

JANOG51

[400G(PAM4)編]

高速光ファイバ通信における”**反射減衰量**”の影響を徹底解析！
反射による通信エラーを解決します。

2023年 1月 27日

NTTアドバンステクノロジー株式会社 藤原 稔 (jin.fujiwara@ntt-at.co.jp)

株式会社マクニカ 阿部野 一郎 (abeno-i@macnica.co.jp)

株式会社マクニカ 松野 晃樹 (matsuno-ko@macnica.co.jp)



藤原 稔

NTTアドバンステクノロジー株式会社
光プロダクツビジネスユニット

東京生まれの東京育ちで、東京ヤクルトスワローズのファン歴37年。

光ネットワークにおける様々な課題を解決し、光ネットワーク社会の効率化や安全に貢献することが目標。



松野 晃樹

マクニカクラビスカンパニー FAE

茨城県出身の25歳。普通二輪免許を取ったのでバイクが欲しいけど、価格高騰でなかなか買えない…

2021年より株式会社マクニカにて光トランシーバー・光計測機器のFAEとして技術サポートに従事。



阿部野 一郎

マクニカクラビスカンパニー FAE

ワイヤレス製品のアプリケーションエンジニアとして豊富な経験を持つ。高周波・無線システムが専門。

近年は、光トランシーバや光計測機器の技術サポートなど、光通信の分野に活動を拡大中。

1. 反射減衰量の影響についておさらい
2. 400G(PAM4方式)における反射減衰量の影響
3. 反射減衰量の悪化原因と対策
4. まとめ

1. 反射減衰量の影響についておさらい

◆100G化による通信トラブル相談が急増

対応規格	対応規格名称	ファイバ	最大接続距離	許容損失 [dB]	総反射減衰量 [dB]
IEEE802.3ba	100GBASE-LR4	シングルモード	10km	6.3	21dB
	100GBASE-ER4	シングルモード	40km	18	21dB

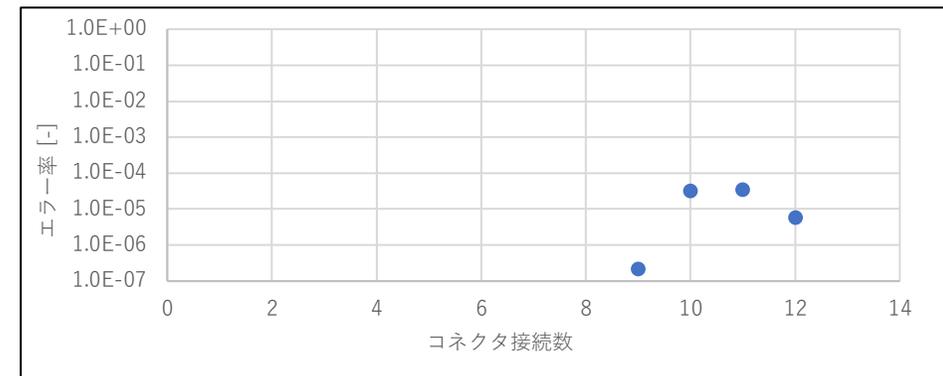
100Gから規定されるようになった**反射減衰量**に着目

ちなみに・・・

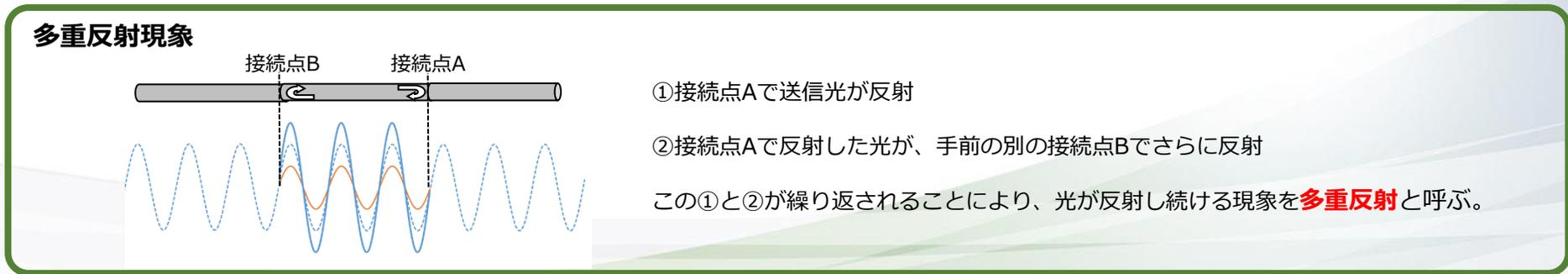
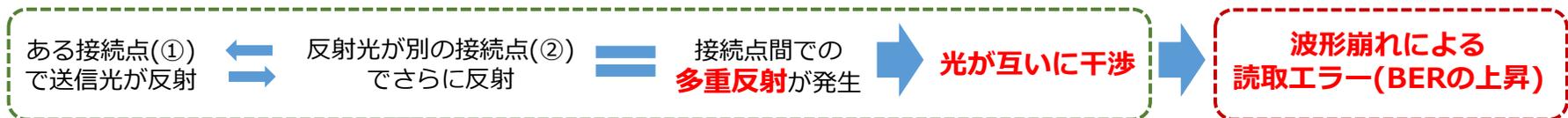
対応規格	対応規格名称	ファイバ	最大接続距離	許容損失 [dB]	総反射減衰量 [dB]
IEEE802.3CC	25GBASE-LR	シングルモード	10km	6.3	21dB
	25GBASE-ER	シングルモード	40km	18	21dB

1レーンあたりの速度が同じ25GBASE-LR/ERも、同様に**反射減衰量**は規定されている！

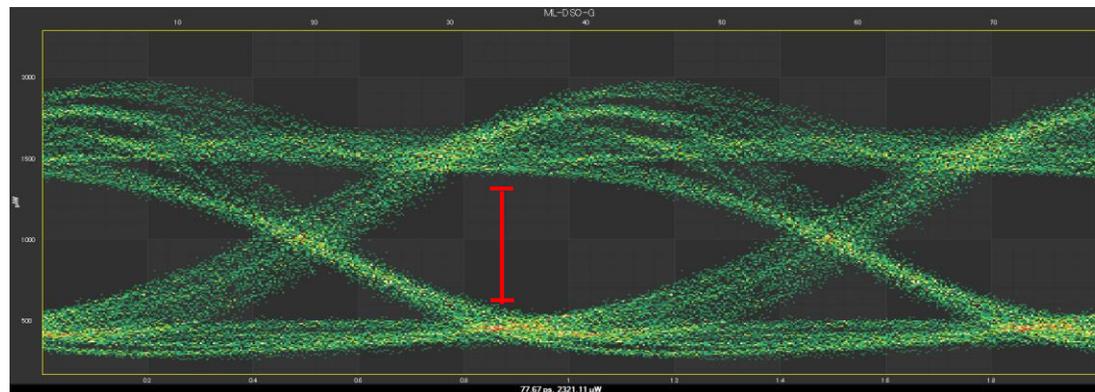
コネクタ 接続数	総反射減衰量 (dB)	ch受光レベル (dBm)	エラー率
12	13.1	-5.07	5.8E-06
11	12.0	-4.09	3.4E-05
10	11.9	-4.00	3.2E-05
9	12.1	-3.71	2.1E-07
8	12.0	-3.72	0



接続数が多くなるにつれて通信エラーが発生しやすくなる！



◆ 平常時のアイパターン

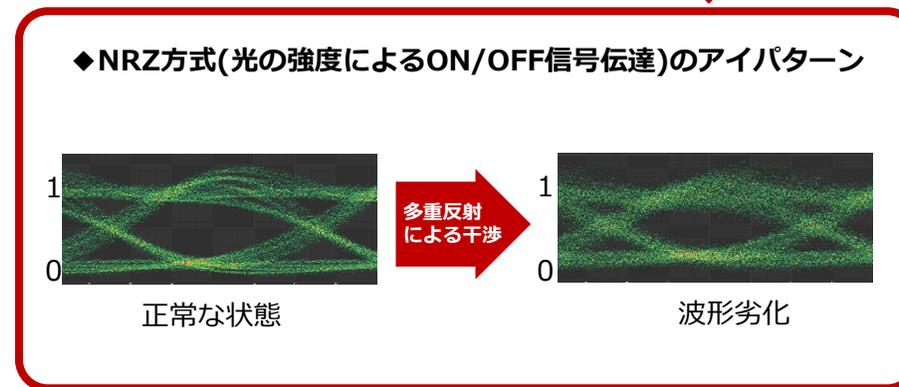
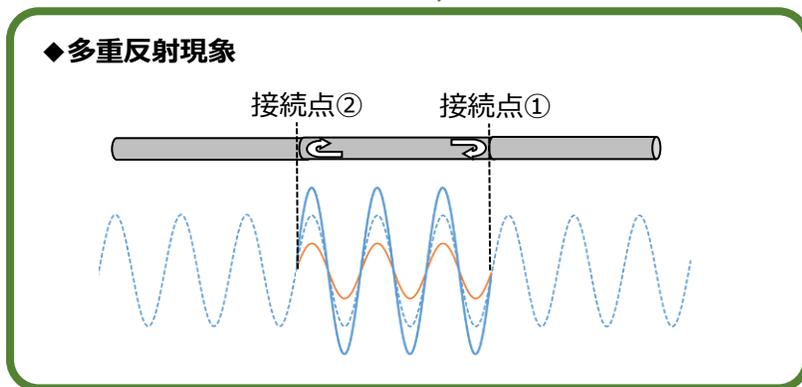
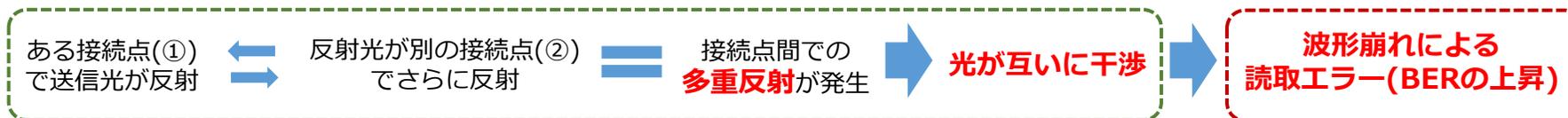


◆ 多重反射発生時のアイパターン



多重反射発生時には、波形の劣化が発生していることを確認。

乱れた波形により“目の開き”が狭くなることで**信号の誤認**、波形の交差部の重なりが太くなることで**ジッタ揺らぎ**を引き起こし、その結果BERの劣化に繋がっていく。

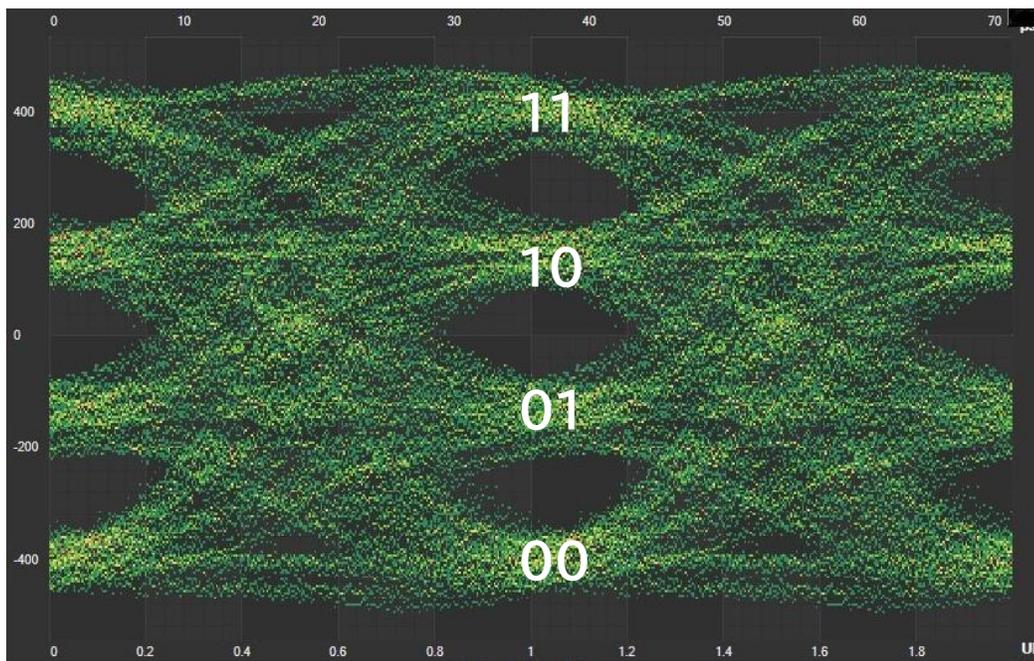


多重反射が発生することで**送信光の波に干渉**がおり、波形の劣化が発生。

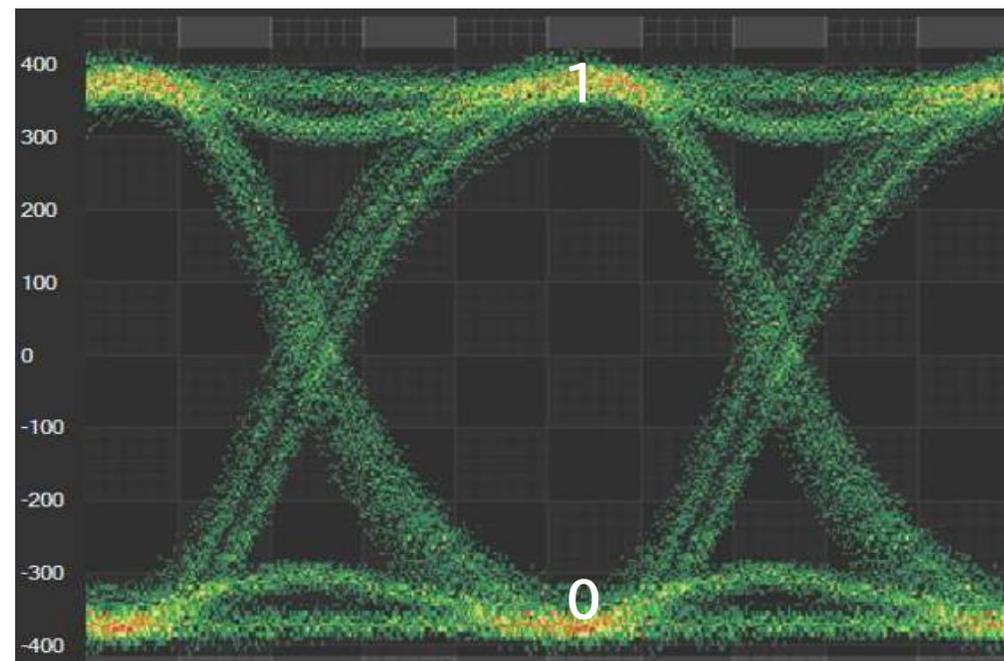
➡ **光コネクタ接続点が多い光ファイバ伝送路は要注意。**

2. 400G(PAM4方式)における反射減衰量の影響

◆PAM4のアイパターン



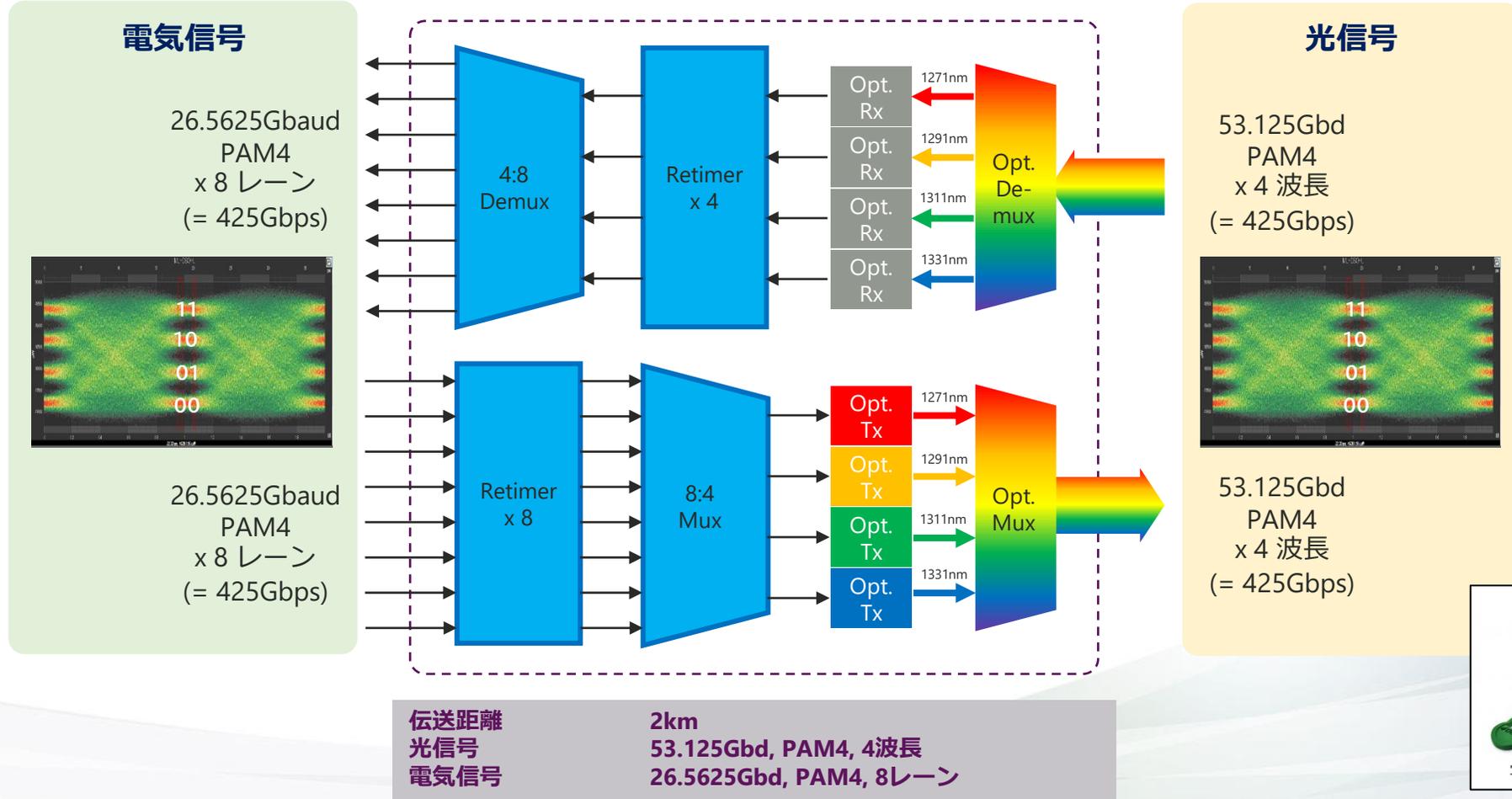
◆NRZのアイパターン



PAM4 … 波形が複数重なり、光トランシーバ側の判別が複雑化!?

FEC(誤り訂正)機能があっても、多重反射影響時の信号読み取りエラーを防ぐことは困難なのかを検証する。

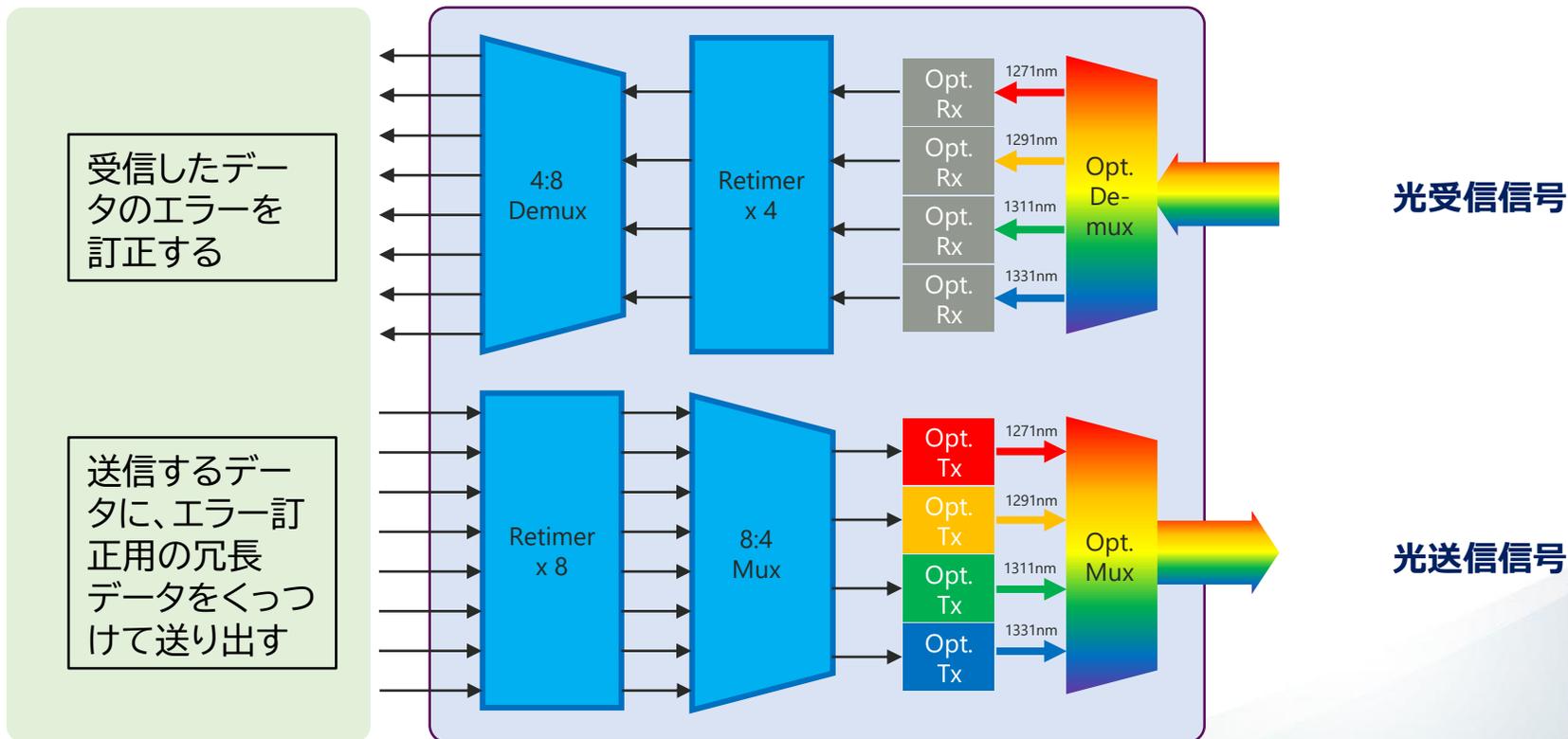
◆QSFP-DD 400G FR4 のしくみ



FEC: Forward Error Correction について

スイッチ (装置)

400G FR4 トランシーバ



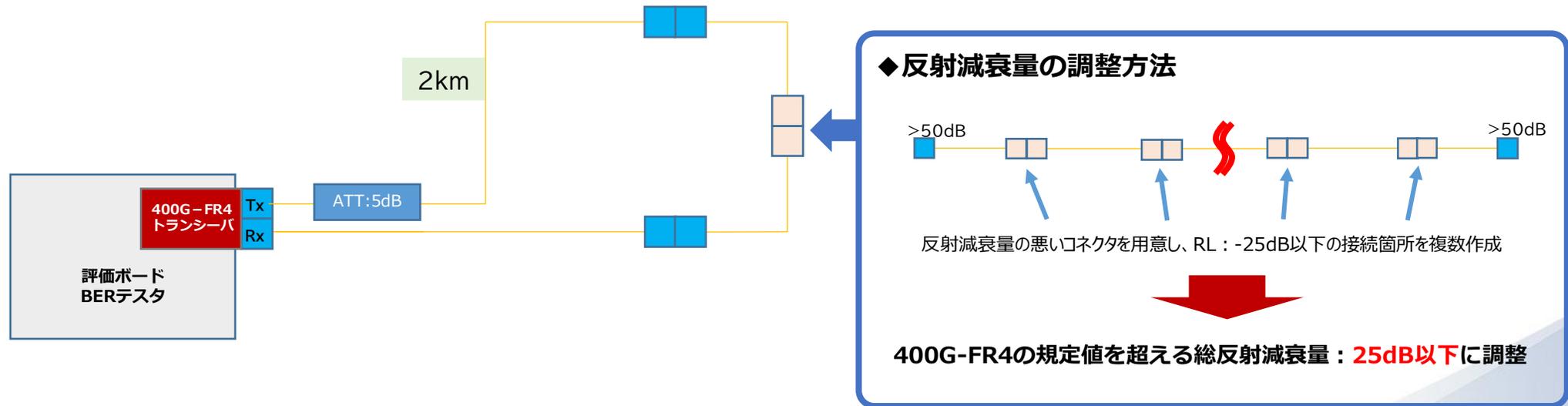
RS(544,514) FEC
2.4E-4までのエラーなら訂正できる

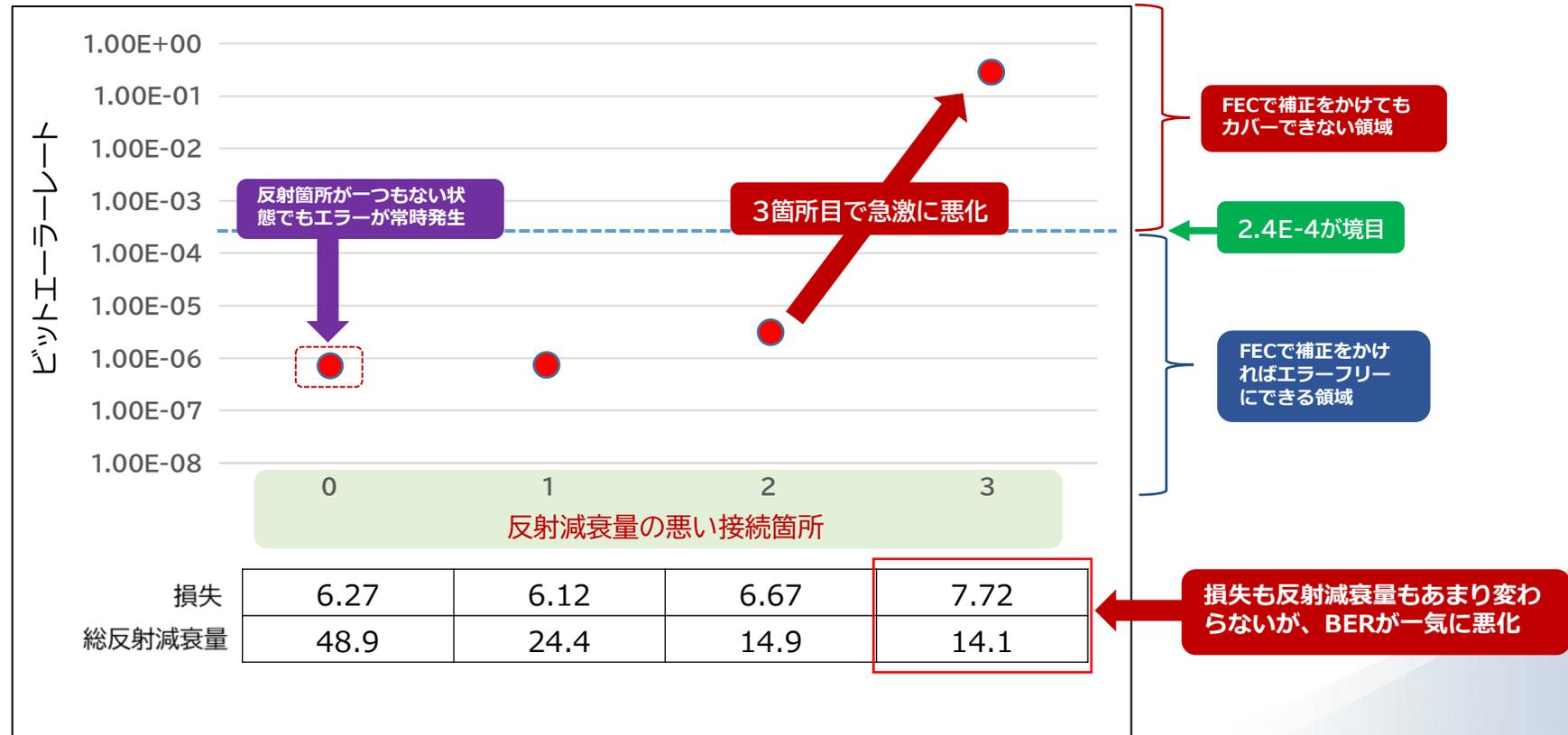
◆ 400G-FR4の光学特性仕様

対応規格	対応規格名称	ファイバ	最大接続距離	許容損失 [dB]	総反射減衰量 [dB]
IEEE802.3CC	25GBASE-LR	シングルモード	10km	6.3	21dB
	25GBASE-ER	シングルモード	40km	18	21dB
IEEE802.3ba	100GBASE-LR4	シングルモード	10km	6.3	21dB
	100GBASE-ER4	シングルモード	40km	18	21dB
IEEE802.3cu	400GBASE-FR4	シングルモード	2km	4.0	25dB

400G-FR4はより厳しい値

- ① 400G-FR4環境に反射減衰量の悪い接続箇所を複数挿入し、多重反射を発生。
- ② その状態で、アイパターンとBERを計測

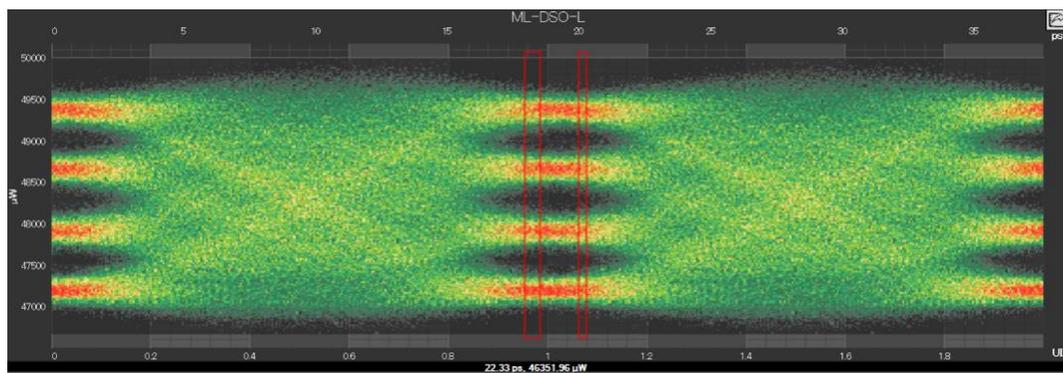




100G(NRZ方式)と同じく、反射減衰量の悪い接続点が多くなる = 多重反射が発生すると、**FEC(誤り訂正)機能でも読み取りエラーを補正しきれないほど信号が劣化してしまうことを確認。**

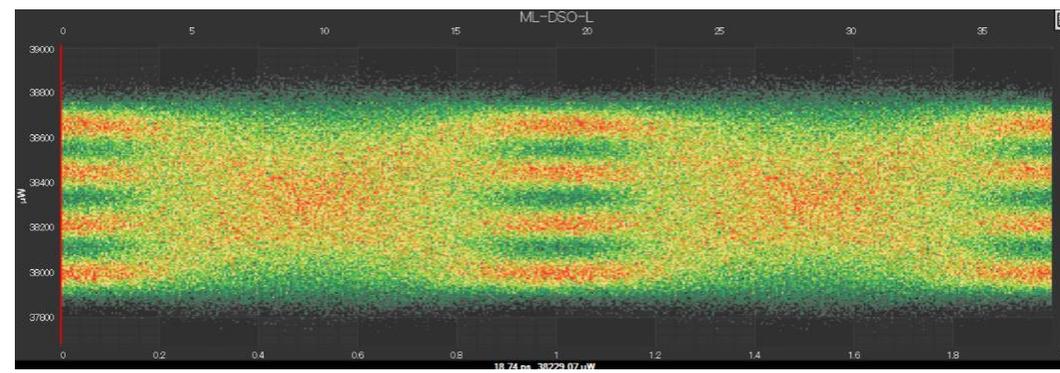
【参考】400G-FR4(PAM4)のアイパターン

◆ 平常時のアイパターン



2kmベアファイバ、BER=5.69E-8、多重反射無し

◆ 挿入損失5dB増加時のアイパターン

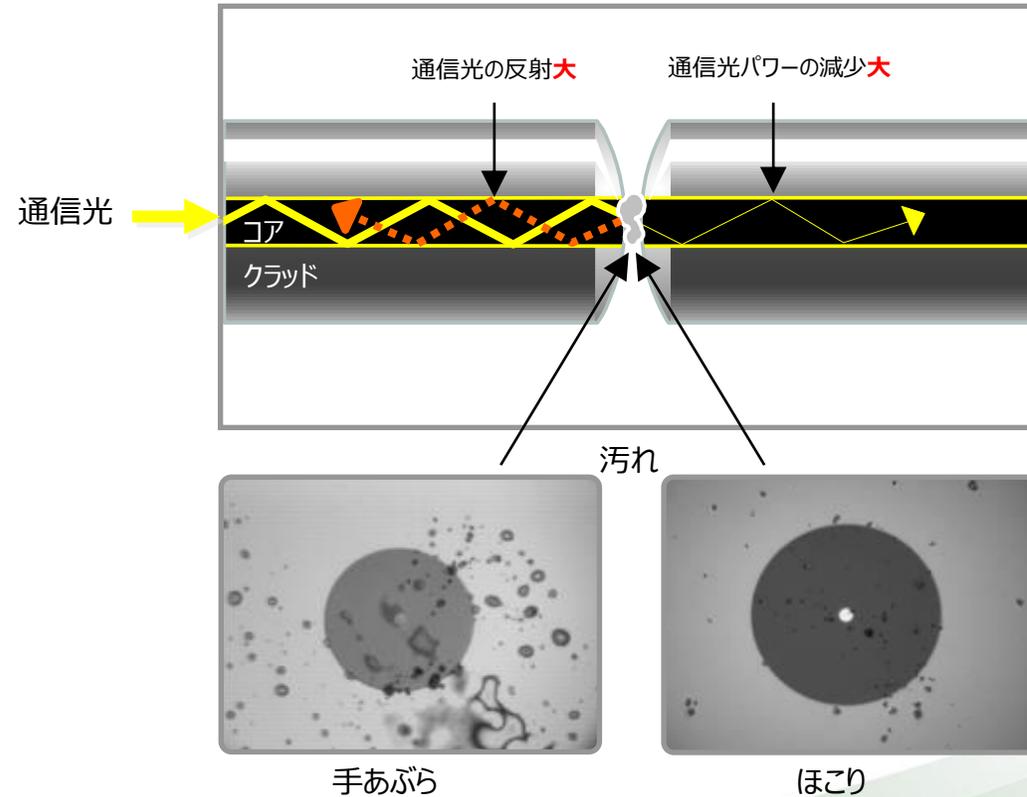


2kmベアファイバ+5dB、BER=5.85E-7、多重反射無し

多重反射影響時のアイパターンは、オシロスコープの性能限界を超えてしまった為、**取得不能**。

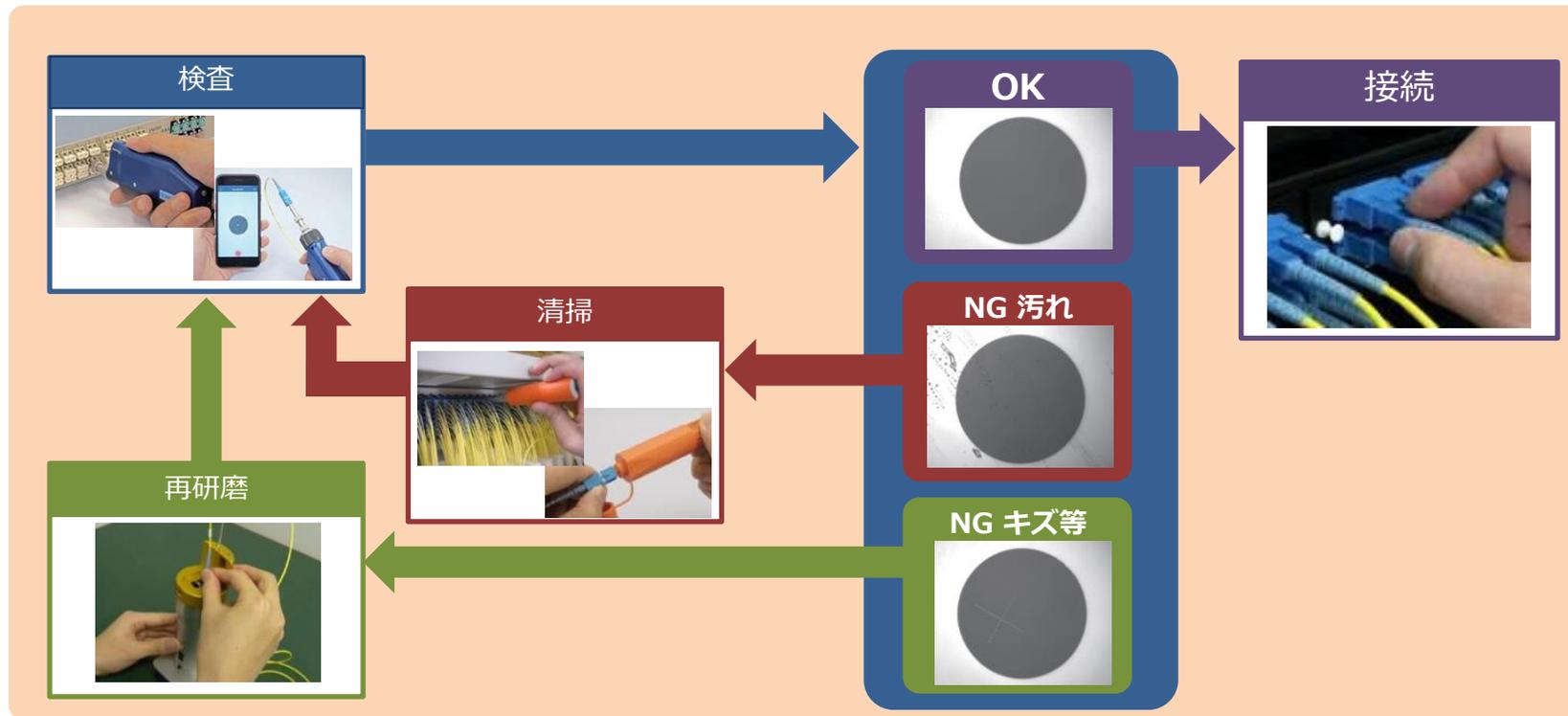
3. 反射減衰量の悪化原因と対策

光学特性の悪化を引き起こす、光ネットワーク不具合原因の大半は**光コネクタの端面汚れ**。
汚れにより通信光の反射と損失が増加。

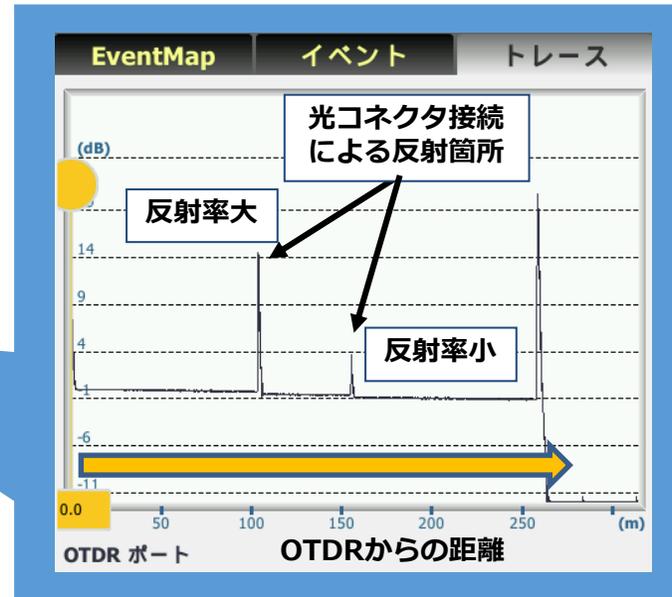


光コネクタ接続時の推奨フロー

- ◆ 接続前に端面を観察することにより、端面汚れによる障害を未然に防止。
- ◆ 端面の傷や汚れを視認することで、光コネクタ接続におけるトラブル発生原因を特定。



◆ 反射減衰量の測定はOTDRが有効。

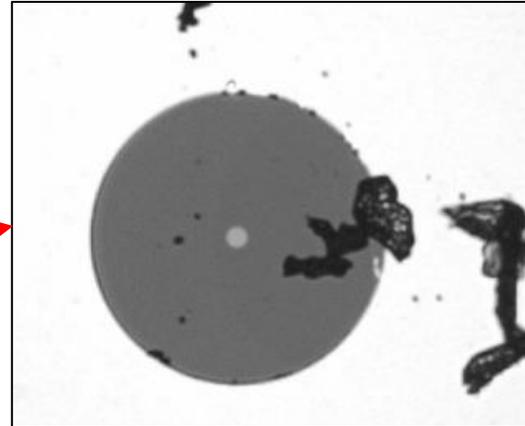
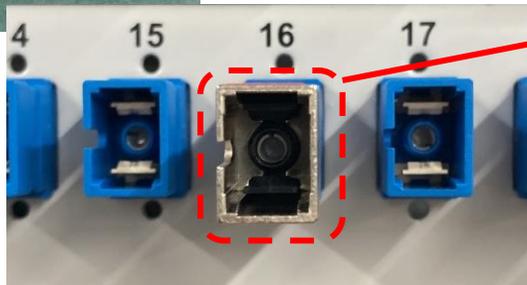


ピークの高さや線の下がり具合で、反射や損失の程度や発生位置を確認可能。

出展元：フルーク・ネットワークス様

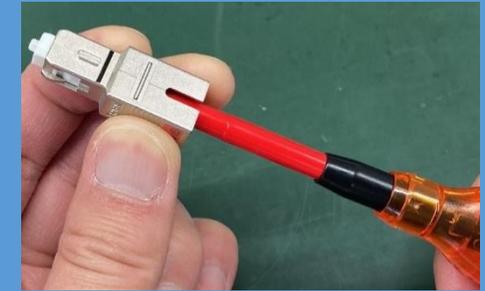
光学特性を悪化させる特殊な汚れ

◆ 光アッテネータ内部側の汚れ問題



キャップせずに放置されていたことで堆積したほこり

プッシュ式などのアダプタ側用クリーナで
清掃可能!!



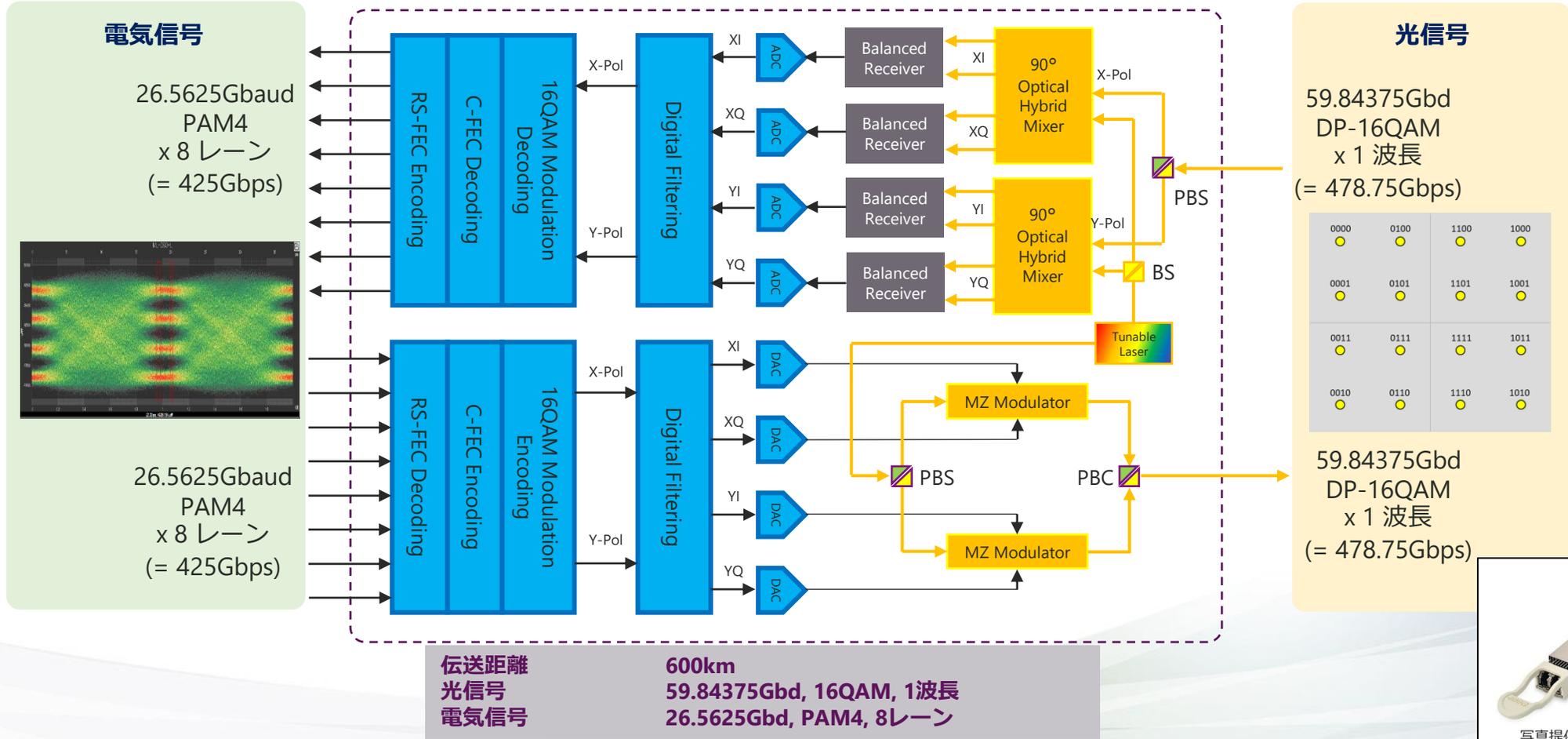
使用前には必ず清掃を!

プラグ形状側への清掃やキャップはしていても、アダプタ側形状のケアは忘れられがち。キャップをせずにそのまま放置していると、ほこりなどの汚れが堆積しやすい。用途的に**頻繁に着脱も多い**ことから汚れも付着しやすいので要注意。

4. まとめ

- ◆ 400G(PAM4方式)環境においても、多重反射の影響でエラーレートが悪化してしまうことを確認。
また影響が大きい場合は、**FEC(誤り訂正)機能**を使っても、すべてのエラーを訂正することは**困難**であることを確認。
- ◆ 100G(NRZ方式)環境と同じく、接続点の多い伝送路は反射減衰量の値に注意し、光パワーレベルに余裕をもったネットワーク設計を推奨。
- ◆ 反射減衰量に規定がある通信規格でネットワークを構築する場合、伝送路は光パワーレベルの測定だけでなく、OTDR測定も実施することを推奨。
- ◆ 光コネクタ端面はまずは清掃する。重要な箇所では端面検査も推奨。
古いコネクタは端面の品質が悪い可能性があるので、再研磨や交換も視野に。

◆QSFP-DD 400G ZR のしくみ



macnica

