

IP over DWDMについて考えるBoF

IP over DWDMのモチベーション、検証時の話



2025年8月1日

株式会社インターネットイニシアティブ

NSU-INF-NE-NE1
takez

竹崎 友哉(Tomoya "takez" Takezaki)

株式会社インターネットイニシアティブ

ネットワーク事業本部 基盤エンジニアリング本部 ネットワーク技術部 ネットワーク技術1課

経歴

2020年4月: 入社

2020年~2021年: フィールド作業・バックボーン運用

2022年~: バックボーン構築・運用・対外接続

仕事

主務はAS2497 IP Backboneの設計・構築・運用

AS2497のPeering coordinatorとして対外接続交渉も担う

機材・資産管理から倉庫番、ケーブリング設計などもお仕事

趣味

海外旅行 - 毎年GWは海外で過ごす。今年はLao PDRへ

通信インフラ探索 - 鉄蓋/電信柱/ケーブル/船/データセンター



ルータベンダーの実装

- **Software**

- **400G-ZR/400G-ZR+**

- **IOS-XR 7.3.2(ASR9k) Release: 06-Sep-2021**
 - **IOS-XR 7.3.15(C8k) Release: 14-May-2021**
 - **Bright(は7.9.1より Release: 03-Apr-2023**

- **100G-ZR(Fixed Laser)**

- **IOS-XR 24.3.1(C8711) Release: 02-Sep-2024**

- **100G-ZR**

- **TBD**

- **Transceiver**

	Form Factor	Normal power	High power	Tunable	Fixed Laser	L-band	ULH
OLS	QSFP-DD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
400G-ZR	QSFP-DD	O	X	O	O	X	X
400G-ZR+	QSFP-DD	O	O	O	X	O	O
100G-ZR	QSFP-DD QSFP28	O	X	O	O	X	x

- **Software**

- **400G-ZR**

- 21.2R1-EVO(PTX10k)
 - 22.2R1(MX10k)

- **400G-ZR+**

- 22.1R1-EVO(PTX10k)
 - 22.4R1(MX10k)

- **100G-ZR**

- 24.4R1(MX304,MX10k supported only YT Line card)
 - 24.4R1-EVO(ACX7k, PTX10k)

- **ただし、細かい機能拡張は23.1R1-EVO(PTX10k)から**

- Application Selection
 - Target Output Power
 - Enhanced Loopback Options

- **Transceiver**

	Form Factor	Normal power	High power	Tunable	Fixed Laser	L-band	ULH
800G-ZR	QSFP-DD800	X	O	O	X	X	X
400G-ZR	QSFP-DD	O	X	O	X	X	X
400G-ZR+	QSFP-DD	O	O	O	X	X	X
100G-ZR	QSFP28	O	X	O	X	X	x

なぜDCO

- **Cost effective**
 - **DCO <<< Transponder**
 - **Pay as you grow**
 - **Red Ocean**
- **Easy to upgrade**
 - **短納期(?)**
 - **Plug and Play**
- **IP over DWDM**
 - **OLSとの高い親和性**
 - **構成のシンプル化**
 - **運用・管理コストの削減**



詳細は次のパートで

DCO導入への道のり

✓ **動作確認(Compatibility)**

- メーカー純正でも安心して使えるわけでもない。
 - もちろんサポートは手厚いが...
- The QSFP-100G-LR4-T2 will not work as expected - [PR1690549](#)

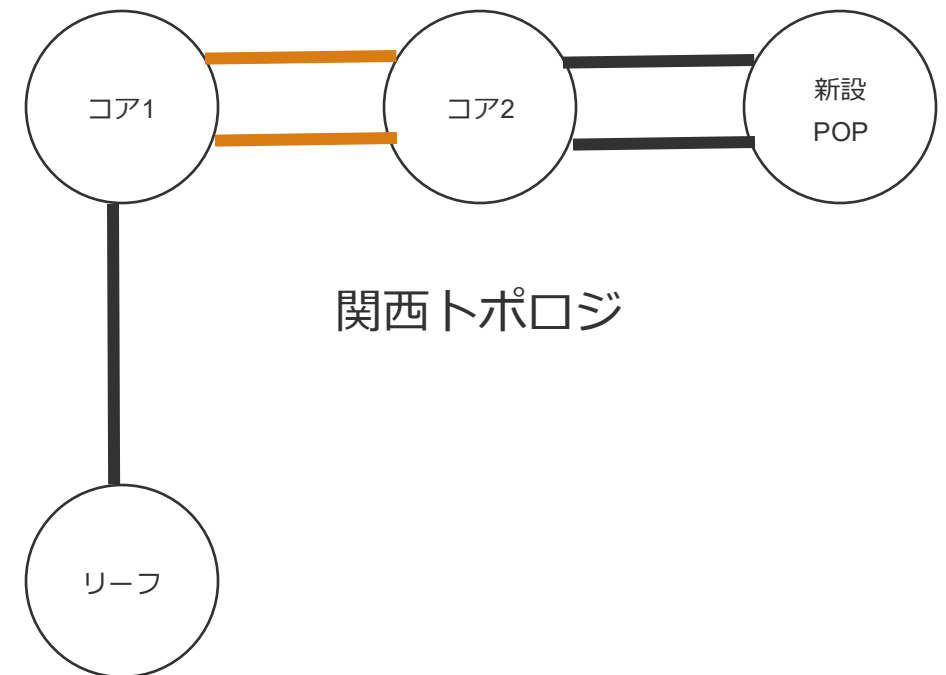
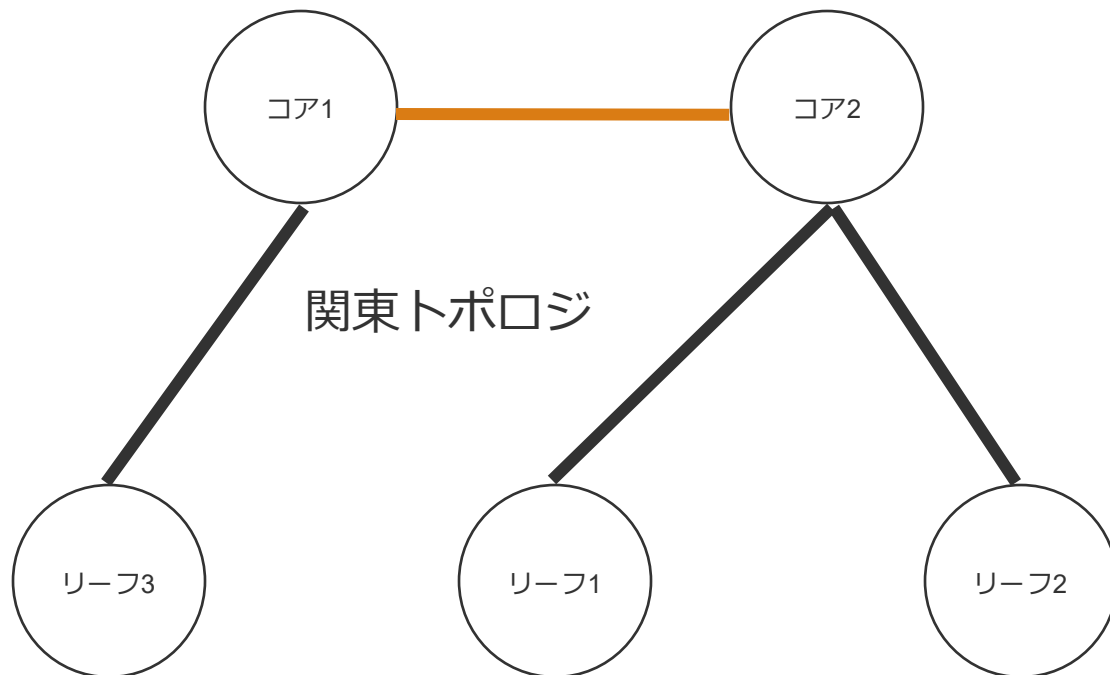
✓ **Interoperability**

- Inter-op issue between QSFP56-DD-400G-ZR-M in MX304 and QDD-400G-ZRP-S in Cisco router - [KB84101](#)

✓ **性能差**

- トランシーバメーカーの実力は「価格」のほかに「**性能**」や「**品質**」に出る
 - DSP(Digital Signal Processor), LD...etc

- コアPOP-コアPOP間とコアPOP-リーフPOP間
 - 全てPoint-to-Point
 - 最長でも30km程度、ILAなしの設計
- まずはコアPOP間での利用を想定
 - ピアリングユースでのZR利用は対応事業者が居ない。
 - 短距離ファイバ



Project code name: ももいろクローバー-ZR

既存伝送網の残り6色への導入を視野

Project code name: DCO47

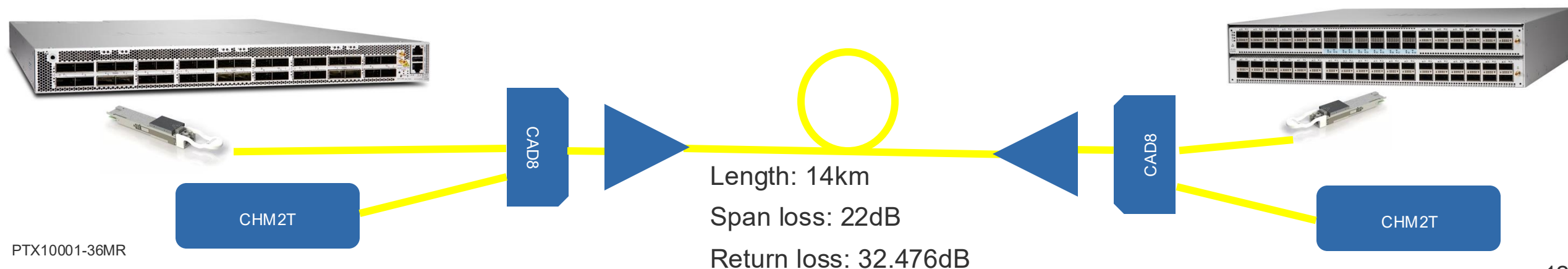
Mux/DeMuxの最大多重数から



- 当初は既存伝送網の空き波長を活用前提で検証(Groove G30)
 - Multiplexer/DeMultiplexer: Colorless Mux/DeMux(**Insertion Loss: 13dB**)
 - Booster Amplifier gain range: **4~16dB**
 - Preamplifier gain range: 0~18dB or 25~35dB
- 敗因
 - BAの性能不足
 - Colorless filterとZRは相性が悪い
 - Mux/DeMux: 高いIL + ZR: Max receiver powerは+2dBm程度
 - Transponderとのパワー差調整難航

Cisco 8202

https://www.cisco.com/c/ja_jp/products/collateral/routers/8000-series-routers/datasheet-c78-742571.html



- 当初は既存伝送網の空き波長を活用前提で検証(G above G30)
 - Multiplexer/DeMultiplexer Colorless Mux/DeMux (Insertion Loss: 13dB)
 - Booster Amplifier gain 4~16dB
 - Preamp gain
- 敗因

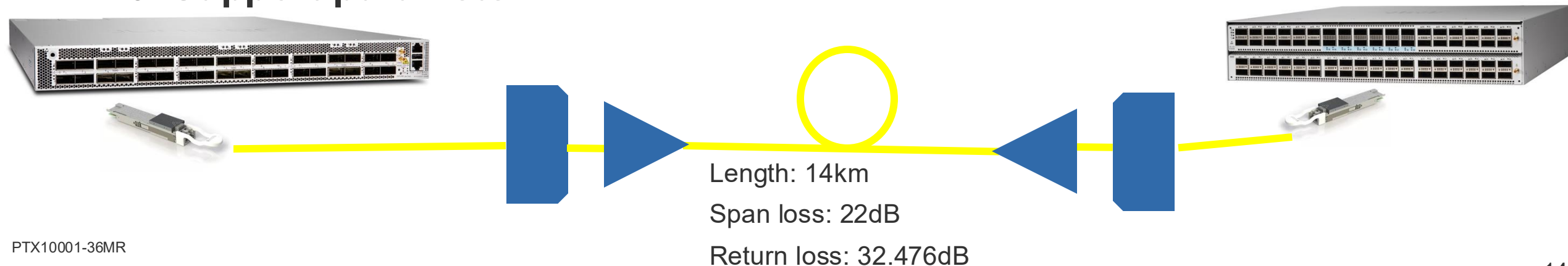
商用ではPassive filterへの変更もしくは
High power版モジュールもしくは
ZR専用設備の構築を検討



- OLSは商用と"ほぼ"同じシステムを検証利用(Groove G30)
 - Multiplexer/DeMultiplexer: Colorless Mux/DeMux(Insertion Loss: 13dB)
 - or 低ロスMux/DeMux(IL: 2.5dB)
 - Booster Amplifier gain range: 4~16dB
 - Preamplifier gain range: 0~18dB or 25~35dB
- 検証のポイント
 - Compatibility
 - Performance
 - Tunable
 - Support parameter

Cisco 8202

https://www.cisco.com/c/ja_jp/products/collateral/routers/8000-series-routers/datasheet-c78-742571.html



- 主に400G-ZR+を利用する際についてくる問題としてAppSelが存在
 - 複数の動作モードや変調方式を切り替えるためにサポートするApplicationをモジュールがホストにアドバタイズする。(00h:85-117 and 01h:176)
 - ホストはモジュールがサポートするApplicationを元に動作モードを設定
- 厄介な点はAppSelと動作モードの紐付けがIA, Specificationに定義がなく、モジュールベンダーの自由空間かつ、ルータベンダーも切り替え実装に差異があること

	IOS-XR	Junos evo	Junos
優先動作モード	ZR+	ZR+	ZR+
明示設定可否	X	O(23.1R1以降)	X
設定アプローチ	モジュールの設定を利用	OSにて定義済み	X

- モジュールのEEPROM書き換えは通常はできないため、予め確認しておく必要がある。

- ルータ・トランシーバそれぞれにて安全措置が設定されており、それらの閾値を超えるとshutdownされる。
- ルータ実装
 - Ardbeg : 400G ZR+: ZR-M modules failed to come up due to Optics High temperature - [PR1631279](#)
 - MPC11E temperature alarms with 400G-ZR optics - [PR1663175](#)
 - **"Module temperature high alarm threshold" = Fire Shutdown?**
- トランシーバにも実装があり、設定温度を超えるとshutdownされる
 - 概ねForm Factorの温度制限に準拠していると思われる。

- ルータ・トランシーバそれぞれにて安全措置が設定されており、それらの閾値を超えるとshutdownされる。

- ルータ実装

- Ardbeg : 400G ZR+: ZR-M modules failed to come up due to Optics High temperature - [PR1631279](#)
- MPC11E temperature alarms with 400G-ZR optics - [PR1663175](#)
- "Module temperature high alarm threshold exceeded - Fire Shutdown?"

- トランシーバにも

- 概ね

Typ 19~23WとGreyの2~2.5倍ほどある消費電力のため、よりケアが必要

- QSFP-DDにおける冷却機構は**Heatsinkとフロントからの吸気**
- MSAで定められたStandardの動作温度は0℃~70℃
- 高発熱規格・800Gを見据えた開発の結果モジュールはより分厚く...
 - QSFP-DDにおけるHeatsink typeは1~2Bまで

出典: QSFP-DD-Hardware-Rev7.1

Dimensions	Module Type 2A	Module Type 2B	Module Type 2C
ヒートシンク本体の厚み(max)	3.4mm	5.1mm	6.91mm
モジュール全体の厚み(REF)	13.5mm	15.2mm	17.00mm

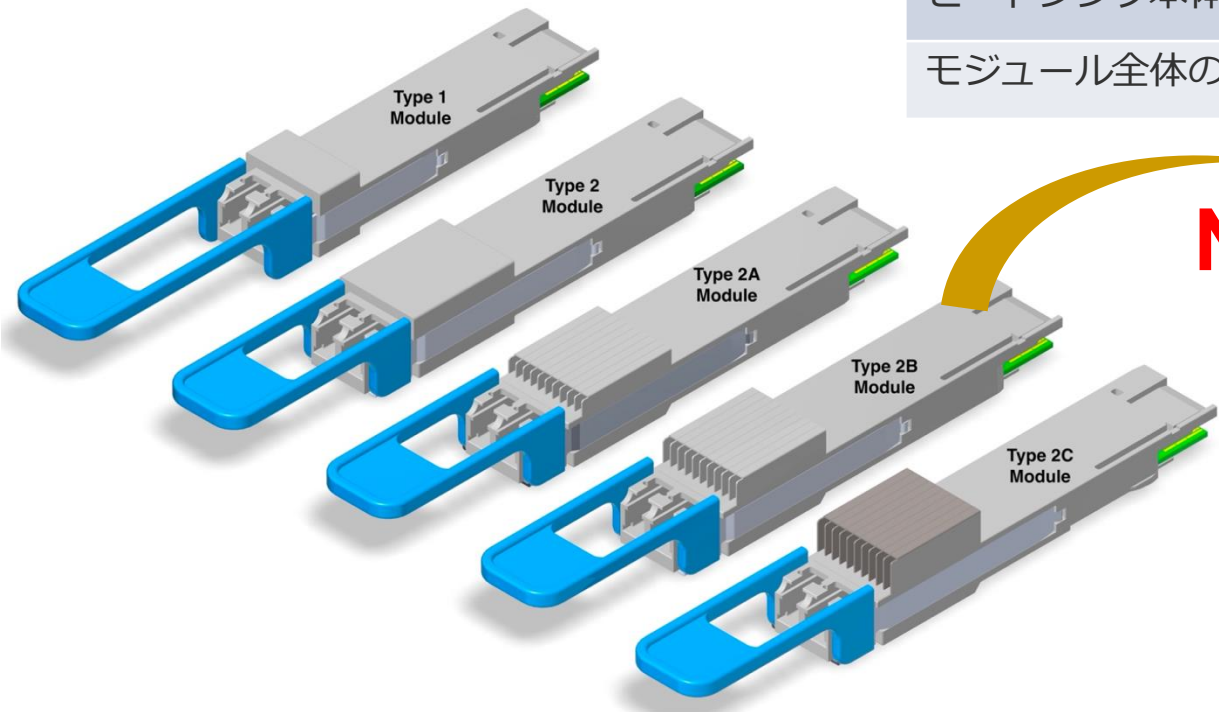


Figure 33: Type 1, Type 2, Type 2A, 2B, and Type 2C pluggable modules

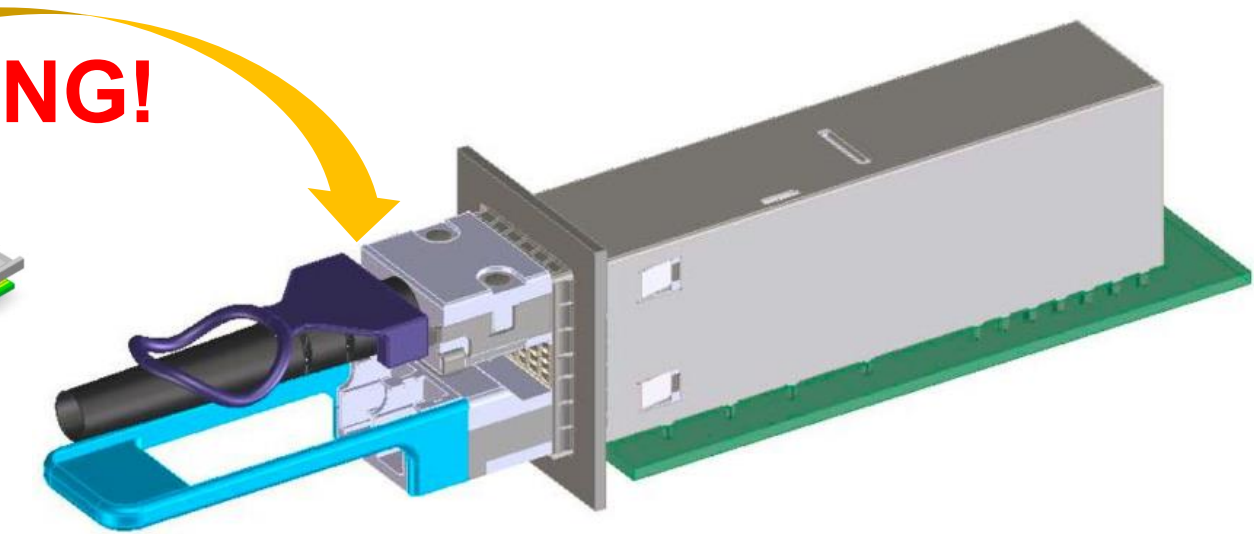


Figure 31: 2x1 stacked cage and module

-
-
-

sinkと
温度は
の結果
は1~

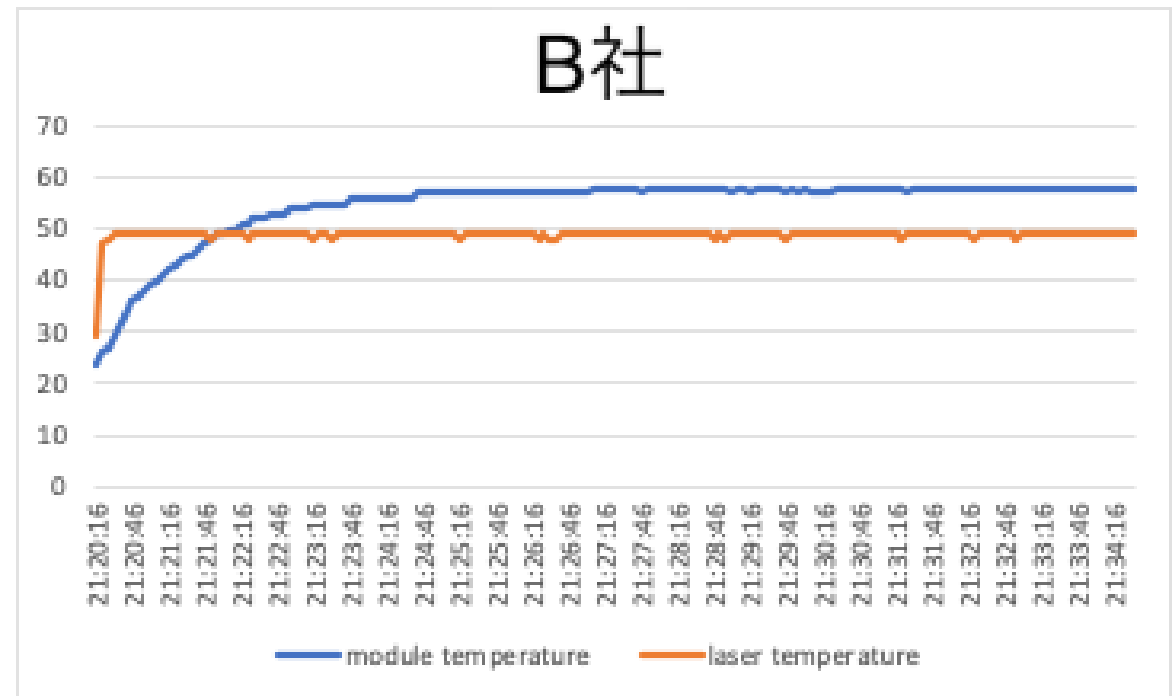
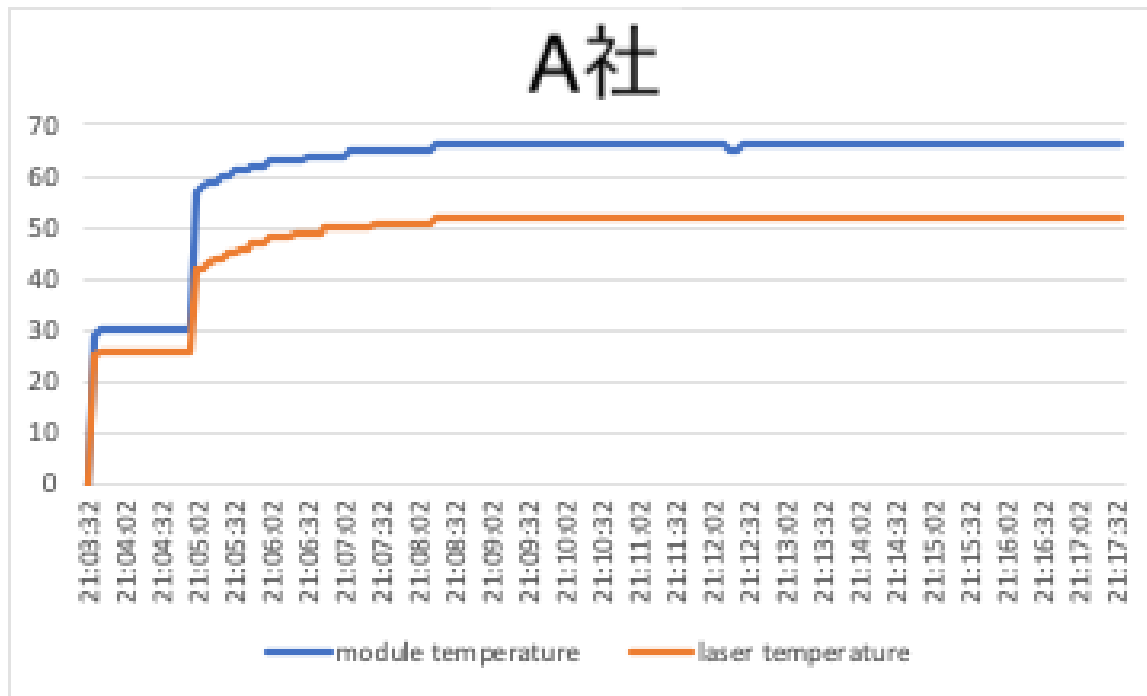
is

ク本体の
全体の厚



e 2C

- 同筐体同ポートへハードループ状態で挿入し10分間の温度経過を観察
 - 試験後は10分の冷却インターバルを設定
- A社がモジュール温度70°Cに近いのに対し、B社は60°Cほどの違いが出た



- そもそも筐体設計も加味される。上段と下段で温度が5°C~10°C異なる

```
takez@ptx10001-2> ...terfaces diagnostics optics et-0/2/[0-3] | match "et-|module temperature "  
Physical interface: et-0/2/0 <-- 上段
```

Module temperature : 55 degrees C / 131 degrees F

```
Physical interface: et-0/2/1 <-- 下段
```

Module temperature : 66 degrees C / 150 degrees F

```
Physical interface: et-0/2/2 <-- 上段
```

Module temperature : 52 degrees C / 125 degrees F

```
Physical interface: et-0/2/3 <-- 下段
```

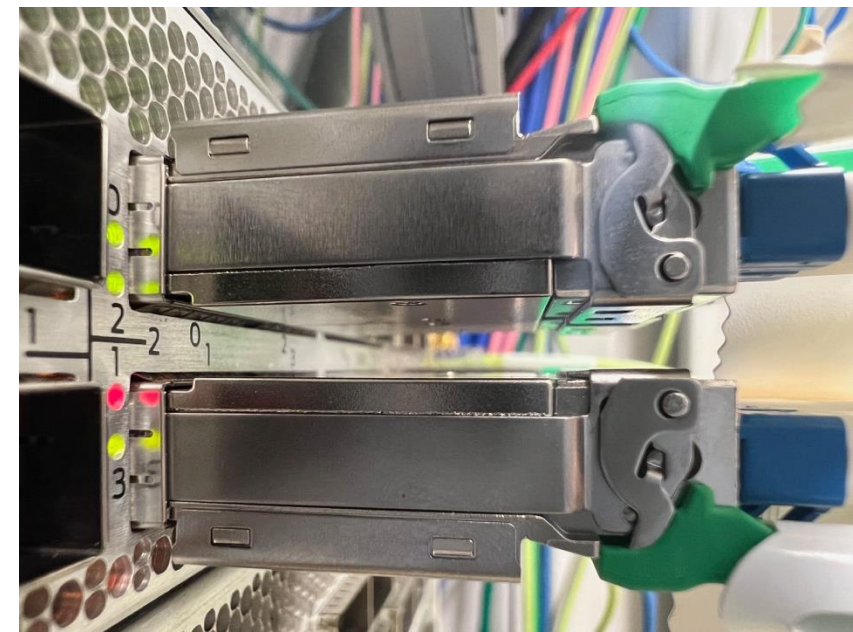
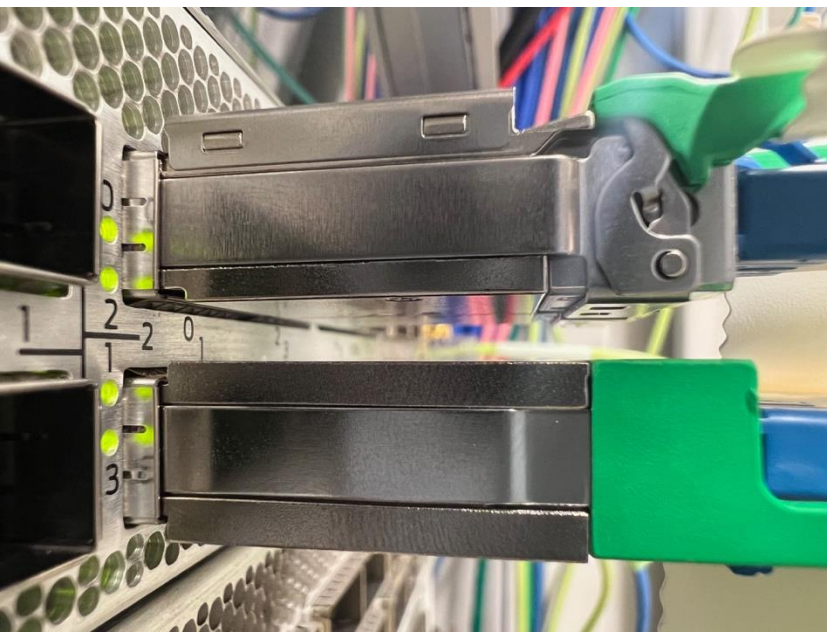
Module temperature : 63 degrees C / 145 degrees F

```
RP/0/RP0/CPU0:c8202#show controllers optics 0/0/0/54 | utility egrep -i tempera  
Temperature = 60.41 Celsius <-- 上段
```

```
RP/0/RP0/CPU0:c8202#show controllers optics 0/0/0/55 | utility egrep -i tempera  
Temperature = 65.95 Celsius <-- 下段
```

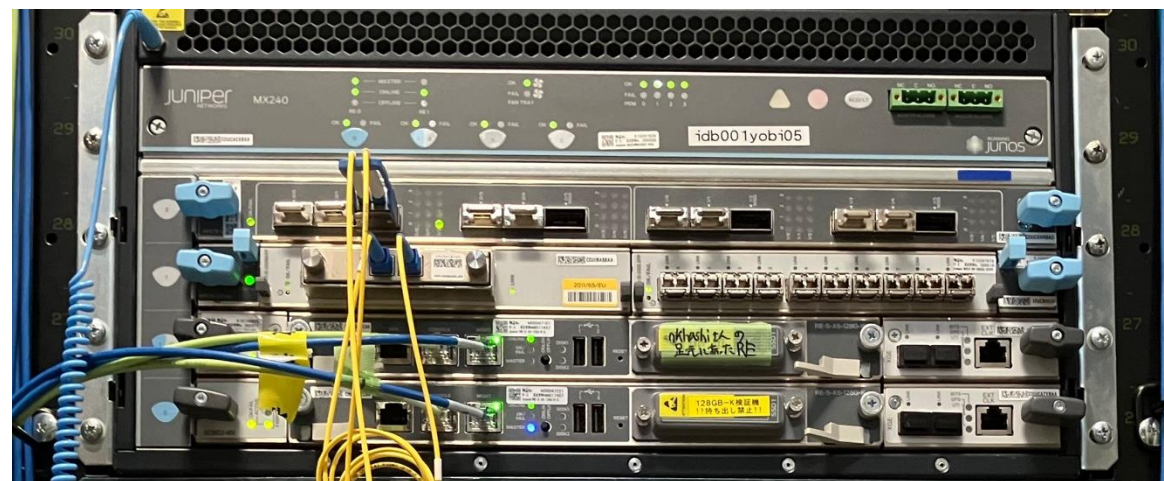
```
RP/0/RP0/CPU0:c8202#show controllers optics 0/0/0/56 | utility egrep -i tempera  
Temperature = 61.74 Celsius <-- 上段
```

```
RP/0/RP0/CPU0:c8202#show controllers optics 0/0/0/57 | utility egrep -i tempera  
Temperature = 66.84 Celsius <-- 下段
```



- ✓ トランシーバの性能評価はもちろんのこと、ユーザとしても搭載位置やAirflowを考慮
- ✓ ルータの下段はそもそも冷えにくいいため、DCOに限らずアサインには注意
 - トランシーバの設計
- ✓ 実例
 - Junos evo
 - 21.2R1よりtemperature-sensorの設定を手動有効することを**推奨**
 - 23.4R1よりSW Policy controlledに変更された
 - 電力供給や冷却性能で搭載ポートに制限がある例
 - PTX10001-36MR
 - PTX10004,PTX10008,PTX10016
 - ✓ 推奨要件あり
 - MPC11E
 - QFX5130-32CD

- ✓ 400G-ZRではToo muchかつ、100G従来機器にて構成されているLeaf POPへの適用を期待
- ✓ 選択肢
 - QSFP-DD CMIS/C-CMIS
 - QSFP28 CMIS/C-CMIS
 - QSFP28 SFF-8636



✓ 400G-ZRではToo muchかつ、100G従来機器にて構成されているLeaf POPへの適用を期待

✓ 選択肢

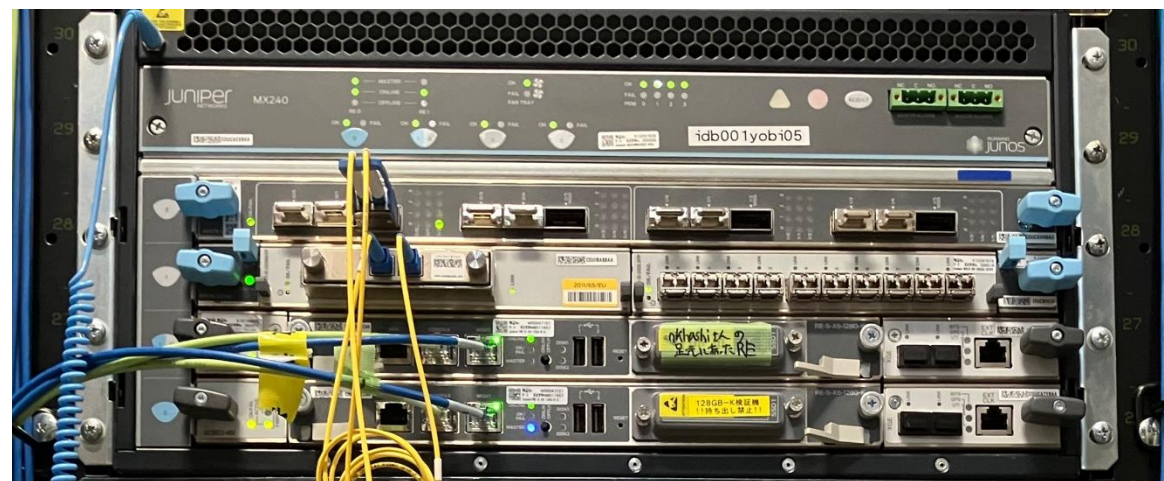
○ ~~QSFP-DD CMIS/C-CMIS~~

○ **QSFP28 CMIS/C-CMIS**

○ QSFP28 SFF-8636

▪ Band自動調整機能利用前提で検討

本命



• QSFP28 SFF-8636版

○ コンパチ試験概要

- 検証したTransceiverでは100G-LRとして認識
- 昨今リリースのルータやLCであればリンクアップ可能だった。

○ 認識・リンクアップ不可なパターン

- 100G-FRや100G-LRに未対応なバージョン
- Power Class 8(High Power Mode)未サポート筐体

• QSFP28 CMIS版

○ コンパチ試験概要

- メーカー同等規格品非対応バージョンではSFF-8636で認識しようとしてしまいNG
- メーカー同等規格品対応バージョンでは正常に認識

○ 認識・リンクアップ不可なパターン

- メーカー同等規格品非対応バージョン・筐体・ポート

PIC port information:

Port	Cable type	Fiber type	Xcvr vendor	Xcvr part number	Wave-length	Xcvr Firmware	JNPR Rev	MSA Version
2	unknown cable	n/a	FTLC3351S3PL1	40W006Q	23 617 nm	0.0		SFF-8636 ver n/a

<- 非対応バージョン

対応バージョン->

PIC port information:

Port	Cable type	Fiber type	Xcvr vendor	Xcvr part number	Wave-length	Xcvr Firmware	JNPR Rev	MSA Version
2	100G-ZR	SM	FINISAR CORP.	FTLC3351S3PL1	1528.77 nm - 1567.13 nm	1.8	XXXX	CMIS 5.2

- QSFP28におけるCMISのサポート状況
 - ルータベンダーでは対応状況はまちまち
 - 早いところではすでに対応(2024/12/31~)
 - QSFP-DD/QSFP28両対応ポートでもQSFP28はSFF-8636が一般的
- Power Class 8(High Power Mode)対応
 - 現在市場に出ている100G-DCOは5.5Wが一般的
 - SFF-8636 Rev 2.10(September 18, 2019)対応が必要
 - 以前の設計の筐体やカードでは電力供給・冷却設計上実装が困難？
 - もしくは**Power Class 7(5.0W max.)の100G-DCOに期待**

CLIの感触

- 最低限波長の設定が必要。
- その他任意で送信電力設定・tca, ZR/ZR+モード明示
- Junos: [Configure and Monitor 400ZR and 400G OpenZR+ Coherent Optics](#)
- IOS-XR: [Interface and Hardware Component Configuration Guide for Cisco 8000 Series Routers, IOS XR Release 25.1.x, 25.2.x](#)

~Junos/Junos evo~

```
interfaces {
  et-x/y/z {
    optics-options {
      wavelength 1545.32;
      tx-power -10;
    }
  }
}
```

~IOS-XR~

```
controller OpticsR/S/I/P
transmit-power -100
perf-mon enable
fec CFEC
dwdm-carrier 50GHz-grid frequency 19380
!
controller CoherentDSPR/S/I/P
perf-mon enable
!
```

✓ 以前から一般的なコマンドも利用可能

- Junos: show interfaces, show interfaces diagnostics optics
- IOS-XR: show interface, show controllers
- Ethernet frameの情報に加え、DCOならではの波長やOSNR, CD, DGDなども確認可能

✓ トラブルの際はこれらの結果を元に切り分け

	400ZR	400ZR+
Chromatic dispersion(CD) 波長分散耐力	2,400ps/nm	20,000ps/nm@400G(75GHz) 30,000ps/nm@400G(100GHz)
Differential Group Delay(DGD)	28ps	50ps
Tolerance to change in SOP	50krad/s	50krad/s@400G(75GHz) 300krad/s@400G(100GHz)
OSNR tolerance	26dB	24dB

- Performance Monitorのコマンドが追加
 - 光学特性のパラメータを一定時間単位、複数履歴取得可能

```
> show interfaces transport pm all current et-0/0/17
Physical interface: et-0/0/17, SNMP ifIndex 551
Current: 2025-07-23,04:15:00 - current
Suspect Flag: False
Reason: Not Applicable
```

PM	CURRENT	MIN	MAX	AVG	THRESHOLD	TCA-ENABLED	TCA-RAISED
			(MIN)	(MAX)	(MIN) (MAX)	(MIN) (MAX)	
Module temperature(Celsius)	53	52	53	53	0 73	No No	No No
Pre-FEC BER	1.27e-3	1.18e-3	1.34e-3	1.24e-3	0 9.00e-3	NA No	NA No
Uncorrected FER	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0	0 0.00e+0	NA Yes	NA No
SNR(dB)	28.4	28.4	28.4	28.4	15.0 0	No NA	No NA
Tx power(dBm)	-10.11	-10.19	-10.06	-10.12	-16.00 0.00	No No	No No
Rx total power(dBm)	-11.03	-11.07	-11.00	-11.04	-21.00 2.00	No No	No No
Carrier frequency offset(MHz)	-125.0	-166.0	-72.0	-119.4	-3600.0 3600.0	No No	No No
Chromatic dispersion(ps/nm)	156.0	156.0	156.0	156.0	0 0	NA NA	NA NA
Differential group delay(ps)	42.5	42.3	42.8	42.5	0 0	NA NA	NA NA
PDL(dB)	0.5	0.3	0.6	0.5	0 0	NA NA	NA NA
OSNR(dB)	31.4	31.4	31.4	31.4	0 0	NA NA	NA NA

• Performance

○ 光学

```
#show controllers optics 0/7/0/14 pm current 15-min optics 1

Optics in the current interval [04:30:00 - 04:40:57 Wed Jul 23 2025]

Optics current bucket type : Valid

      MIN      AVG      MAX      Operational      Configured      TCA      Operational      Configured      TCA
      Threshold(min) Threshold(min) (min) Threshold(max) Threshold(max) (max)
LBC[mA ]   : 100    100    100    0              NA              NO  524              NA              NO
OPT[dBm]   : -10.13 -9.98  -9.76 -15.09         NA              NO  0.00             NA              NO
OPR[dBm]   : -11.22 -11.15 -11.07 -30.00         NA              NO  8.00             NA              NO
CD[ps/nm]  : 93     93     93     -160000        NA              NO  160000           NA              NO
DGD[ps ]   : 2.62   2.74   2.87   0.00           NA              NO  80.00            NA              NO
SOPMD[ps^2]: 36.00   55.68  80.68  0.00           NA              NO  2000.00          NA              NO
OSNR[dB]   : 31.70   31.70  31.70  0.00           NA              NO  40.00            NA              NO
PDL[dB]    : 0.10    0.10   0.20   0.00           NA              NO  7.00             NA              NO
PCR[rad/s] : 0.00    823.25 1000.00 0.00           NA              NO  2500000.00       NA              NO
RX_SIG[dBm]: -11.03  -10.93 -10.84 -30.00         NA              NO  1.00             NA              NO
FREQ_OFF[Mhz]: -875    -839   -811   -3600          NA              NO  3600             NA              NO
SNR[dB]    : 16.20   16.30  16.30  7.00           NA              NO  100.00           NA              NO

Last clearing of "show controllers OPTICS" counters never
```

- Performance Monitorのコマンドが追加
 - 光学特性のパラメータを一定時間単位、複数履歴取得可能

```
#show controllers coherentDSP 0/7/0/14 pm current 15-min fec

g709 FEC in the current interval [04:30:00 - 04:41:45 Wed Jul 23 2025]

FEC current bucket type : Valid
  EC-BITS   : 499621298230      Threshold : 2496100000000      TCA(enable) : YES
  UC-WORDS  : 0                 Threshold : 5                  TCA(enable) : YES

      MIN    AVG    MAX    Threshold    TCA    Threshold    TCA
                        (min)  (enable)  (max)  (enable)
PreFEC BER      : 1.4E-03 1.7E-03 2.0E-03 0E-15   NO    0E-15   NO
PostFEC BER     : 0E-15  0E-15  0E-15  0E-15   NO    0E-15   NO
Q[dB]           : 0.00   0.00   0.00    0.00   NO    0.00   NO
Q_Margin[dB]    : 0.00   0.00   0.00    0.00   NO    0.00   NO

Last clearing of "show controllers OTU" counters never
```

- ✓ 光伝送について詳しくないNWエンジニアでも直感的にわかりやすい
- ✓ TCAも設定可能
 - 運用の使い勝手も良さそう。
- ✓ 何かあればEthernet frameのエラーが回る
- ✓ 一部ネットワーク機器ベンダーではDCOライセンスの導入が始まっている
 - [Software Licenses for Juniper Coherent Optics](#)
 - DCO-100G-RTU100G
 - デジタルコヒーレント光ファイバ RTU : Cisco 8000、ASR 9000、NCS 5500/5700、NCS 560、NCS 540 製品ファミリ用
 - https://www.cisco.com/c/ja_jp/products/collateral/routers/8000-series-routers/ios-xr-software-flexible-consumption-model-2-0-ds.html

1. **Timing issue的なもので挿しても上がらない**
 - いじっている間に治り原因不明
2. **Tunableが反映されない**
 - 反映しているふりをして上がって来ない？
3. **抜き差ししたら治った <- や・め・て・く・れ**

ある程度採用事例は増えて来たものの、枯れたわけではなく、
粘り強く再現・分析して情報を集めていくしかない





日本のインターネットは1992年、IIJとともに始まりました。以来、IIJグループはネットワーク社会の基盤をつくり、技術力でその発展を支えてきました。インターネットの未来を想い、新たなイノベーションに挑戦し続けていく。それは、つねに先駆者としてインターネットの可能性を切り拓いてきたIIJの、これからも変わることのない姿勢です。IIJの真ん中のIはイニシアティブ

IIJはいつもはじまりであり、未来です。

本書には、株式会社インターネットイニシアティブに権利の帰属する秘密情報が含まれています。本書の著作権は、当社に帰属し、日本の著作権法及び国際条約により保護されており、著作権者の事前の書面による許諾がなければ、複製・翻案・公衆送信等できません。本書に掲載されている商品名、会社名等は各会社の商号、商標または登録商標です。文中では™、®マークは表示していません。本サービスの仕様、及び本書に記載されている事柄は、将来予告なしに変更することがあります。