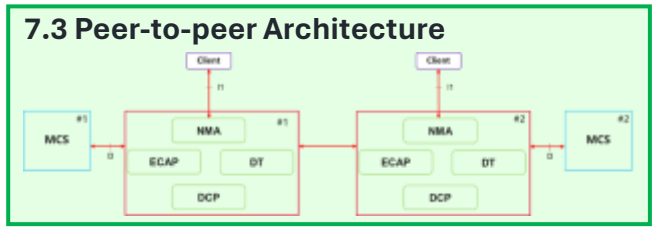
©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

Multi-domain/Inter-operation Networking 標準化近況

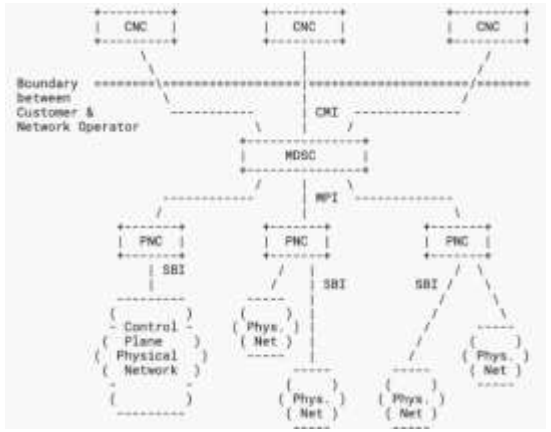
- Y.3335 以外にも以下の活動を進行中
- **ITU-T SG13 (Q22)**
  - Y.3335の続編となる**Y.L2E2net-arch**
    - **Functional architecture for low-latency and energy-efficient networks**
      - Figure2/Y.3335の細部の規定
- **ITU-T SG15 (Q12)**
  - Technical Report **GSTR.ENO**
    - Enhanced Network Operations for transport networks
      - 従来のM/C planeに対し拡張を目指し要求・フレームワークを定義。2026/7完成。引き続き、G.eno-archとして検討



NMA (Network Management Agent)
Enhanced capabilities (ECAP)
Digital twin (DT)
Data collection and processing (DCP)



- **IETF TEAS WG**
  - draft-miyatoch-teas-actn-inter-operator-extension
    - ACTN (RFC8453)におけるMDSCのPeer接続 (Federation)



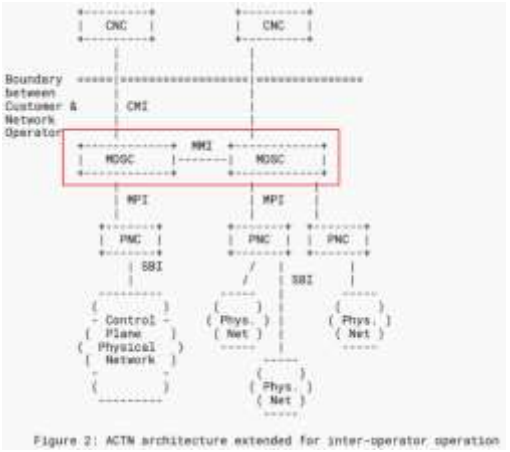


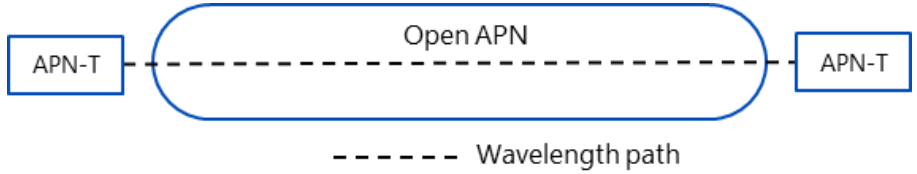
Figure 2: ACTN architecture extended for inter-operator operation

→ ということで、APN・OTNなど光伝送網での Multi-domain/Inter-operation Networking運用における個人的考察などをいくつか

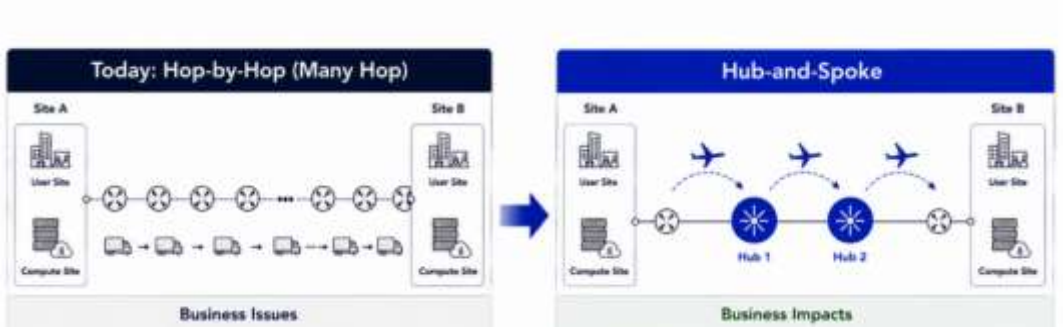
©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

IOWN GF APN 波長パスサービス再確認

- APN Wavelength Path Serviceとは
  - Open All-Photonic Network Functional Architecture

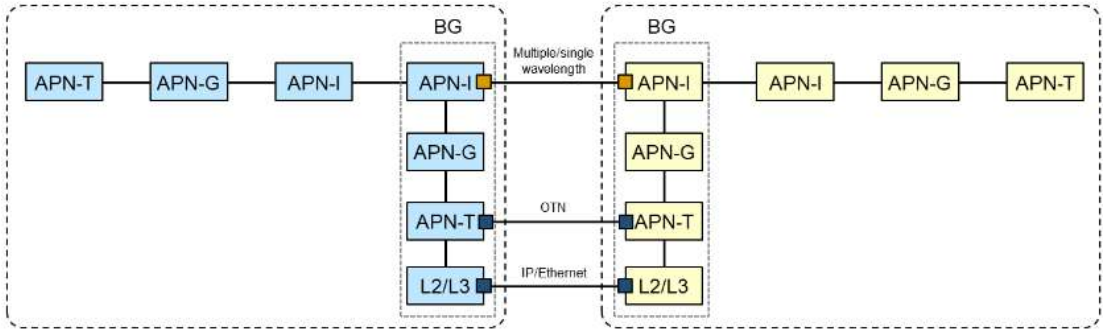


  - Optical transceiver (APN-T) 間定義される波長(帯域)サービス
    - ITU-T用語では、OChまたはsingleOTSi相当
    - ただしAPN-T終端点(Tx/Rx)が含まれないケースも波長パスサービスに含まれることもある
- ゆくゆくは、マルチドメインでの全光化を目指している(?)
  - Why Coherent Pluggables Transform Infrastructure for the AI Era



- ここからの個人的考察
  - **このAPN Wavelength Path Serviceを如何にしてにしてMulti Domain対応するか？**
  - 特に、境界(Border)をどう光(波長パス)として定義、提供できるのか？
  - *MDに拡張するにあたりAPN MD文書では、APN-BG電気終端しすることは書いてあるが、これについては検討の対象外とする*

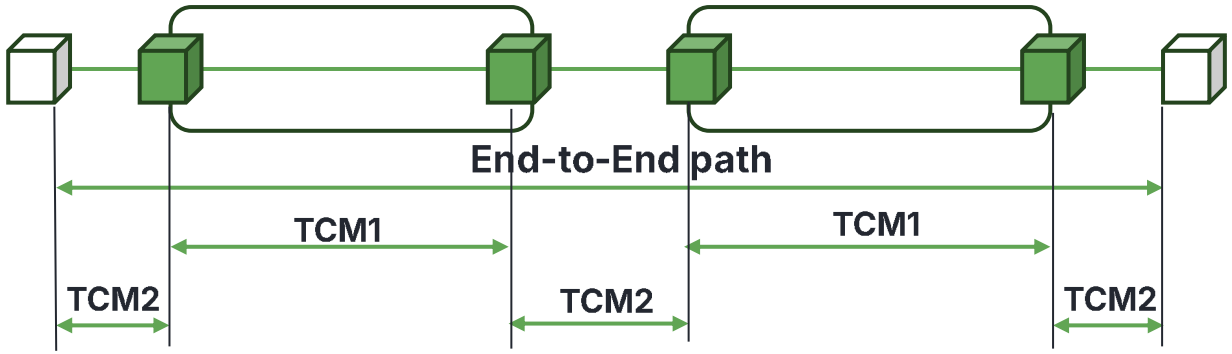
Example A-4



©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

APN波長パスをMDで提供するということは… (考察1)

- **トランスポート思想**では…
- OTNでも、Ethernet/MPLS-TPでも、TCM (tandem connection monotiling)によりEnd-to-End pathの設定・提供は可能

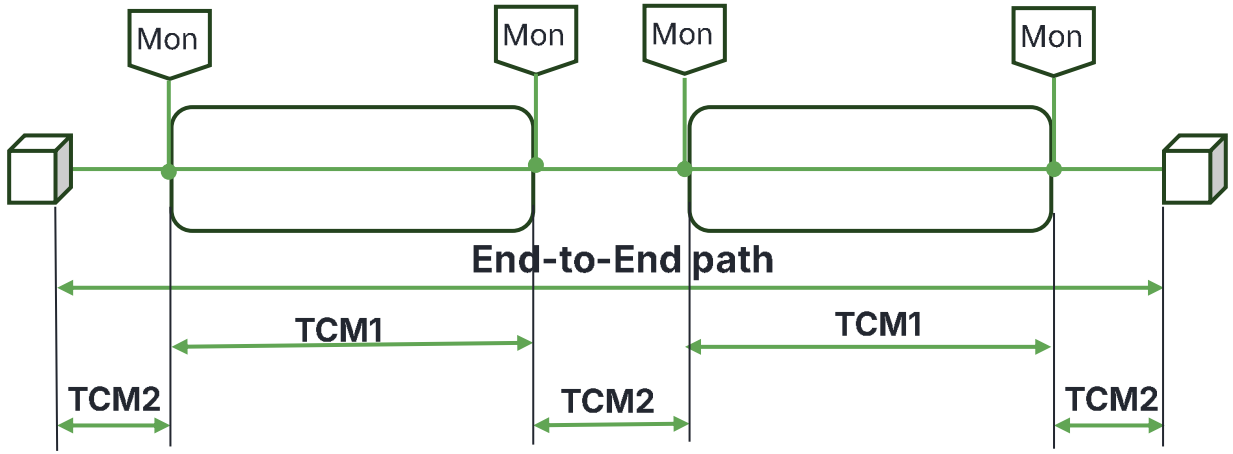


- 現時点の運用では、(少なくともOTNは)最適なTCM経路(TCM1)をそれぞれ設定し、Stitchingするという手法は、(やればできる*けど)確立されていない

  * 例えば光ネットワークフェデレーション技術の枠内で可能

- この思想(TCM)をAPN波長パスに適用するという意味は

  モニタのお化け…?



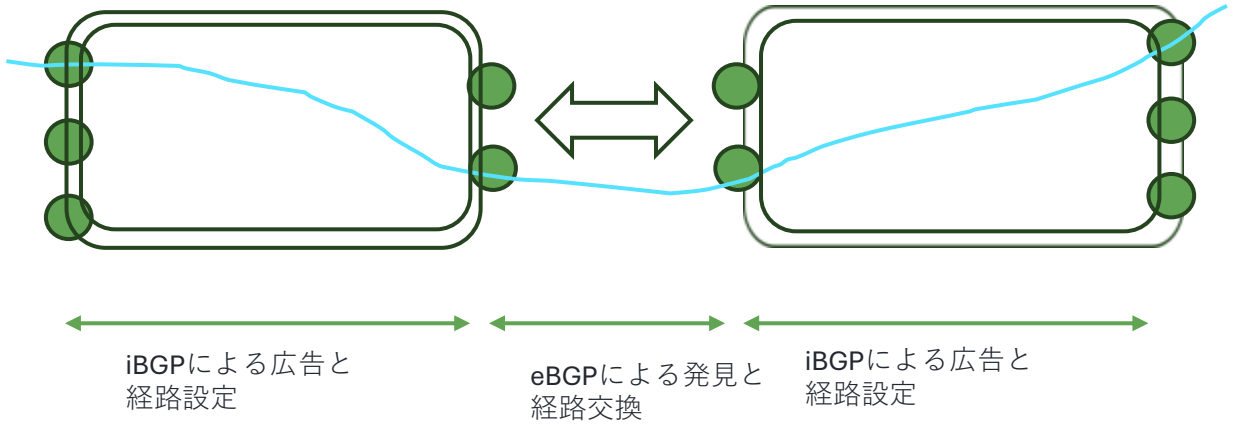
- 回避するには(例)
  - 各TCMで、光レベルダイヤ規定を行う?
  - Regeneratorは波長パスサービスに含める?
    - draft-ietf-ccamp-wdm-tunnel-yangはRegenもWDM tunnelとして含めています

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

APN波長パスをMDで提供するということは… (考察2)

- **IP/MPLS (SR) & BGPの世界では…**
  - Underlay - overlayの考えのもとサービスを提供
- アンダーレイ（トランスポート）：
  - IGP（IS-IS/OSPF）の拡張によってPrefix-SID（またはAdjacency-SID）配布
  - LDPやRSVP-TE (シグナリングプロトコル)を排除
- オーバーレイ（サービス）：
  - 従来のBGP/MPLS IP VPN (RFC 4364) やEVPNの仕組みをそのまま変更なしで利用
  - PEルータ間はMP-BGPでVPNラベル等を交換
- 分けたことのよるメリット
  - 中継ルータ（ASBRやCoreルータ）がシンプルに
  - エッジ（PEルータ）の設定変更だけで新しいサービスが生み出せる

- MDに拡張するには
  - iBGPによる発見・広告による経路設定
    - ドメイン(AS)内は、IGFによるアンダレイ
  - eBGPによる発見と経路交換
  - iBGP/eBGP連携によるend-to-endパス形成

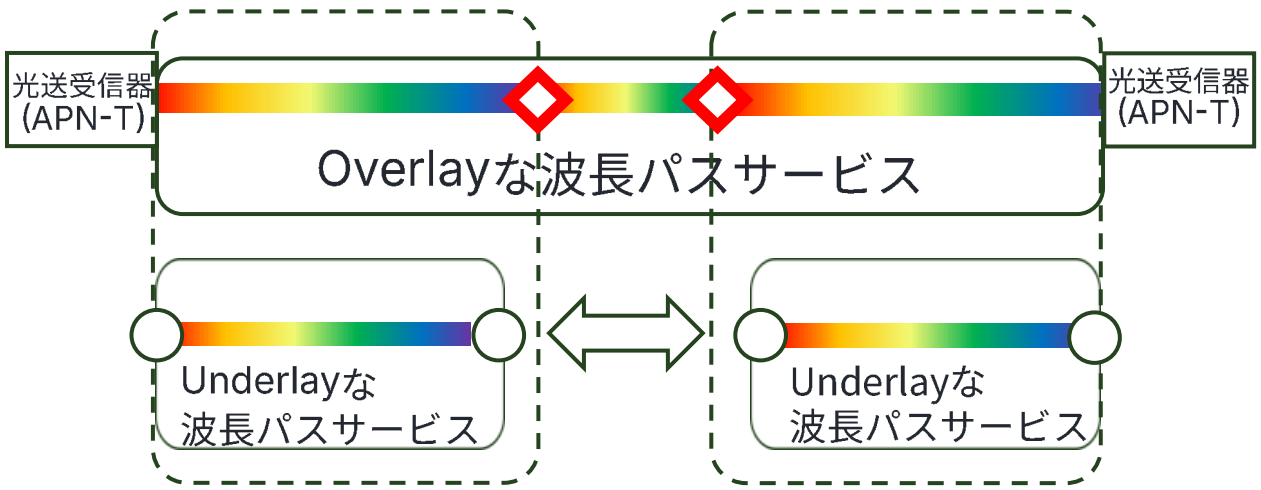


- よって、この発想(Overlay/Undarlay)をAPNを検討することが拡張性(MDでの提供)への第一歩?

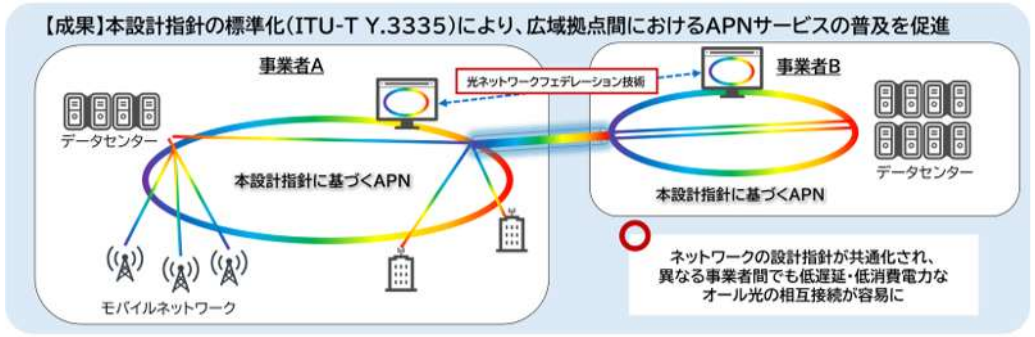
©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

APNにおけるOverlay/Underlayを考えるいうことは?

- 一例



  - 全体構成としては、光ネットワークフェデレーション技術が目指す一つ？



- 詳細
  - Overlayは、光送受信器が紐づけになるため、例えば、 draft-ietf-ccamp-dwdm-if-param-yangで定義されるパラメータでパス定義・設定可能
    - 実態は波長帯のみ＋QoE的ななにか
    - **境界点◇定義は課題。**事業者間合意で決める必要あり？
  - Underlayは、ファイバー情報・装置情報(位置情報・ポート番号)等、 Layer-1も盛り込んだトポロジー情報と最適経路を反映したリソース定義
    - 結果を仮想化しOverlayに貢献　特に境界点◇
- 注目すべき技術
  - 光ネットワークフェデレーション技術
  - AI/MLによる光伝送品質推定
  - ネットワークデジタルツイン(NDT)
    - 事前設計＞シミュレーション＞設定＞運用のライフルサイクル
- まだまだ検討は必要です！

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

1FINITY
a Fujitsu company

まとめ

まとめ

- B1T関連(主に1.6T)標準化動向として以下を紹介
  - IEEE P802.3aj, OIF (1600ZR/ZR+/CL) 近況
  - ITU-T B1T向けFlexO (メイン)
    - G.709.1, G.709.6など
  - 3.2T(以降)の動向
  - 付録：ITU-TでのL1Sec (QKD) 動向
- 将来の光伝送網に向けた課題と考察
  - 光伝送網でのMulti-domain/Inter-operation Networking運用
    - 最近の標準化活動
    - APN波長パスを提供する際の課題考察

全体通して伝えたかったこと

- **B1T(1.6T)標準化は2026年ほぼ完了**(したはず)
  - 光インタフェース規定はもう少し議論が続く
- 3.2T以降は、未定であるが、これまでと異なる考え方での検討等が必要かも
- APN展開(特にMulti-domain)については、ネットワークアーキテクチャからの考察さらに必要
  - 特に、見た目分かりやすいAPN波長パスをどうアーキテクチャ定義するか。例えば:
    - サービス(Overlay)としてのAPN
    - リソース(Underlay)としてのAPN
  - 定義が明確になれば、運用管理のこれまでの方式、およびAI/MLなどの最新技術で道は開ける…(かも)

©1Finity Inc. 2026 | 1Finity-Public

1FINITY
a Fujitsu company

Thanks ☺

