

Fiber & Optics Tutorial

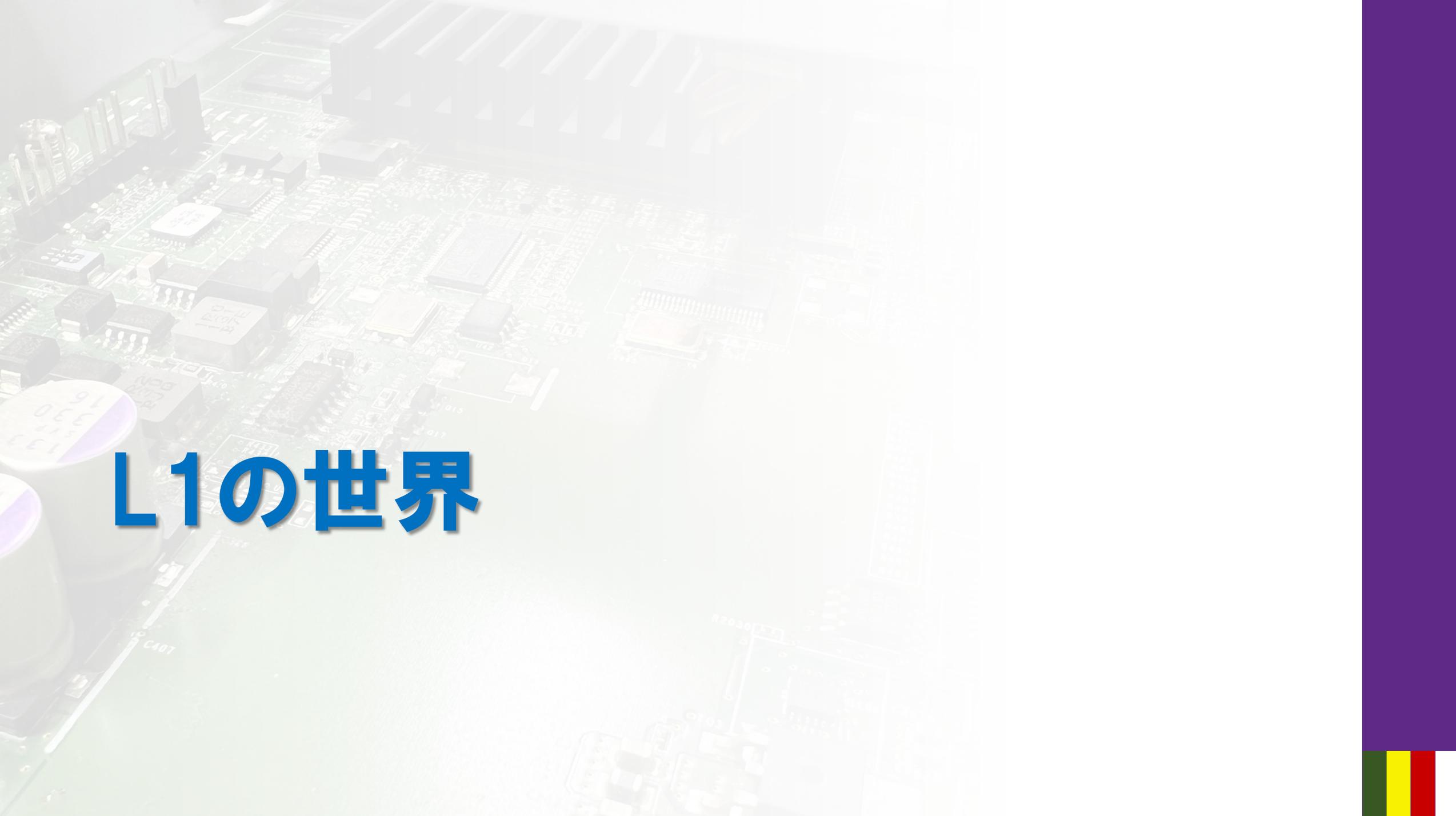
AT TOKYO
Yusuke Baba

&

Kyoto Institute of Technology
Tsuyoshi Akiyama

Agenda

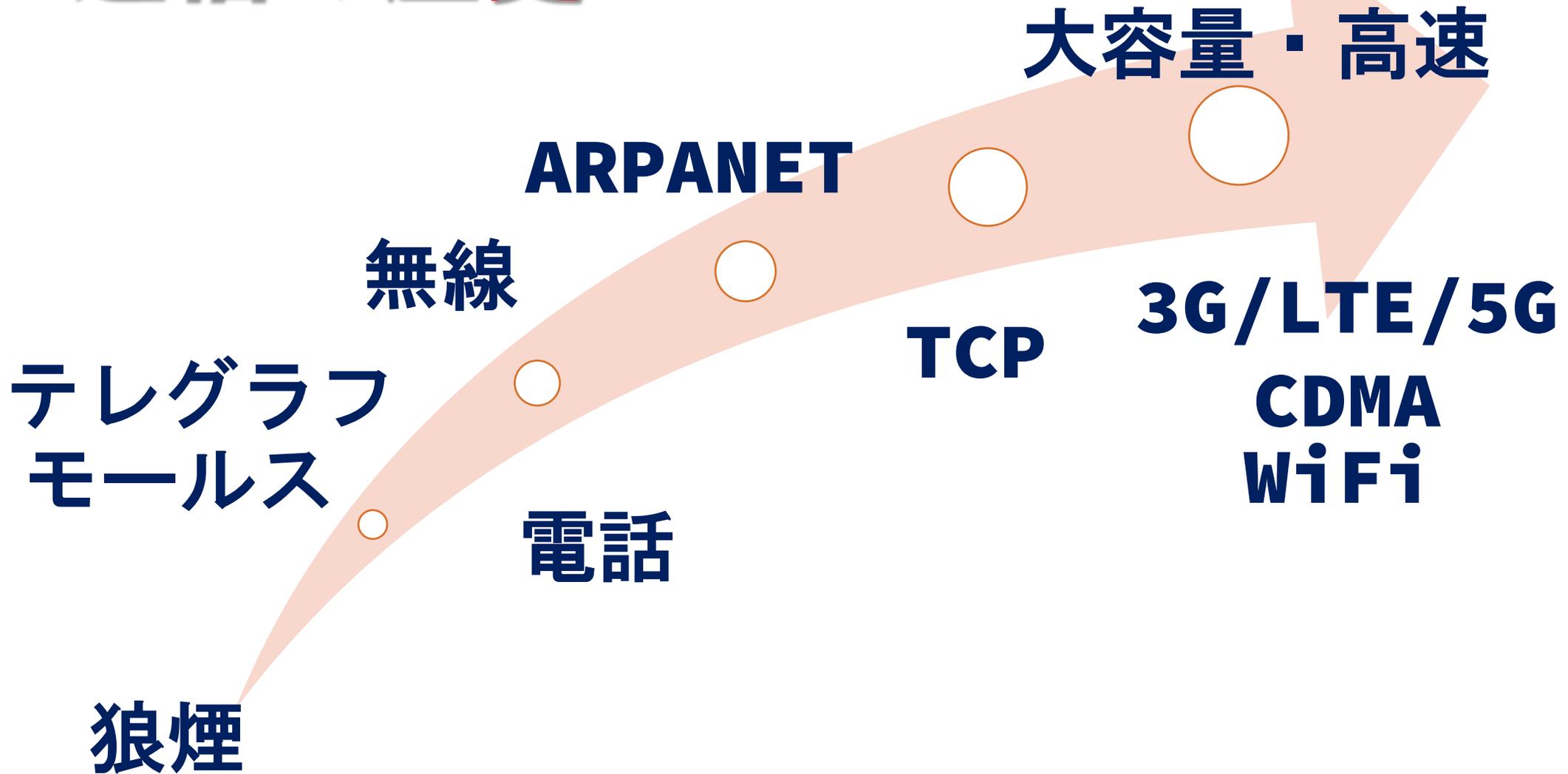
- L1の世界
 - L1とは？
 - UTPと光ファイバ
 - 光ファイバの構造
 - 光ファイバの種類
 - 光ファイバのコネクタ
 - 光トランシーバ
- トラブルシューティング
 - どんなトラブルが起こるのか？
 - クリーニング
 - トラブルシューティングに使う測定器



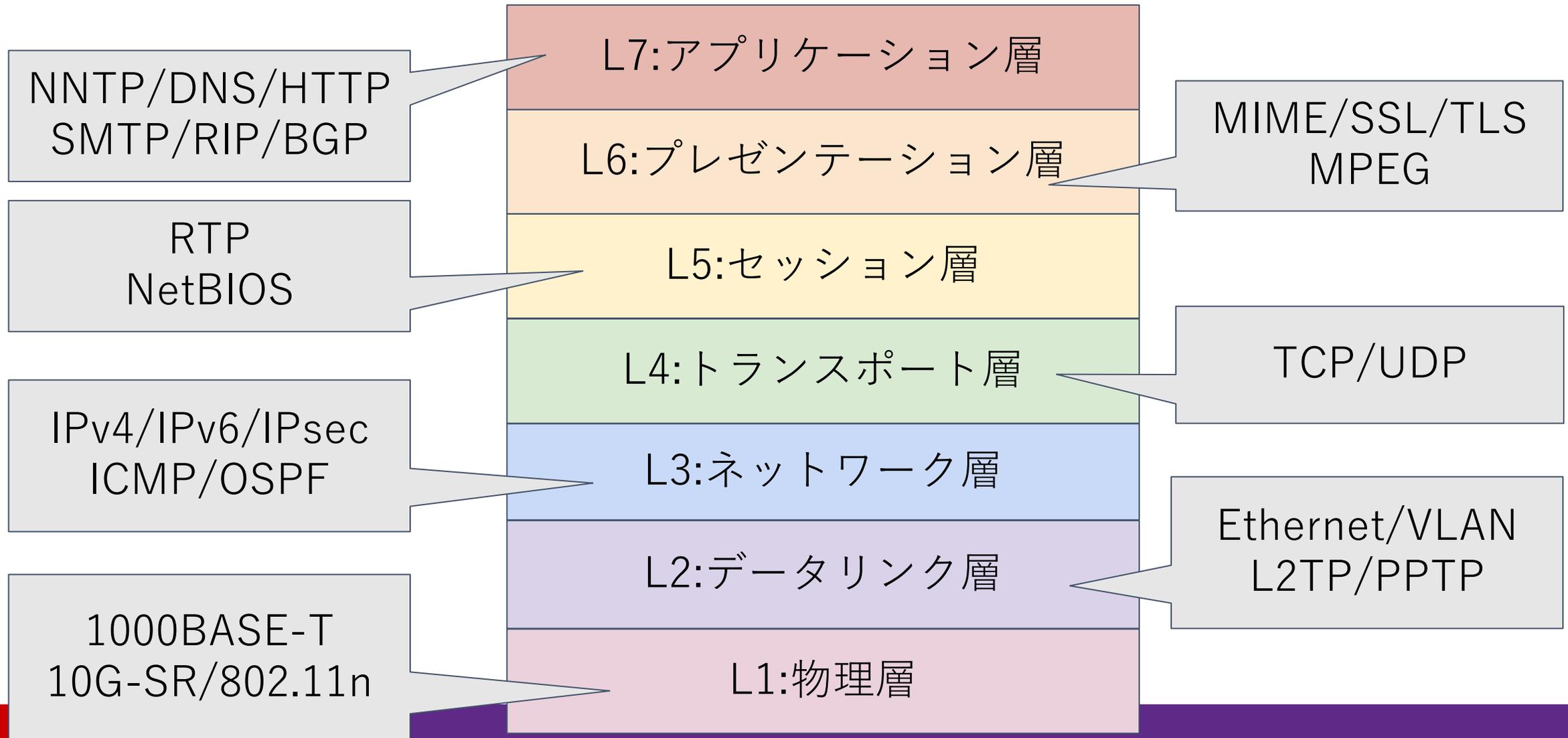
L1の世界



通信の歴史・・・



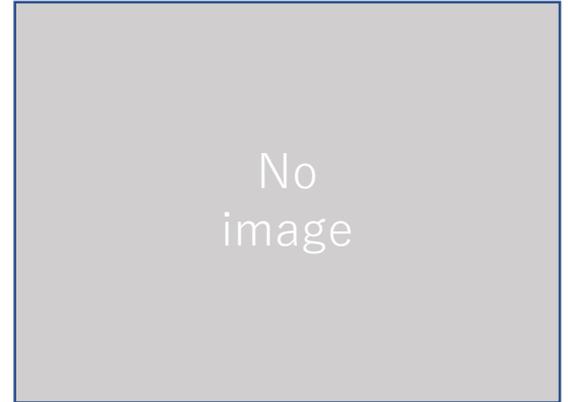
L1って何？



UTPと光ファイバと無線と

			ケーブル規格等	コネクタ	通信規格
無線	無線LAN	WiFi			IEEE802.11n IEEE802.11ac...
	公衆回線	LTE/5G...			5G/4G/3G...
有線	銅線	UTP	CAT5/CAT5e/CAT6 CAT6A/CAT7...	RJ-45	100BASE-TX 1GBASE-T 10GBASE-T
		STP		RJ-45 <small>(シールド)</small>	
	光ファイバ	マルチモード (MM)	OM3/OM4	ST SC LC	1GBASE-SX 10GBASE-SR 40GBASE-SR4...
		シングルモード (SM)	OS1/OS2	MPO	10GBASE-LR 40GBASE-LR 100GBASE-LR

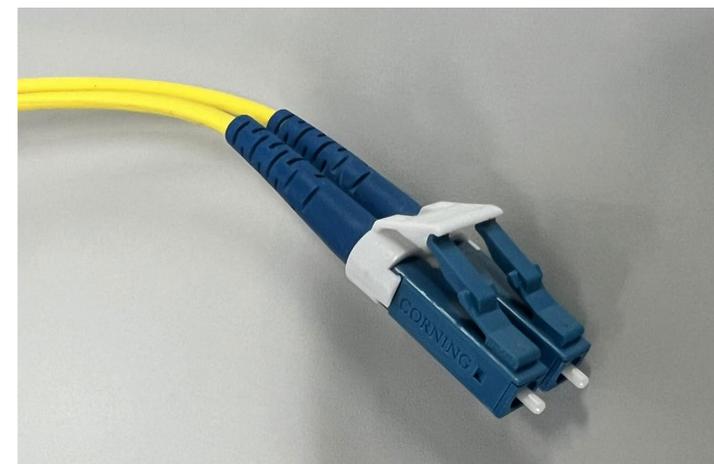
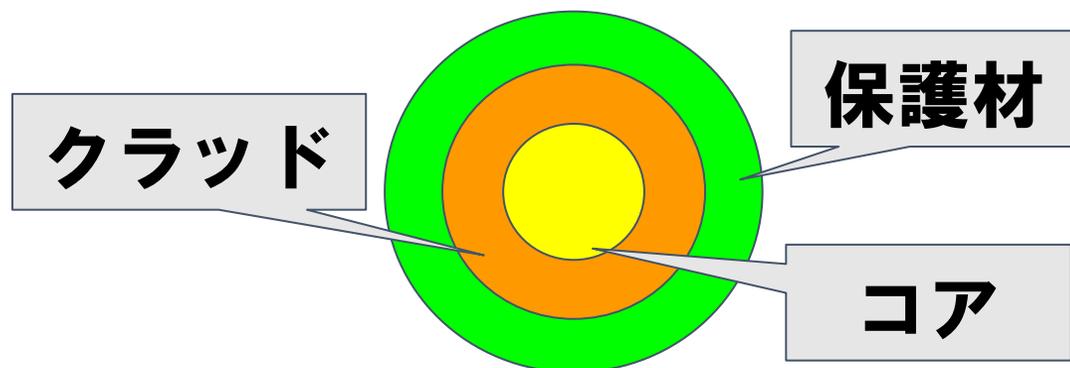
UTPケーブル(よく使う)



- 4対8芯でツイストしてある
- 単線とより線のものがある
- RJ-45で成端
- ノイズの影響を低減するためにツイストしてある(ペア間の差動で伝送してノイズ低減)
- 自作も道具があれば簡単だけど、線の順番はTIA規格で決定、認証テストで測定が必要

光ファイバ(割とよく使う)

- 電気信号を光(レーザ光に変換)で通信
- ファイバはコア・クラッド・保護材から出来ている
- SM(シングルモード)とMM(マルチモード)でコア部分の直径が異なる
- 波長も違う(SMで1310/1550nm、MMで850/1300nm)
- レーザの波長は可視光外なので見えない
- レーザ発光時に眼にあたると失明することもある！



Optics (光トランシーバ)

スイッチ or ルータ

GBIC/SFP
XFP/CFP
QSFP
...

Optics
(光トランシーバ)



100BASE-SX
1000BASE-LX
10GBASE-LR
40GBASE-LR4
...

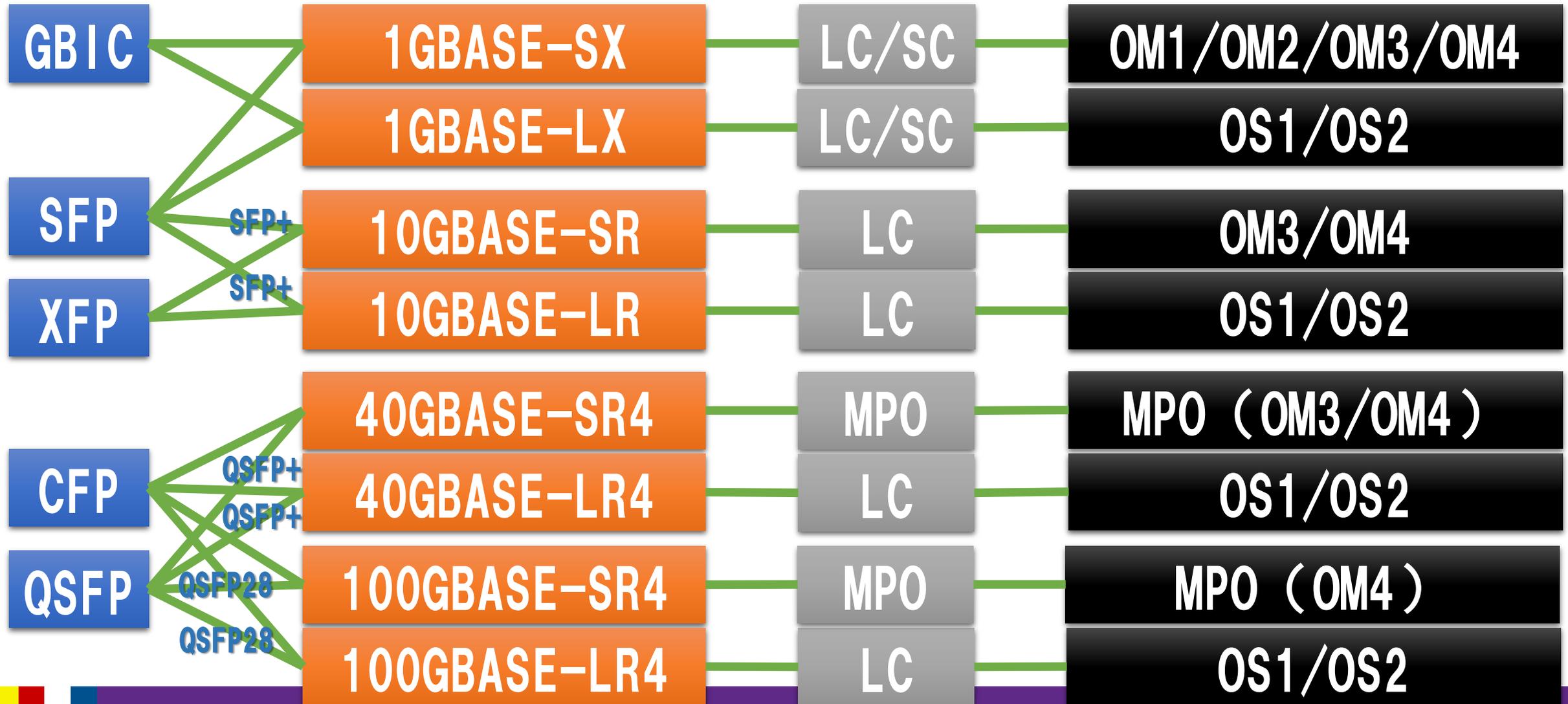
SC
LC
ST
FC
CS
...

Fiber



SM :
OS1 · OS2
MM :
OM3 · OM4

Optics (光トランシーバ) の規格(一部)



Optics (光トランシーバ)

スイッチ or ルータ

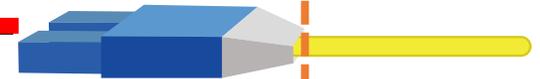
GBIC/SFP
XFP/CFP
QSFP

Optics
(光トランシーバ)



100BASE-SX
1000BASE-LX
10GBASE-LR
40GBASE-LR4

Fiber



SC
LC
ST
FC
CS

SM :
OS1/OS2
MM :
OM1/OM2
OM3/OM4

Optics (光トランシーバ)

スイッチ or ルータ

GBIC/SFP
XFP/CFP
QSFP
...

Optics
(光トランシーバ)

100BASE-SX
1000BASE-LX
10GBASE-LR
40GBASE-LR4
...

SC
LC
ST
FC
CS
...

Fiber

SM :
OS1/OS2
MM :
OM1/OM2
OM3/OM4



Optics (光トランシーバ)

- 電気信号を光に変換するモジュール
- 通信速度によりインターフェイス(フォームファクタ)が異なる
- フォームファクタが異なっても通信規格(10GBASE-SR等)が同じであれば接続が可能
- 半導体レーザを使用するため発熱する
- 小型のフォームファクタでは、高密度実装すると熱が問題になることもある
- 発熱が大きいOpticsには放熱フィンを付けたものもある

伝送帯域と伝送距離と規格と

	メディア	伝送距離	フォームファクタ
1000BASE-T	CAT5e	100m	
1000BASE-SX	MM2C	550m (OM2)	SFP
1000BASE-LX	SM2C	5km	SFP
10GBASE-T	CAT6A	100m	
10GBASE-SR	MM2C	300m	SFP+/XENPAK/XPAK/XFP/X2
10GBASE-LR	SM2C	10km	SFP+/XENPAK/XPAK/XFP/X2
10GBASE-ER	SM2C	40km	SFP+/XENPAK/XPAK/XFP/X2
10GBASE-ZR	SM2C	80km	SFP+/XENPAK/XPAK/XFP/X2

伝送帯域と伝送距離と規格と

	メディア	最大伝送距離	フォームファクタ
40GBASE-SR4	MM-MPO(8C)	150m(OM4)	QSFP+
40GBASE-LR4	SM2C	10km	QSFP+
40GBASE-CSR4	MM-MPO(8C)	400m(OM4)	QSFP+
40GBASE-ER4	SM2C	40km	QSFP+
100GBASE-SR4	MM-MPO(8C)	100m	QSFP28
100GBASE-LR4	SM2C	10km	QSFP28/CFP4/SFP-DD
100GBASE-ER4	SM2C	40km	QSFP28/CFP2
100GBASE-ZR4	SM2C	80km	QSFP28
400GBASE-SR8	MM-MPO(16C)	100m	QSFP-DD
400GBASE-LR8	SM2C	10km	QSFP-DD
400GBASE-ZR	SM2C	40km	QSFP-DD

Optics (光トランシーバ)

- **AOC**: Active Optical Cable - モジュールとモジュールの間を光ファイバでつないだもの。
- **DAC**: Direct Attach Cable - モジュールとモジュールの間をメタルケーブルでつないだもの



Optics (光トランシーバ)

スイッチ or ルータ

Optics
(光トランシーバ)

Fiber

GBIC/SFP
XFP/CFP
QSFP
...

100GBASE-SX
100GBASE-LX
10GBASE-LR
40GBASE-LR4
...

SC
LC
ST
FC
CS
...

SM :
OS1/OS2
MM :
OM1/OM2
OM3/OM4



フォームファクタ

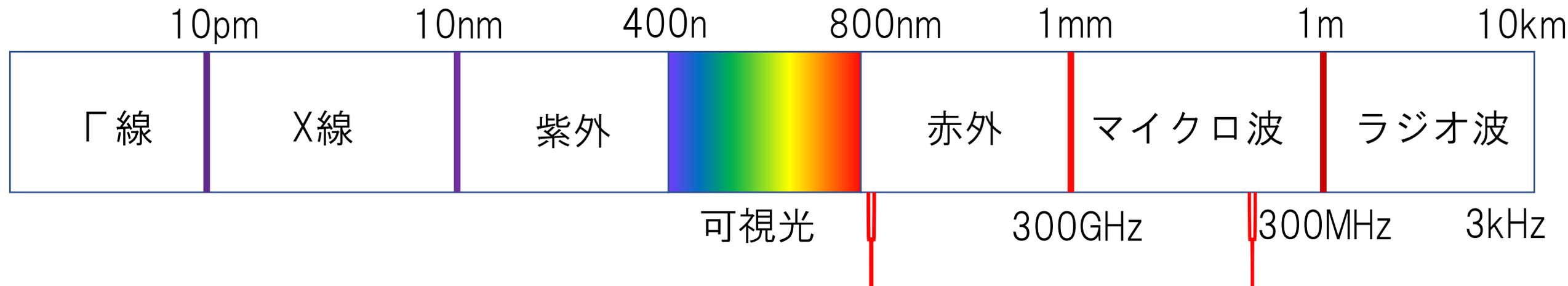
名称	形状	
GBIC		初期によく使われた。100Mbps/1Gbpsで利用
SFP	No image	SFPは1Gbpsまで。その後SFP+が登場し、10Gbpsに対応。SFP28は25Gbpsまで対応。さらにSFP-DDも登場
QSFP	No image	Quad SFP。SFP4レーン分をまとめたもの。QSFP+だと10G×4レーンで40Gbpsまで対応。100Gbps対応（25G×4）のQSFP28や400Gbpsに対応したQSFP-DDも登場している
CFP	No image	40・100Gbps用のCFP、100Gbps用のCFP2/CFP4、400Gbps用のCFP8がある。
XFP	No image	10Gbps用のフォームファクタ。SFPより少し大きい

フォームファクタ

名称	形状	
XENPAK		10Gbps初期によく用いられたフォームファクタ。
XPAK		10Gbps用のフォームファクタ。XENPAKより小型化したもの
X2	No image	10Gbps用のフォームファクタ。XENPAKより小型化したもの
XFP	No image	10Gbps用のフォームファクタ。SFPより少し大きい

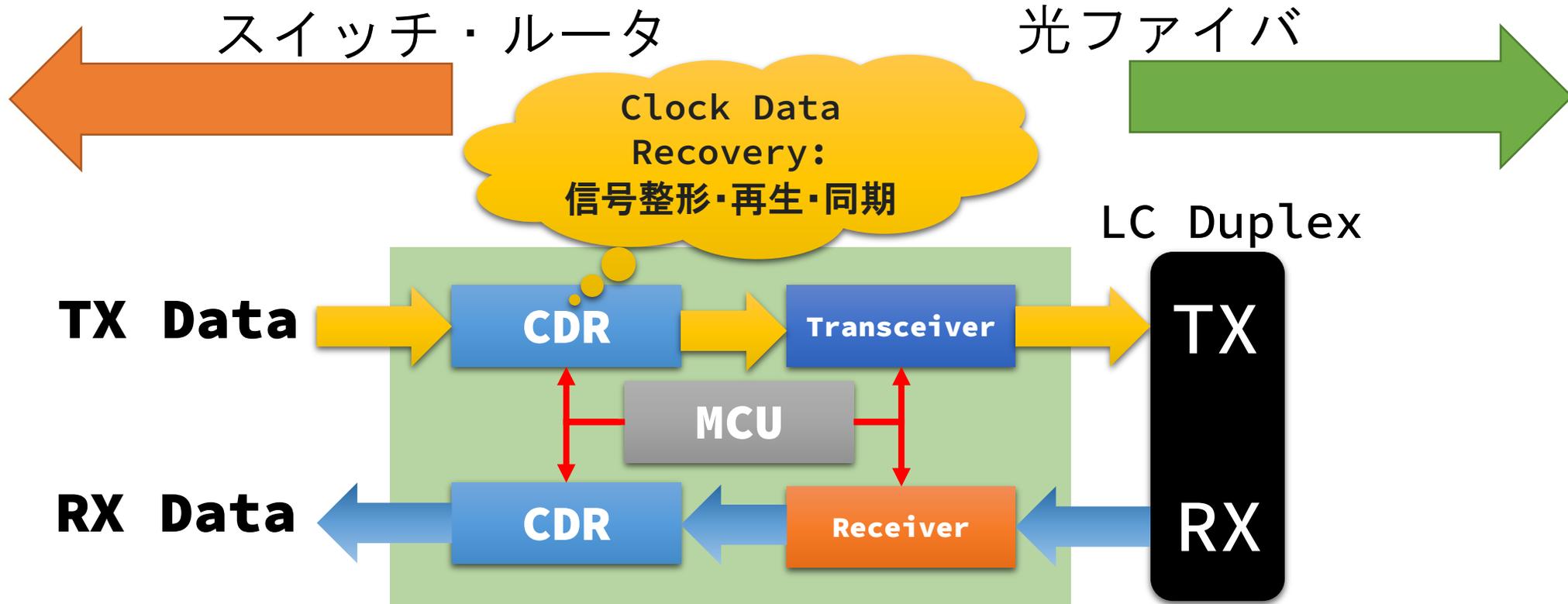
波長の話

- 使用するレーザーの波長は通常850nm/1310nm/1550nmを使用
- 可視光外なので、発光しているか肉眼で確認不可

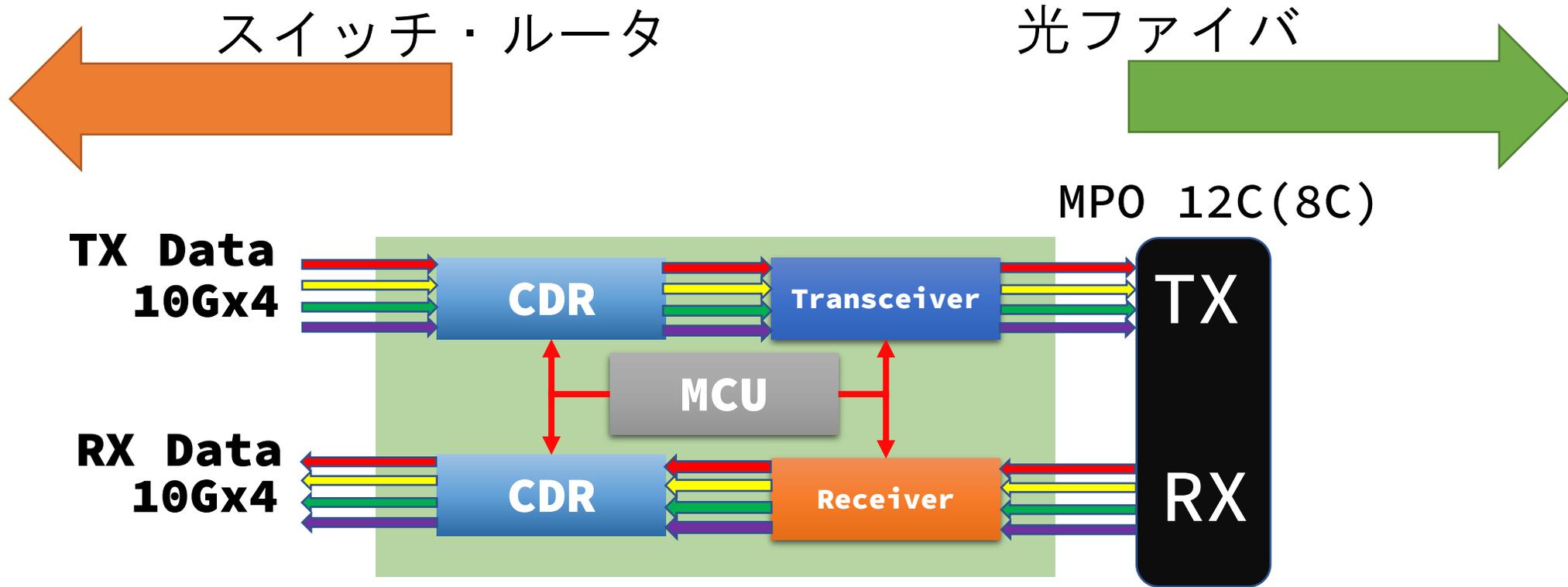


このあたりの波長を使用
このあたりの波長を無線LANで使用

Opticsの中身

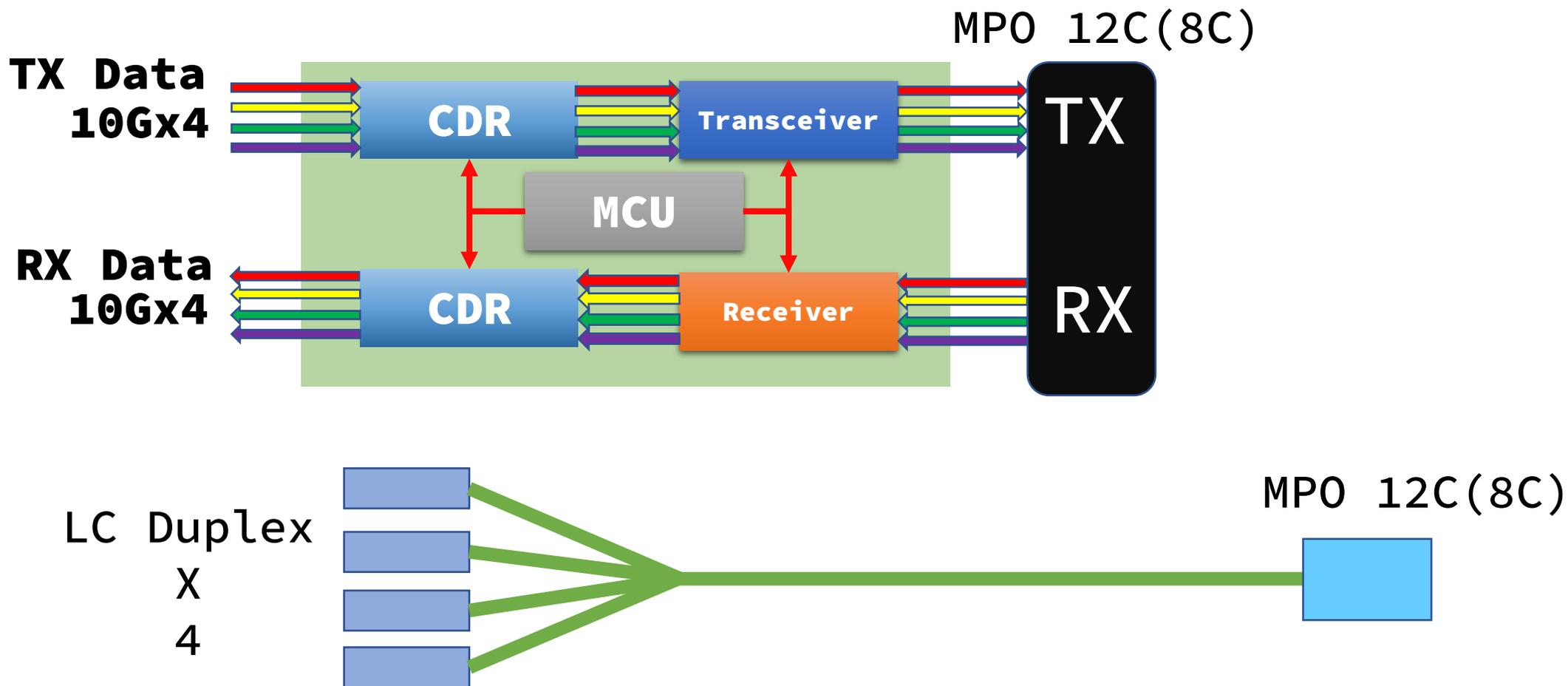


Opticsの中身(40G-SR4の場合)



・機種によっては40Gx1ポートを10Gx4ポートで利用可能

ブレイクアウト!



•ブレイクアウトケーブル or MPOカセット

より高帯域な通信のために

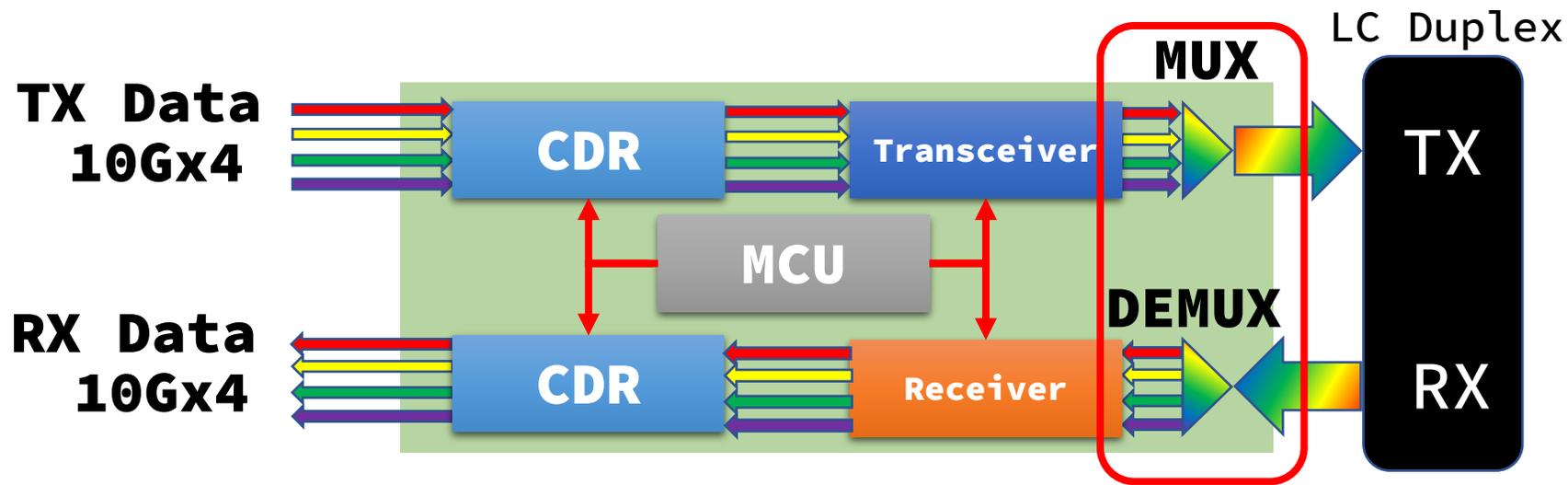
• 波長多重(WDM)

- 複数の波長を使い多重化する技術
- 異なる波長を合成して複数の信号を伝送する
- 使用する波長の幅によってCWDMとDWDMに分けられる
- CWDMは1271nm-1611nmを中心波長として、20nm間隔で18波長に分割して利用
- DWDMは1533.33nm-1624.89nmを0.8nm間隔で115波長に分割して利用
- 送信と受信で波長を分けて1芯の光ファイバで通信する技術もある(BiDi)

• コヒーレント

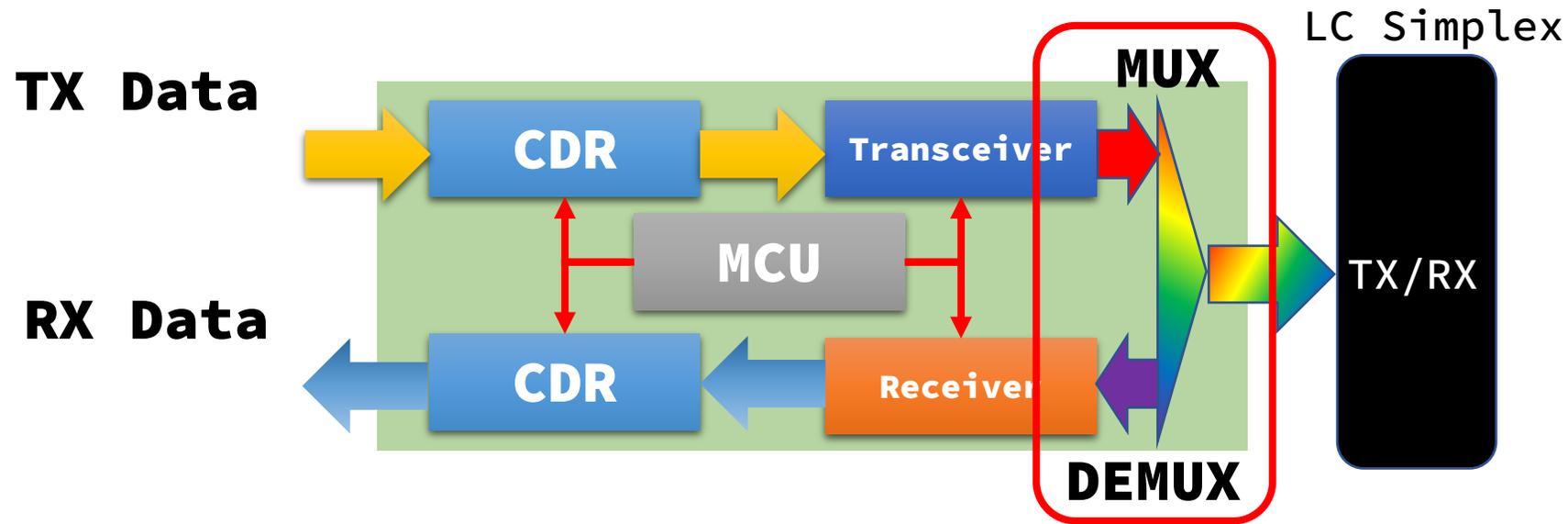
- コヒーレント変調技術を使い多重化する技術
- 偏波を使って複数の信号を伝送する。
- 変調方式にQAMやQPSKを使用する

Opticsの中身(WDM:40G-LR4の場合)



多重波長 (波長合成)

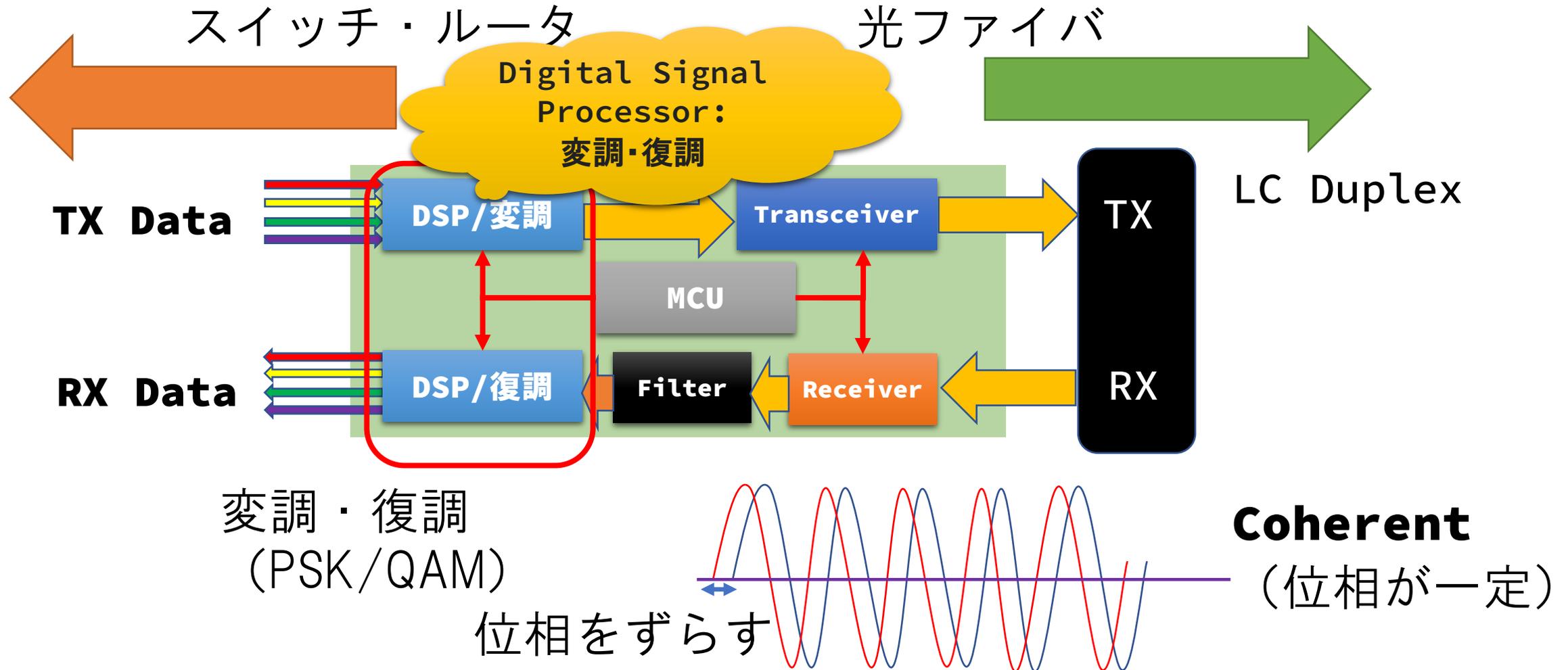
Opticsの中身(BiDi)

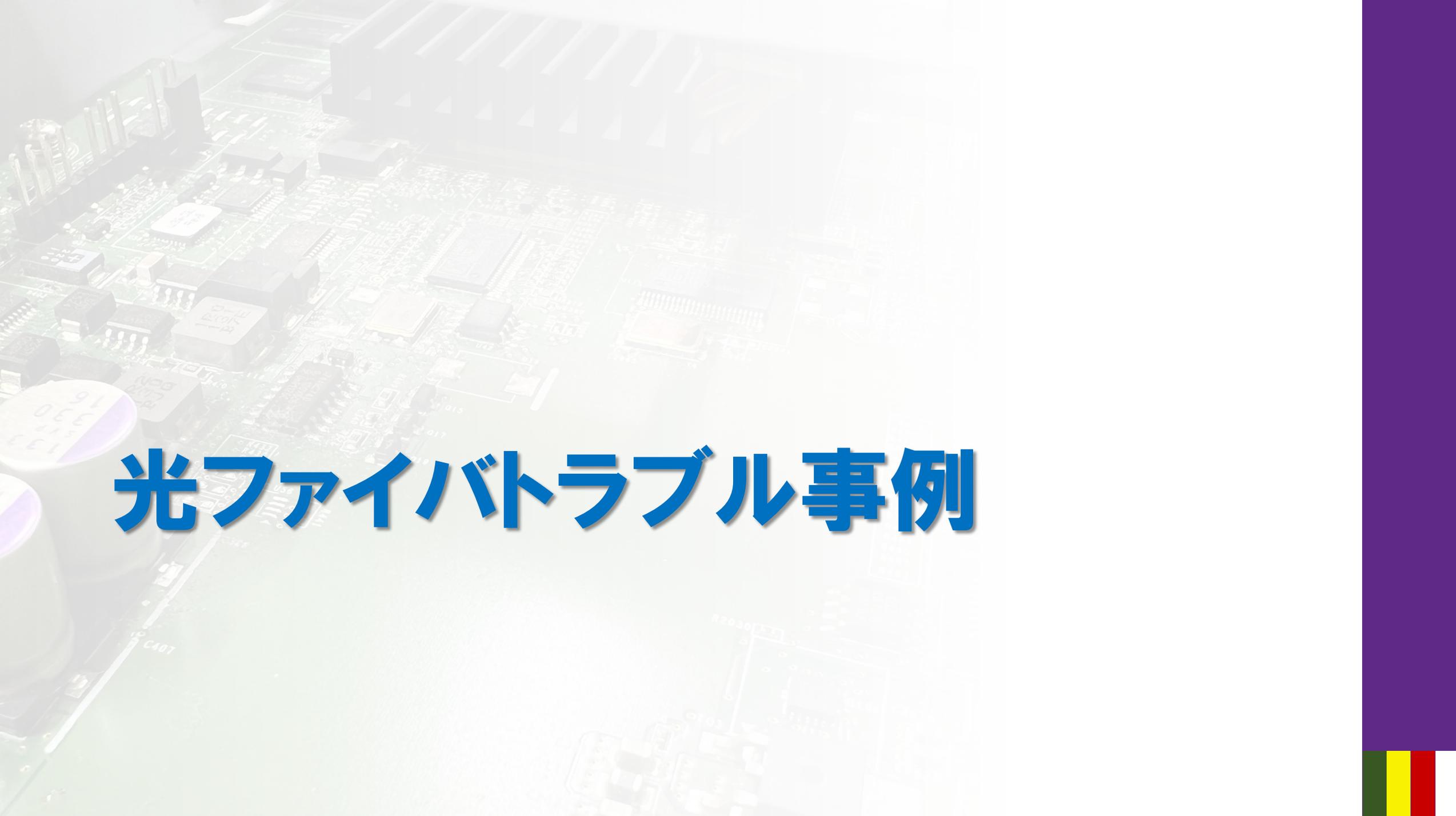


多重波長

(TX/RXで異なる波長)

Opticsの中身(コヒーレント)





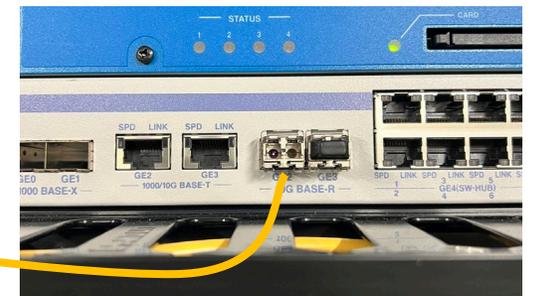
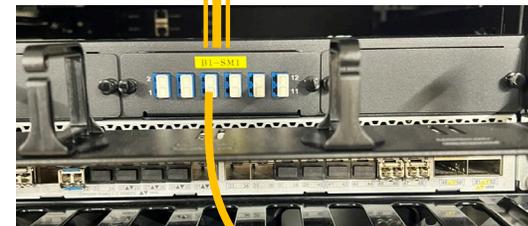
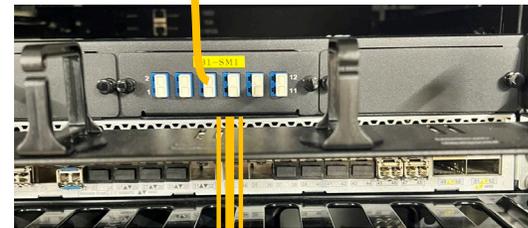
光ファイバトラブル事例



リンクアップしない



- パッチパネルをはさむと
ややこしくなる
- レーザが発振しているか
目で見てもわからない！
(失明の可能性があるので
絶対しない)
- Tx側がレーザを発振している

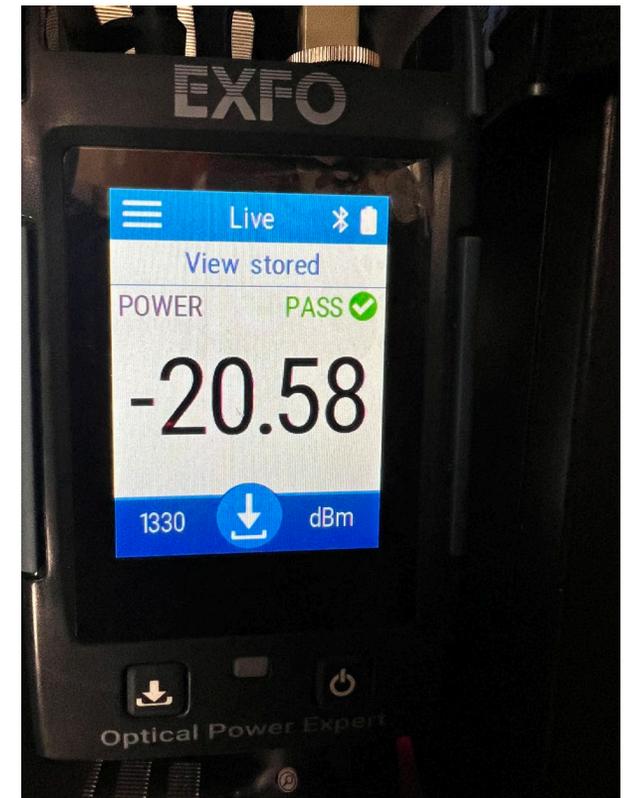


接続状態を確認

- 「カチツ」とロックされるまで、コネクタが挿入されてる？
- パッチ側もちゃんと接続されている？
- Opticsがちゃんと取り付けられている？

パワーメータでTX/RXを探す！

- 光の強さを測る
- 相手がRxだと0dBm(発光していない)
- 相手がTxだとPOWERが表示される



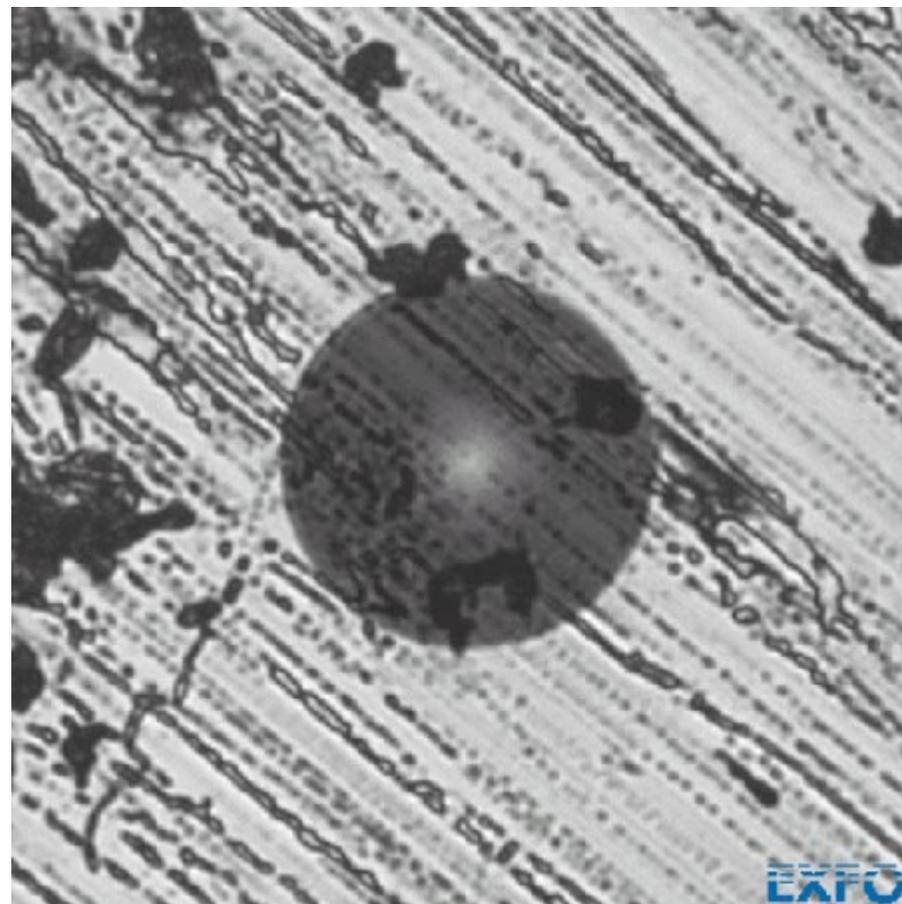
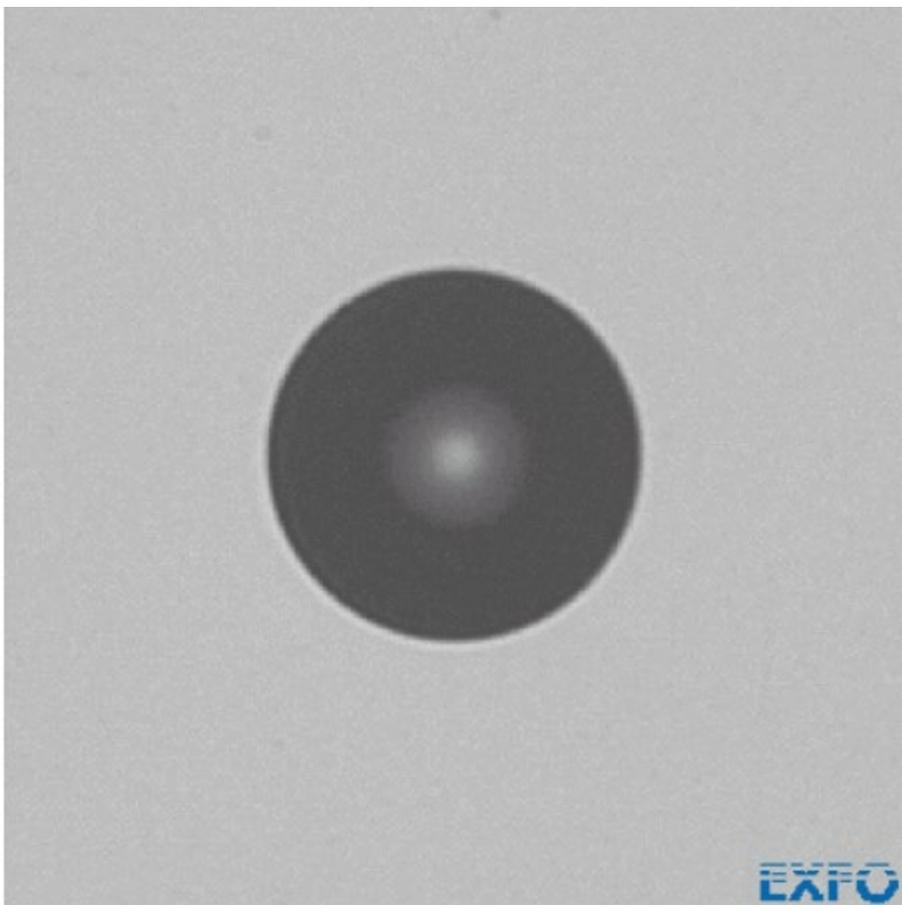
通信が不安定・帯域がでない

- リンクアップするものの、リンクアップーリンクダウンを繰り返す
- 10Gbpsのはずが、100Mbpsぐらいで通信している
- リンクアップすらしない
- リンクアップはするもののL2以上のIFがアップしない

端面検査



端面検査



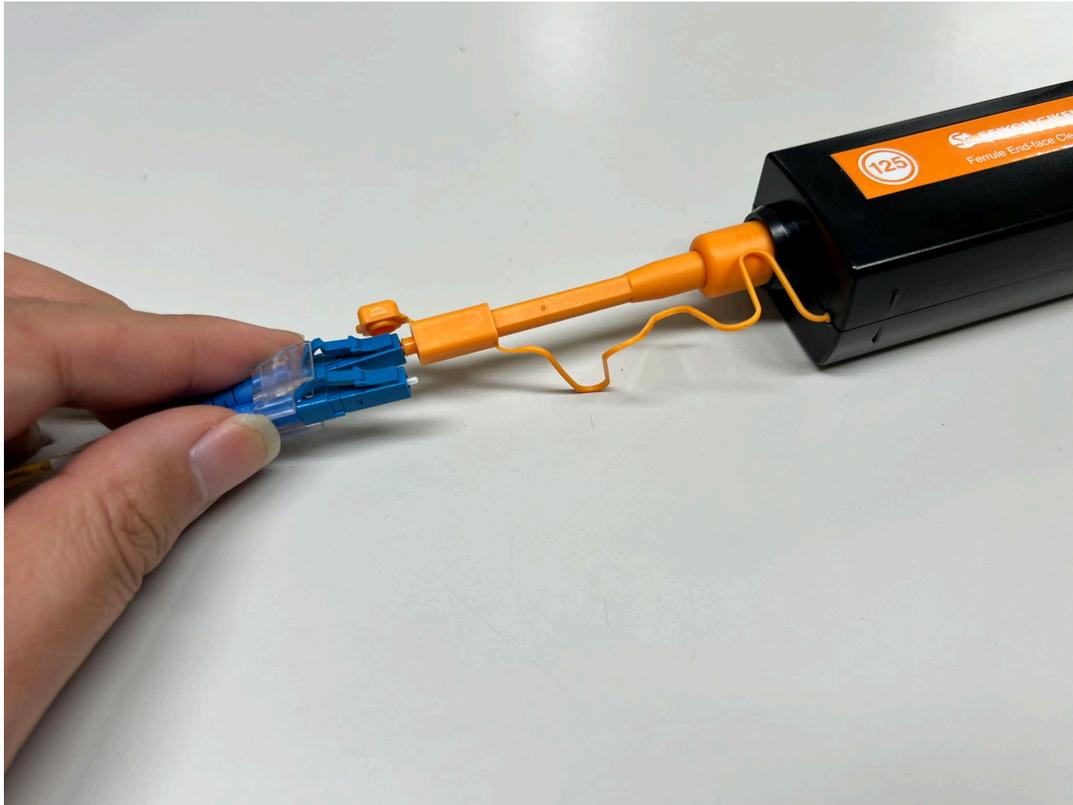
端面汚れ・焼き付き

- 新品の光ファイバでも汚れてる時がある
- 接続時に触ってしまった
- キャップするの忘れてた
- 汚れたまま使ってた

端面クリーニング



端面クリーニング



最終手段の端面研磨

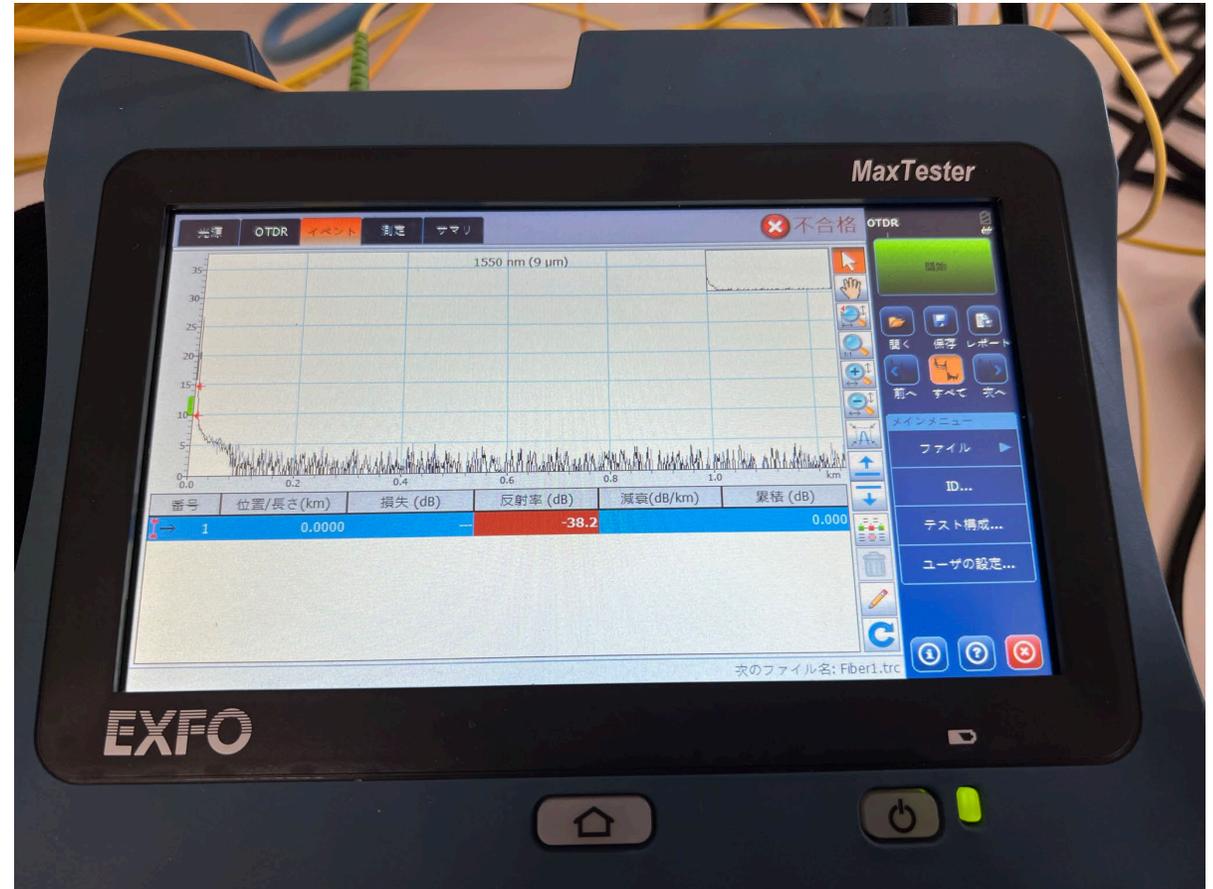
- どうやっても綺麗にならないときは・・・
 - (普通の人)廃棄しましょう
 - (特殊な人)端面研磨機で研磨してみましよう
- 研磨機って・・・
 - 研磨用ディスクを使って表面を削る
 - こびりついた汚れや焼き付いた汚れには効果的
 - ファイバ製造時の品質には戻らないかも・・・。

ファイバが切れた！

- 新設工事の建物
- 引き渡し後にファイバを調査
- (引渡し前に検査済みだったが・・・)
- 4芯中3芯の検査結果がNG！？

OTDRの活用！

- 光ファイバにパルスを発振
- 反射光を測定
- 距離：減衰の大小を測定
- 減衰の変化によってパッチ部や
接続点・融着点を判別



OTDRで探す障害ポイント

検査区間

ラウンチ
ファイバ

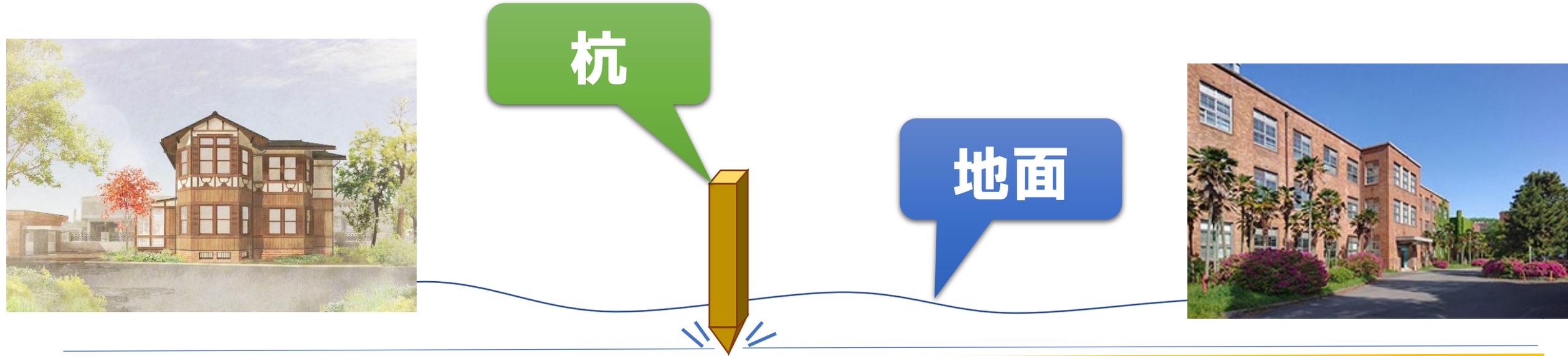


iOLM Table

Type	Position/ Length (km)	Loss (dB)		Reflectance (dB)		Attenuation (dB/km)		
		1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm	
Connector (A)	0.0000	0.002	-0.084	---	-80.2			
Section	0.0021	---	---			---	---	
Connector	0.0021	0.332	0.251	-53.7	-53.0			
Section	0.0286	---	---			---	---	
Macrobend	0.0306	0.043	0.610	---	---			
Inspect the fiber in this area to search for excessive bending or cable compression.								
Section	0.1166	0.046	0.031			0.391	0.262	
Connector (B)	0.1473	---	---	>-18.5	>-17.5			
To characterize loss and include the element in link loss and ORL, a receive fiber is required.								

ファイバがつぶれてた！

- ・地中30cmに埋設されていた光ファイバを保護管ごと木の杭で潰されてた



配管(地中30cm)

もっと上位レイヤをテストする

- タップ
- トラフィックジェネレータ
- ネットワークエミュレータ
- スペクトラムアナライザ

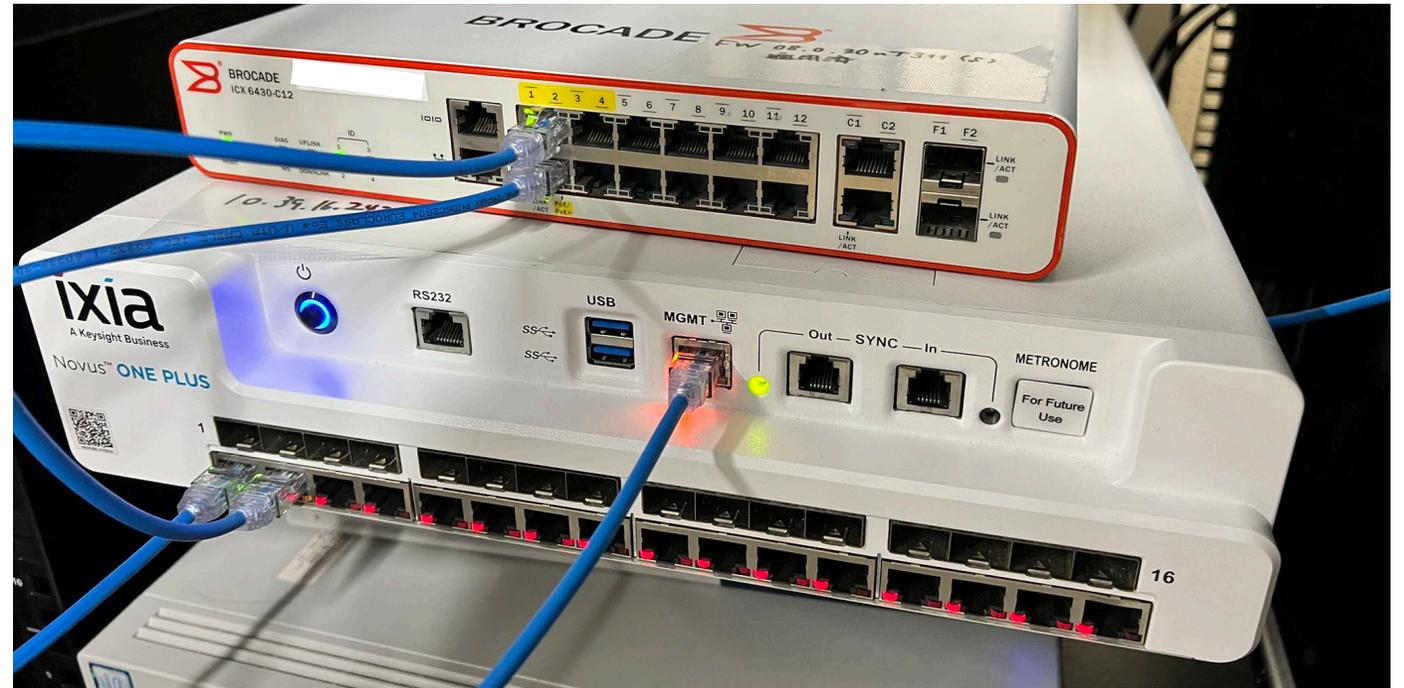
タップ

- 物理的に分岐する
- ライン上を流れるトラフィックをキャプチャ



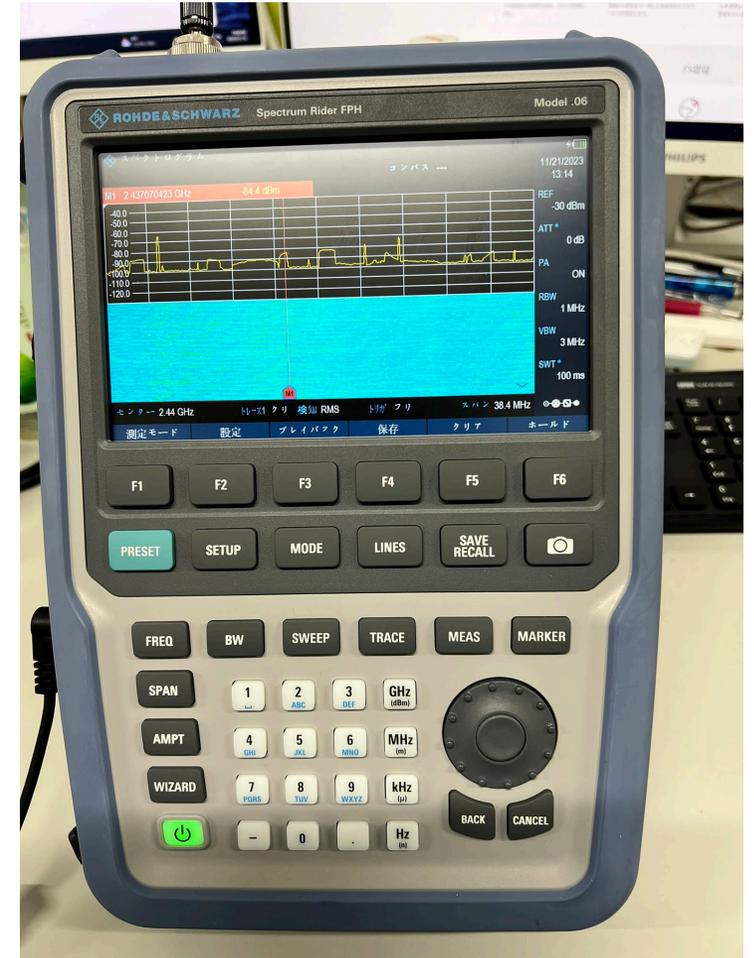
テスター

- トラフィックジェネレータ
- ネットワークエミュレータ

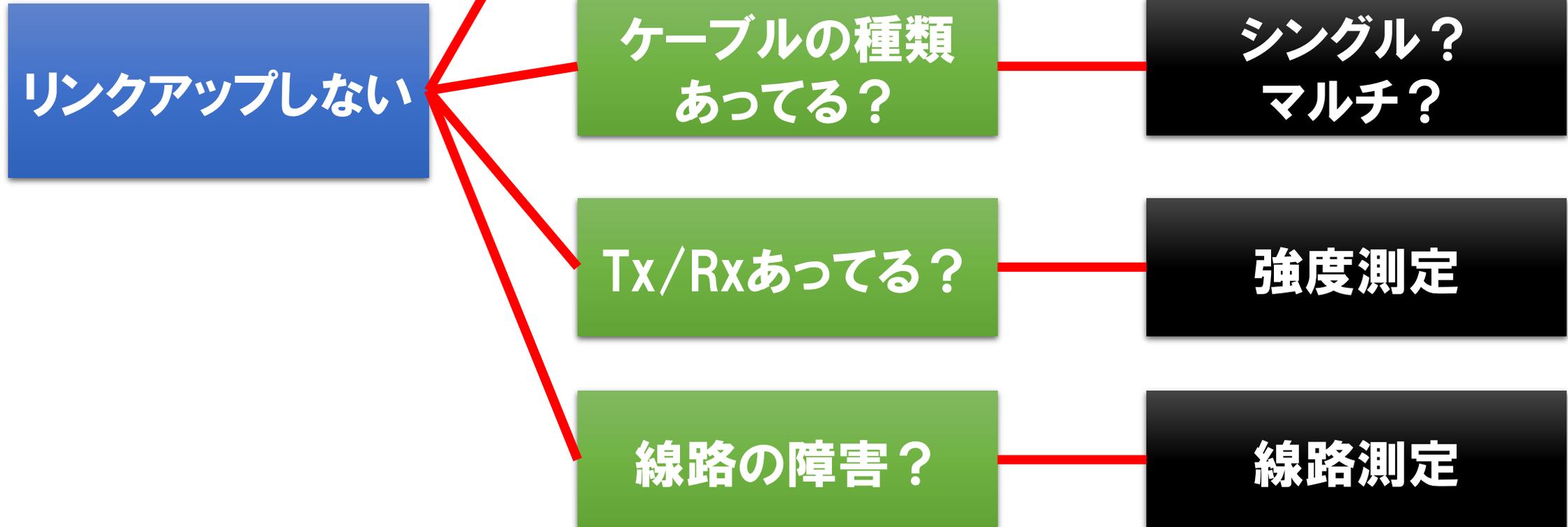


スペクトラムアナライザ

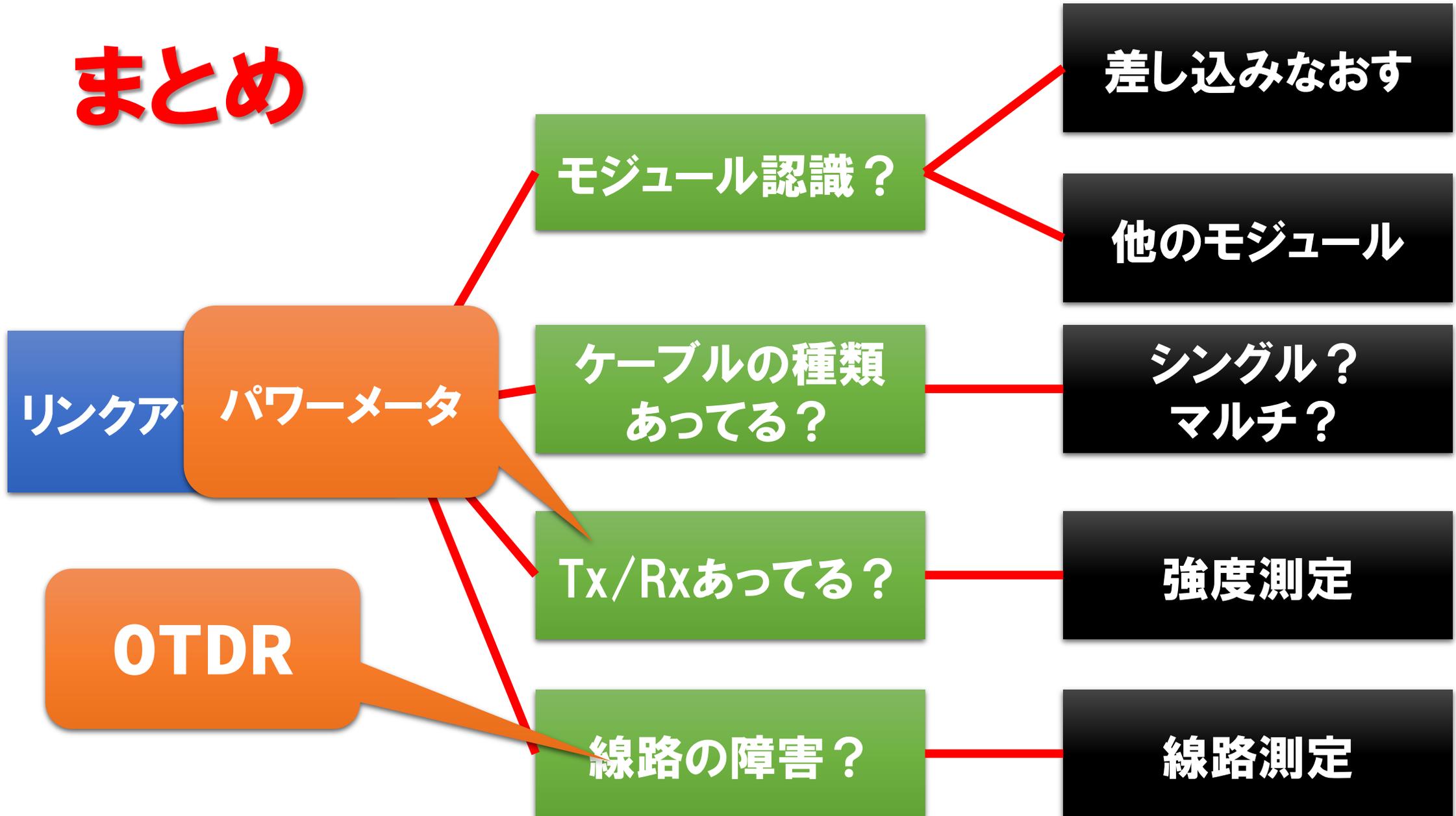
- 横軸に周波数、縦軸に強度
- 電波や光のスペクトルを可視化する



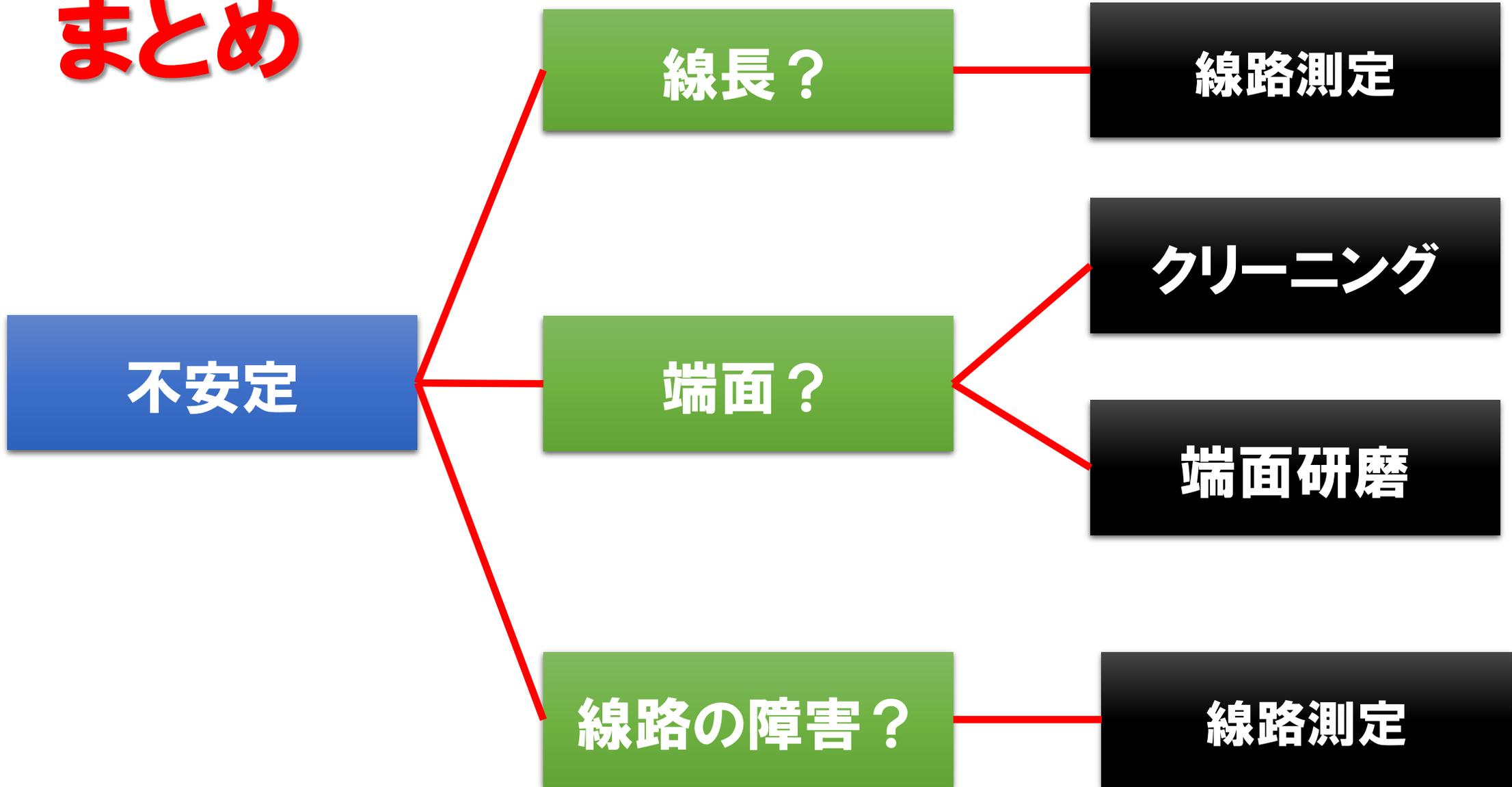
まとめ



まとめ



まとめ



まとめ

- 複雑になりつつあるOptics & Fiberの世界・・・
- なにか障害が起こったときは、考えられる要因を確認していく
- 正しく測定器を使えばラクできる
- 障害の要因を減らすためにも、ファイバを接続するときにはクリーニング

ご清聴ありがとうございました。