

MPLS Japan 2019

"「高速伝送」セッション"の巻 其の壱

OTN-WDM伝送最新動向

~B400Gに取り組む前に~

2019/10/15 栃尾 祐治(富士通)

本題に先立ち(発表の背景)

- B400Gというお題ですが、B400Gに関して、標準化(IEEE, ITU-T, OIFなど)では、まだ本格的に取り組まれていない状況です
- 例えば
 - Ethernet (IEEE802.3): 400Gの次は800Gだろうけど、それは2021年ごろ
 - https://ethernetalliance.org/the-2018-ethernet-roadmap/
 - OTN/WDM(ITU-T): ODUCn/OTUCn 導入でデジタルレイヤは無限にフレームフォーマットを検討始めたが、400Gを定義するWDM向けApplication code (G.698.2) はようやく検討始めたばかり
- そこで光ファイバー伝送の宿命である"広帯域"伝送の取り組みとしては、SDMという別次元の方向で検討も始まっていたりもする
- このような事例を高速伝送を検討する各標準団体では、比較的既存の枠組みでWDM、OTN、Ethernetで高速伝送技術を、様々な課題と向き合い実現しようと検討している
- そこでこれら高速伝送に向けて必要なことは、単にビットレートをあ げるだけでない別側面の要求(必要条件)もあることも注目したい

本日お話しすること

- 基本的には昨年の更新になります
- B100G伝送技術をとりまく最新標準化状況
 - IEEE
 - 現在の400GbEなどIEEE802.3の最新状況
 - OIF
 - 400ZR (, 800ZR) 最新動向
 - FlexE 最新動向
 - ITU-T
 - G.709関連最新動向 (400G FECの件も含む)
 - G.mtn関連
 - G.media (L0) 関連
- 考察
 - B400Gに向けて考えるべきこと
- まとめ

B100G伝送技術最新標準化状況 (IEEE, OIF, ITU-T)

IEEE802.3 100/200/400GbE関連

100G以上に関わる主なTask force

- IEEE 802.3bs → IEEE802.3-2018 (すでにMPLS Japan 2017で紹介済)
 - 参考までに100G Lambda MSAが400GbE-DR4/FR4向けに規格進行中 さらに800G MSA (QSFP-DD800 MSA) も最近発足した(らしい)
- **P802.3ck**: 100 Gb/s per Lane Electrical Task Force
- P802.3cm: Next generation 400 Gb/s MMF PHYs
 - 400GBASE-SR8, 400GBASE-SR4.2 (100m, 50G(PAM4)x 8)
- **P802.3cn:** 50 Gb/s, 200 Gb/s, and 400 Gb/s Ethernet over Single-Mode Fiber Task Force
 - 400G の場合: 400GBASE-ER8 (40km, 50G(PAM4) x 8)
- P802.3ct: 100 Gb/s and 400 Gb/s Ethernet over DWDM systems
- P802.3cw: 100 Gb/s and 400 Gb/s Ethernet over DWDM systems
 - 802.3ct で開始したが、9月会合でプロジェクト分離
 - 400Gの場合: 400GBASE-ZR (80km, Single carrier)
- 800GbE とかの動きは公式にはまだ、おそらく過去の経験で2021ごろ?
 - Ethernet Alliance Roadmap
 - https://ethernetalliance.org/the-2018-ethernet-roadmap/

IEEE802.3 100/200/400GbE関連

- ここに来ての一つの特徴: FEC関連規定が不可避
 - 100GBASE-Rの場合
 - NRZ (or 802.3ba) 100GBASE-R はFECなし
 - PAM4 or (50G/100G lane)100GBASE-R は RS (544,514) FEC (clause 91)

100GBASE-KR2

100GBASE-CR2

100GBASE-SR2

100GBASE-DR

- これに連動して50GBASE-R も RS (544,514) FEC (clause 134)
- 25G lane ベースの100GBASE-R は、RS(528, 514) FEC (clause 91)

100GBASE-SR4

100GBASE-CR4

100GBASE-KR4

- 200G/400GBASE-R (802.3bs) は RS(544,514) FEC (clause 119)
 - PCSに組み込まれる形で記載
- これらのことが、P802.3ctでのFEC規定や後述するG.mtnにも大きく影響
 - 特にEthernetでのBER規定として定着しているMean Time To False Packet Accept (MTTFPA)に絡めた議論もいくつか起こっている
 - http://www.ieee802.org/3/ae/public/mar00/walker 1 0300.pdf
 - http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ct/public/19 05/anslow 3ct 01 0519.pdf

OIF - 400G 関連



■ 以下、一言でまとめると400G伝送に向けた相互接続規定の策定



- Technology Options for 400G Implementation (Jul 2015)
 - http://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-Tech-Options-400G-01.0.pdf
- Flex Coherent DWDM TransmissionFramework Document (Aug 2016)
 - http://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-FD-FLEXCOH-DWDM-01.0.pdf

Nominal Channel Bandwidth (GHz)*		37.5	50	62.5	75
Net Bit Rate (Gb/s)	DP-QPSK	100		200	200
	DP-8QAM		200		
	DP-16QAM	200			400
	DP-32QAM			400	
	DP-64QAM		400		

^{*} ITU-T G.694.1 compliant; however, finer granularities such as a half (6.25 GHz) or even a fourth (3.125 GHz) of the current slot width granularity may be required for higher and more flexible spectrum utilization, which are technically feasible and are being considered for standardization by the ITU-T.

Operational Mode	Modulation Format	(Aggregate) Channel Bandwidth	Number of Carrier	Application Scenario		
				LH	Metro	DCI
1	DP-QPSK	150 GHz	2	•		
2	DP-QPSK	125 GHz	2	•	•	
3	DP-8QAM	100 GHz	2	•	•	
4	DP-16QAM	75 GHz	2		•	
5	DP-16QAM	75 GHz	1		•	•
6	DP-32QAM	62.5 GHz	1		•	•
7	DP-64QAM	50 GHz	1			•

Table 3: Available Operational Modes for 400G Sample Applications

Table 2: Recommended Flex Coherent Modulation Functionality per Optical Carrier

■ Implementation Agreement 400ZR (On-going)

- 400G向けDigital Coherent interfaceならびに、DSP/FECアルゴリズム規定
- Target: single channel ZR & (amplified) short-reach DWDM applications up to 120 km, <15W



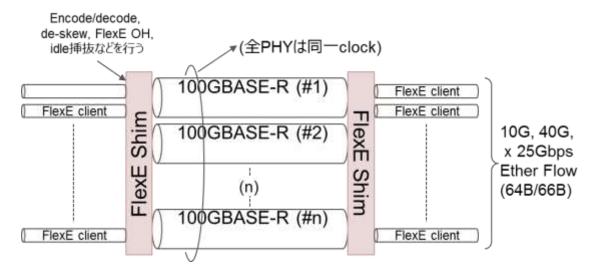
oif2017.245.03.pdf

OIF 400G/800G関連

- 400ZRは粛々と文書更新中
 - 完成(IA発行)は2020 1Qを予定
- 参考情報: 400ZRの完成が近いということで、800ZR相当の検討を始めようという寄書が出始める
 - 参考: oif2019.160.03から (投影のみ: web版は割愛)

OIF – Flex Ethernet(FlexE)

- OIFで規定したIA (合意文書)
- 10, 25n, 40 Gbps のイーサネットクライアントを100Gなどの Etherner PHY n本 にて 64B/66B のまま多重して伝送する方式



- 現在はVersion 2.1を発行
 - https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-FLEXE02.1.pdf
 - Version 1(MPLS Japan 2017)からの大きな更新点は、Ethernet PHY group に 200/400G, さらに50Gを追加したこと
 - このFlexEについては、後ほど形を変えて再登場予定

ITU-T最新動向

紹介項目

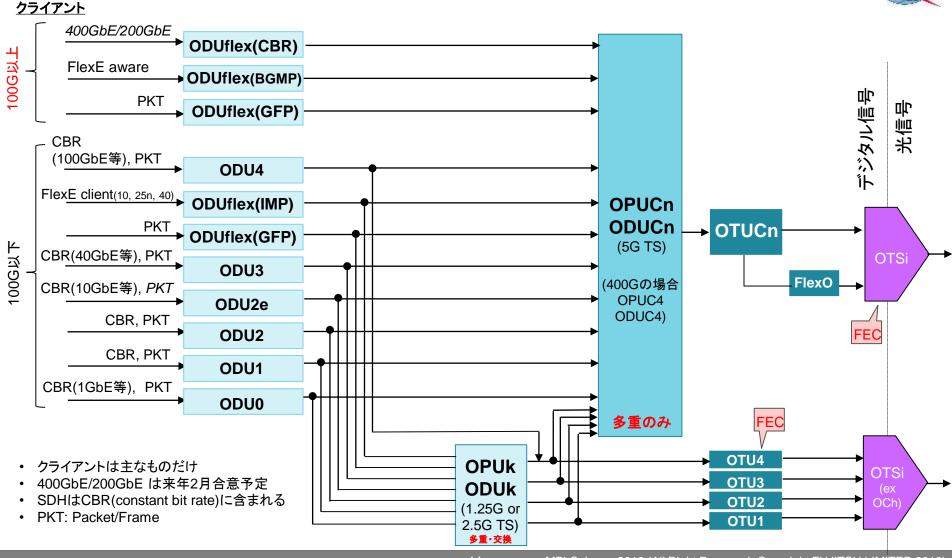
- 400G 向けFEC(G.709.3)最新動向
- 25G/50G 向けOTN
 - G.709.25-50: 25G and 50G OTN interfaces
- G.mtn 関連
 - Interfaces for a metro transport network
- Media (L0)関連
 - G.872, G.807, G.876

ITU-T (G.709) OTN階梯

G.709: Interfaces for the optical transport network

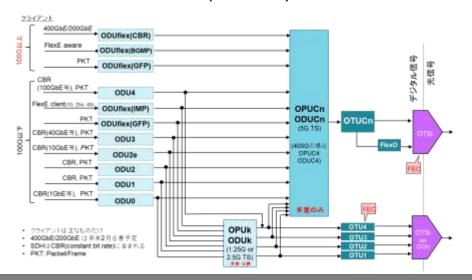
■ G.709 (2016) 承認につき、100G以上の多重改訂を提供、400GbEにも対応





これから紹介するITU-T勧告概要

- **G.709**
 - Interfaces for the optical transport network
- G.709.1
 - Flexible OTN short-reach interfaces
- G.709.2
 - OTU4 long-reach interface
- G.709.3
 - Flexible OTN long-reach interfaces
- G.709多重階梯 (再掲載)

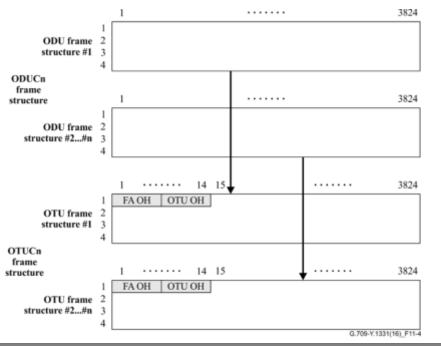


■ G.709フレーム構成

■ OTUk Frame (100G以下)



OTUCn (B100G)



G.709.3(FlexO-LR) 向け200G/400G FEC

■ 前回報告事項

- G.709.3(FlexO-LR) 向け200G/400G FECとして、80km 向けアプリケーション前提に、OIF 400ZRで採択した CFEC を採択し、Amd1 として合意(発行済)
 - https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709.3/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.709.3-201811-I!Amd1
- 450km 向けに対しては、CFEC では不十分であるため継続議論
- 今回(最新動向)
 - 以下の3種類(正確には4種)のFECを候補に比較検討
 - CFEC+: CFECのデコーダー改良版
 - OFEC: OpenRODAM 向けに定義されたFEC https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/141/b6c/OpenROADM_MSA3.01-W-Port-Digital-Specification.docx
 - TPC(Turbo Product Code): IPR上フリー担保のFEC (C社、H社提案)
 - それぞれのコードをITU-T内で公開し、公平にシミュレーションできるようにした上で比較検討を実施。電話会議なども複数会開催
 - ただし、前回本会合(2019年7月)でも結論出ず
 - 次回本会合(2020年2月)で結論出る見込み

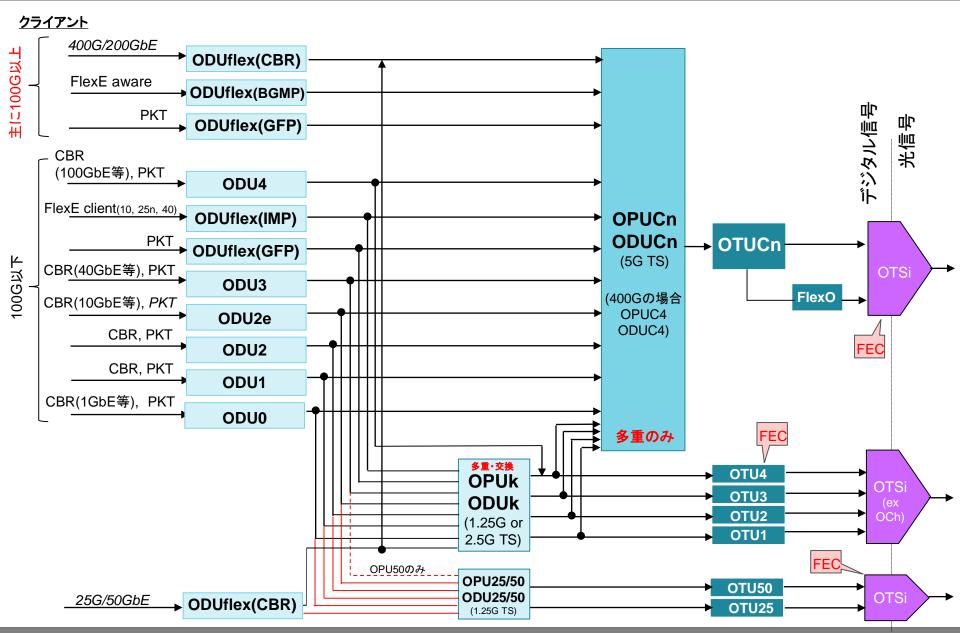
25G and 50G OTN interfaces

- 前回報告事項
 - G.709.25-50 25G and 50G OTN interfacesの着手に合意
 - 25G/50Gイーサネットの普及による安価な光コンポーネントのへの期待、が モチベーションの一つ
- 今回報告事項 (※現在進行中の内容含みます)
 - 以下の角度から検討
 - 25G/50G Ethernet モジュールの流用 (O-band)
 - 25G/50G Ethernet のODUクライアントの必要性とOTNとしてのビットレート
 - 現時点の合意(以下25Gだけで記す、50Gも同様):
 - フルレートサポート(PCSマッピング)を前提にしたOTU25-RS FEC (KP4) を定義

26.409711013 Gbit/s (514/544 × 41118/41120 x 255/227 × 24.8832 Gbit/s)

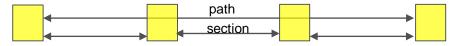
- 一方、イーサネットモジュール互換のOTU25も定義、これはunderclockを取ってOTU25u (25.096826374 Gb/s)として扱うことで合意
- フレーミングは、G.709で扱い、FECだけをG.709.4として定義
- 今後は、コレスポンデンス活動を通じて詳細を詰める予定
 - 参考:WDMを扱うQ6/SG15でもで25G(OTU25)伝送のアプリケーションコードを検討合意

ODU/OTU25, ODU/OTU50導入後の多重階梯(予測)

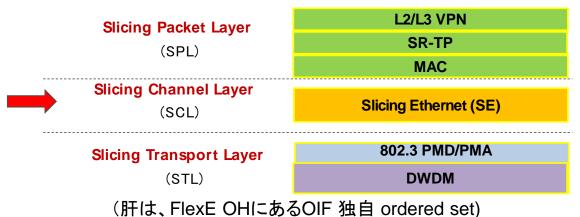


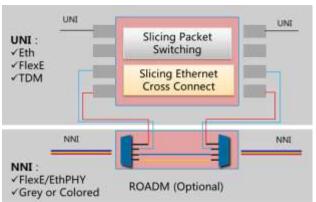
G.mtnとは

- **G.mtn:** Interfaces for a metro transport network
 - Scope: D-RAN and C-RAN向け伝送を想定し、50GBASE-R, 100GBASE-R, 200GBASE-R, 400GBASE-R をベースにした、Path/Section layerを規定
 - China mobile が進めてきた SPN (Slicing Packet Network) の具体化で、SCL をより具体的に決めようとするもの
 - 一見、OIFのFlexEのキャリアグレードへの導入にも見えるが、その後の議論で Section (Link) だけでなく Path(end-to-end) レイヤも対象



FlexE がなくても定義可能な Section OAM, Path OAM を定義ということが明確になり、IEEE802.3 へのインパクトがより明確に

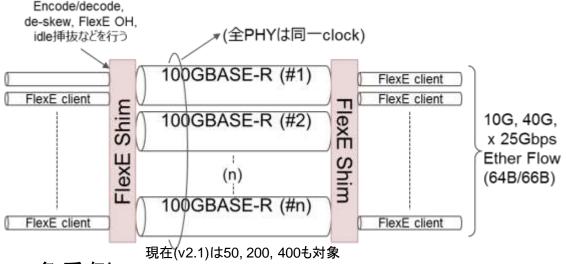




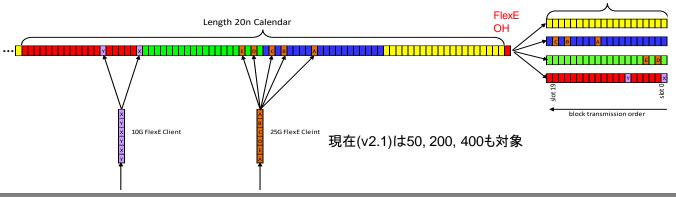
https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20171016/Documents/2.%20Han%20Li.pdf

OIF – Flex Ethernet(FlexE)

- OIFで規定したIA(合意文書)。10, 25n, 40 Gbps のイーサネットクライアントを 100Gなどの Ethernert PHY x n に64B/66B のまま多重して伝送する方式
 - https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-FLEXE02.1.pdf



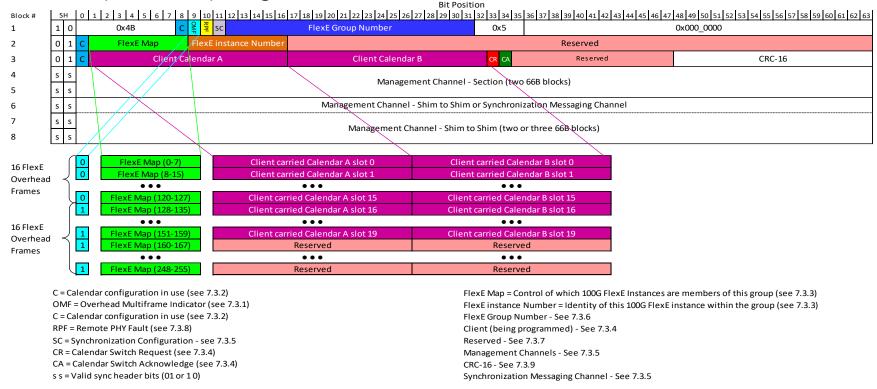
- クライアントの多重例
 - Code での処理。(64B/66B)5G単位のカレンダースロットにマッピングのち20レーンに展開



Length 20 Sub-calendars

参考: OIF - Flex Ethernet(FlexE)

- FlexE Overhead (100GbE)
 - PCS(64B/66B); Flgure82-5/IEEE802.3準拠での表記



■ 0x5 のみ FlexE 独自規定 (IEEE 802.3-2018 Table 82–1にも説明あり)

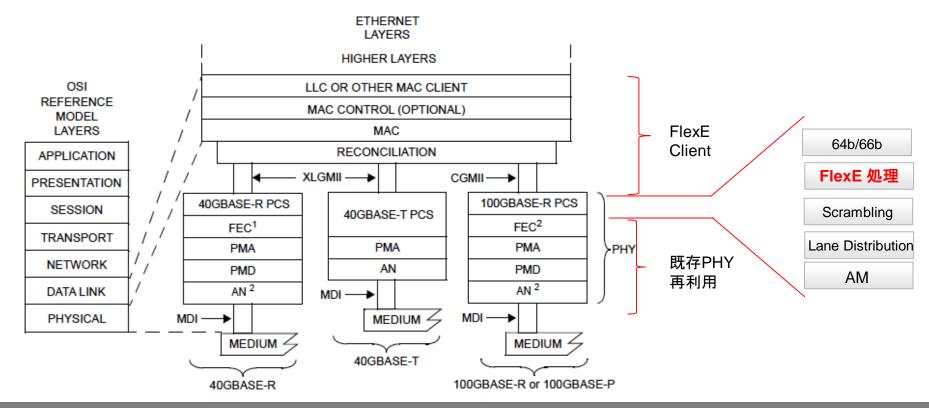


Figure 23: Encoding of Ordered Set block for FlexE overhead

参考: OIF - Flex Ethernet (FlexE)

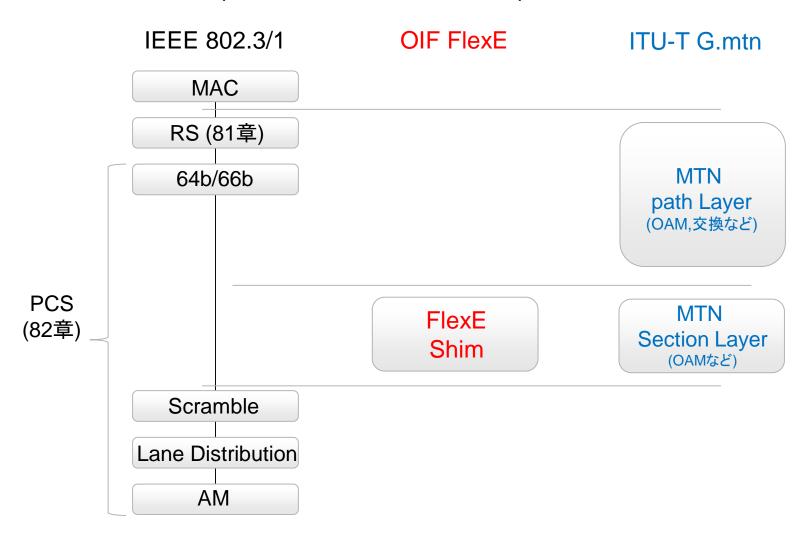
■ OIF FlexE - 5.2 Relationship to IEEE 802.3 Stack から

- The FlexE Shim can be envisioned as being in the middle of the PCS in the 50GBASE-R stack as illustrated in [802.3cd] Figure 131-1, the 100GBASE-R stack as illustrated in [802.3] Figure 80-1, ...
- Each FlexE Client has its own separate MAC, Reconciliation Sublayer, and xMII above the FlexE Shim which operate at the FlexE Client rate. The layers below the PCS (e.g., 100GBASE-R PMA, optional FEC, PMD) are used intact as specified for Ethernet.



G.mtn

■ レイヤー定義 (FlexEとの関係も含む)



G.mtnシリーズの進展

- その後の中間会合を経て、今年7月の本会合でこれだけの勧告草 案作成が承認された。
 - G.mtn-arch: アーキテクチャ勧告(Q12)
 - OTNでいうところのG.872に該当
 - G.mtn-eqpt: 装置処理勧告(Q11)
 - OTNでいうところのG.798に該当
 - G.mtn-prot: プロテクション勧告(Q11)
 - 現時点ではリニアプロテクションだけで、OTNでいうところの G.873.1 に該当
 - G.mtn-mgmt: 管理要求ならびに情報モデル勧告(Q14)
 - OTNでいうところのG.874 + G.875に該当
- G.mtnの課題
 - 課題リストで管理しているがまだ多数
 - クロックドメイン、警報転送、エラー、OAMなど
 - 次スライドでは OAMだけ紹介

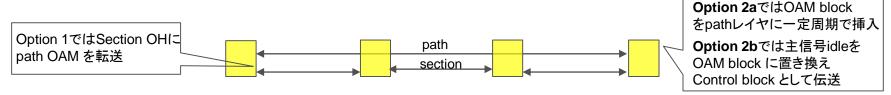
G.mtn 主な進捗または課題

Section OAM

- Section OAM(SOH)とは、FlexEでいうFlexE OH (Overhead)に相当
- FlexEの前例があるためSOHの定義には大きな異議はない一方、互換性 (FlexEと要区別)するため以下の方式を検討中。(今後、継続)
 - FlexE Overhead の Reserved をMTN SOHとして独自定義する
 - FlexE OH を使いつつも Second stage multiframeを定義し、FlexE OHと区別
 - FlexE Overheadそのものを拡張。MTN特有のOHフィールド拡張定義し、全体としてMTN SOHとする

■ Path OAM と IEEE clause 82 章との整合性

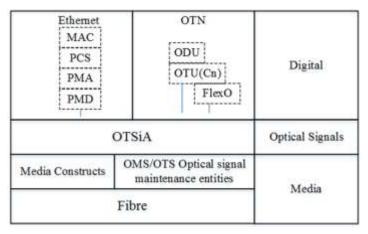
- Path OAM (Path OH)をどう挿入/抽出するかというか、これが大きな課題
 - **Option 1**: Path layer OH機能をSection layerフレームで伝送 (Path Layer OAM はoutof bandで転送、さしずめODU OHをOTU OHに実装するもの)
 - Option 2a: OAM向けO control blockを一定周期で定義しOAM提供(idle 置き換え無し)
 - Option 2b: OAM向けO control blockをidle replacementなどで、on-demandに提供

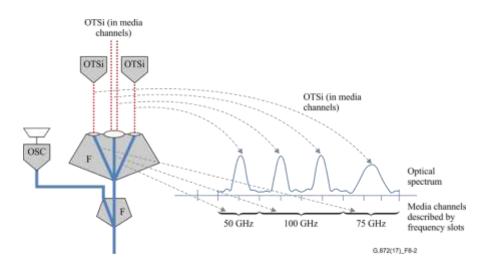


■ China Mobile + 中国ベンダは、Option 2b を主張し、同時にこれでIEEE clause 82 章との整合性が取れていると主張がしているが継続検討。。。

G.807, G.876 (G.media, G.media-mgnt) とは

- G.807 (G.media) [Q12]
 - Architecture of Optical Media (作業承認時のタイトル)
 - そもそもは、G.872で記載の OTSi (電気信号与光信号)以下を独立させた新勧告草案
 - ファイバー、カプラー、アンプなどが対象になる、いわゆるL0レイヤの勧告

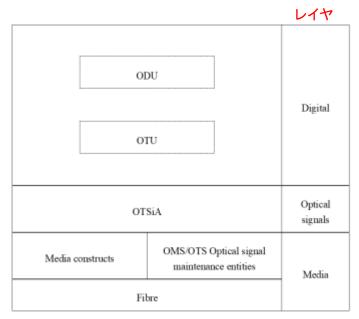


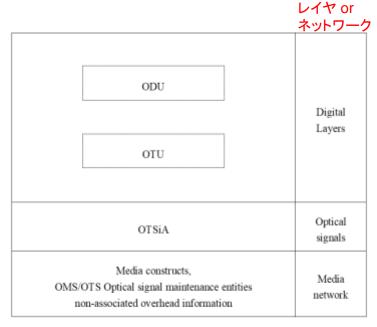


- G.876 (G.media-mgmt) [Q14]
 - Management Requirement and Information Model for Media
 - 上記の管理要求ならびに、information model 規定
 - Physical Media相当の information model は ONF TR-512 から移植する方向かも
- 今回の会合ではG.807(新規)とG.872(改訂)をコンセント
 - ただし Last Call (AAP) でコメント多数で承認までは至らず、現在調整中
 - 今回は、Media or OTSi が如何に厄介かということだけを理解していただければ幸いです ♡

G.807 & G.872 の主な更新

- Mediaレイヤという定義の事実上の放棄
 - Media Networkの中にOMS/OTS信号管理だけが定義されたこと
 - OTSiAがMediaでもなければDigital layerでもない、Optical signalとして独立に定義
 - OTSiA が宙ぶらりんに...
 - Figure6-1/G.872から (コンセント前/後)





- G.807 もタイトルが変更
 - Architecture of Optical Media → Generic functional architecture of the optical media network

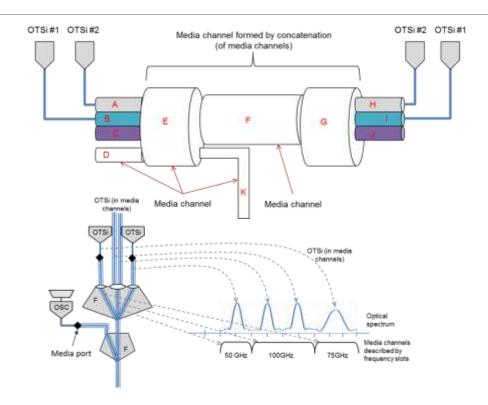
G.807: Media channel と OTSi

Media channel

- Topological construct that represents both the path through the media and the resource (frequency slot) that it occupies
 - ここには、波長幅の概念はあっても 中心波長の概念は明示していない
 - 明示するのは G.694.1 の仕事
- may be a serial concatenation of multiple media channels
 - A+E+F+G+Hなど

Network media channel (NMC)

- type of media channel that is the serial concatenation of all media channels between an OTSi modulator and an OTSi demodulator
 - Single carrier のケースもあれば Multiple carrier のケースもある
- also has an application identifier



NMC application identifier:

- effective slot width and transfer parameters
 - transfer parameters: optical noise; non linear impairments; latency
- Application Code はその一部
- used to confirm the compatibility between the network media channel and the OTSi that it is intended to carry.

G.807 (& G.872) の主な更新(参考)

OTSi (OTSiA, OTSiG含む)の定義については、なかなか会得しがたいものであるが、その中で主にIETF CCAMP関連者連名で興味深い寄書が出てきた。digital information stream

- 主旨はG.959.1記載のOTSiの定義から"a group of modulated optical carriers or subcarriers."を削除し、シングルキャリアだけと定義すべき
 - Optical signal that is placed within a network media channel for transport across the optical network.
 This may consists of a single modulated optical carrier or a group of modulated optical carriers or subcarriers.
- IETF WSON YANG(draft-ietf-ccamp-optical-impairment-topology-yang-01)と整合を取ろうというもの
- この提案は、結局受け入れらなかったが、より明確にするため、G.807最新内容付して、 IETFにOTSi に関してのリエゾンを送ることになった(https://datatracker.ietf.org/liaison/1649/)
- この議論から明確になったこと(あくまで私見です)
 - IETF観点というかOTSi制御 or YANGの観点では、当然中心波長などの波長情報や Modulation情報が不可欠であるが、
 - 実際 [[IETF WSON YANG]2.3.1 章はそこまで言及している
 - ITU-Tで定める**OTSiには厳密にはそこまで定義しない**、単なるOptical signalとして扱う、という ギャップが存在するということ
 - 言い方変えると波長情報やModulation情報を含め、visibleとして扱う<u>IETF OTSi</u>と、 波長情報やModulation情報は、管理属性として扱い、signalとして独立と扱うITU OTSi

課題と考察

B400Gを考えるということは...

- 正攻法ではこんな感じのこと > IEEE p802.3ct の場合
 - http://www.ieee802.org/3/cn/public/18_11/stassar_3cn_02a_1118.pdf

High Level Decisions

- What is the reference model for the link?
 - Purely 80 km? Is it using the same model as in OIF for 400ZR?
 - Loss assumption? 0.25 dB/km? Amplified and unamplified?
- Number of channels and spacing?
 - 40 Channels? 75 GHz or 100GHz or both?
 - C-band, L-band or both?
- What is the modulation format?
 - DP-DQPSK for 100G? DP-16QAM for 400G?
- What are the frame assumptions?
 - 400G Same as OIF? 400ZR frame, GMP, CFEC, 20ppm?
 - 100G Similar choices to 400G? FEC?
- Then before being able to take decisions on OSNR values, we need to agree on a metric to specify the quality of the transmitter.

その他、Baud Rate はいくつとか、フォームファクターはどうするとか。。。

B400Gを考えるということは...(主にL1)

主にL1(FEC以上)として考えるべき項目

- 既存OTN(OTUCn)の課題
 - この先主流はODUflex into ODUCn
 - このまま、5G(Gigabit) base の TS の拡張でいいのか
 - 800GbEがクライアントにくる時代、160 TS を要する。100 > は過去事例無
 - またOTUCn (100Gベース) or 倍ベースでOTUを拡張していいのかというのも要考慮
 - 世の中には、OTUCn-M という250Gなども伝送できるものも存在 (G.709 Appendix XIII)
 - 600G/800G それぞれあると位置付ける展開するWhitepaperも
- クライアントの多重(パケット/Ethernet の ODU mapping)
 - 400GbE時代のODUマッピングの主流はEthernet PCS による BMPへ

Bit-synchronous Mapping Procedure

BMP:

■ ただ、FlexE aware ODUマッピングや IMP も存在する。どう使い分けるか

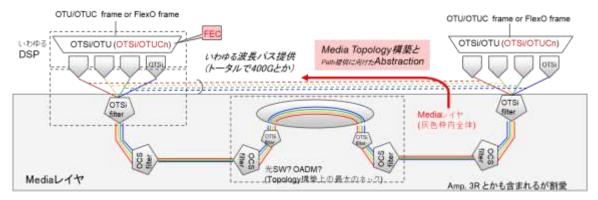
IMP: Idle Mapping Procedure

- そして、これまでの主流だったGFP-F(ITU-T G.7041)は今後どうするか
- クライアントの多重
 - FlexO? FlexE? G.mtn?
 - これまでもInverse multiplexありましたよね...(G.7042とか)
- **■** FEC選定
 - FEC Burst Tolerance など。エラー特性規定も含めた評価手法も今後の課題

B400Gを考えるということは...(主にLO)

主にLO(WDM)として考えるべき項目=波長リソース

- G.media(G.807)が始まったころから伝えてきたことで、<u>波長パスを張る</u>ためのモデル・アーキテクチャ定義することがこの先のOTN/WDMでは重要ということ
- 大容量の伝送をするには、OTSi レベルのマネージが必要



- その中で、キーになるもの
 - OTSi まわりのモデル化 (YAMG化など)
 - OTSi(G)間で定義される波長パス管理 → G.807定義のNMCの表現
 - 波長リソースの効率性と取得性向上 → G.807定義のMCの表現
- G.807では、例えばMC/NMCは波長に関してNeutralであり、どう波長をリソース 管理にvisibleに扱うのか、勧告と乖離のないモデル化が求められる
 - 参考までに、G.876(Media管理←当方co-editor)では、リソース管理の項目が、FCAPSに加え要求として記載される予定

まとめ

まとめ

- OTN・WDM動向として、昨年の報告を更新する形で、ITU-T SG15, IEEE, OIFでの最近の活動と考察について紹介
- B100G伝送技術をとりまく最新標準化
 - IEEE802.3最新動向
 - OIF最新動向
 - FlexE
 - OIF
 - ITU-T OTN 最新動向
 - G.709シリーズ
 - G.mtn 関連
 - G.media/G.media-mgmt 進捗
- 今後(i.e. B400G)に向けての考察
 - 主要なキーワード(実は、2017/2018年発表と同じですが...):
 - イーサネットとOTNとの連携 (まだまだ続く☺)
 - ・ 波長リソース管理
 - (クライアント)『多重』

ありがとうございました