

# MPLS Japan 2022 (Optical セッション) **B400G最新動向**

2022/11/1

梶尾 祐治 (富士通)



- 前回(2019年)、B400G動向としてお話したことの更新になります
  - [https://mpls.jp/2019/presentations/MPLS Japan 2019 tochio web-1.pdf](https://mpls.jp/2019/presentations/MPLS_Japan_2019_tochio_web-1.pdf)
- 2019年では、各標準化団体の動向を中心にB100Gに関わる動向を振り返り、B400Gの課題について紹介しましたが、ここ3年経って、400Gに関する標準化・開発が本格化するようになりました
- 本発表では、400G動向を再確認し、B400G, 特に 800G をめぐる動向について、紹介するとともにどこに課題がある(どこが課題になる)かを紹介・共有したいと思います

- 現在の400G光伝送の世界
  - IEEE802.3
  - OIF 400ZR
  - OpenZR+
  - ITU-T
- B400G光伝送(特に800G)の動向
  - IEEE802.3
  - OIF 800ZR/LR
  - ITU-T work (FlexO & B400G検討)
  - *800G MSA*
- 考察・まとめ

# 現在の400G光伝送の世界

## ● IEEE802.3

- IEEE802.3において、主要な400Gイーサネットの規格は標準化完了
  - IEEE802.3-2022として発行済み
- 現在継続中の(光伝送による) 400Gイーサネットは
  - P802.3cwならびに、
  - 800GE/1.6TEも視野にTask force化されたP802.3df, P802.3djのサブセット定義
- P802.3cw
  - **Physical Layers and Management Parameters for 400 Gb/s Operation over DWDM (dense wavelength division multiplexing) systems**
    - **ターゲット : 80km**
- P802.3df, djは後述

## ● OIF 400ZR

- [https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-400ZR-01.0\\_reduced2.pdf](https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-400ZR-01.0_reduced2.pdf)
- DCI接続・ルータ間接続など目的に400Gイーサネット信号以下の形態で伝送することを定義した400G インタフェース (いわば 400GbEのWDM接続技術)
  - 120 km or less, amplified, point-to-point, DWDM noise limited link (左)
  - Unamplified, single wavelength, loss limited link (右)



- 光(WDM)IFでは、FlexO-4 (400G Flex-O) ないしは400GBASE-Rに即したFrameを定義。
- FEC(CFEC)とFEC特性, Symbol rate も文書の中で定義
  - DP-16QAM, 59.843750Gbaud (i.e., 478.750 Gbps), post-FEC error floor <math><1.0E-15</math>

# 400G光伝送に関わる主な標準化(3-1)

## ● OpenZR+ ( <https://www.openzrplus.org/> )

- プラガブルモジュールの使用を前提に、B100Gのクライアント(100-400Gイーサネット)をフレキシブル光伝送可能にする標準規格
  - 400ZR+ とか言われるけどこれは伝送の一形態
- 文書は以下で公開中(version 2, 現在 version 3 討中)
  - [https://openzrplus.org/site/assets/files/1091/openzrplus\\_2p0.pdf](https://openzrplus.org/site/assets/files/1091/openzrplus_2p0.pdf)
- 100-400 Gにおける変調方式、Baud rateなどの光変調特性は以下の通り
  - Framing 技術は400ZRと同じ FECは OFEC

Table 1-2: OpenZR+ Line Encoding, Modulation and Symbol Rate



<https://www.openzrplus.org/about-us/>

OpenZR+ Format	SFF-8024 Media ID	Payload Rate	Framing Format	Symbol Baud Rate (+/- 20ppm)	Modulation	FEC	Net Coding Gain (NCG) (dB)	Pre-FEC BER	Reference Standard
400ZR+	46h	400G	ZR400-OFEC-16QAM	60 138 546 798	16QAM	OFEC	11.6	2.0E-2	OpenZR+
300ZR+	47h	300G	ZR300-OFEC-8QAM	60 138 546 798	8QAM				
200ZR+	48h	200G	ZR200-OFEC-QPSK	60 138 546 798	QPSK				
100ZR+	49h	100G	ZR100-OFEC-QPSK	30 069 273 399	QPSK				

# 400G光伝送に関わる主な標準化(3-2)

## ● OpenZR+

- サポートするクライアント

Table 1-3 Client modes supported by OpenZR+

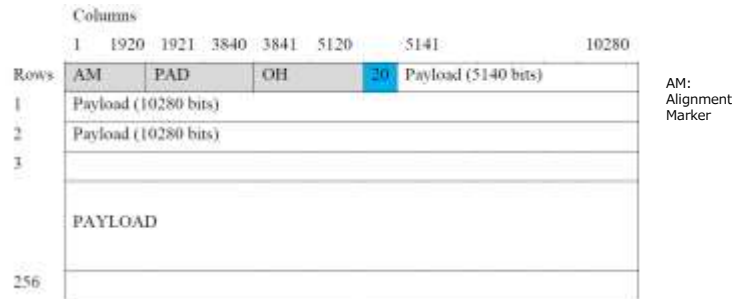
Host Side		Datapath				Media Side
Host Interface	Host Map/Drain	MUX/DMUX	Media Framing	FEC Encode/Decode	Modulation	Media Interface
1 x 400GBASE-R	1 x 400ZR ts	↕	400ZR	OFEC	16QAM	ZR400-OFEC-16QAM
2 x 200GBASE-R	2 x 200ZR ts					
4 x 100GBASE-R	4 x 100ZR ts	↔	ZR100	OFEC	8QAM	ZR100-OFEC-8QAM
2 x 200GBASE-R	2 x 200ZR ts					
1 x 400GBASE-R	1 x 400ZR ts	↕	ZR200	OFEC	QPSK	ZR200-OFEC-QPSK
2 x 200GBASE-R	2 x 200ZR ts					
1 x 400GBASE-R	1 x 400ZR ts	↔	ZR100	OFEC	QPSK	ZR100-OFEC-QPSK

## ● 400ZR+の主な規定

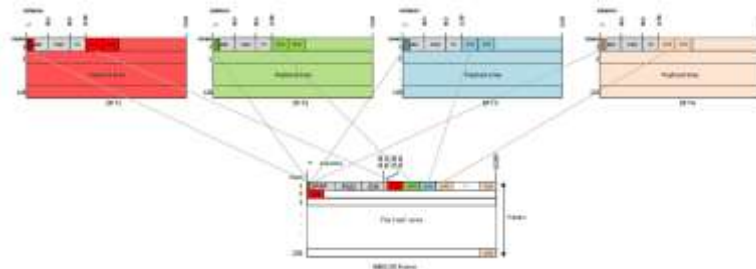
- 400GBASE-R ZR400 frame ^GMP (Generic mapping procedure)マッピング
- 2 x 200GBASE-R の channelized 400G ZR への GMPマッピング
- 4 x 100GBASE-R の channelized 400G ZR への GMPマッピング

## ● ZR Frame構造

- ZR400の例: OIF-400ZRと同じ
- FlexOもこの構成



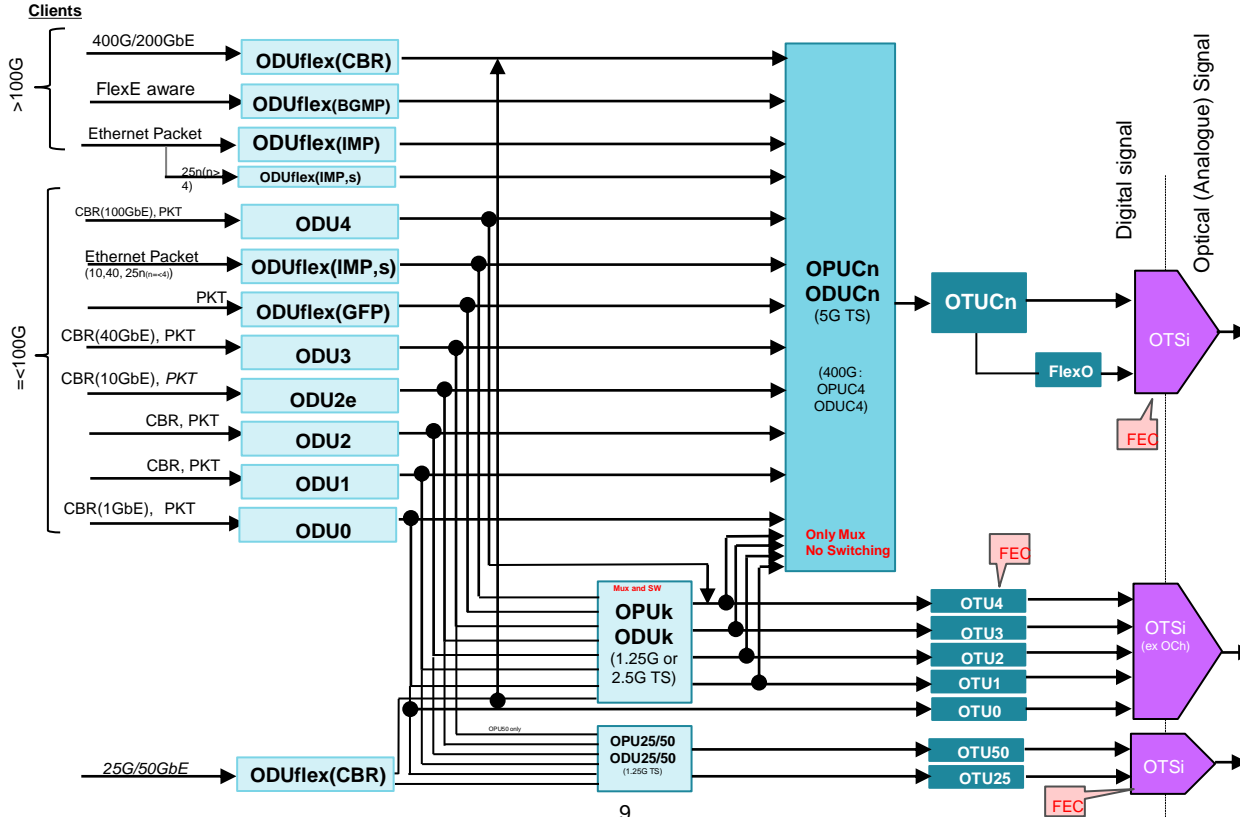
- ZR100 x 4 から ZR400への多重例





# 400G光伝送に関わる主な標準化(4-1)

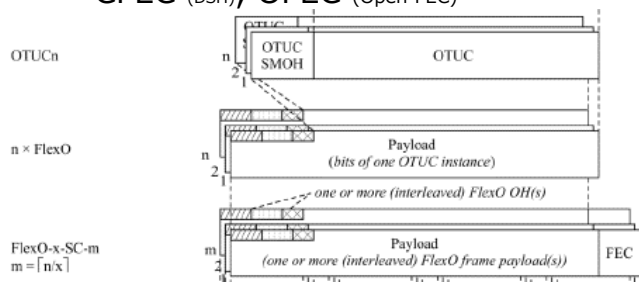
## ● ITU-T G.709: OTN 多重階梯 2022



# 400G光伝送に関わる主な標準化(4-2)

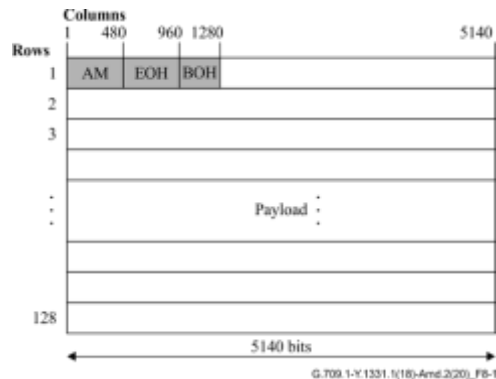
## ● ITU-T

- G.709では OTUC4/ODUC4/OPUC4で400Gを規定
- 加え、OTUCn をフレキシブルに転送するために FlexO を定義
  - 100G, 200G, 400Gの光モジュールで転送するための定義として、FlexO-1,2,4 を規定
  - FEC定義により複数の勧告で定義
    - G.709.1 (FlexO-SR): RS (Reed-Solomon) FEC
    - G.709.3 (FlexO-LR): SC (Staircase) FEC, CFEC (DSH), OFEC (Open FEC)



(ITU-T G.709.1から抜粋)

## ● FlexO Frame structure



- EOH/BOH: Extended/Basic Overhead
  - EOHでは Encryption も定義可能
- FlexO-4における実伝送速度(10~25%の帯域増加)
  - FlexO-4-RS (RS FEC): 447.237898 Gbps
  - FlexO-4-SC (SC FEC): 450.937476 Gbps
  - FlexO-4-DSH (CFEC): 502.639686 Gbps
  - FlexO-4-DO (OFEC): 485.307283 Gbps

# B400G光伝送(特に800G)の動向

- IEEE802.3
  - P802.3df, dj
- OIF
  - 800ZR/LR
- ITU-T
  - B400G (Beyond 400G) に向けた検討
- その他(本日説明からは割愛)
  - 800G MSA
    - <https://www.800gmsa.com/>
  - QSFP-DD800 (QSFP-DD MSA)
    - <http://www.qsfp-dd800.com/>

- 800G/1.6T向けイーサネットとしてP802.3dfが進行中(2024/7)

Ethernet Rate	Assumed Signaling Rate	AUI	BP	Cu Cable	MMF 50m	MMF 100m	SMF 500m	SMF 2km	SMF 10km	SMF 40km
200 Gb/s	200 Gb/s	Over 1 lane		Over 1 pair			Over 1 Pair	Over 1 Pair		
400 Gb/s	200 Gb/s	Over 2 lanes		Over 2 pairs			Over 2 Pair			
800 Gb/s	100 Gb/s	Over 8 lanes	Over 8 lanes	Over 8 pairs	Over 8 pairs	Over 8 pairs	Over 8 pairs	Over 8 pairs		
	200 Gb/s	Over 4 lanes		Over 4 pairs			Over 4 pairs	1) Over 4 pairs 2) Over 4 λ's		
	TBD								Over single SMF in each direction	Over single SMF in each direction
1.6 Tb/s	100 Gb/s	Over 16 lanes								
	200 Gb/s	Over 8 lanes		Over 8 pairs			Over 8 pairs	Over 8 pairs		

- [https://www.ieee802.org/3/B400G/public/21\\_1028/B400G\\_overview\\_c\\_211028.pdf](https://www.ieee802.org/3/B400G/public/21_1028/B400G_overview_c_211028.pdf)
- 上記のうち200G signaling rate (200G lane)については完成の時期を考慮して、P802.3djとして分離独立予定(2026/5)

- **800ZR**は400ZRをそのまま800G対応にしたもの

- Single channel 800G coherent interface, 150GHz spacing
- Inter-DC applications over 80km reach
- 100GE/200GE/400GE/800G-ETC client types
  - [800G ETC](#): Ethernet Technology Consortium 定義の800Gイーサネット
- DP-QAM16 & OFEC
- FlexO-8ベース (FlexO-8e) のフレーム定義
  - (FlexO 向け Payload type も ITU-T G.709.1 から取得予定)

- **800LR**

- Unamplified link (6-8dB loss)
- Single channel 800G coherent interface
- Intra-DC applications up to 10km reach
- 400GE and 800G-ETC
- Form factor agonistic
- 低遅延、低消費電力なモジュール実現を目指し新たなコヒーレントIFを定義することが狙い

参考文献:

<https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/ECOC-2022-Market-Focus-Gass-final1.pdf>



- 現在、以下の課題リストを設定のうえ寄書などを通じて議論進行中
- 課題リスト(項目)
  - B400G OTN single vendor line-side interfaces
  - B400G OTN multi-vendor line-side interfaces
  - B400G OTN multi-vendor client-side interfaces
  - 800G Ethernet client mapping
  - 1.6T Ethernet client mapping
  - OTSi (Optical Tributary Signal) bit rates

- 寄書に見られる主な傾向(参考)
- 大きな課題は、いかにしてクライアントでの速度とネットワークでの速度の差を縮めるか
  - 主な例
    - **FlexO-8e**: イーサネット信号のFlexOフレームへの直接収容 (ODUflex, ODUC8, OTUC8を用いない)。いわゆる ZR 関連ではこの方式に近いが、FlexO にも明確に適用 (OIF 800ZR含む)
    - **FlexO-xu**: 主に中国系が提案、ネットワークIFに対してイーサネットモジュールを流用できるよう従来のFlexO-xから速度を下げたFlexOを提案 (u: underclock)
      - このままでは800GbEは収容できないので、クライアントのクランピングもあわせて実施
    - その他、FlexO OHにODUCn OHを移植し、ODU, OTU OH領域を削減
  - このような事情もあり、B400G検討ではまずは800Gに向けた最適な方式を模索する方向になっている

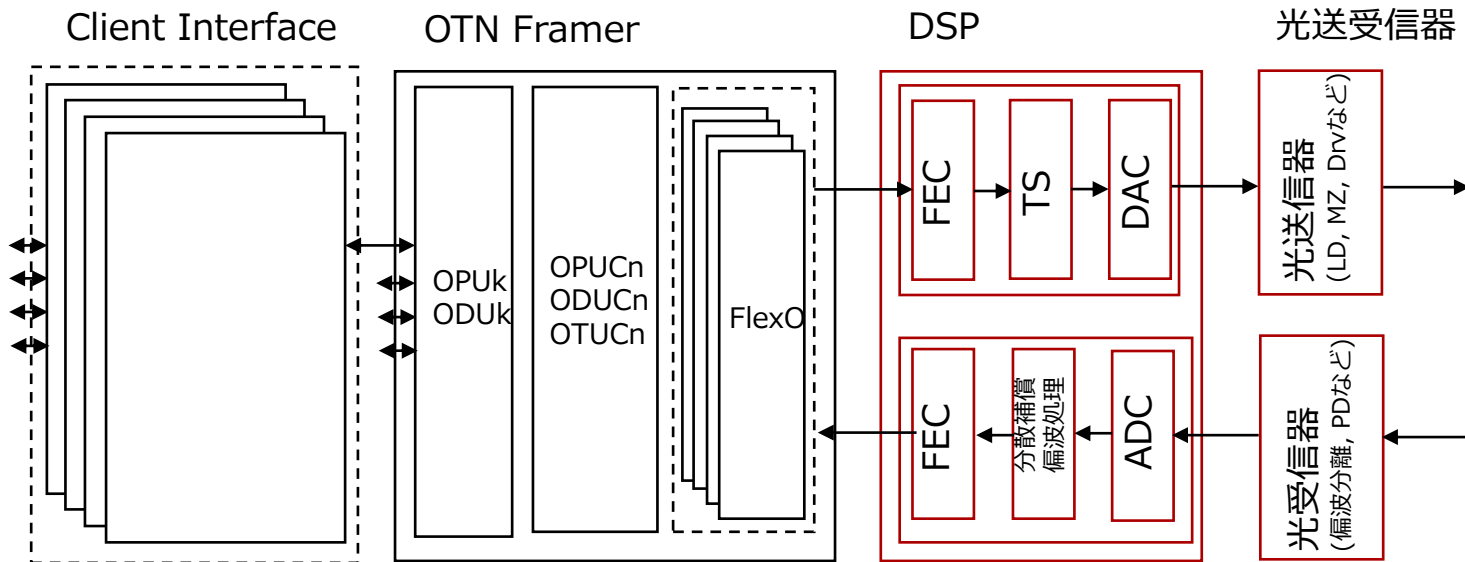


# 考察・まとめ

- クライアント(Ethernet)とネットワーク(WDM)との速度差を縮めること
  - 代表的な手段は Transcoding (256B/257B)
  - 今の多重階梯が、Ethernet / OPU / ODU(k,flex) / ODUCn / FlexOを経るためオーバーヘッドを縮退・場合によれば割愛する必要も (交換機能とのトレードオフにも)
- 多重度と交換機能(ネットワーキング)を考えること
  - ZRの世界は、あくまで多重伝送だけで100G単位の Point-to-point伝送。
    - 800G (ODCU8) なら クライアント10Gでも多重はできますよね…
  - OTN(G.709)の世界では、交換可能な e2e ODUパスが定義可能
    - ODUflexで提供できること(すなわち、ODUクロコン) の重要性・価値は？
  - もうひとつ、交換機能を提供する箇所はWDM(波長)にも存在
    - そのため、(交換機能を使わなくても)グリッド規定準拠も必要
- 他、警報定義をどこまで考慮するか

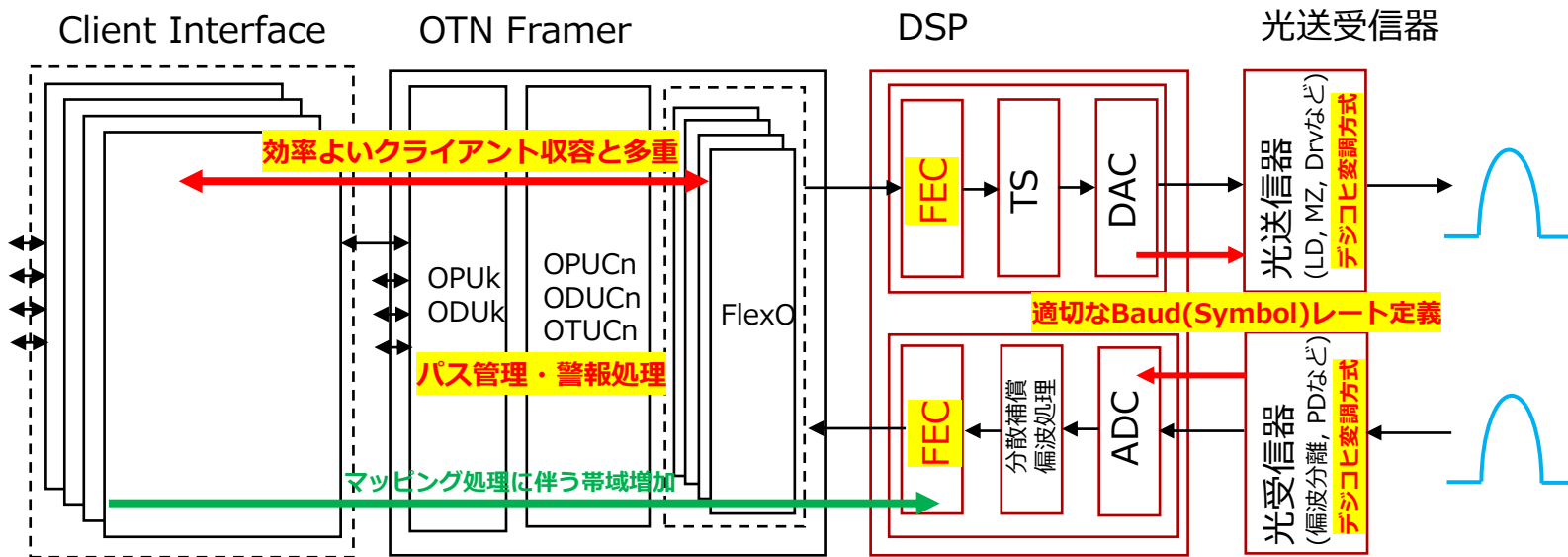
# 代表的なB400G向けトランスポンダーから考察する

- クラアント処理を行ったのち (OTN) Framer処理をへて、DSPにてデジタルコヒーレント技術を行い光信号として送信。
- 受信側はこの逆の動作を取る



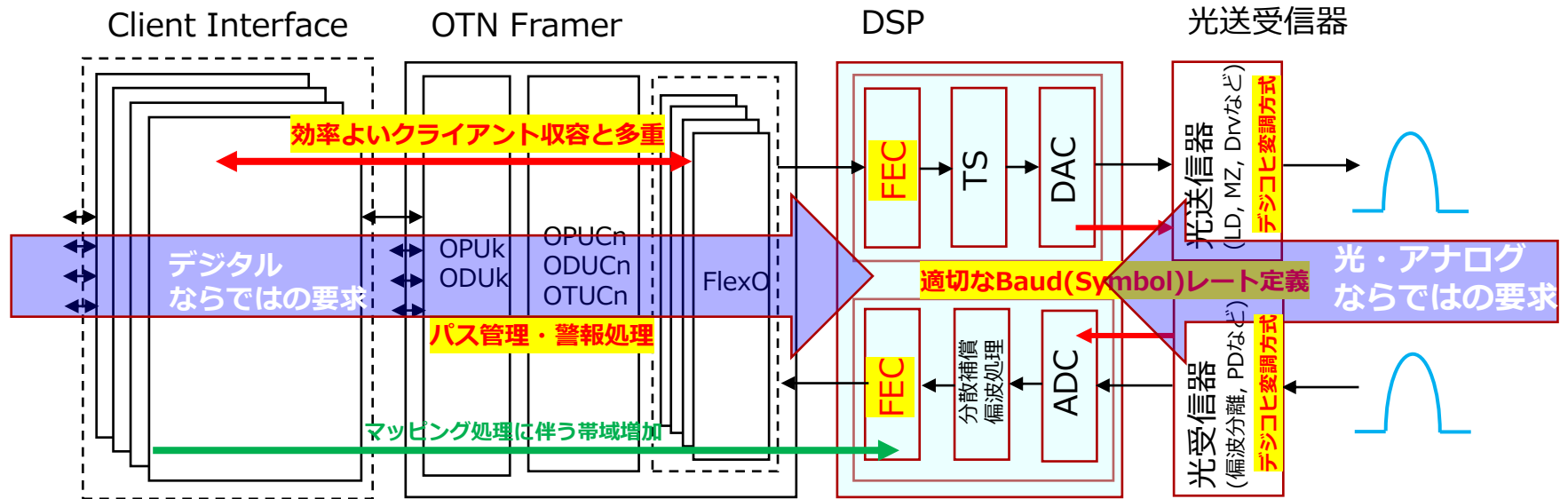
# B400Gを実現するための課題など

- 以下のトレードオフとどう対処していくかが、B400G、当面は800G光伝送技術実現に向けた課題
  - 効率よいクライアント収容と多重: 従来のOTNマッピング規定に従うか、一部を割愛して帯域増加を抑えるか
  - パス管理・警報処理: 帯域増加を抑えOH処理を割愛すると、従来のOTN技術で培われたパス管理・警報処理を犠牲にしかねない
  - 適切なBaudレート定義: 実際の光伝送速度を決める大事なファクター。800Gでは120-130Gbaudあたりが予測される\*が、高baudレートは、波長帯域幅増加(多重効率低下)にもつながるので、高baudレートを目指せばいい、ということでもない



# B400Gを実現するための課題など

- 前スライドで示した課題(トレードオフ)に加え、実際の光伝送速度と伝送特性を決めるFECの存在を考慮すると、B400Gを実現するための基本特性がDSPに集約され、DSPの重要度がこれまで以上に注目されている、といっても過言ではない



- OIF 400ZR文書、OpenZR+ 他、光トランシーバー関連の論文から見て取れるからは、DSPに関わる特性を仕様として明記する傾向強くなってるのも事実
- この傾向は800G以上でも継続されると想定される
  - OIF 800G関連議論では実際に継続中

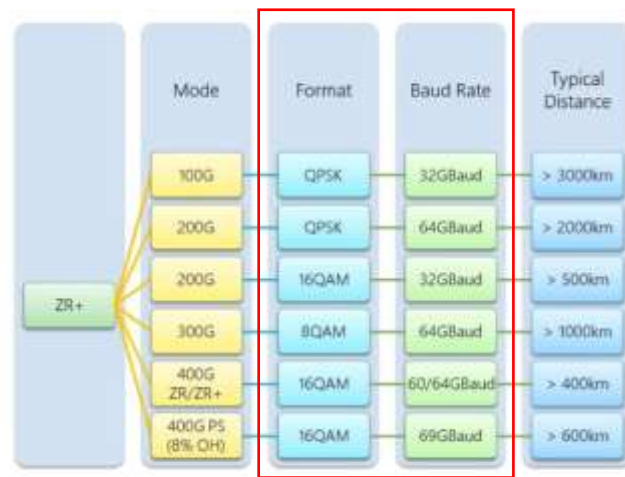
NAGARAJAN et al, Low Power DSP-Based Transceivers for Data Center Optical Fiber Communications  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9457175>

## OpenZR+ 文書

Table 1-2: OpenZR+ Line Encoding, Modulation and Symbol Rate

OpenZR+ Format	SFF-8024 Media ID	Payload Rate	Framing Format	Symbol Baud Rate (+/- 20ppm)	Modulation	FEC	Net Coding Gain (NCG) (dB)	Pre-FEC BER	Reference Standard
400ZR+	46h	400G	ZR400-OFEC-16QAM	60 138 546 798	16QAM	OFEC	11.6	2.0E-2	OpenZR+
300ZR+	47h	300G	ZR300-OFEC-8QAM	60 138 546 798	8QAM				
200ZR+	48h	200G	ZR200-OFEC-QPSK	60 138 546 798	QPSK				
100ZR+	49h	100G	ZR100-OFEC-QPSK	30 069 273 399	QPSK				

DSP関連



DSP関連

Fig. 24. Variety of non ZR modes supported by the same DSP. Data rate modulation format, baud rate and nominal reach for the different modes.

- 本発表では、B400G(Beyond 400G)動向を紹介するにあたり、現在の400G関連動向を再確認した上で、B400G, 特に 800G をめぐる動向について、標準化団体の状況を中心に紹介
  - 対象となる団体
    - IEEE
    - OIF
    - OpenZR+
    - ITU-T など
- 上記状況から、これからのB400G, 特に800G実現に向け、どこに課題がある(どこが課題になる)かを考察・紹介した

**Thank you**

