

NTT-ATの5つのビジョン。



# 超高速イーサネットを見据えた光インターコネクション の最新動向と保全基礎技術

2021年11月22日

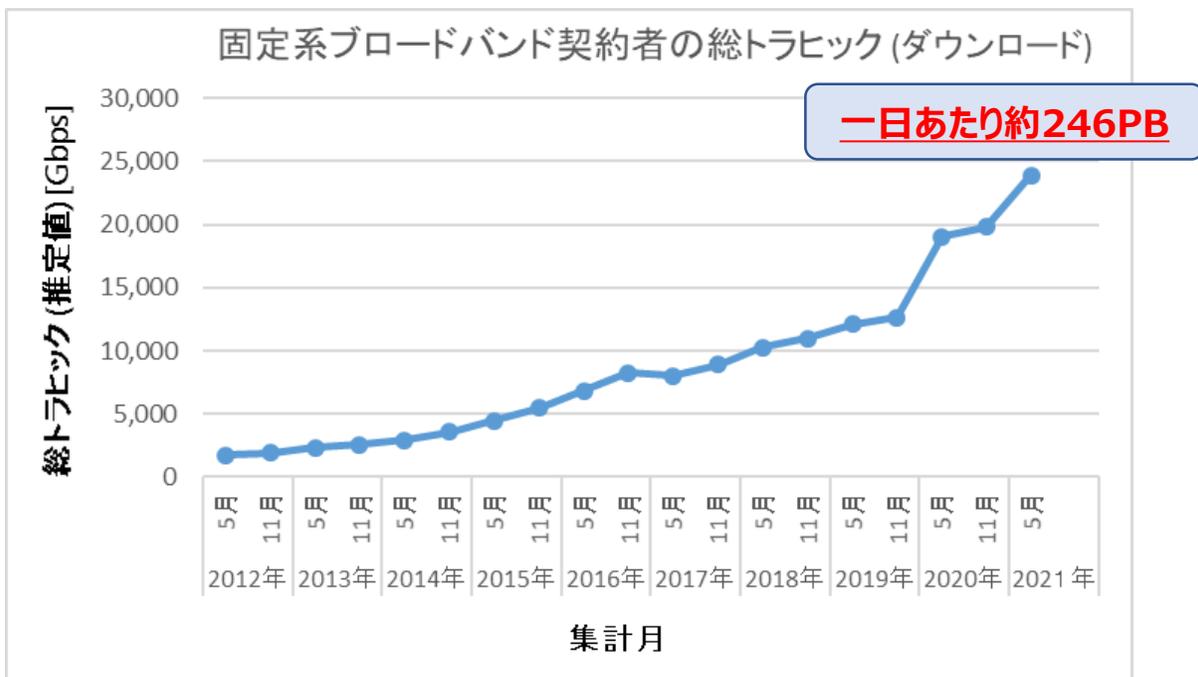
グローバル事業本部 光プロダクツビジネスユニット

村上雅之 (m.murakami@ntt-at.co.jp)

NTTアドバンステクノロジー株式会社



# はじめに



総務省 我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算より作成  
[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban04\\_02000189.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000189.html)

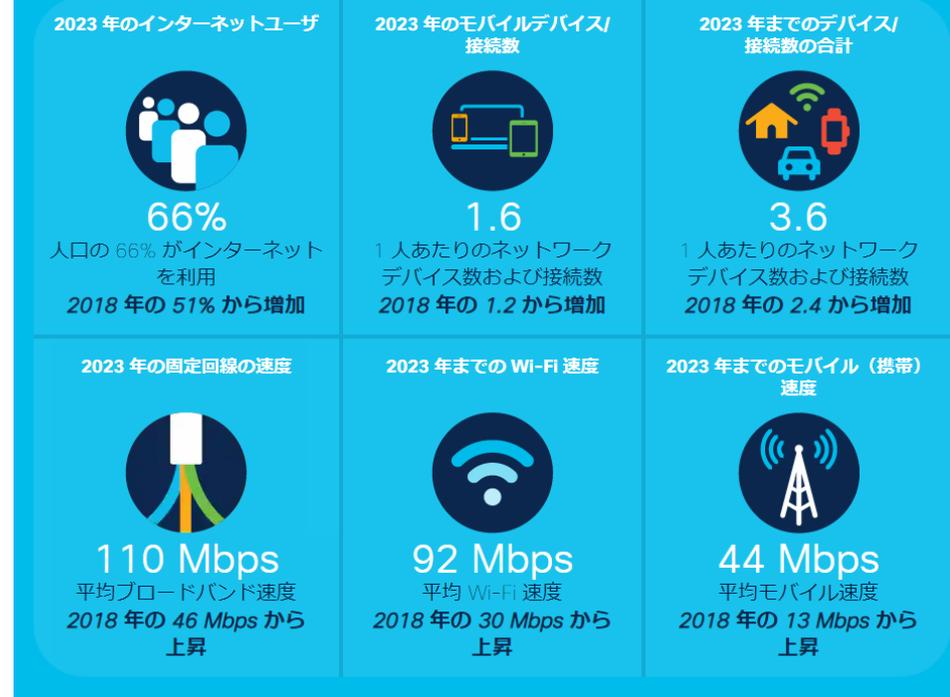
Beyond 5G

IWON

Society5.0

DX

## 世界全体



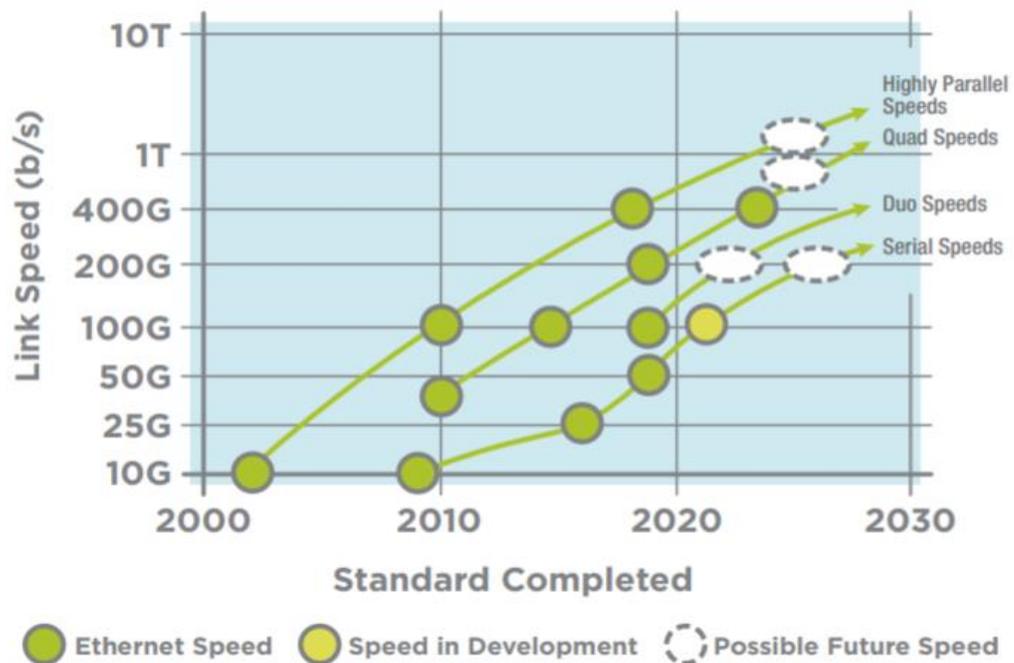
Cisco Annual Internet Report (2018年~2023年)より抜粋  
[https://www.cisco.com/c/ja\\_jp/solutions/executive-perspectives/annual-internet-report/infographic-c82-741491.html](https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/executive-perspectives/annual-internet-report/infographic-c82-741491.html)

今後ともトラフィックは増加していく傾向

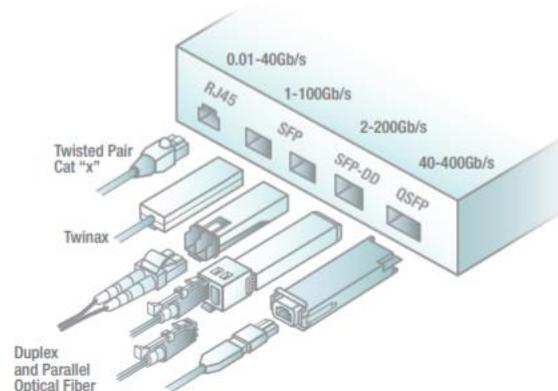
# 今後のEthernet規格の動向



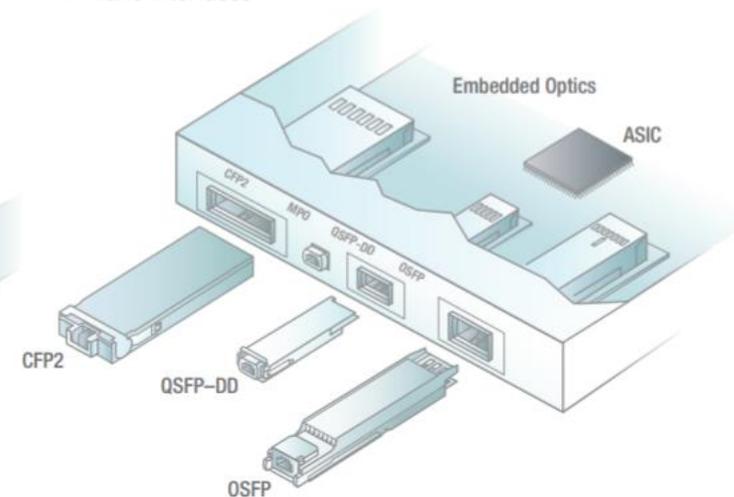
## PATH TO SINGLE LANE



1-4 Lane Interfaces



4+ Lane Interfaces

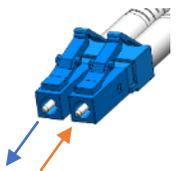
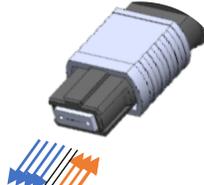
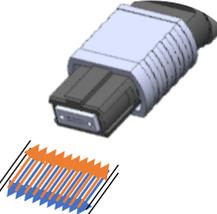
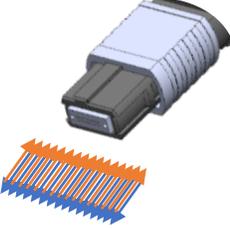
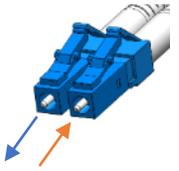


**(今のところ)トランシーバのインターフェースは必ず光コネクタが用いられる！！**

Ethernet Alliance EthernetRoadmap 2020より抜粋  
<https://ethernetalliance.org/technology/2020-roadmap/>

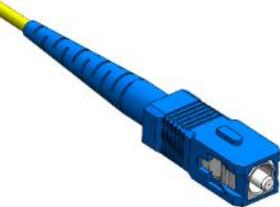
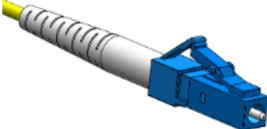


# Ethernet規格とインタフェース

	10GBASE -SR	10GBASE -LR	40GBASE -SR4	100GBASE -SR10	100GBASE -LR4	400GBASE -SR16	400GBASE -LR8
転送速度	10 Gbps		40 Gbps	100 Gbps		400 Gbps	
IEEE規格	802.3ae		802.3ba	802.3ba		802.3bs	
トランシーバ	SFP+	SFP+	QSFP+	CFP2	QSFP28	QSFP-DD CFP8	
ファイバ	OM3/4	OS1/OS2	OM3/4	OM3/4	OS1/OS2	OM3/4	OS1/OS2
伝送距離	300/400 m	3,000 m	100/150 m	100/150 m	10,000m	70/100 m	10,000 m
インタフェース	LC 2心	LC 2心	<b>MPO</b> 12心 (8心使用)	<b>MPO</b> 24心 (20心使用)	LC 2心	<b>MPO</b> 32心 (32心使用)	LC/ <b>CS</b> 2心
							

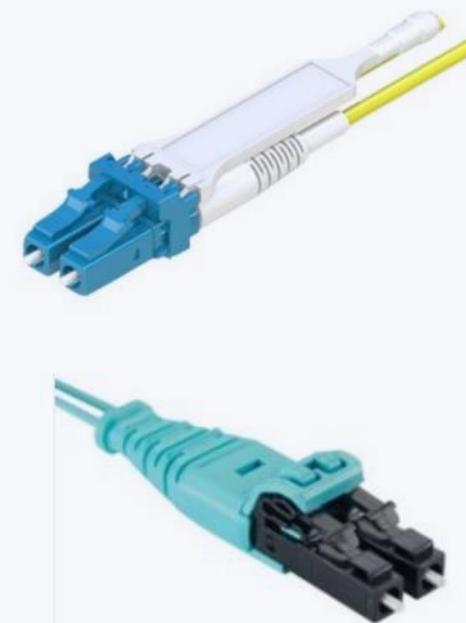


# 一般的な光コネクタ

	SCコネクタ	LCコネクタ	MPOコネクタ
外観			
フェルール形状	円筒形	円筒形	四角形
フェルール径	2.5 mm	1.25 mm	6.5x2.4 mm
かん合	プッシュプル	ラッチ	プッシュプル
備考	テレコム 世界標準 2心ピッチ = 12.7mm	データコム 世界標準 2心ピッチ = 6.25mm	データコム 近年普及

使いやすいよう改良されたLCコネクタも市販されている

## LCコネクタのプッシュプル化



上：三和電気工業社タブ付LC 2心プラグキット Φ2.0mmコード用  
<https://snwd.co.jp/products/7126.html>

下：Panduit社 プッシュプル式LCデュプレックス光ファイバーパッチコード  
[https://www.panduit.co.jp/wp-content/uploads/products/fiber/pushpull\\_qug.pdf](https://www.panduit.co.jp/wp-content/uploads/products/fiber/pushpull_qug.pdf)



# 多様化するインタフェース

## 400G以後を見据えたMSAの取り組み

Table 22- Electrical Signal to Optical Port Mapping

Electrical data input/output	Optical port mapping (see Figure 28)				
	Duplex LC, CS, SN, or MDC	MPO-12, Dual (CS, SN, MDC, Duplex LC, or MPO-12)	MPO-12, Quad (SN or MDC)	MPO-12 (two row), MPO-16, or Dual MPO-12	MPO-12, SN, MDC (BiDi)
	1 TX fiber	2 TX fibers	4 TX fibers	8 TX fibers	8 Tx (Rx) fibers <sup>2,3</sup>
	1 RX fiber <sup>1</sup>	2 RX fibers <sup>1</sup>	4 RX fibers <sup>1</sup>	8 RX fibers <sup>1,3</sup>	
Tx1	TX-1	TX-1	TX-1	TX-1	TR1
Tx2			TX-2	TX-2	RT1
Tx3			TX-3	TX-3	TR2
Tx4			TX-4	TX-4	RT2
Tx5		TX-2	TX-3	TX-5	TR3
Tx6			TX-4	TX-6	RT3
Tx7			TX-4	TX-7	TR4
Tx8			TX-8	TX-8	RT4
Rx1	RX-1	RX-1	RX-1	RX-1	RT1
Rx2			RX-2	RX-2	TR1
Rx3			RX-2	RX-3	RT2
Rx4			RX-3	RX-4	TR2
Rx5		RX-2	RX-3	RX-5	RT3
Rx6			RX-4	RX-6	TR3
Rx7			RX-4	RX-7	RT4
Rx8			RX-8	RX-8	TR4

Notes:

1. TX-n or RX-n where n is the optical port number as defined Figure 28.
2. TRn or RTn where n is the optical port number as defined Figure 28.
3. Some QSFP-DD/QSFP-DD800 modules may require fewer CS, SN, or MDC connectors. In such cases, Port #1 is always the left-most port. Successive ports then follow sequentially from left-to-right as shown in Figure 28.

### 10.3 OSFP Optical Interface

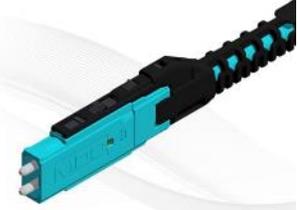
- 10.3.1 Duplex LC Optical Interface
- 10.3.2 MPO-12 Optical Interface
- 10.3.3 MPO-16 Optical Interface
- 10.3.4 MPO-12 Two Row Optical Interface
- 10.3.5 MXC Optical Interface
- 10.3.6 Dual Mini-LC Optical Interface
- 10.3.7 Dual Duplex LC Optical Interface
- 10.3.8 Dual CS<sup>®</sup> Optical Interface
- 10.3.9 Quad MDC Optical Interface
- 10.3.10 Quad SN<sup>®</sup> Optical Interface
- 10.3.11 Dual MPO Optical Interface
- 10.3.12 Dual MXC Optical Interface
- 10.3.13 8 x MDC Optical Interface
- 10.3.14 8 x SN<sup>®</sup> Optical Interface

QSFP-DD/QSFP-DD800/QSFP112 Hardware Specification rev 6.01 2021/5/28 より抜粋  
<http://www.qsfp-dd.com/wp-content/uploads/2021/05/QSFP-DD-Hardware-Rev6.01.pdf>

OSFP OCTAL SMALL FORM FACTOR PLUGGABLE MODULE rev 4.1 2021/8/2 より抜粋  
[https://osfmsa.org/assets/pdf/OSFP\\_Module\\_Specification\\_Rev4\\_1.pdf](https://osfmsa.org/assets/pdf/OSFP_Module_Specification_Rev4_1.pdf)



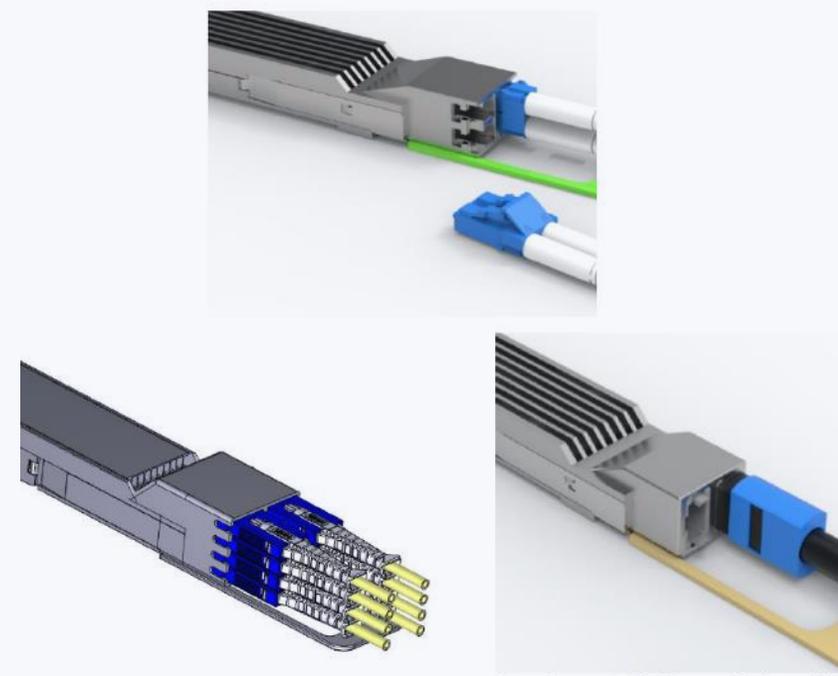
# 多様化する光コネクタ

	CS™コネクタ	SN™コネクタ	MDC™コネクタ
外観			
フェルール形状	円筒形	円筒形	円筒形
フェルール径	1.25 mm	1.25 mm	1.25 mm
かん合	プッシュプル	プッシュプル	プッシュプル
備考	データコム 2心ピッチ <b>= 3.8mm</b>	データコム 2心ピッチ <b>= 3.1mm</b>	データコム 2心ピッチ <b>= 3.1mm</b>

注) 各コネクタは同一スケールではありません

CSコネクタ出典：<http://www.senko.com/cs-connector/>  
 SNコネクタ出典：<https://www.senko.com/sn-connector/>  
 MDCコネクタ出典：<https://www.usconec.com/featured-products/mdc-connectors>  
 “CS”, “SN”はSENKO ADVANCED COMPONENTS, INC.の商標です  
 “MDC”はUSConec Ltd.の商標です

## トランシーバへの適用例

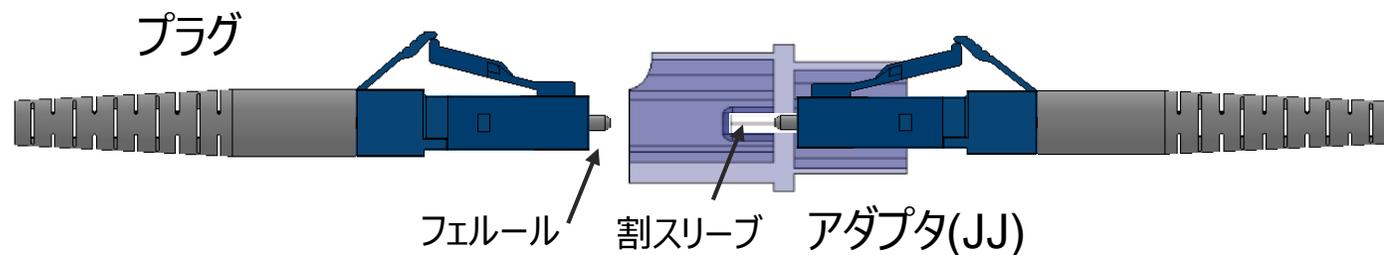


OSFP OCTAL SMALL FORM FACTOR PLUGGABLE MODULE rev 4.1  
 2021/8/2 より抜粋  
[https://osfpmsa.org/assets/pdf/OSFP\\_Module\\_Specification\\_Rev\\_4\\_1.pdf](https://osfpmsa.org/assets/pdf/OSFP_Module_Specification_Rev_4_1.pdf)

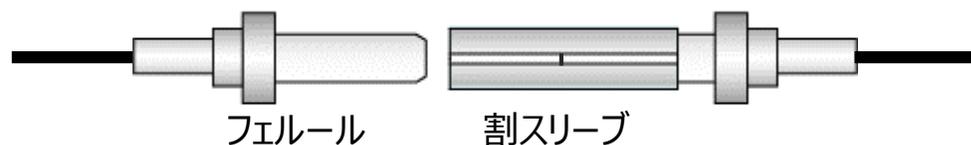
どんなコネクタでも基本的な使い方は変わらない



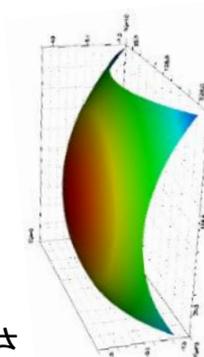
# 単心コネクタの構造



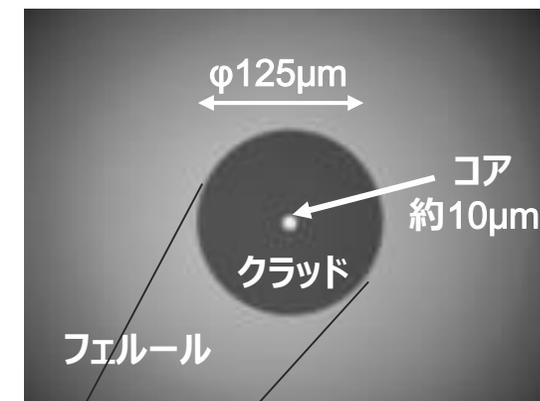
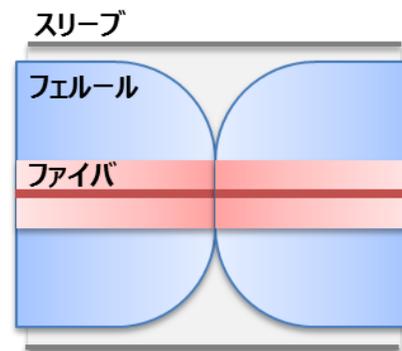
精密フェルールを割スリーブで軸合わせ



スプリングによりフィジカルコンタクト (フェルールとファイバの弾性変形による密着)

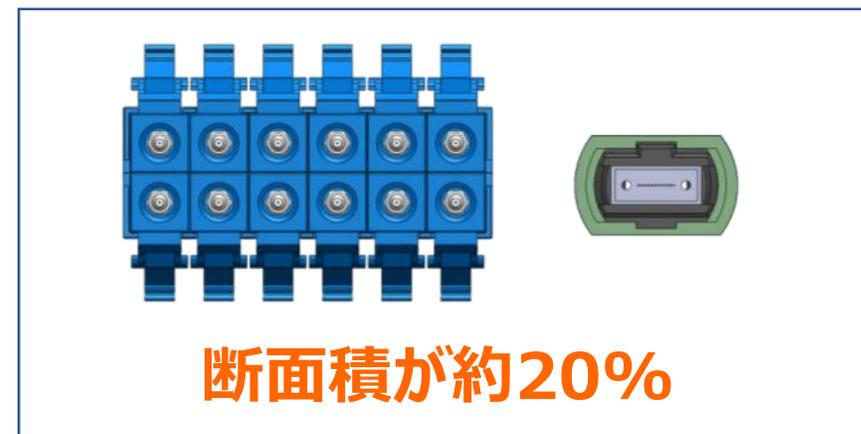
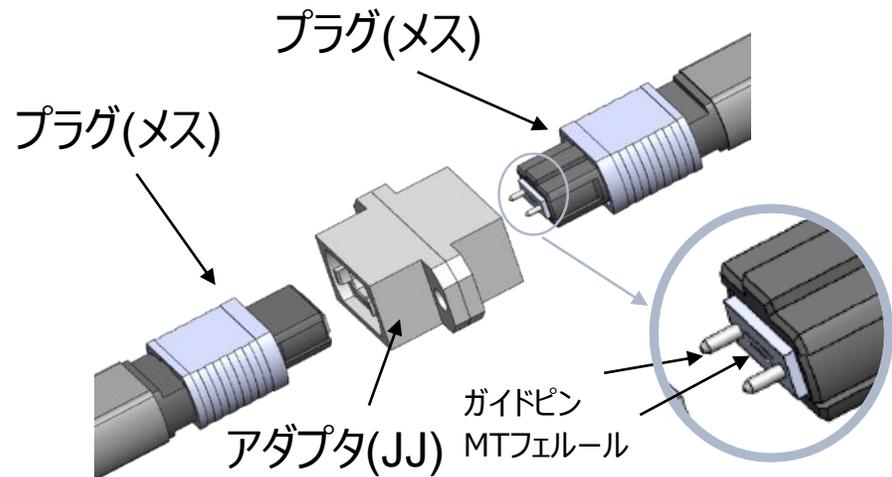


ファイバ高さ  
-0.05~0.1 μm

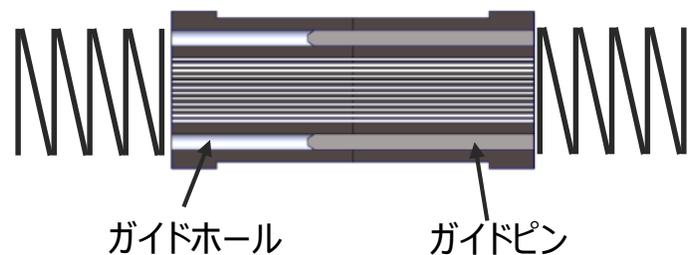




# 多心コネクタの構造

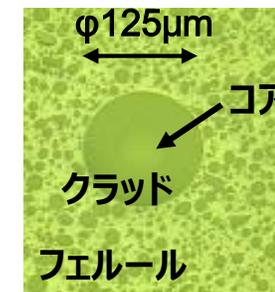
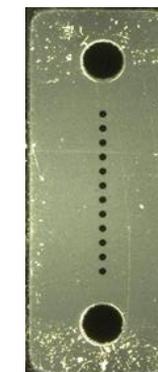
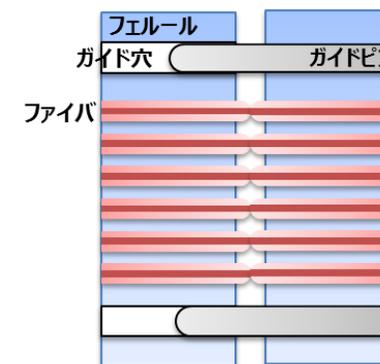
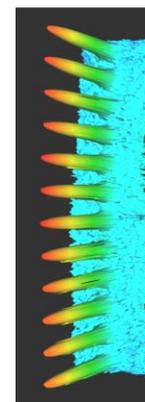


精密穴と精密ピンで軸合わせ



スプリングによりフィジカルコンタクト (ファイバの弾性変形による密着)

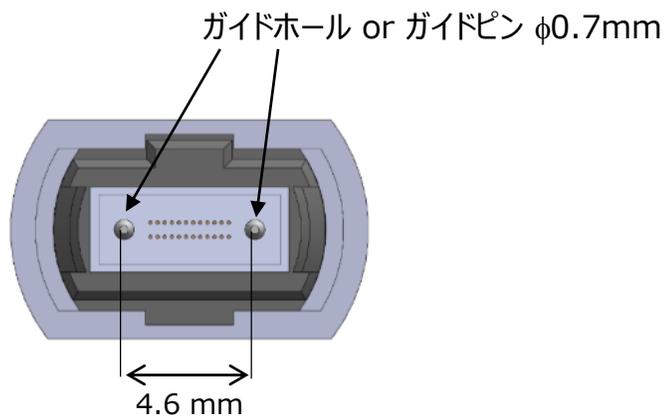
ファイバ高さ  
1~3.5 μm



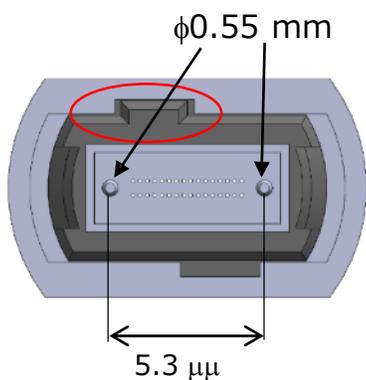


# MPOコネクタの種類と極性

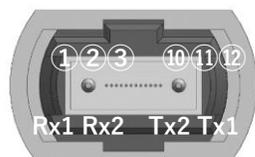
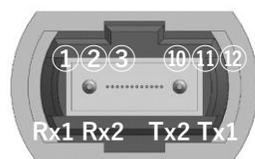
## MPOコネクタの種類



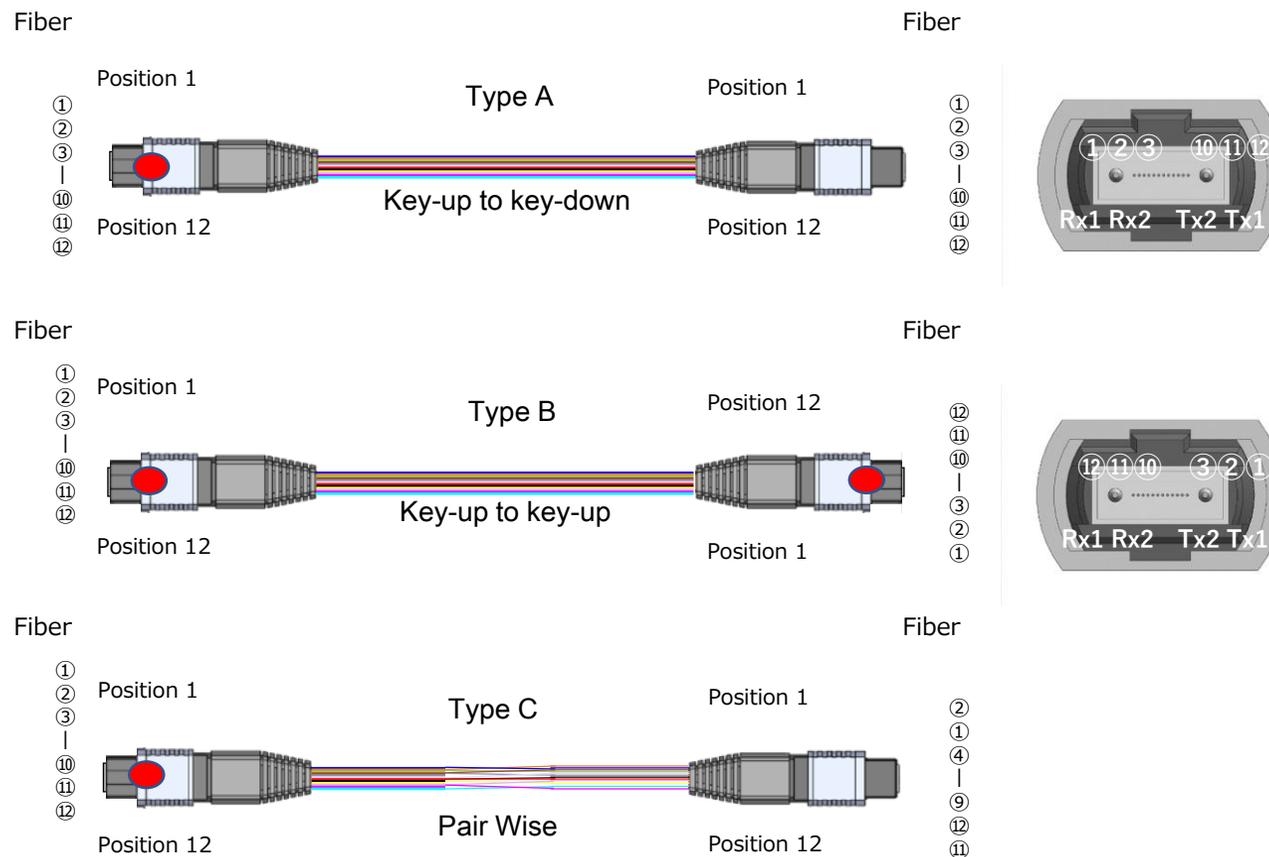
12心MPOコネクタ/24心MPOコネクタ



16心MPOコネクタ/32心MPOコネクタ



## MPOコネクタの極性

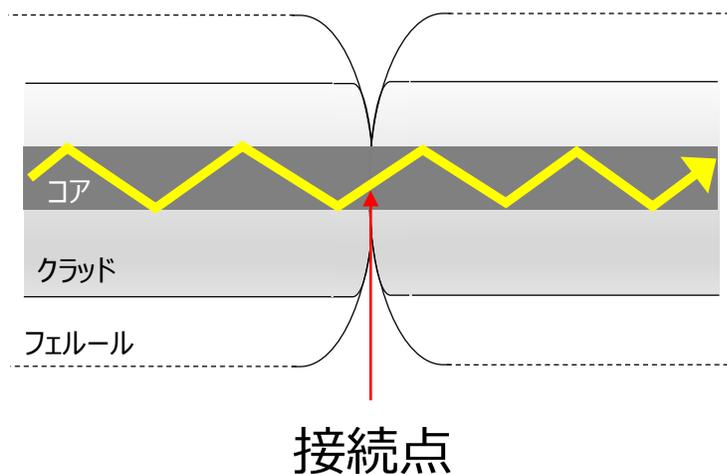


極性変換可能なMPOコネクタ  
極性確認測定器(テスター)



# 光インタコネクションにおける主要な特性

通信イメージ



「挿入損失」・・・接続箇所で**失われた光の強さ(量)**

⇒**大きいほど伝わる信号が小さい(弱い)**

代表的な規格値：0.5dB以下（約10%のロス）

損失が発生する主な原因

- ・ファイバの軸ずれ、角度ずれ
- ・コア径(MFD)のミスマッチ
- ・**汚れ**

「反射減衰量」・・・接続箇所で**反射した光の強さ(量)**

⇒(絶対値が)**小さいほど反射した光が大きい(強い)**

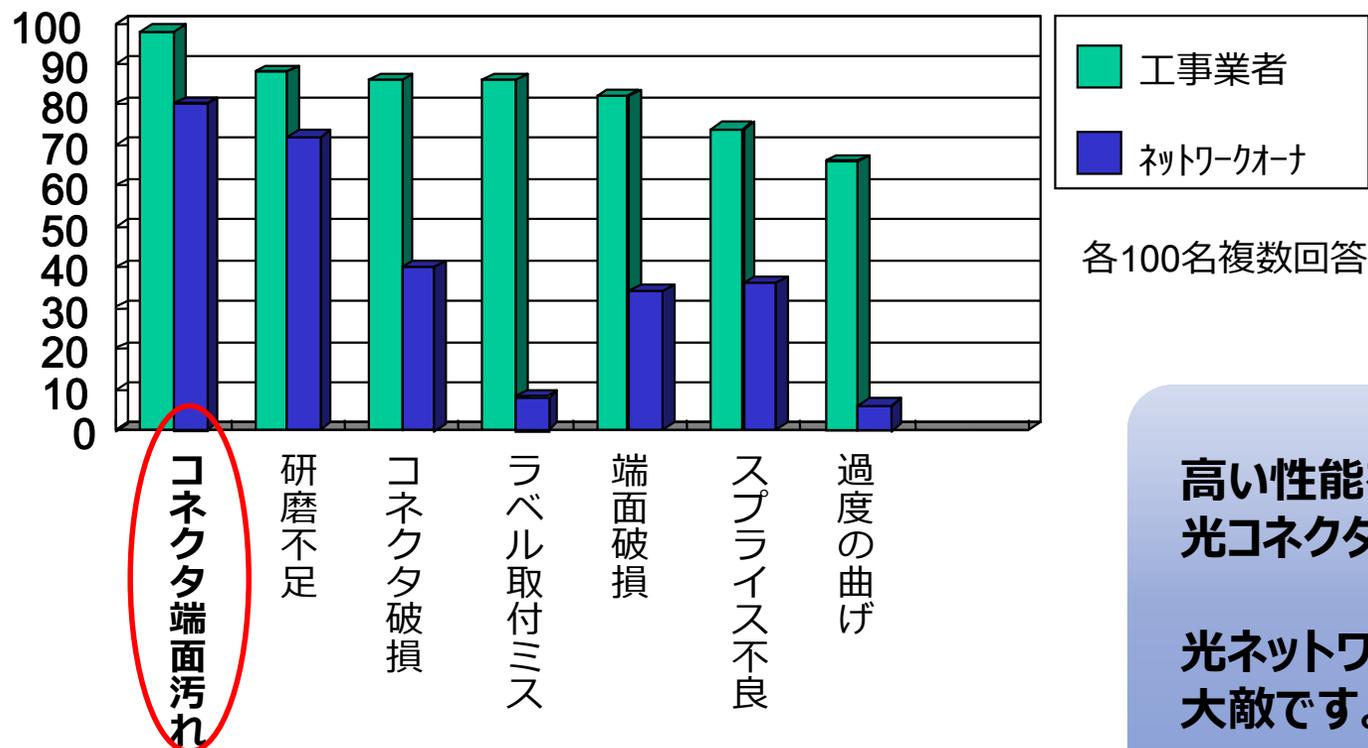
代表的な規格値：-40dB以上（1万分の1が反射）

反射が発生する主な原因

- ・**空隙**
- ・**汚れ**
- ・**端面の研磨状態**



# 光設備構築時の故障原因（米国におけるアンケート）



高い性能を有する光システム、光装置であっても、  
光コネクタの取り扱い次第で性能が発揮できません。

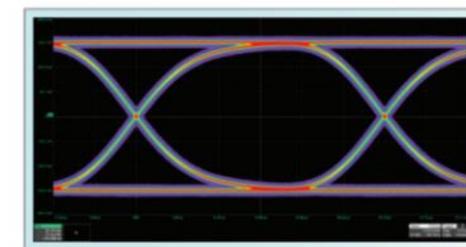
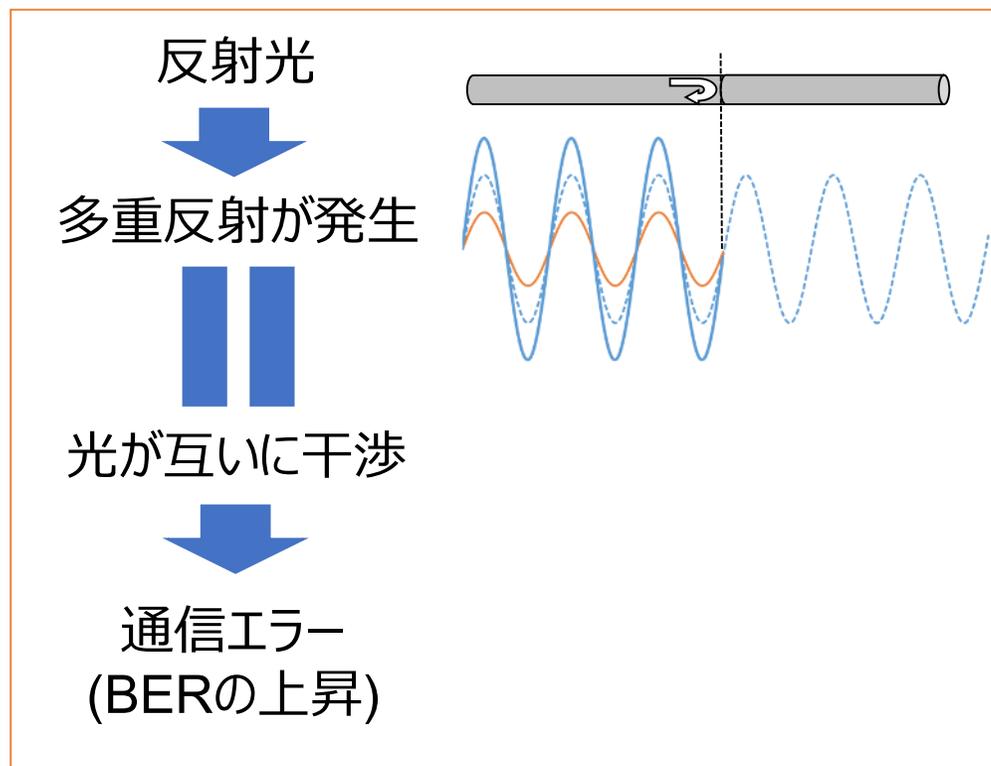
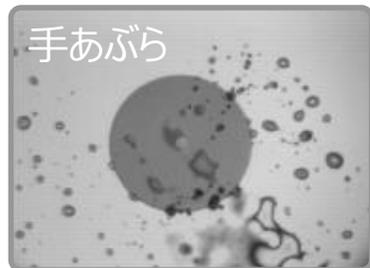
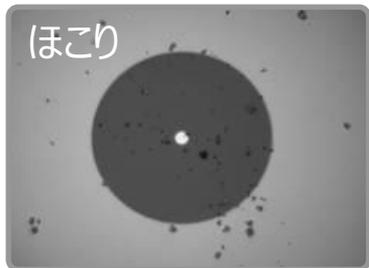
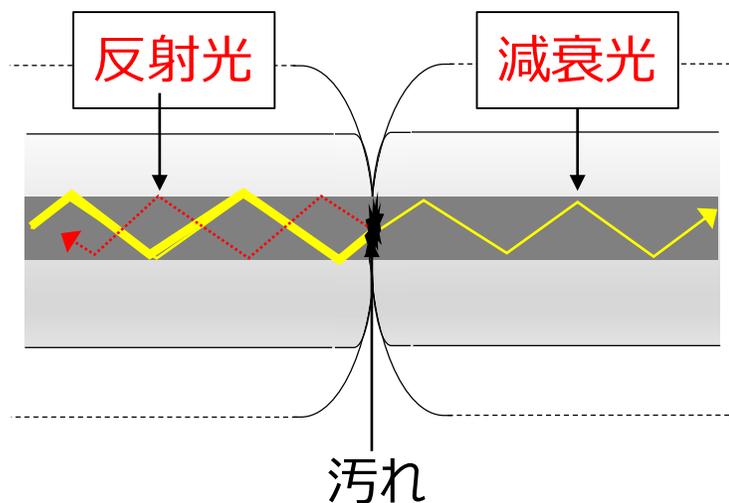
光ネットワークの高品質達成、維持にはコネクタの汚れが  
大敵です。



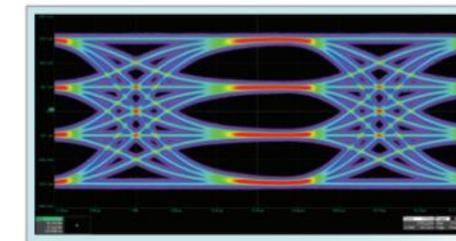
# 光ネットワークにおける損失と反射

光ネットワーク不具合の原因に**光コネクタ汚れ**は大きな割合を占めます。  
汚れにより反射と損失の増加を引き起こします。

汚れがある場合の通信イメージ



NRZ

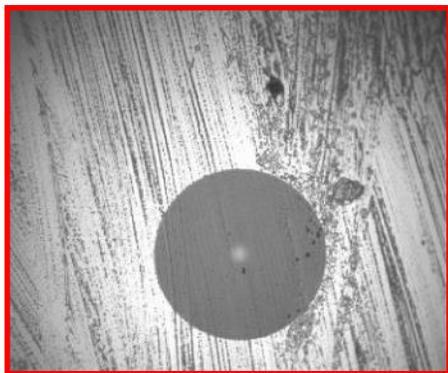


PAM-4

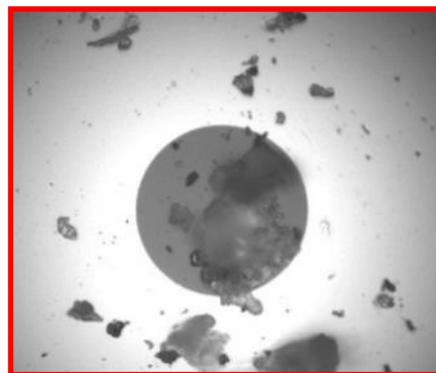
【これまで】 変調方法やデバイスの補正により反射を無視できた  
【これから】 わずかな反射を無視できなくなり、通信エラーの発生に繋がる



# 光コネクタ端面の代表的な汚れの種類



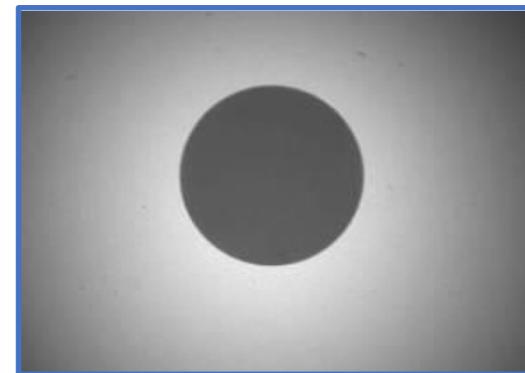
×手脂



×ほこり



×アルコールシミ



○綺麗な端面

## ■ 光コネクタの宿命

- ・ 光ファイバが露出 ⇒ **汚れが付着しやすい**
- ・ 肉眼では汚れが見えない ⇒ **見過ごしがち**

## ■ 汚れの種類

- ・ 手脂：作業時における指の接触。
- ・ ほこり：キャップ無しでの放置。ラック、衣服 etc との接触。



## ■ 光通信への影響

- ・ 損失増加 → 受信パワーの減少、開通不可
- ・ 反射増加 → ハイパワーシステムでの自動停止



# 光コネクタ端面汚れが光学特性に及ぼす影響 -1

汚れを意図的に付着させたときの光学特性を測定

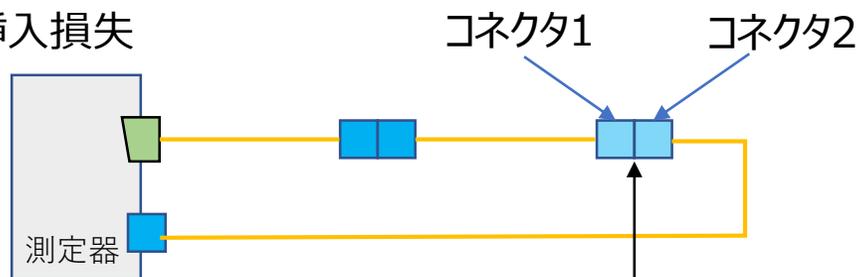
測定方法

挿入損失：JIS C 61300-3-4 挿入法(B)

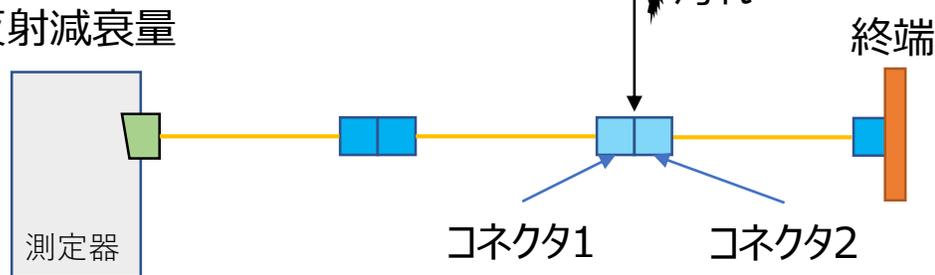
反射減衰量：JIS C 61300-3-6 OCWR法

測定略図

挿入損失

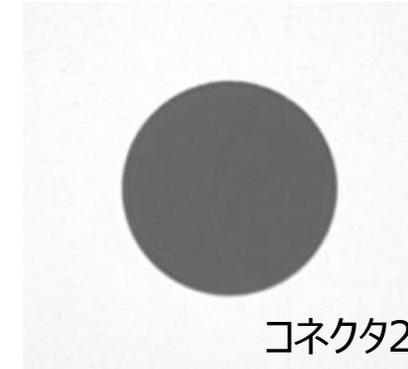
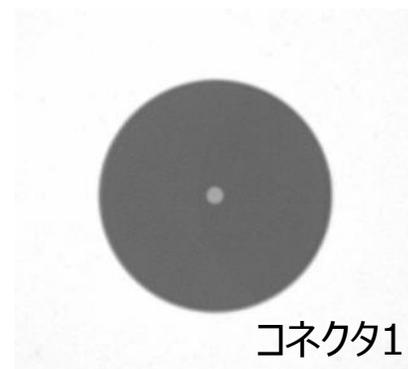


反射減衰量



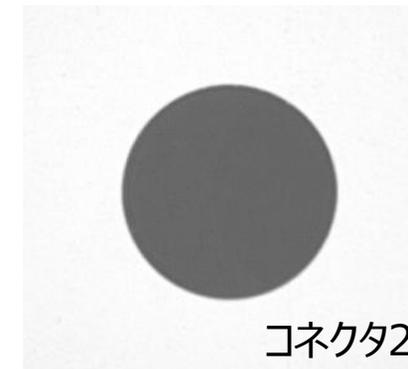
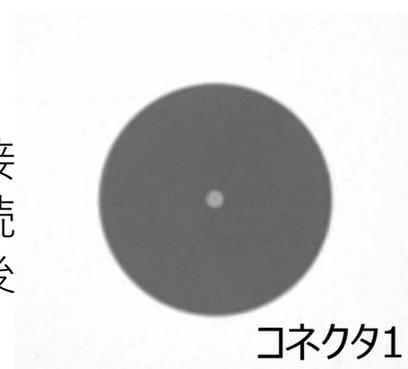
CASE1 : 清浄な端面同士を接続

接続前



挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.05	52.6

接続後

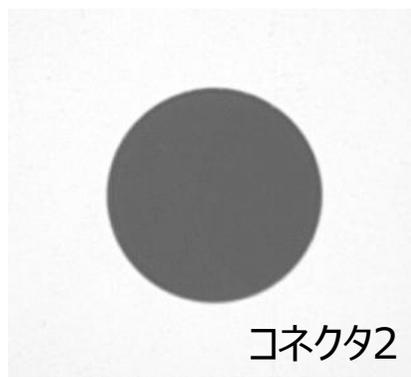




# 光コネクタ端面汚れが光学特性に及ぼす影響 -2

CASE2 : コネクタ1が衣服に接触

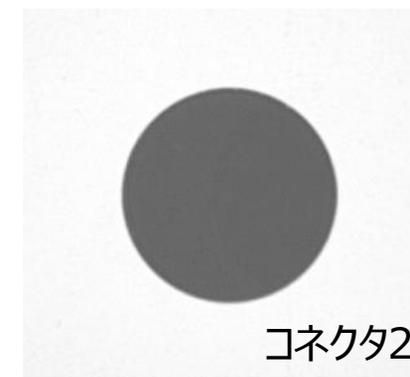
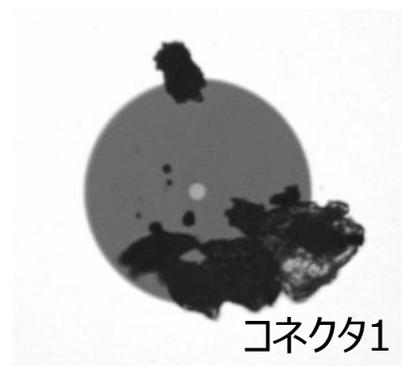
接続前



挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.04	52.9

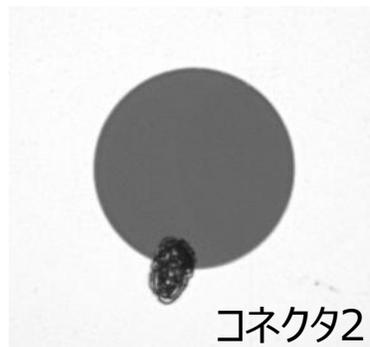
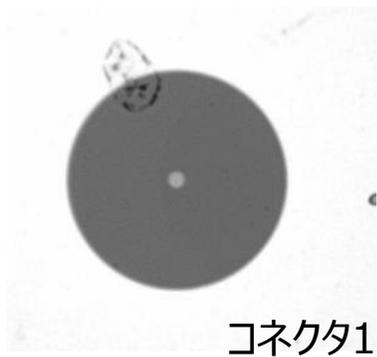
CASE3 : ほこりが付着

接続前

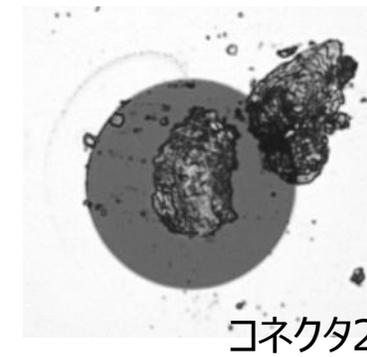
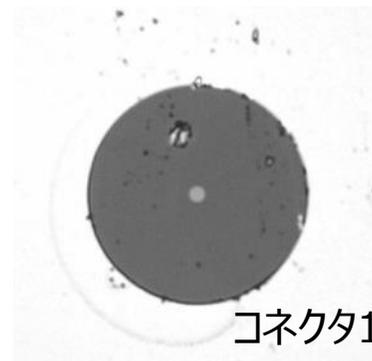


挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
1.1	22.7

接続後



接続後



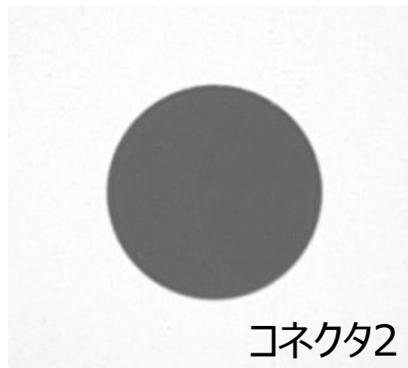
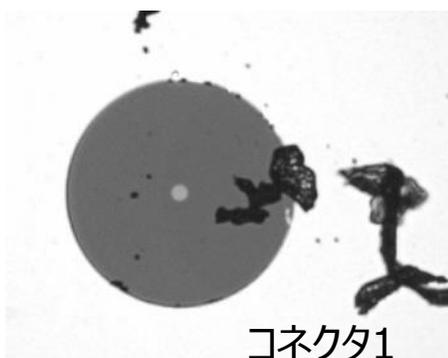


# 光コネクタ端面汚れが光学特性に及ぼす影響 -3

CASE4 : ほこりが付着 -2

CASE5 : CASE4を数回着脱

接続前



挿入損失 [dB]

0.05

反射減衰量 [dB]

50.2

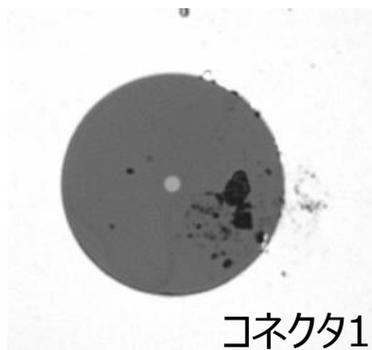
挿入損失 [dB]

0.31

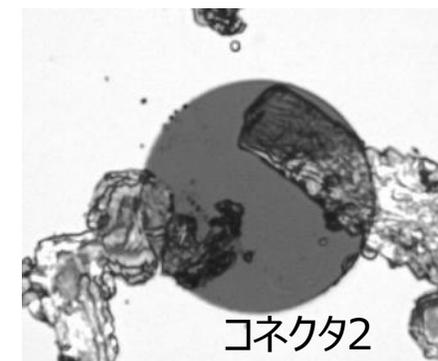
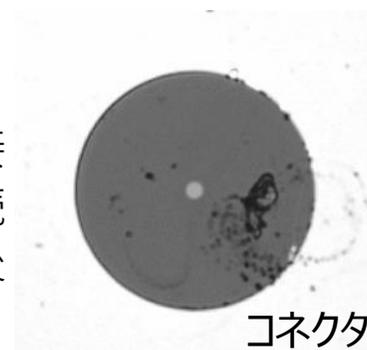
反射減衰量 [dB]

13.1

接続後



接続後

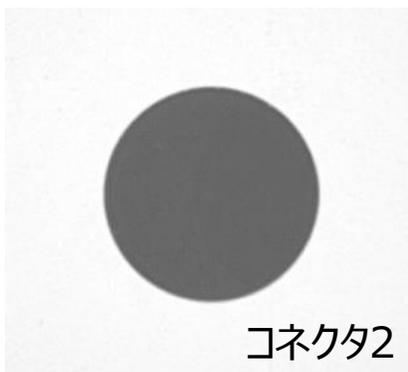
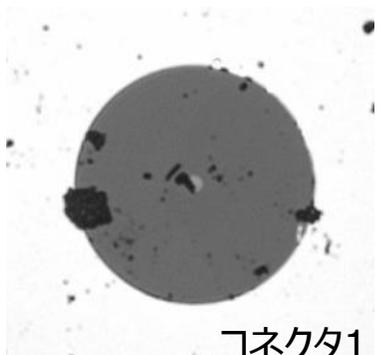




# 光コネクタ端面汚れが光学特性に及ぼす影響 -4

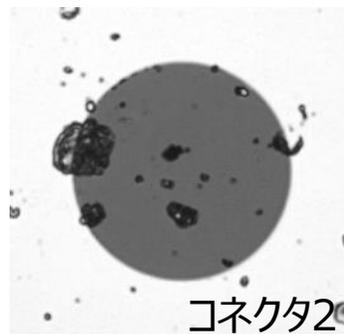
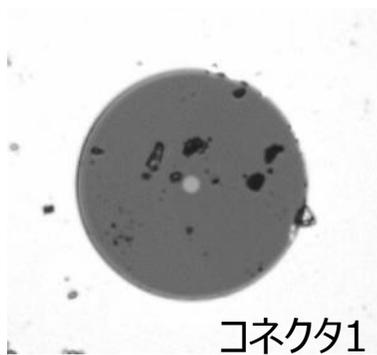
CASE6 : ほこりが付着 -3

接続前



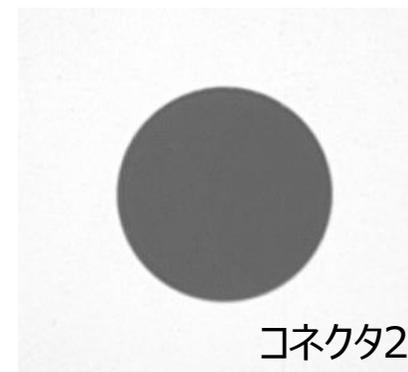
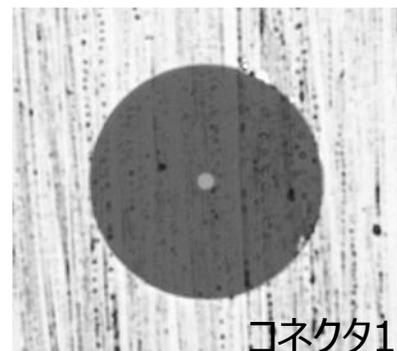
挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.21	37.2

接続後



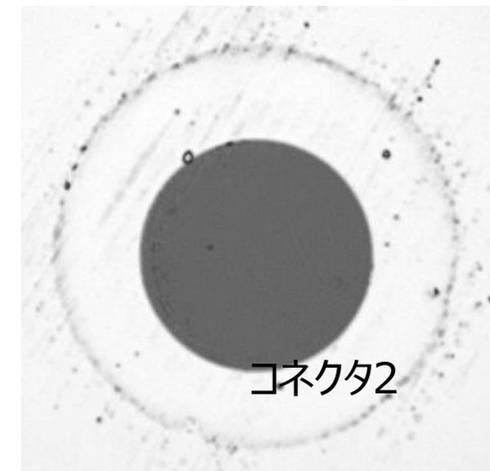
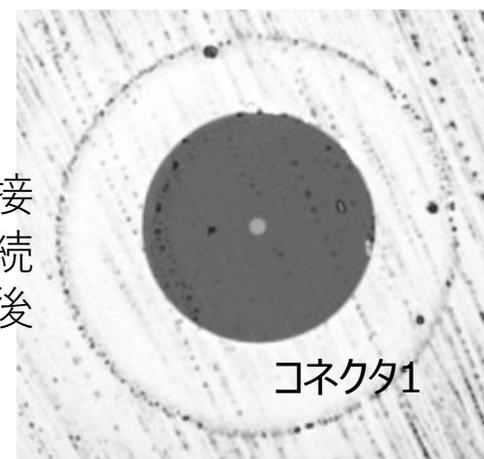
CASE7 : 指が端面に接触

接続前



挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.06	49.3

接続後



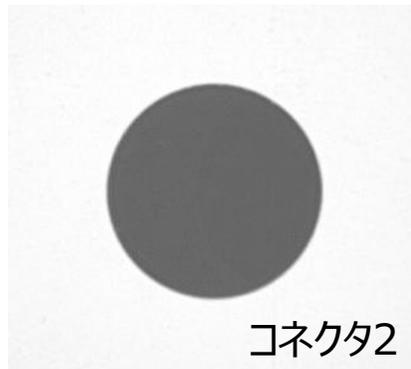
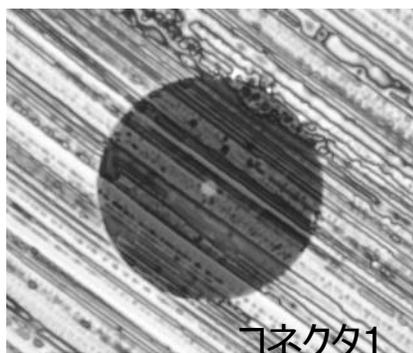


# 光コネクタ端面汚れが光学特性に及ぼす影響 -5

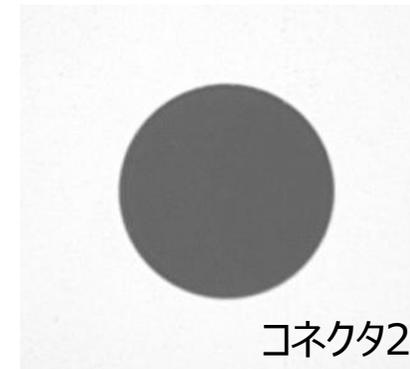
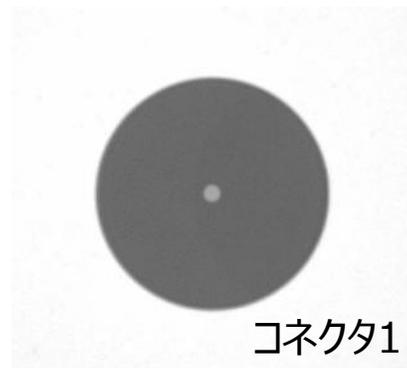
CASE8 : 指が端面に接触 -2

CASE9 : ??????

接続前



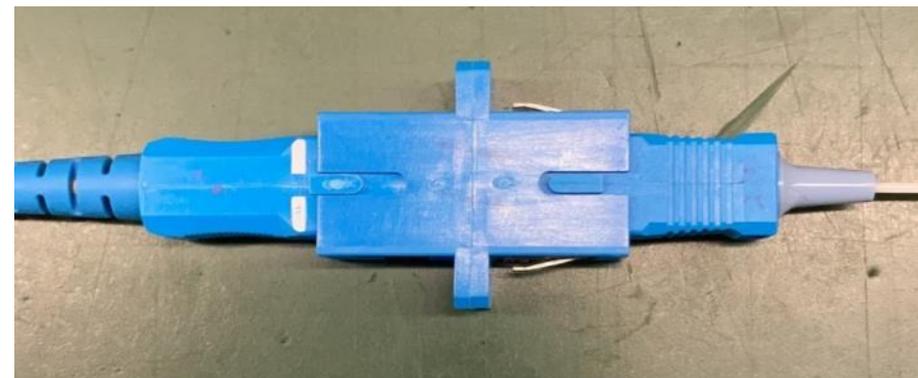
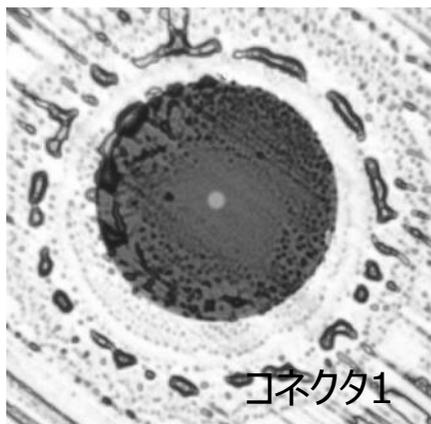
接続前



挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.10	44.2

挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.14	13.8

接続後

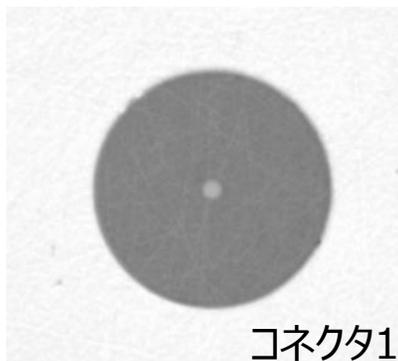




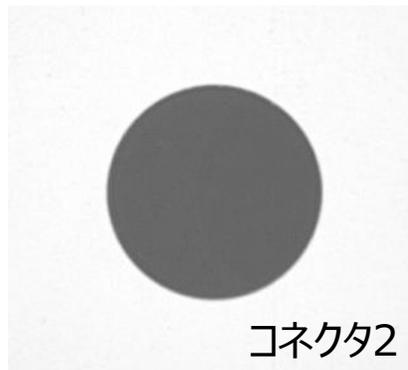
# 光コネクタ端面汚れが光学特性に及ぼす影響 -6

CASE10 : 古いコネクタとの接続

接続前



コネクタ1

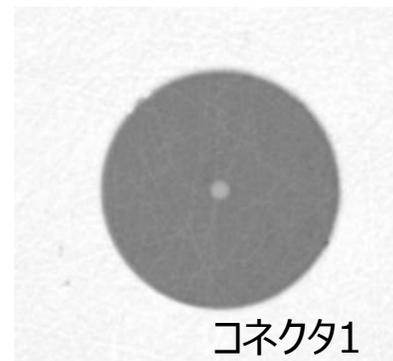


コネクタ2

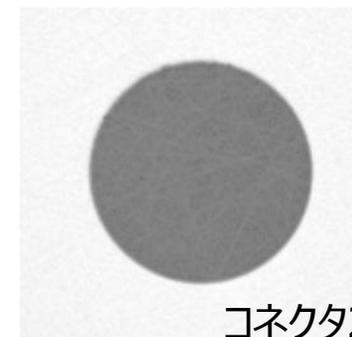
挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.09	38.6

CASE11 : 古いコネクタ同士での接続

接続前



コネクタ1



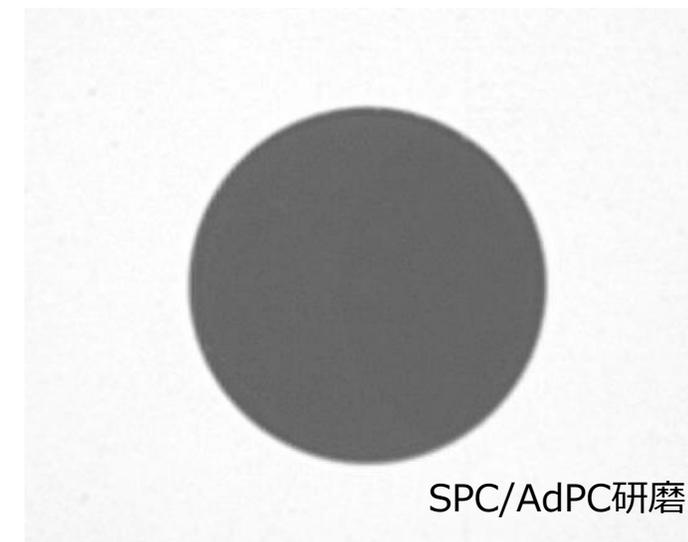
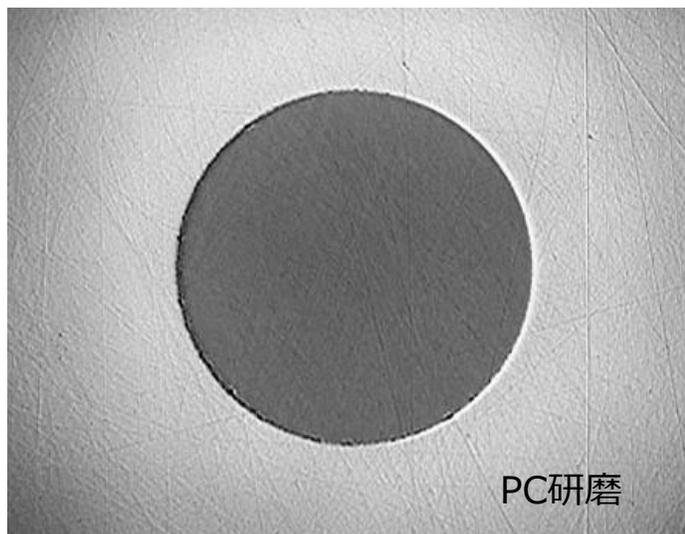
コネクタ2

挿入損失 [dB]	反射減衰量 [dB]
0.09	31.6



# 光コネクタの研磨グレード

研磨グレード	反射減衰量
PC研磨	25dB以上 (約3,000分の1)
SPC/AdPC研磨	40dB/45dB以上 (約10,000分の1)



敷設してしばらく(約20年)経過しているファイバは**PC研磨の可能性**あり

【事例】接続している機器のアップグレードにより通信が不安定に。

挿入損失(ロス)は問題ないので、原因究明に時間を要した。

【対策】接続損失の確認と併せて、光コネクタの端面状態を観察、確認。



# 汚れのやっかいな現象

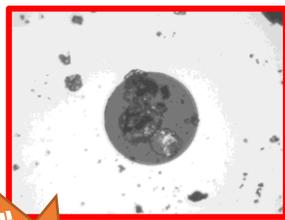
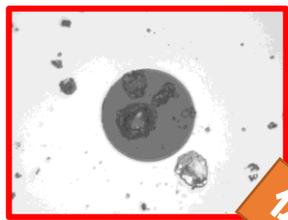
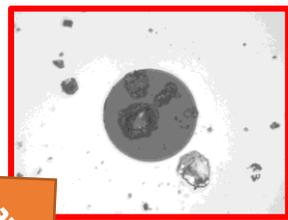
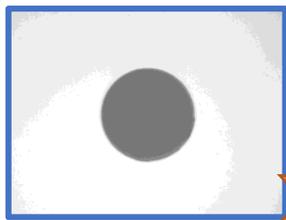
## 汚れの転写

汚れたコードを接続 → コードだけを清掃後接続

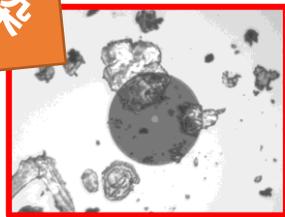
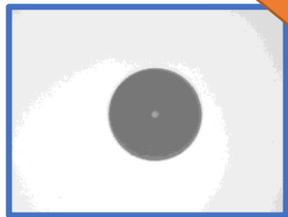
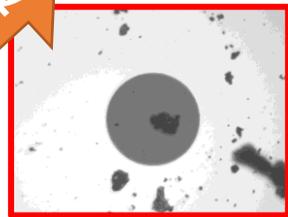
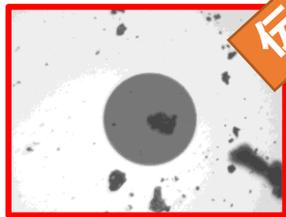
接続前      接続後

接続前      接続後

機器側



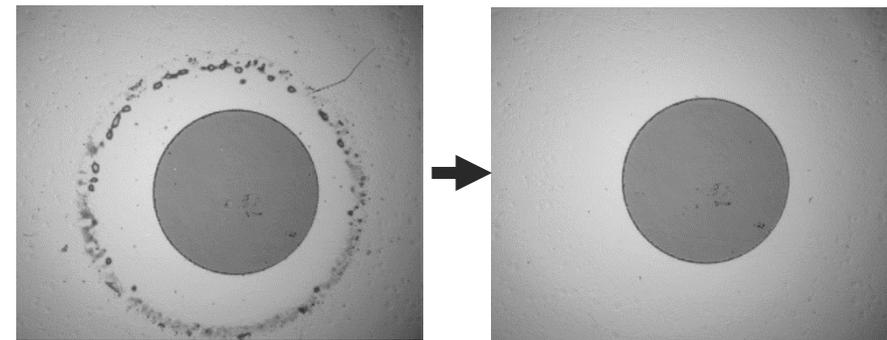
コード側



伝染

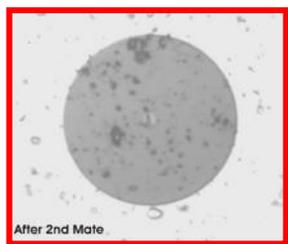
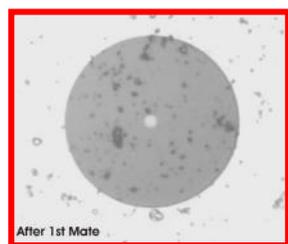
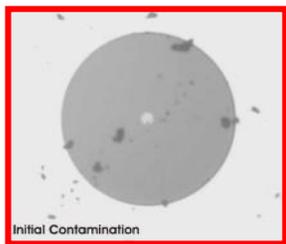
伝染

## 汚れのこびり付き



清掃しても落ちない汚れ？

## 汚れの拡散



Initial Contamination

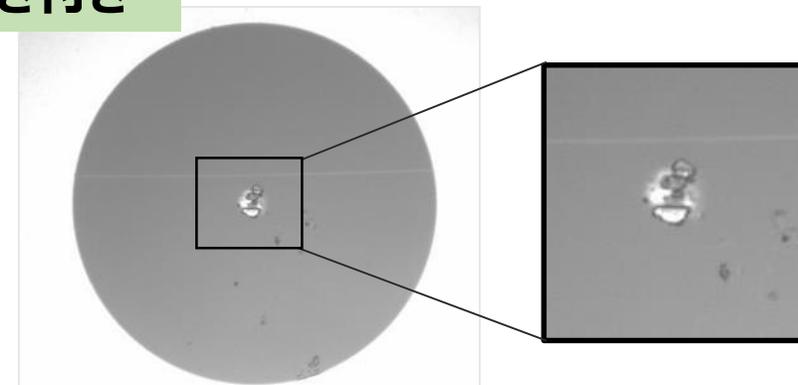
After 1st Mate

After 2nd Mate

接続1回目

接続2回目  
(コアに付着)

## 焼き付き



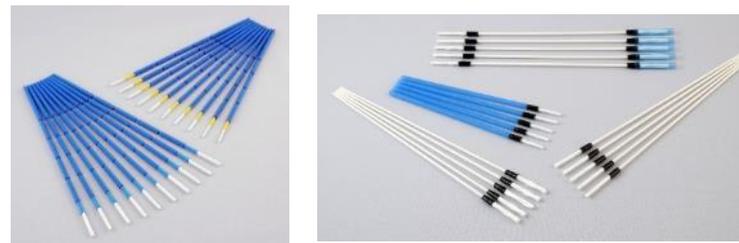


# 光コネクタクリーナーの種類

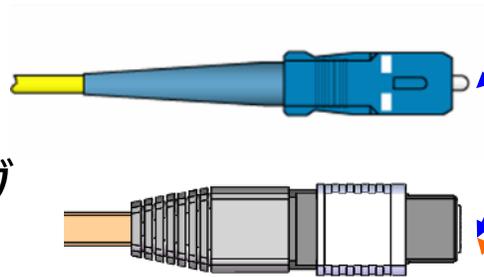
## リールタイプ



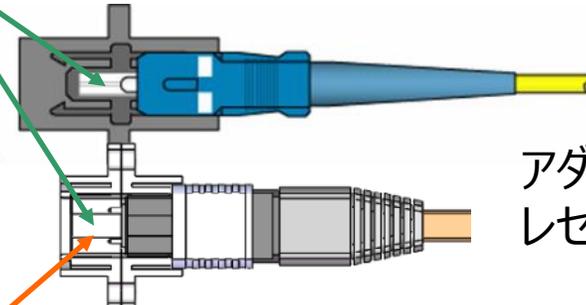
## スティックタイプ



プラグ



アダプタ  
レセプタクル



アルコール  
専用クリーニング液  
エアダスター

## ペンタイプ





# リール型クリーナ

## 使い方

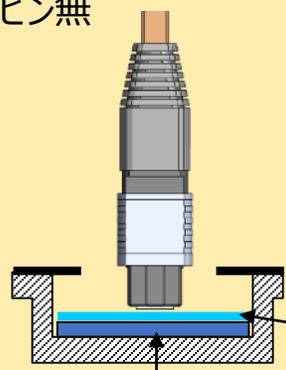
- ① 清掃布を保護しているシャッタを開ける
- ② コネクタを押し付けながらスライドさせる
- ③ シャッタを閉じる



- 清掃布の交換タイプはコストメリットあり
- △ プラグのみ清掃可能

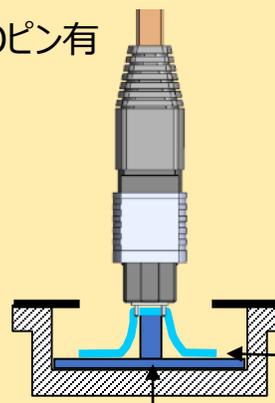


MPOピン無



平面ラバータイプ

MPOピン有

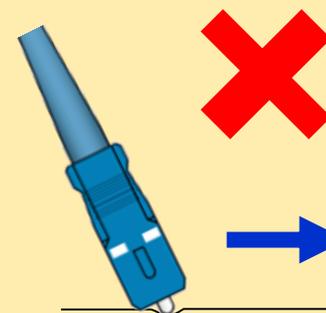


凸型ラバータイプ

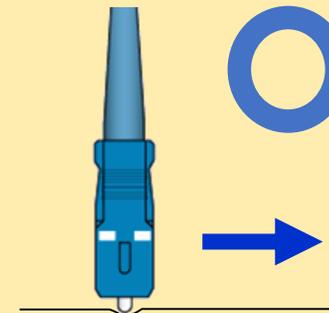
清掃布

清掃布

**ピンの有無でタイプが異なることに注意**



ラバーパッド



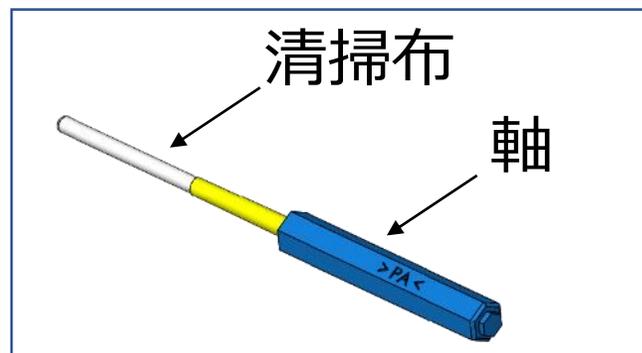
ラバーパッド

清掃布

清掃布に光コネクタをフェールが少しへこむ程度の力で垂直に押し付けながらスライド



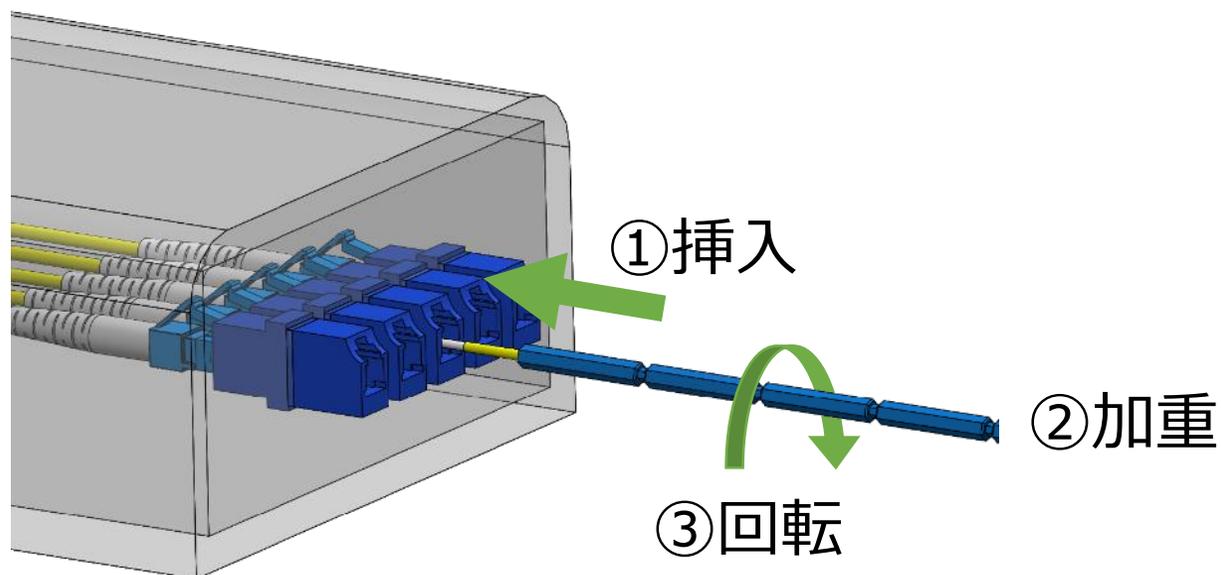
# スティック型クリーナ



使い方

- ① **真直ぐ**挿入
- ② フェルールに対して**力をかけながら**
- ③ **同じ方向に**4～5回転させる

- 持ち運びに便利
- △力量さが出てしまう



回転方向は一定にすること

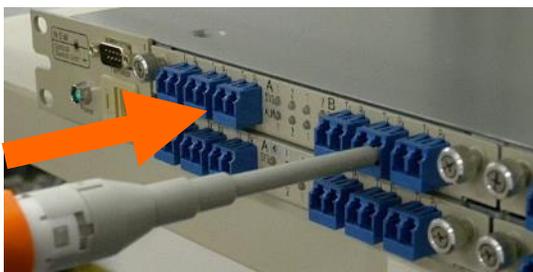


汚れているスティックで清掃すると逆にコネクタを汚してしまう恐れアリ(使い捨て)

市販の一般的な綿棒は使わない



# ペン型クリーナ



## 使い方 装置側

- ① キャップ(アタッチメント)を外す
- ② アダプタ(JJ)に**まっすぐ**に挿入する
- ③ 突き当たるまで更に押し込む
- ④ アダプタ(JJ)から抜く

## コネクタ

- ① キャップ(アタッチメント)をつける
- ② キャップにコネクタに**まっすぐ**に挿入する
- ③ 突き当たるまで更に押し込む
- ④ キャップから抜く

- スキルレス
- コネクタも装置側も清掃可



アダプタやキャップに対して**まっすぐ**に挿入すること  
最後まで押し込むこと(カチッと音で合図があります)



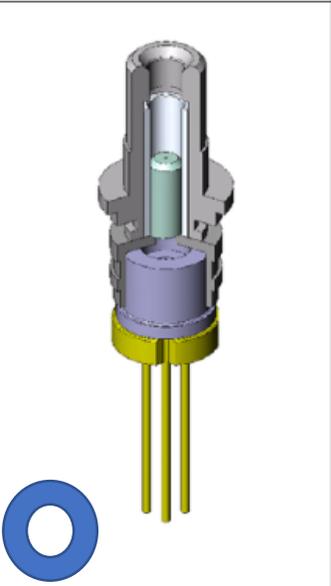
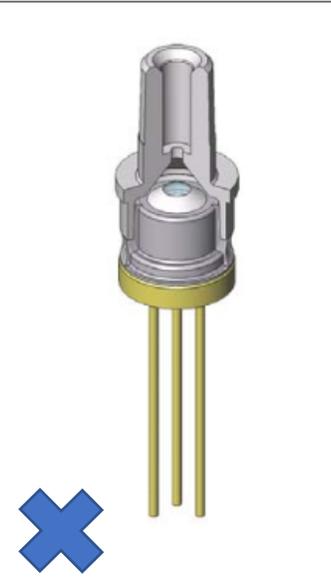
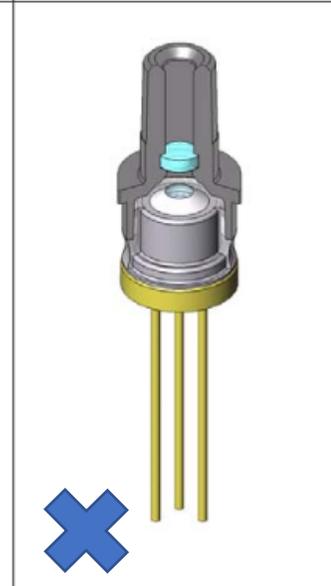
**清掃糸を使い切ると、押し込みが重くなります  
無理やり押し込まないように注意!**



# トランシーバの清掃について

## SFP等単心コネクタ接続用トランシーバの内部構造

表 B.1 レセプタクル形光トランシーバの光コネクタプラグとの接続構造

スタブタイプ	レンズタイプ	プレート接触タイプ
スタブ（フェルルール）と光コネクタプラグが接続する	レンズによる収束ビーム系により光学的に接続する	光学的接続はレンズタイプと同様であるが、光コネクタプラグのフェルルールはプレートと接触する
		

### 確認方法

- ・メーカーに問い合わせ
- ・端面が見えるか否か

MPOコネクタを用いるトランシーバの場合は、メーカーに要確認！

一般社団法人光産業技術振興協会 技術資料  
 レセプタクル形光トランシーバの光コネクタ端面清掃に関するガイドライン 第2版(2019年3月)  
<http://www.oitda.or.jp/main/st/TP12-2.pdf>

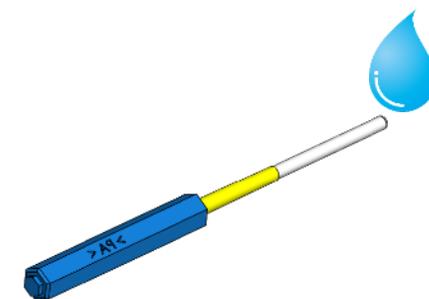


# Wet-Dryクリーニング

Wet清掃(アルコールは、こびりついたよごれを除去するためには非常に有効な場合があります。しかし、方法を誤ると余計な汚れを付着させてしまう**リスク**があるので注意が必要です。

## 使い方

- ① 清掃布にアルコールを**適量**付着させる
- ② 清掃する
- ③ 乾いた**清掃布**で再度清掃する



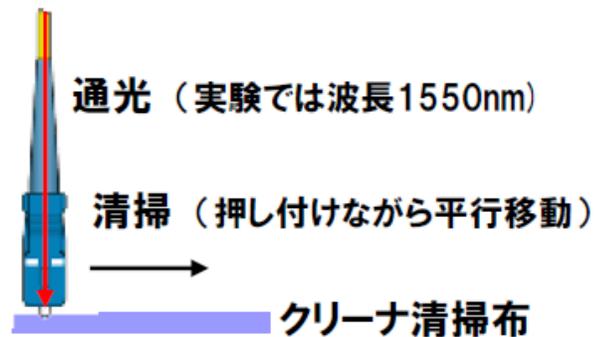
専用クリーニング液も市販されています



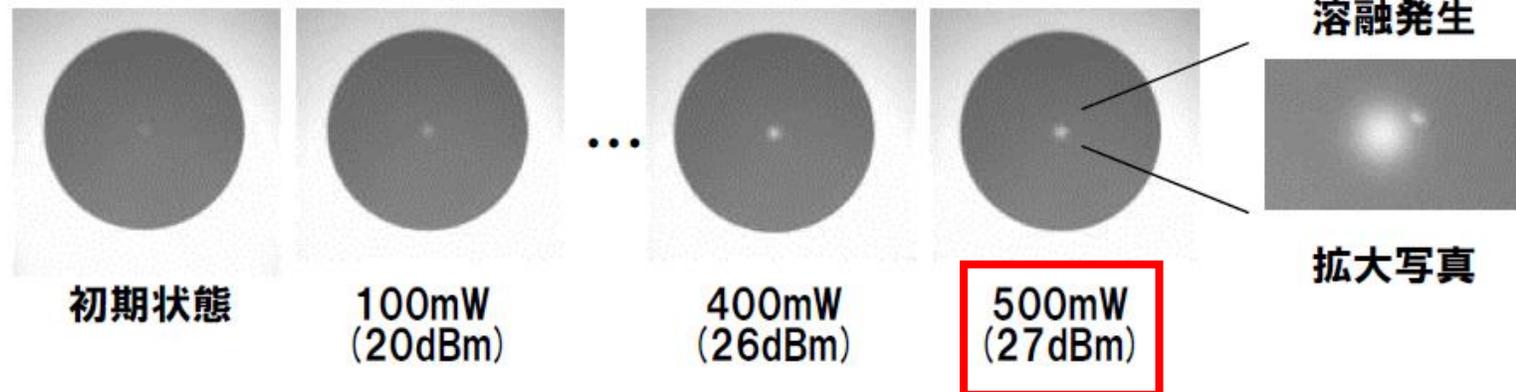
アルコールは、純度の高いIPAあるいは無水エタノールを用いること  
純度の低いアルコール(消毒用のエタノール等)はファイバにダメージを与えます  
適度に湿らすこと  
**必ず乾拭きを行うこと**



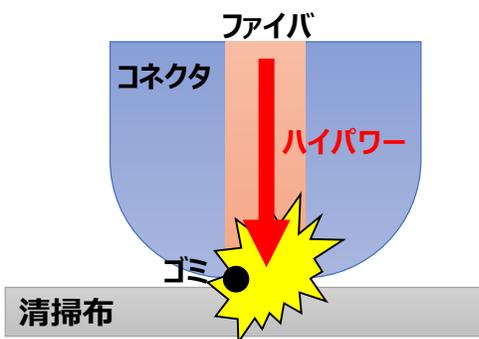
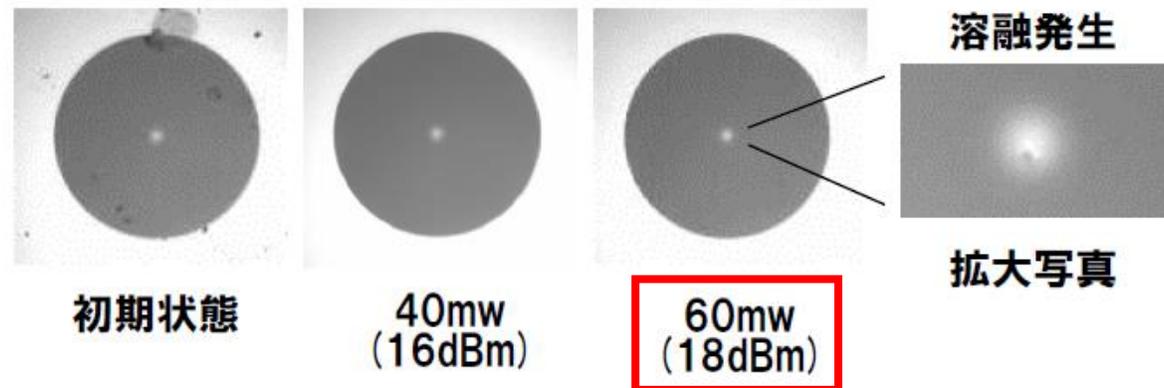
# 通光時の清掃の危険性



## ■ 汚れていない光コネクタの場合



## ■ 汚れている光コネクタの場合

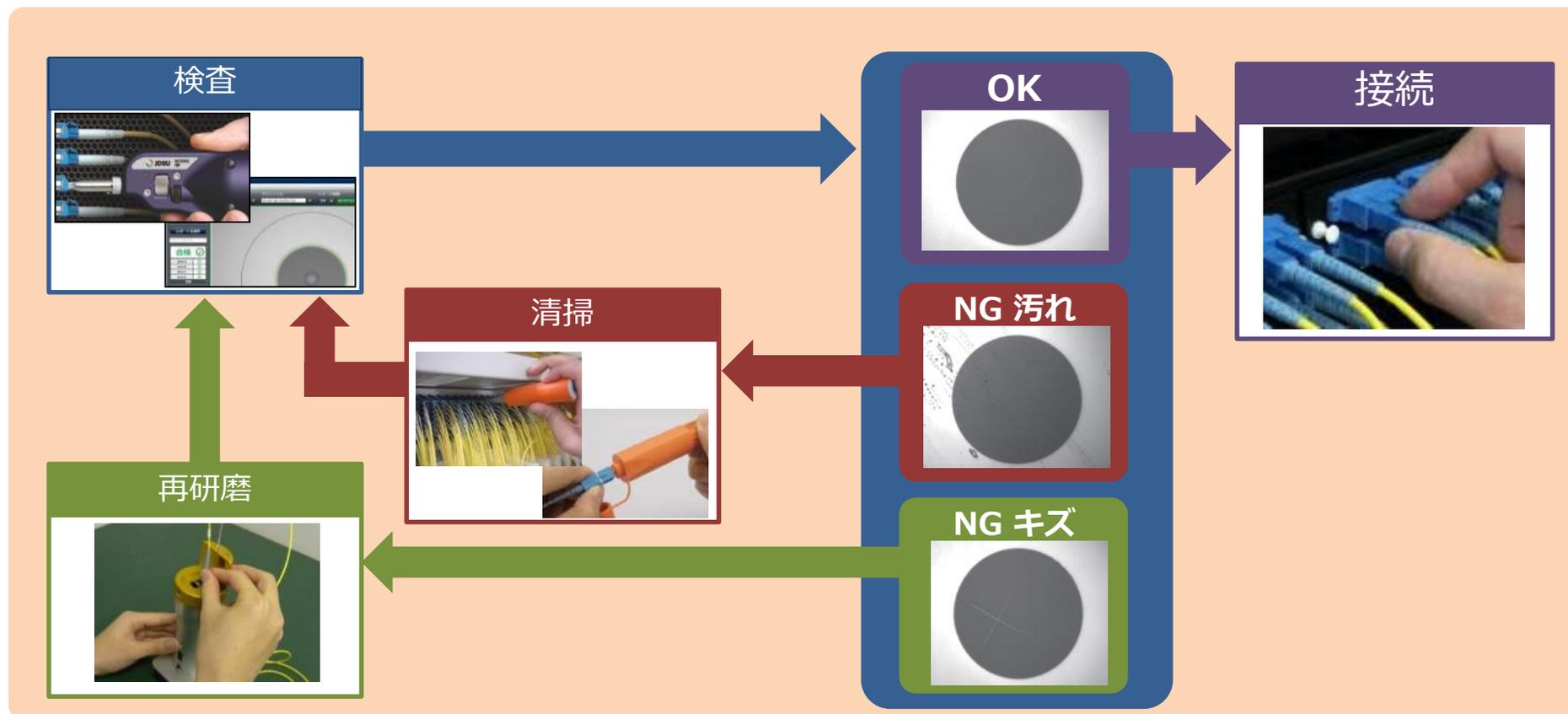


通光時に清掃すると400mW程度で溶融  
もし、汚れがある場合は、さらに低パワーで溶融  
⇒**光コネクタ清掃時は必ず通信光を停止！**



## 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損失(反射)発生原因を特定





# 光コネクタ端面観察機

可搬型の光コネクタ端面検査機が、接続・保守現場の作業に最適です。

## 単心コネクタ用



## 多心コネクタ用



## 選定ポイント

- ✓ 価格(予算)
- ✓ オートフォーカスの有無
- ✓ 端面の汚れや傷の状態の自動判定
- ✓ パワーメーター機能
- ✓ ワイヤレス/有線
- ✓ レポート機能
- ✓ 重量
- ✓ OTDRへの接続

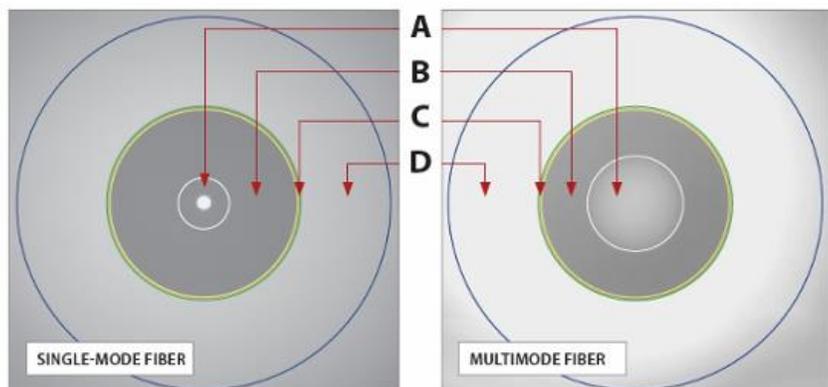
...etc



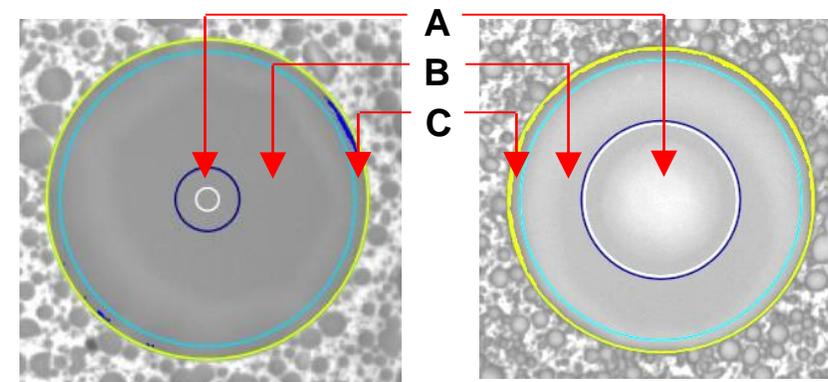
# 端面状態の自動判定 IEC 61300-3-35

IEC 61300-3-35 Ed.2.0による判定がデファクト

単心コネクタ



多心コネクタ



A: コアゾーン B: クラッドゾーン C: 接着剤ゾーン D: フィジカル接続ゾーン

- ✓ フィジカルコンタクトするエリアをゾーンとして設定
- ✓ コアに近いほど厳しい基準
- ✓ 求める反射減衰量によって厳しさが異なる



# 光コネクタの再研磨



現場用ハンディ研磨機



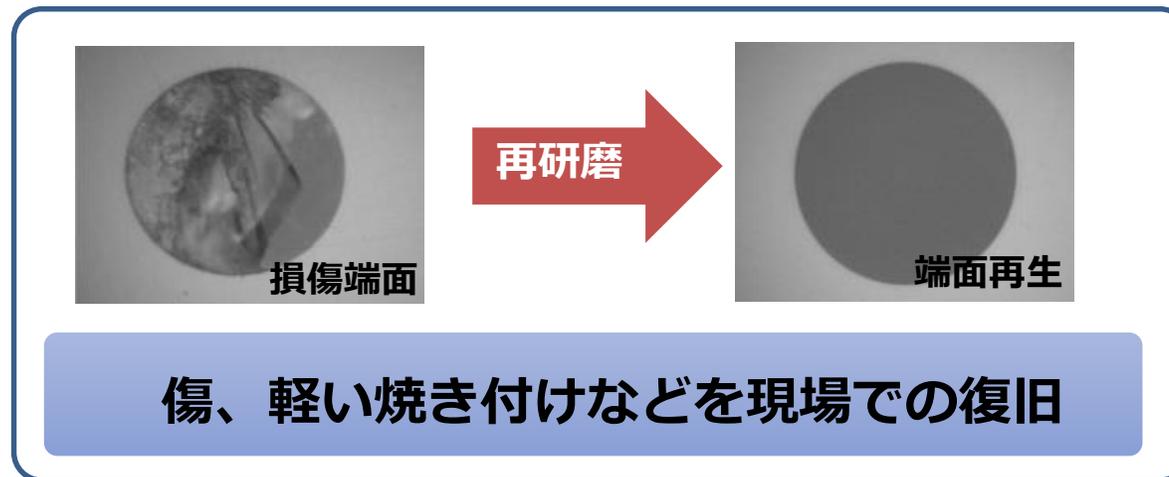
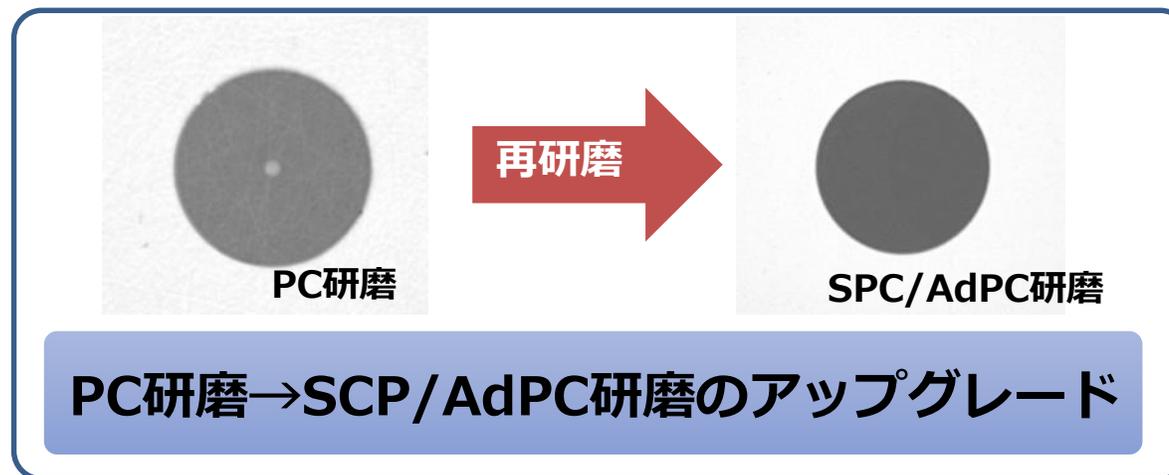
LC-Duplex



SCコネクタ



MTフェルール





## まとめ

- ◆ 多様化する光コネクタ
- ◆ 光コネクタ接続の基礎知識と光学特性
- ◆ 汚れが光学特性に及ぼす影響
- ◆ 光コネクタクリーナの効果的な使い方
- ◆ 端面観察機や研磨機の活用

未来を拓くチカラと技術。

