

# シリコンフォトニクス用 光コネクタの最新技術動向

第1回 COMNEXT -[次世代]通信技術&ソリューション展  
光通信技術 (FOE) セミナー  
2023年6月30日 (金) 15:15 - 16:00 (FOE-10)



株式会社フジクラ

# 目次（アジェンダ）

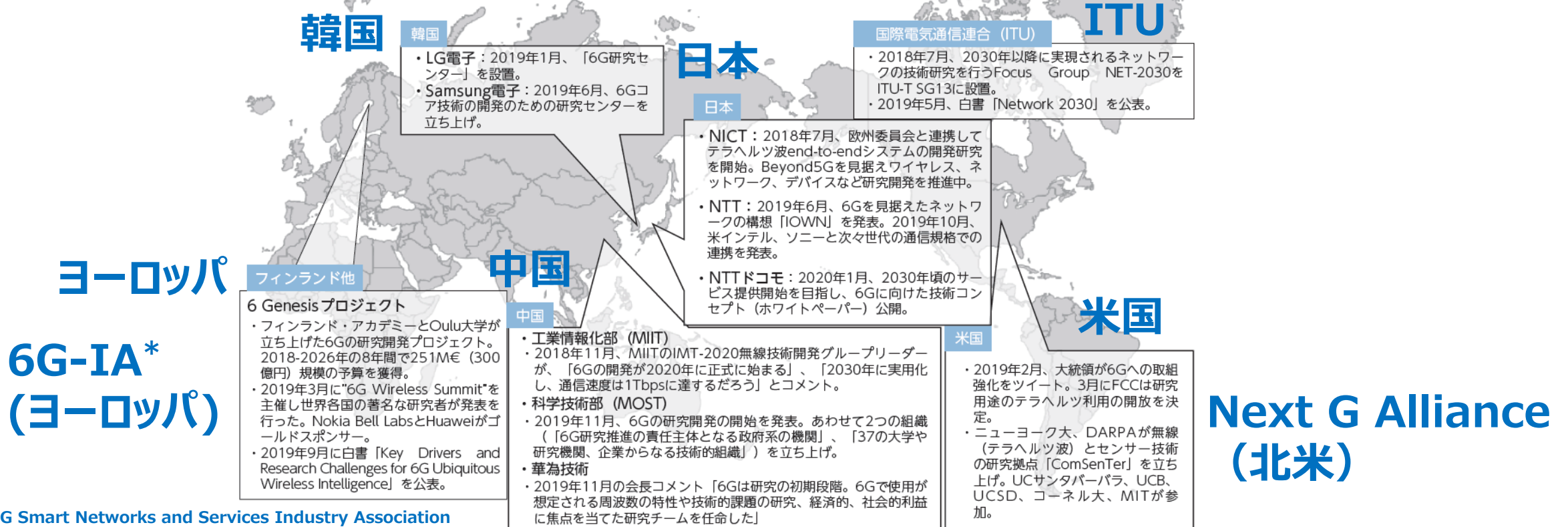
- **次世代情報通信システム**
  - Beyond 5G/6Gに関する取組の状況；2030年次世代ネットワーク
- **シリコンフォトニクス**の技術動向
- **プラグブル光トランシーバ**
  - プラグブル光トランシーバの製品ロードマップ；プラグブル光トランシーバ用光コネクタ：1.6T
- **光電融合技術（Co-packaged Optics）**
  - 光電融合技術（Co-packaged Optics）と光コネクタ用途
  - CPOスイッチフェイスプレート必要光ファイバ心数とそれを実現する次世代VSFF光コネクタ
  - 光コネクタのストレス試験はより厳しいレベルへ移行の兆し
- **次世代超小型（VSFF\*）光コネクタ技術動向** \*Very Small Form Factor
  - 次世代VSFF光コネクタに求められる条件
  - デュプレックス：ELiMENT™ MDC光コネクタ（例）；マルチファイバ：MMC光コネクタ（例）
  - 既存/次世代システム互換性
  - 周辺技術
- **光ファイバ細径化、光ファイバ狭ピッチ化、特殊光ファイバ実装**
- **まとめ**

# 次世代情報通信システム

# 次世代情報通信システム：Beyond 5G/6Gに関する取組の状況

## 2030年代にサイバー空間と現実世界（フィジカル空間）が一体化するBeyond 5G/6G実現に向けた次世代ネットワーク技術や市場形成を各地で検討中

- 2018年頃から6Gの実現に向け有望と考えられる通信技術について学術的な議論が各地で活発に行われているほか、ユースケースや要求条件に関する議論も少しずつ始まっている。



\*6G-IA: 6G Smart Networks and Services Industry Association

# 次世代情報通信システム：2030年次世代ネットワーク

## IOWN：光電融合デバイス等による低消費電力、大容量・高品質、低遅延なネットワーク実現

- 社会をスマート化し持続的に発展させるためには、従来の計算技術やインターネットの性能を越えた、計算能力の向上、低消費電力化、通信遅延の解消、安定した通信が必要
- これらの限界を超えるために、ネットワークから端末まであらゆる場所に光電融合デバイスなどのフォトリクス技術を活用し、「低消費電力」、「大容量・高品質」、「低遅延」なネットワークを実現（ElectronicsからPhotonics）



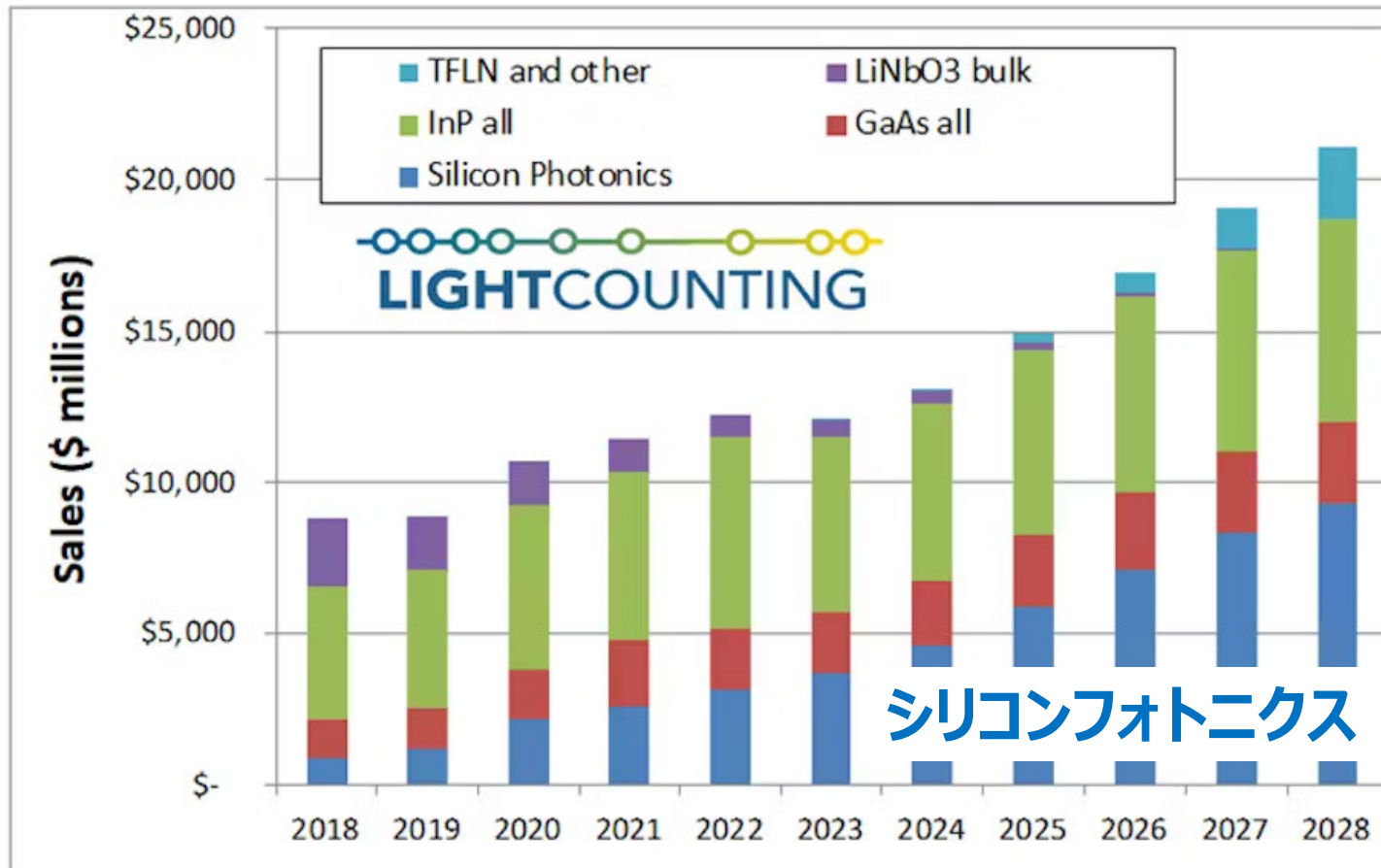
※1 フォトリクス技術適用部分の電力効率の目標値 ※2 光ファイバー1本あたりの通信容量の目標値 ※3 同一県内で圧縮処理が不要となる映像トラフィックでの遅延の目標値

(出典) NTT, IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の取り組みについて (2020/03) 5

# シリコンフォトリソグラフィの技術動向

# シリコンフォトニクス技術動向

高い量産性や統合性、シリコン工程親和性、低コスト、低消費電力のシリコンフォトニクスを採用する光トランシーバ割合は2022年24%から2024年44%と倍増、リニアドライブ方式プラグブル光トランシーバ及び光電融合技術がこのトレンドを後押し



- シリコンフォトニクス：  
TFLN<sup>(1)</sup>等新しい材料や技術の統合プラットフォームとして増加
- リニアドライブ方式：  
消費電力を抑えたGaAs DML<sup>(2)</sup>等の代替技術

(1) Thin-film Lithium Niobate  
(2) GaAs Directly Modulated Laser



# プラガブル光トランシーバ



# プラグブル光トランシーバの製品ロードマップ

プラグブル光トランシーバは800G及び1.6Tへ移行  
 リニアドライブ方式は光トランシーバ数世代延命の可能性

ICP data center transceiver product roadmaps

400/800G QSFP-DD, OSFP  
 (2018/2022)

1.6T+ OSFP-XD w/ LD  
 (2024 ~)

100G  
 QSFP-28  
 (2014)

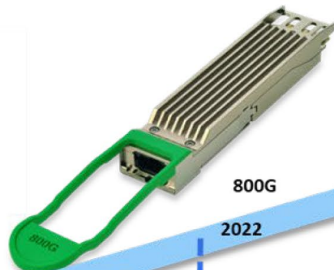
QSFP-28  
 4x25G NRZ  
 Power: < 3.5W



QSFP-DD or OSFP  
 8x50G PAM4  
 Power: < 15W



QSFP-DD or OSFP  
 8x100G PAM4  
 Power: < 20W



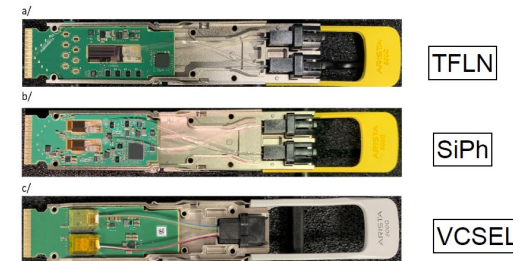
OSFP-XD  
 8x200G PAM4  
 Power: < 25W, lower if LD used



OSFP-XD  
 8x400G PAMX  
 Power: < ??



Linear Drive Optics Modules



Modules provided by Eoptolink

1.6T  
 2024  
 Custom optical engines  
 CPO  
 64x400G optical engine  
 Power: <19??



25.6T CPO  
 (2024 ~)

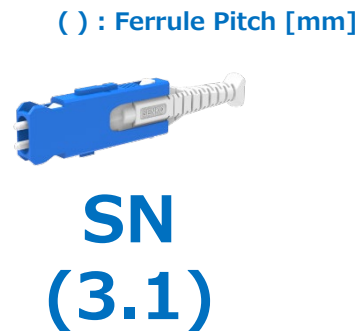
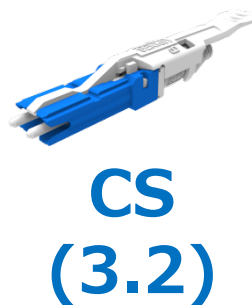


Source: Module pictures provided by Coherent; CPO switch images provided by Cisco

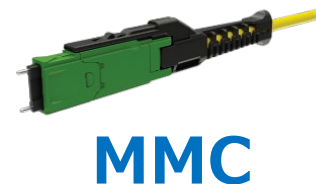
© 2023 Omdia

# プラグブル光トランシーバ用光コネクタ : 1.6T

デュプレックス  
1.25 mm径  
フェルール



マルチファイバ  
MTフェルール



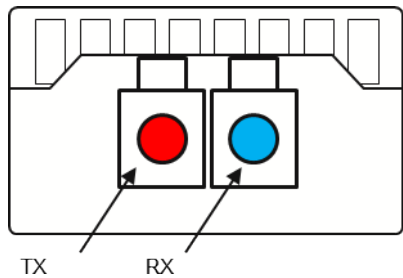
\*Physical Medium Dependent Sublayer

OSFP-XD  
(1.6T)

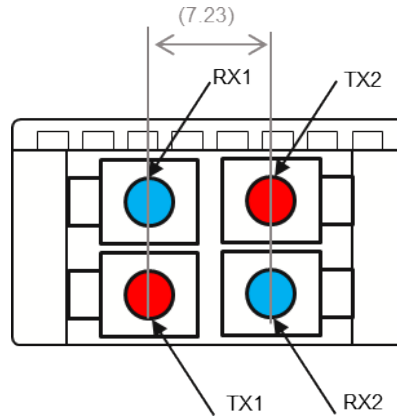
PMD*	Notes	Fiber	Connector	Remarks
1600G DR16 (1λ SMF)	16 x 1λ x 100G	32	(Dual) MPO/MMC/SN-MT	500 m
1600G DR8 (1λ SMF)	8 x 1λ x 200G	16	MPO, MMC, SN-MT, 8xMDC/SN	500 m
1600G 4FR2 (2λ SMF)	4 x 2λ x 200G	8	MPO, MMC, SN-MT, Quad MDC/SN	2 km
1600G ZR2 (2λ SMF)	1 x 2λ x 800G	2	Duplex LC, Mini-LC, CS	80 km
1600G 4FR4 (4λ SMF)	4 x 4λ x 100G	8	MPO, MMC, SN-MT, Quad MDC/SN	2 km
1600G 2FR4 (4λ SMF)	2 x 4λ x 200G	4	Dual CS/MDC/SN/Duplex LC	2 km
1600G 2FR8 (8λ SMF)	2 x 8λ x 100G	4	Dual CS/MDC/SN/Duplex LC	2 km
1600G FR8 (8λ SMF)	1 x 8λ x 200G	2	Duplex LC, Mini-LC, CS	2 km

\*Other PMDs: 1600G-SR16, SR8.2, FR16, LR16, ER16

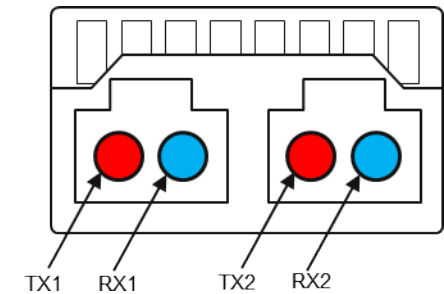
# プラグブル光トランシーバ用光コネクタ : 1.6T OSFP-XD光インターフェース – デュプレックス #1/2



Duplex LC (2)



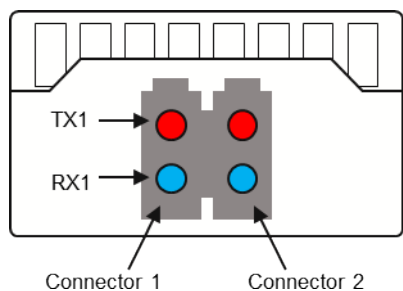
Dual Duplex LC (4)



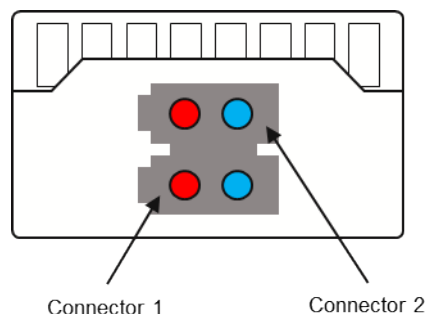
Dual CS (4)

# プラグブル光トランシーバ用光コネクタ : 1.6T OSFP-XD光インターフェース - デュプレックス #2/2

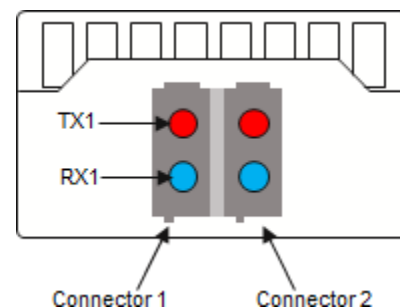
光インターフェースガイドライン (赤) :  
 OSFP Rev 5.0 (400/800/1600G) から  
 OSFP-XD Rev 1.0 (1600G) で追加された  
 光インターフェース



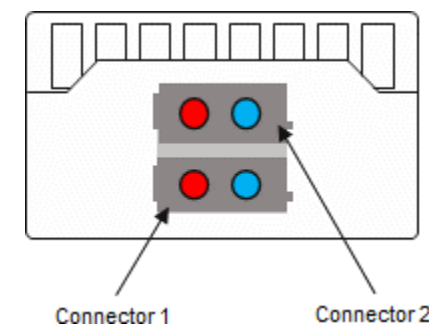
**Dual MDC  
(Ganged, 4)**



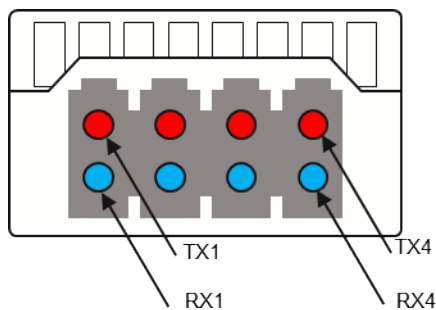
**Dual MDC  
(Stacked, 4)**



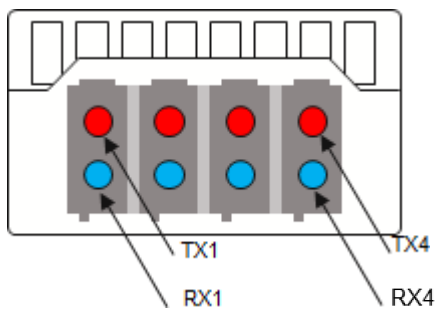
**Dual SN  
(Ganged, 4)**



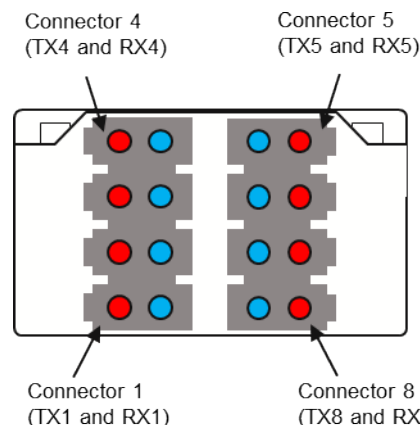
**Dual SN  
(Stacked, 4)**



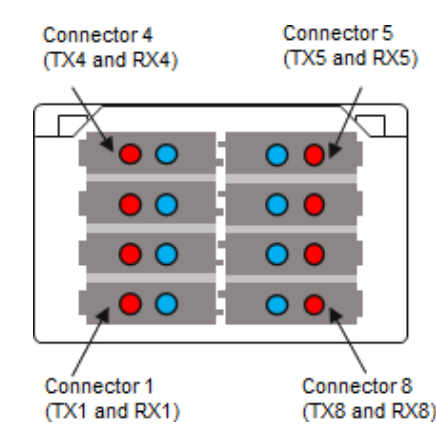
**Quad MDC (8)**



**Quad SN (8)**



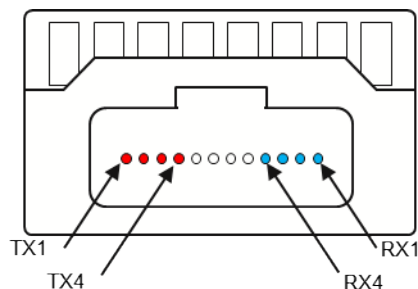
**8 x MDC (16)**



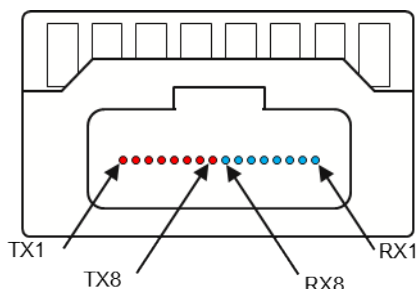
**8 x SN (16)**

# プラグブル光トランシーバ用光コネクタ：1.6T OSFP-XD光インターフェース - マルチファイバ

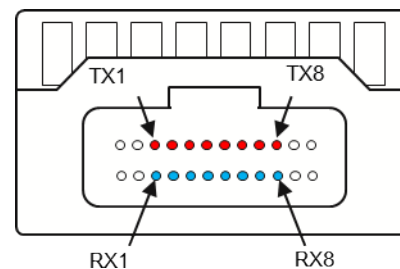
光インターフェースガイドライン (赤) :  
 OSFP Rev 5.0 (400/800/1600G) から  
 OSFP-XD Rev 1.0 (1600G) で追加された  
 光インターフェース



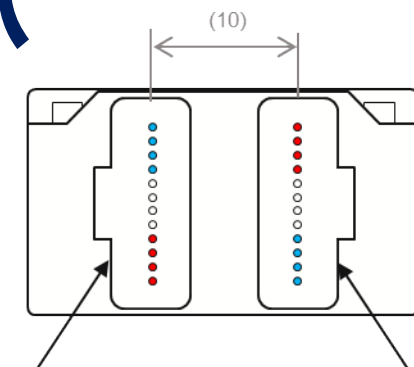
**MPO-12  
(8)**



**MPO-16  
(16)**

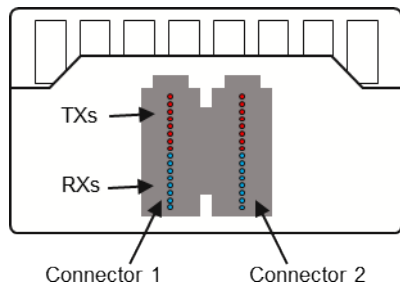


**MPO-12  
Two Row (16)**

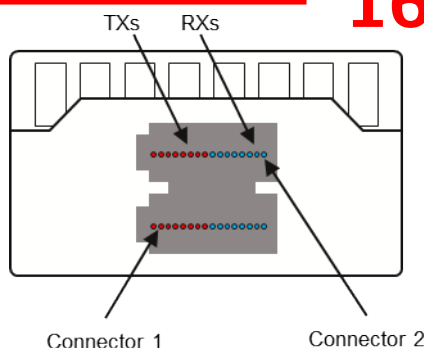


Connector 1 (TX1~4 and RX1~4)  
 Connector 2 (TX5~8 and RX5~8)  
**Dual MPO-12 (16)**

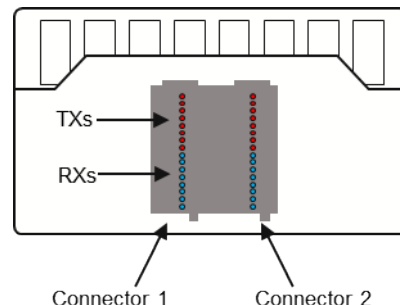
## 1600G DR16



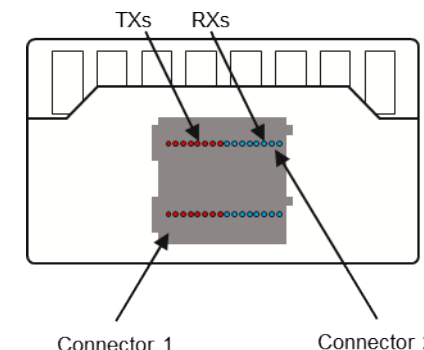
**Dual MMC  
(Ganged, 32)**



**Dual MMC  
(Stacked, 32)**



**Dual SN-MT  
(Ganged, 32)**

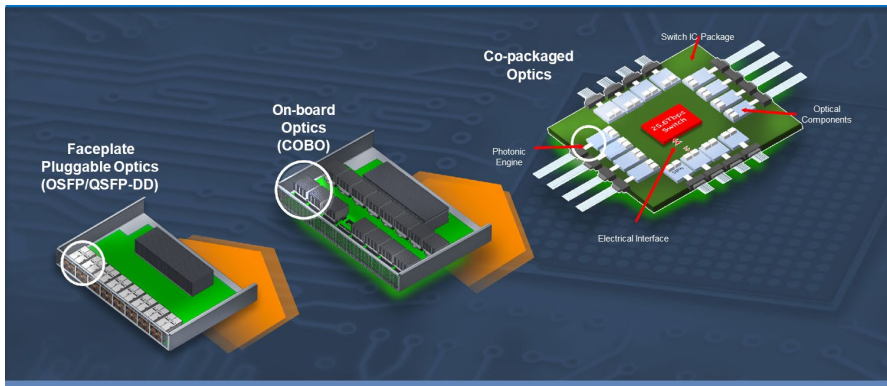


**Dual SN-MT  
(Stacked, 32)**

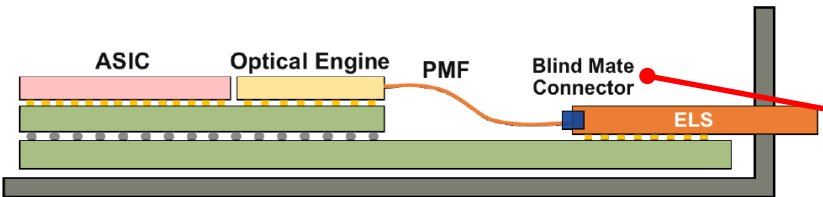
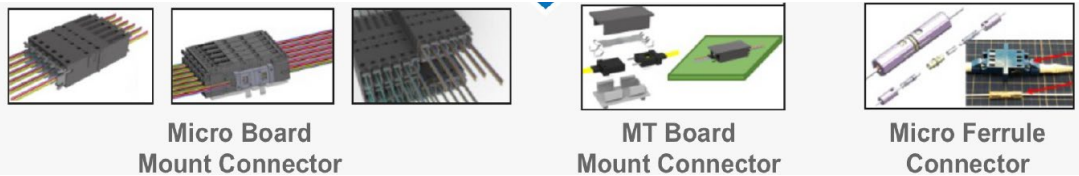
# 光電融合技術 (Co-packaged Optics)



# 光電融合技術 (Co-packaged Optics) と光コネクタ用途



Pluggable → OBO → CPO

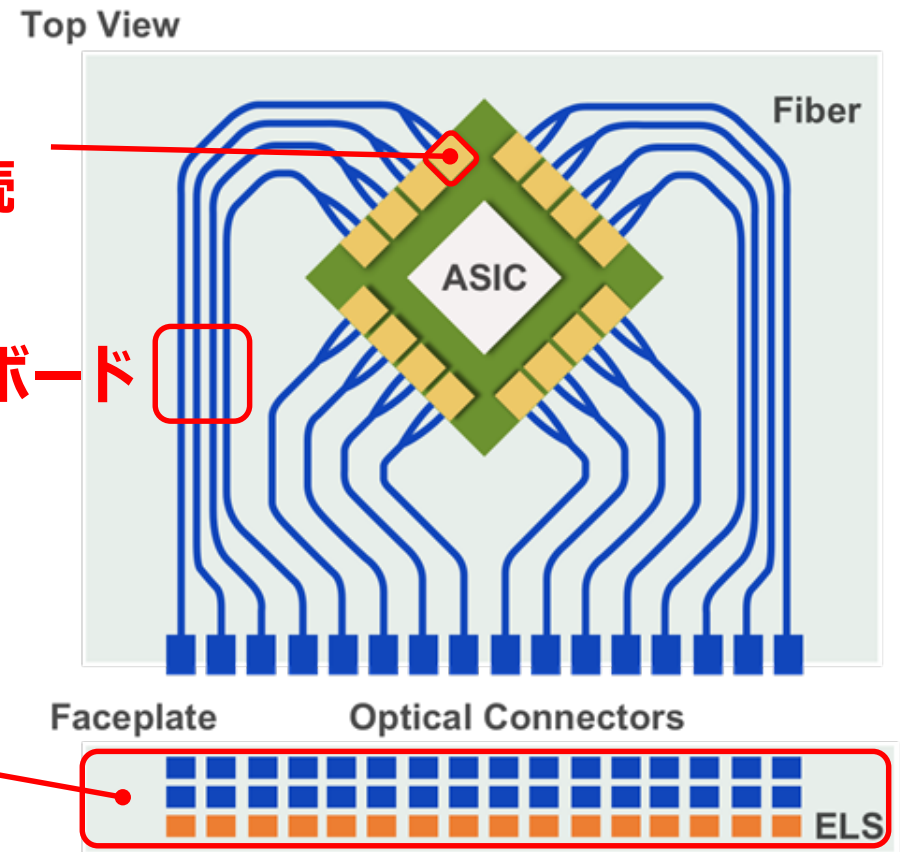


SiPhチップ  
光ファイバ接続

ミッドボード

フェースプレート  
外部光源ELSFP\*

\*External Laser Small Form Factor Pluggable

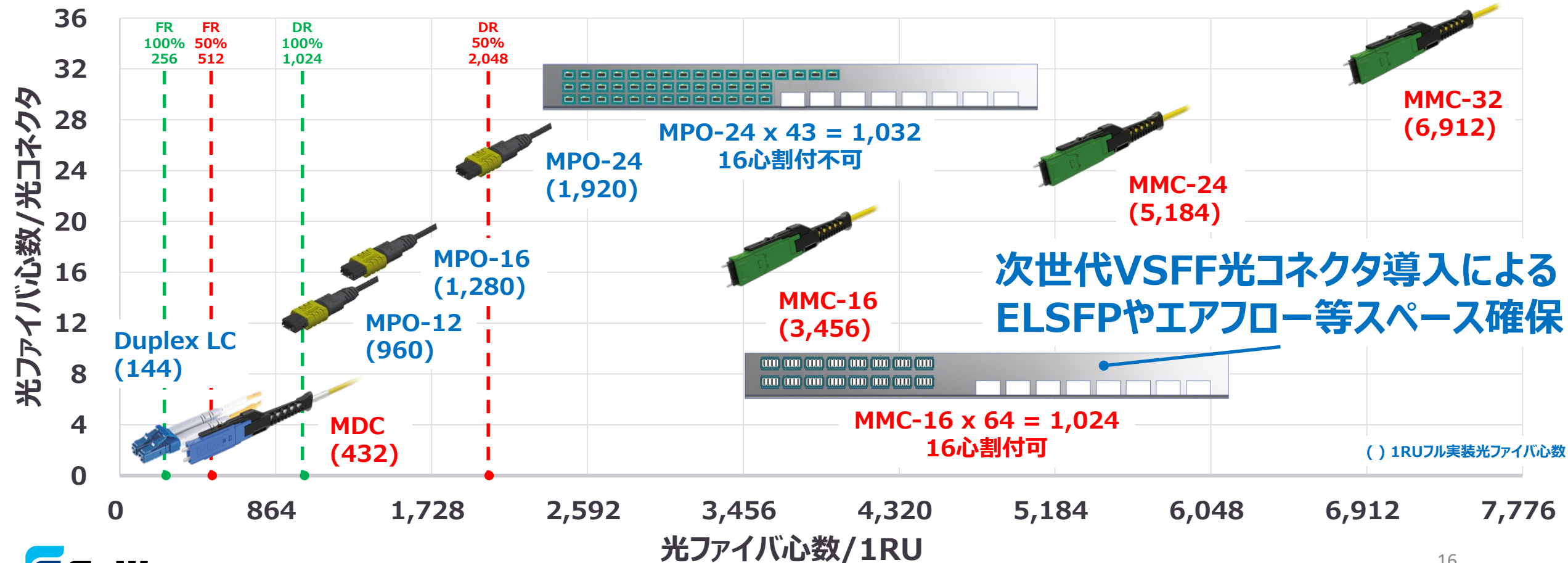


51.2 Tbps switch CPO layout example



# CPOスイッチフェイスプレート必要光ファイバ心数とそれを実現する次世代VSFF光コネクタ

ELSFP等実装スペース確保の為、51.2T CPO FR/DRスイッチ1RUフェイスプレート約半分のスペースで256心/1,024心を実現可能な次世代VSFF光コネクタ：Ex. MDC/MMC-16



# 光コネクタのストレス試験はより厳しいレベルへ移行の兆し

シリコンフォトンクス用光コネクタ信頼性：

データコム・テレコム等要求仕様 → オプトエレクトロニクス・集積回路要求仕様

Standard	Optical Connector	Thermal Cycling	Damp Heat / Humidity Aging	Primary Mechanicals	Durability (# mates)
TIA 568.3	MPO, EBC, LC	-10 to 60degC	40-60degC 93-95%RH	Flex/Twist /Proof	500
IEC Indoor CE					50*-200
GR-1435 CE	MPO, EBC	-40 to 85degC (21 cycles, 168hrs)	75-85degC 95-100%RH	TIA + TwAL	50*
GR-1435 UCE	MPO				
GR-326	LC				
IEC Extreme	LC, MPO				
GR-468 CE	LC, MPO	-40 to 85degC (100 cycles)	85degC/85%RH (500hrs)	TIA + TwAL+ Wiggle	200
GR-468 UCE	LC, MPO	-40 to 85degC (500 cycles)			
JEDEC	n/a	-65 to 125degC			

データコム  
テレコム等

オプト  
エレクトロニクス  
集積回路

\* Connector manufacturers typically test to 500 mate TIA level

CE = Controlled Environment  
UCE = Uncontrolled Environment

Color indicates stress level (green = low, red = high)

TwAL: Transmission with Applied Load  
JEDEC: JEDEC JESD47



(出典) US Conec, Reliability Considerations for CPO Fiber Optic Connectors – Initial Thoughts (2021/02) 17

# 次世代VSFF光コネクタ技術動向

# 次世代VSFF光コネクタに求められる条件

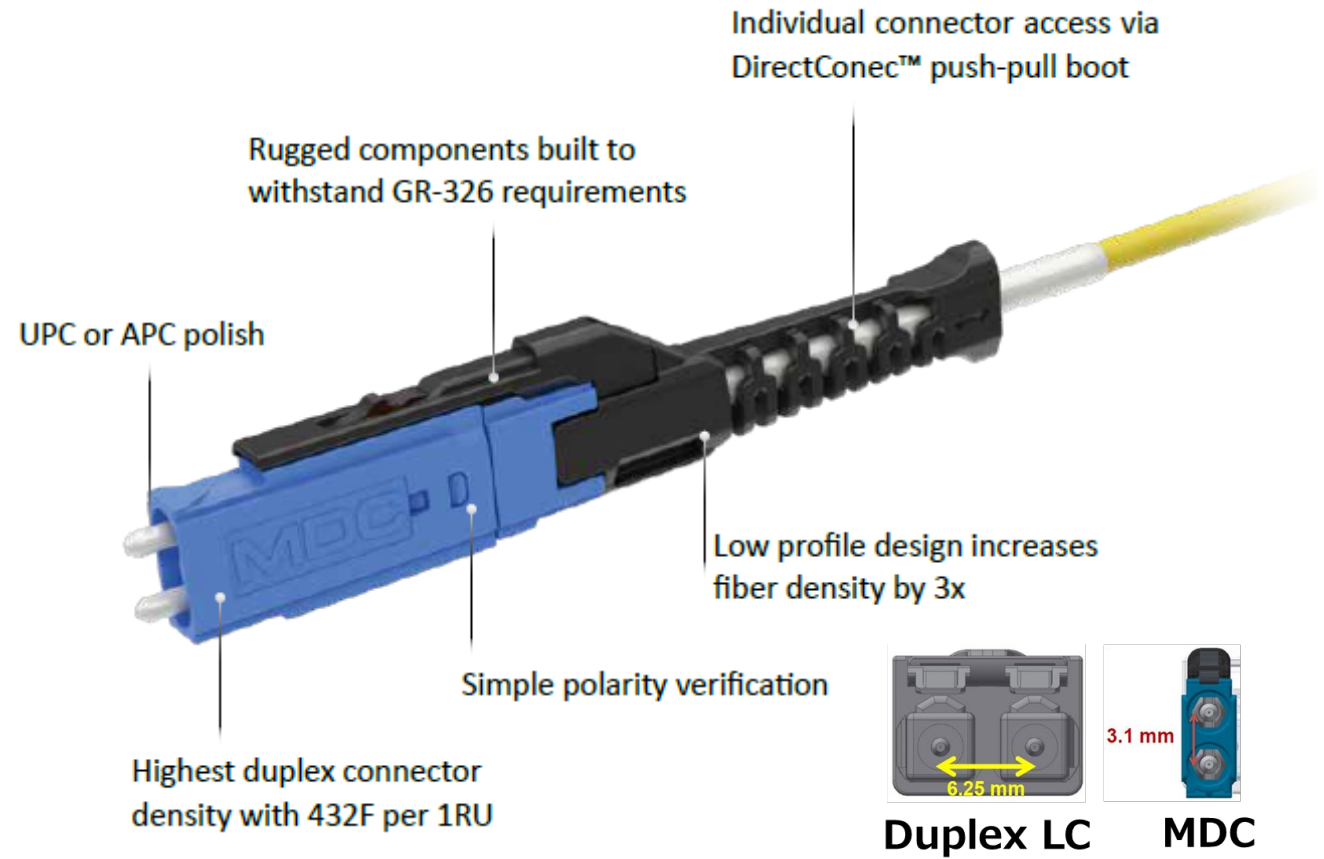
- 高密度（3倍密度）
- 実績のあるアライメント構造
- 光コネクタ挿抜き易さ
- IEC挿入損失等級Bランダム接続要求特性（0.25 dB @  $\geq 97\%$ ）準拠
- 反射減衰量特性（APC研磨）
- Telcordia等従来の光コネクタ規格準拠
- 次世代プラグブル光トランシーバMSA光インターフェース
- 既存システム及び次世代システムとの互換性
- 標準的な光ケーブル敷設産業界の工具・設備を流用可能

◆最先端技術に依存する供給リスク低減やベンダー間互換性確保が重要

# 次世代VSFF光コネクタ技術動向： デュプレックス：ELiMENT™ MDC光コネクタ（例）

## 特徴：

- 光ファイバケーブル敷設密度はデュプレックスLC光コネクタの3倍で、デュプレックス光コネクタ216端末/432心を1RUに実装可能
- 光コネクタ挿抜が簡単なDirectConec™ プッシュプルブーツを採用
- IEC光学互換標準挿入損失等級Bランダム接続要求特性（平均値0.12 dB, 最大値0.25 dB @  $\geq 97\%$ 光コネクタ接続）を満足
- Telcordia GR-326及びTIA-568に準拠
- 光ケーブル外径最大2.0 mmまで対応可能
- マルチモード&シングルモードPC研磨、シングルモードAPC研磨対応可能
- SFP-DD/QSFP-DD/OSFP MSA光インターフェース

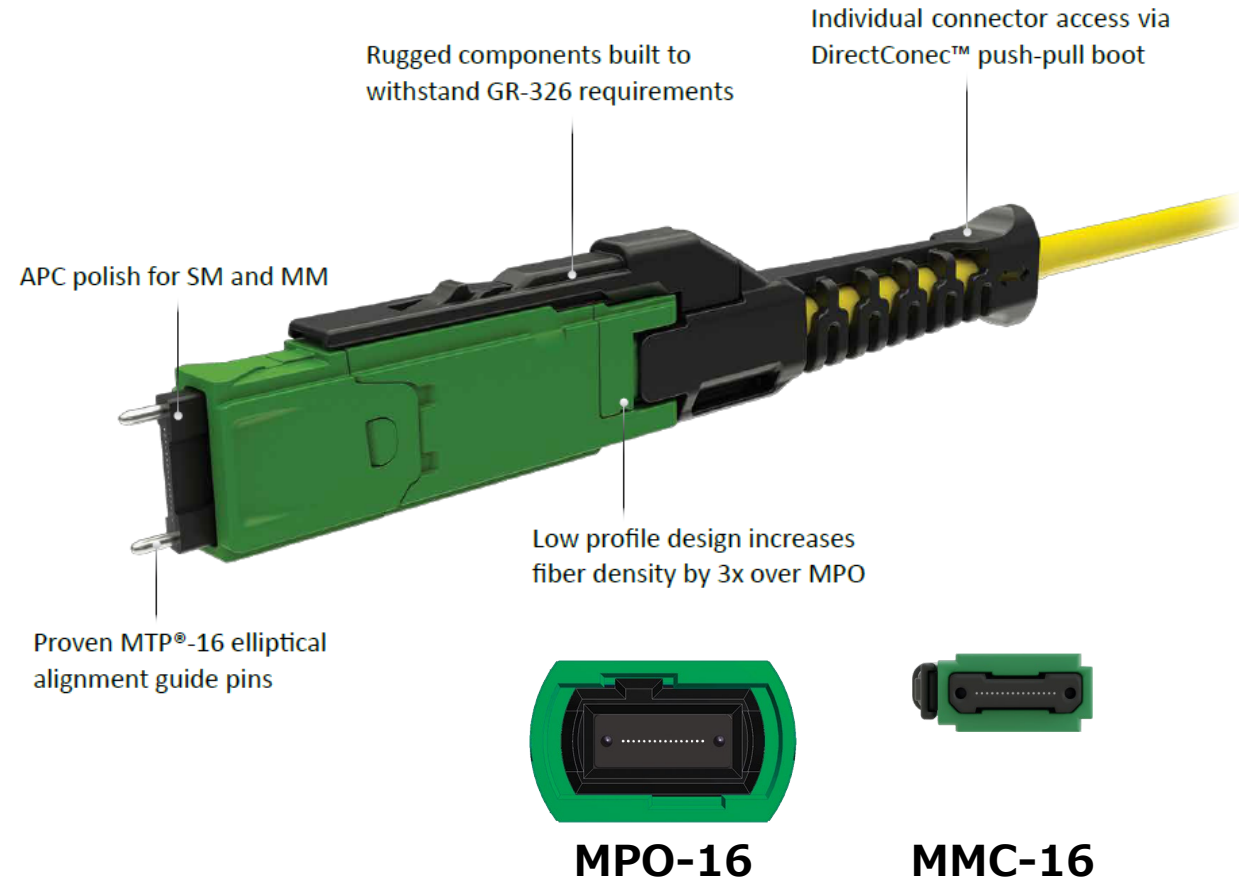


ELiMENT™, DirectConec™は米国US Conec Ltd.の商標です。

# 次世代VSFF光コネクタ技術動向： マルチファイバ：MMC光コネクタ（例）

## 特徴：

- 光ケーブル敷設ポート密度はMPO光コネクタの3倍
- 光コネクタ挿抜が簡単なDirectConec™プッシュプルブーツを採用
- 実績のあるMT-16メカニカル及び光ファイバアライメント構造を採用
- 標準250 um外径及びピッチ光ファイバテープとの互換性を確保
- 低損失IEC光学互換標準挿入損失等級B要求特性（0.25 dB @  $\geq 97\%$ ランダム接続）を満足
- シングルモード及びマルチモード用途にAPC研磨を採用
- Telcordia GR-1435に準拠
- 光ケーブル外径最大2.5mmまで対応可能
- 標準的な光ケーブル敷設産業界の工具・設備（One-Click® /IBC™光コネクタクリーナ、光コネクタ研磨機、光コネクタ端面形状測定器）を流用可能
- MT-16フェルール及び250/200/165 um光ファイバ互換TMTフェルール技術採用による既存/将来システムとの互換性
- OSFP MSA (OSFP-XD) 光インターフェース



DirectConec™及びIBC™は米国US Conec Ltd.の商標です。  
One-Click®は株式会社フジクラの登録商標です。

# 次世代VSFF光コネクタ技術動向：特徴詳細

## MMC光コネクタ（例）

高密度（3倍密度）  
光コネクタ挿抜き易さ



1U Panel Max Density with (66) 4-port MMC Adapters	
16F MMC	4,224 Fibers
24F MMC	6,336 Fibers

MMC-16/MMC-24: 3,456/5,184 Fibers → 4,224/6,336 Fibers

実績のあるアライメント構造  
既存/次世代システム互換性



x16F

IEC 61755 and 61754 precision alignment structure  
for MT and MT-16 Ferrules (250 μm pitch)



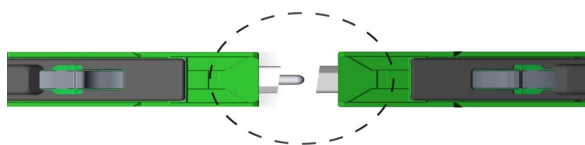
x12F

Compatible with 250, 200 and 165 μm OD fibers

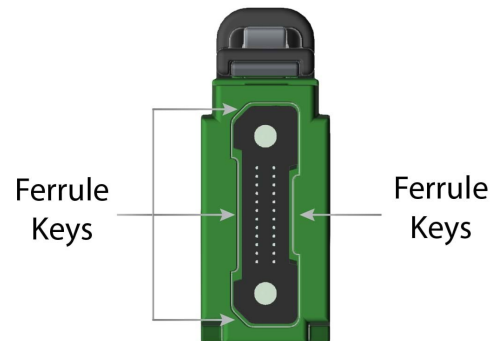
光学特性

IEC挿入損失等級B (0.25 dB)  
反射減衰量特性 (APC研磨)

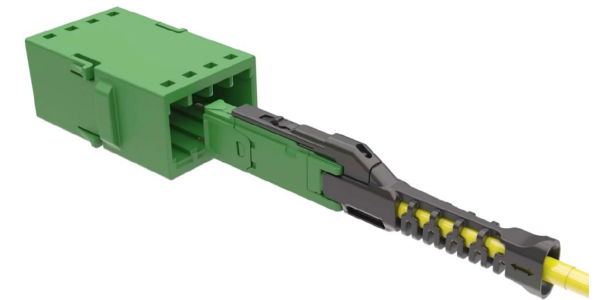
Angle End-Face  
Mating



誤組付防止構造

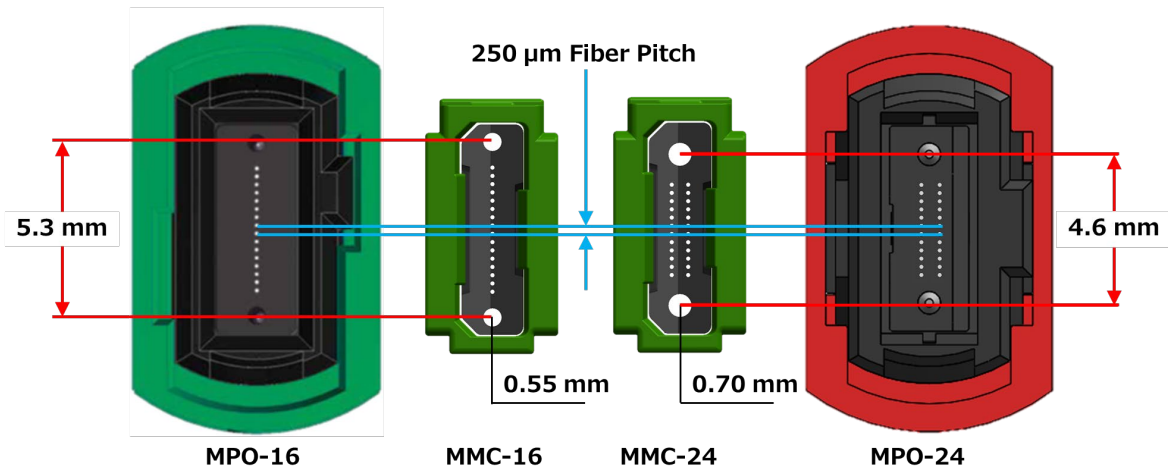


長いかみ合い長による安定性  
シングルラッチによる破片・保守抑制





# 次世代VSFF光コネクタ技術動向： 既存/次世代システム互換性：MMC光コネクタ（例）



	Conventional 125 $\mu$ m Cladding 250 $\mu$ m Pitch	Reduced 80 $\mu$ m Cladding 250 $\mu$ m Pitch
MMC-16		
MMC-24		
MMC-32		

## 互換性：

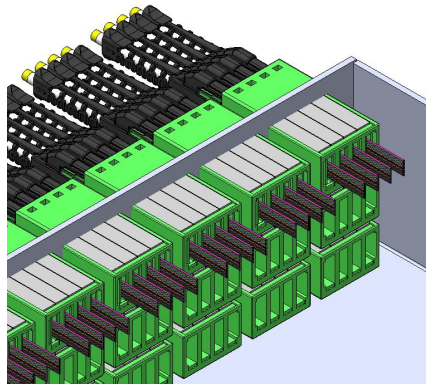
既存システム：250  $\mu$ m径光ファイバ/ピッチ光ファイバリボンに対応可

次世代システム：200/165  $\mu$ m径光ファイバ/ピッチ光ファイバリボンに対応可

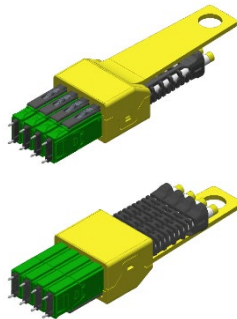
80/165  $\mu$ m光ファイバ導入により、1x24Fや2x24F構造も対応可

# 次世代VSFF光コネクタ技術動向：周辺技術 MMC光コネクタ（例）

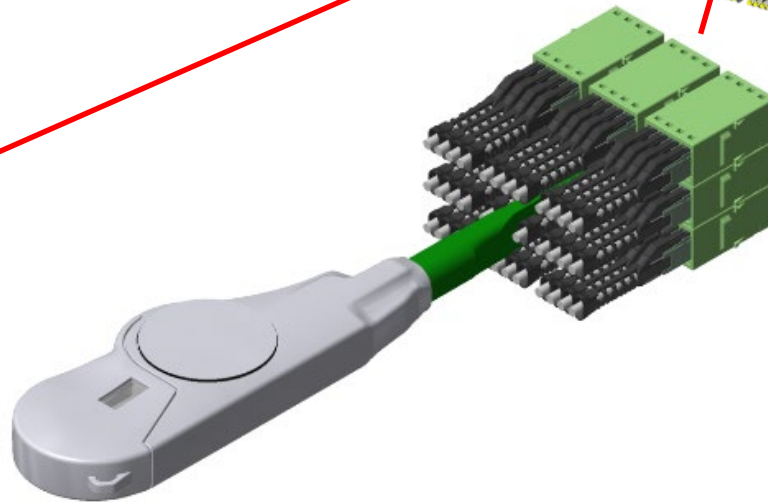
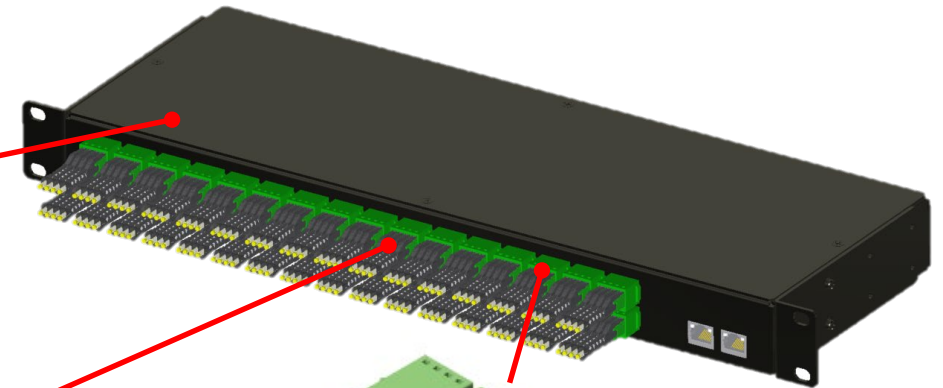
機器内のスペース確保、敷設時間短縮、高密度光配線敷設時のシステム障害防止や保守をサポートする周辺技術



MMC Jr. and Adapter/Receptacle



Ganged MMC Connector



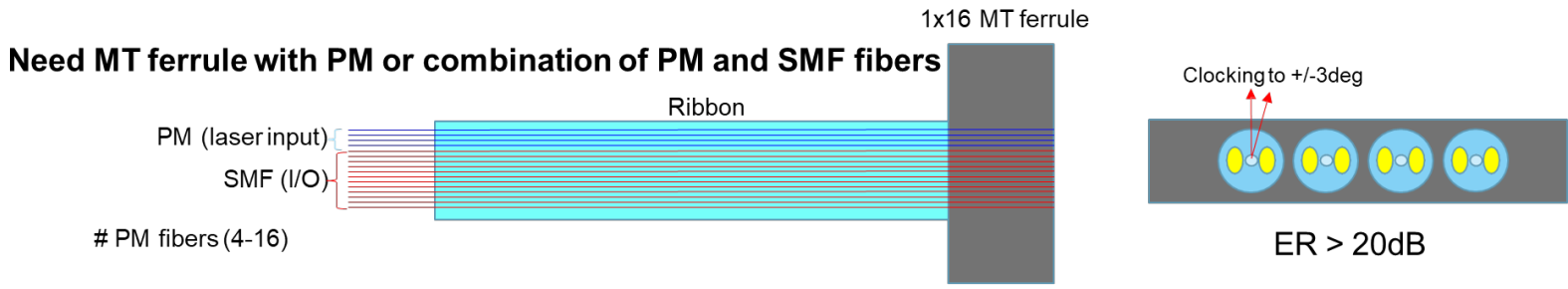
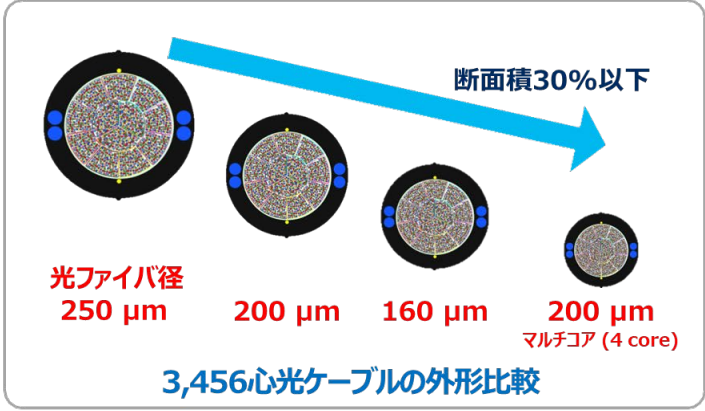
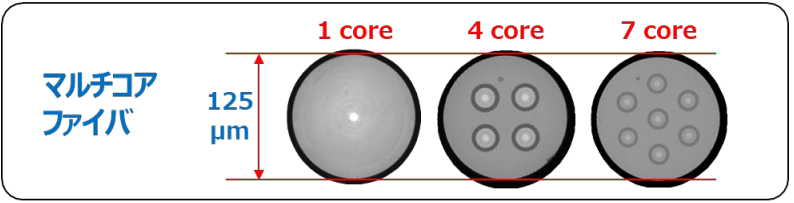
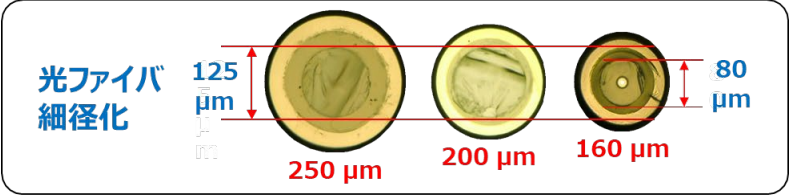
MMC Connector Cleaner

# 光ファイバ細径化、光ファイバ 狭ピッチ化、特殊光ファイバ実装

# 光ファイバ細径化、光ファイバ狭ピッチ化、特殊光ファイバ実装

次世代高密度光配線及びシリコンフォトニクスに  
最適な光ファイバを実装可能な光コネクタが必要  
Ex. MMC光コネクタも対応可能

光ファイバ細径化 : [ $\mu\text{m}$ ]  
被覆径 : 250  $\rightarrow$  200  $\rightarrow$  160  
クラッド径 : 125  $\rightarrow$  80  
光ファイバ狭ピッチ化 : [ $\mu\text{m}$ ]  
125/250  $\rightarrow$  80/127 (CPO)  
特殊光ファイバ実装 :  
MCF: 1コア  $\rightarrow$  4コア  $\rightarrow$  7コア  
PMF等 (レーザー光入力等用途)



\* Ideally Integrated connector to be solder reflow compatible

- What is needed from fiber component suppliers
- Disruptive innovation to reduce connector size (integrated version)
  - Solder reflow compatible ferrules
  - Low loss SM 1x16 .. 2x16 ? 1x24?
  - SM with 80 $\mu\text{m}$  fiber on reduced pitch
  - PM arrays and Combination of PM / SMF fibers
  - Efficient shipping and expedition of fiber component and photonic module

# まとめ

# まとめ

- 光電融合技術等による低消費電力、大容量・高品質、低遅延なBeyond 5G/6G次世代ネットワーク実現に向けた活動が活発化
- リニアドライブ方式プラグブル光トランシーバ及び光電融合技術CPOがシリコンフォトニクスを後押し
- 次世代プラグブル光トランシーバ及び光電融合技術CPO用途で次世代VSFF光コネクタが必要
- 光電融合技術CPO用光コネクタ要求仕様は、データコム・テレコム等要求仕様からオプトエレクトロニクス・集積回路要求仕様へ移行の兆し
- 次世代VSFF光コネクタは、次世代高密度光配線及びシリコンフォトニクスに最適な光ファイバを実装可能で、3倍高密度、既存システム（250 μm径光ファイバ/ピッチ光ファイバリボン）及び次世代システム（200/165 μm径光ファイバ/ピッチ光ファイバリボン）との互換性を実現、光ファイバ細径化（125/250 μm → 125/200 μm → 80/165 μm）や狭ピッチ化（250 μm → 200 μm → 165 μm）にも対応可能





Shaping the future  
with “tsunagu”  
technology.