

データセンタ向け光接続用多心コネクタ

Multi-Fiber Connectors for Data Center Applications

大村 真樹*
Masaki Ohmura

上原 史也
Fumiya Uehara

荒生 肇
Hajime Arai

島川 修
Osam Shimakawa

島津 貴之
Takayuki Shimazu

クラウドコンピューティング、モバイルインターネット等の情報処理を担うデータセンタ（DC）では、光接続の需要が増加している。DCでは高速大容量化の流れを受け、これまでのマルチモードファイバのシステムからシングルモードファイバ（SMF）への移行が進むと考えられる。そこで我々は、今後のデータセンタに求められるSMF多心接続ソリューションとして精密成形技術をベースとした多心光接続用コネクタ（MPOコネクタ、および耐ダストコネクタ）を開発しており、その概要について報告する。

The need for optical interconnection has been increasing at data centers (DCs) to process information for cloud computing and mobile internet services. To accommodate the need, multi-mode fiber systems will be replaced with single-mode fiber (SMF) systems. We have developed multi-fiber connectors (such as multi-fiber push-on and dust-proof connectors) as an SMF optical connection solution based on high-precision molding technologies. This paper outlines our latest multi-fiber connectors for DC applications.

キーワード：データセンタ、MTフェルール、MPOコネクタ、耐ダストコネクタ、シングルモードファイバ

1. 緒 言

近年、クラウドコンピューティング、モバイルインターネットの普及等により通信トラフィック量が飛躍的な勢いで増加している。それらの情報処理を担うデータセンタ（DC）では、従来のメタル配線では長距離／高速大容量の通信が困難なため、光配線化が進展している。

DC内の機器間光配線には、単心コネクタはLCコネクタ^{*1}、多心コネクタはMPOコネクタ^{*2}が主に使用されている（図1）。また、光ファイバは伝送可能距離が比較的に短いものの接続は容易なマルチモード光ファイバ（MMF：コア径50μm）が多く使われてきたが、今後、DCの光ネットワークの大容量化と大規模化に伴い長距離・大容量伝送可能なシングルモード光ファイバ（SMF：コア径10μm）のシステム構築が進むと考えられる。

そのような長距離化や大容量化の流れに対応して、DCシステムでは現在10GbE^{*3}から40/100GbEへの移行して

おり、更に次世代の400GbEもIEEE802.3^{*4}にて2017年を目標に標準化が進んでいる⁽¹⁾。ここで使われる多心光コネクタは、標準的な12MPOに加えて24MPO、新たな規格の32MPOの使用が推奨され、多心化の要求が高まっている⁽²⁾。

また、DCへの光コネクタの浸透に伴い光接続特有の課題に対する取組がなされている。光コネクタは電気コネクタとは異なり、性能を担保するために使用前に接続端面の清掃が必要である。DCでは建設時あるいは運用開始時に莫大な数のコネクタ接続が発生するため、その作業量は無視することができない。そこで、光コネクタでも電気コネクタと同等の簡易な取扱い性が要求されており、耐ダスト性やクリーニングレスを謳った各種コネクタが提案されている^{(3)~(6)}。

上記の状況を踏まえて、今後、DCにて要求されると考えられる多心SMF接続ソリューションに向けて当社の製品開発状況を報告する。

2. MPOコネクタと精密成形技術

2-1 MPOコネクタ

MTフェルールをキーパーツとして用いるMPOコネクタの概要を図2に示す。ファイバが実装されたガイドピン有り、無しフェルールがそれぞれMPOハウジングに収納され、アダプタを介して接続される。ハウジング内にはファイバコアを機械的に接続（Physical Contact）させるために押圧バネ（9.8または20N）が内蔵されている。ま

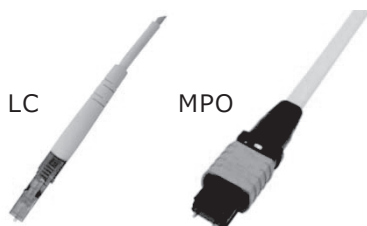


図1 DC内で使用される光コネクタ

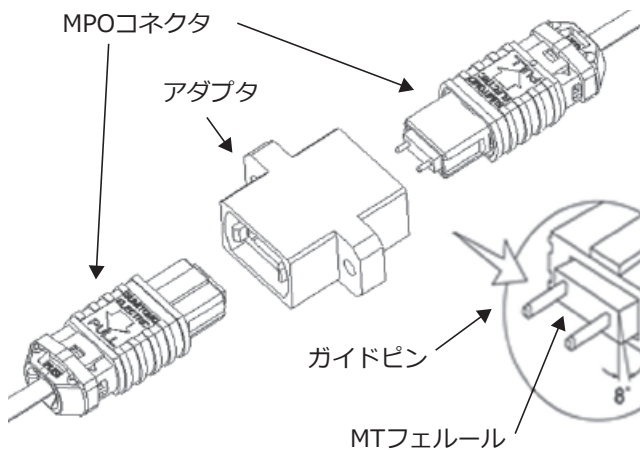


図2 MPOコネクタの概要

た、SMF用のMPOコネクタは反射減衰量を低減するためにコネクタ端面は8°に研磨される。

図3にMPOコネクタの品質を左右するMTフェルール端面の概略を示す。コネクタ位置決め基準となる2つのガイド穴(φ0.7)の間に光ファイバ(φ0.125)が0.25mm間隔で配置されている。その両ガイド穴の中心を基準とした座標系において、ファイバの実際の位置と設計位置との差を偏心と呼んでいる。MPOコネクタの接続損失はファイバ同士の軸ズレが支配的であり、低損失化のためには如何にこの偏心を低減させるかが技術的なポイントとなる。

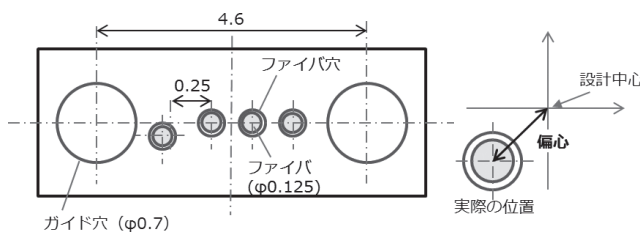


図3 MTコネクタ端面、および偏心の定義

図4にSMFの軸ズレ量と接続損失の相関を示す⁽⁷⁾。一般に低損失グレード(LLグレード)と呼ばれる損失0.5dB以下を実現するためにはファイバ同士の軸ズレ量を1.6μm以下とする必要があり、一方のコネクタに許容される偏心はその半分の0.8μmとサブミクロンレベルの高精度な位置制御が必要になる。また、多心コネクタではファイバ心数の増加が累乗で歩留りに影響するため、安定した品質の製品を確保するためには、MTフェルールの高度な加工技術が必要である。

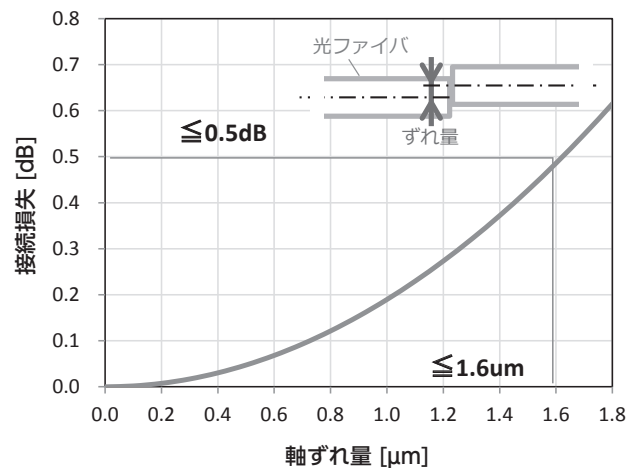


図4 ファイバ軸ズレ量と接続ロスの相関

2-2 超精密成形技術

MTフェルールは樹脂製品で、射出成形と呼ばれる加工技術を用いて作製される。射出成形とは、プラスチックの加工方法の一つで、加熱溶融させた材料を金型内に射出し、冷却・固化させることによって製品(成形品)を得る方法である。射出成形は自動機を用いて連続的に成形品が得られるため量産性に優れる手法だが、一般的な成形品の場合、樹脂の成形収縮(0.5%程度)の影響でMTフェルールと同サイズの成形品であれば数十μm程度の寸法誤差が発生する。サブミクロンの寸法精度が要求されるMTフェルールを作製するためには、それらの寸法誤差を低減する高精度な精密成形加工技術が必要である。以下に具体的な要素技術を述べる。

MTフェルールに用いる材料には、結晶性の熱可塑性エンジニアリングプラスチックの一種であるPPS(Poly Phenylene Sulfide)^{※5}を用いている。一般的にPPSは寸法精度、機械強度、および耐薬品性に優れた材料であるが、補強材として球状シリカを配合限界まで高充填することで、通常よりも低成形収縮、低熱膨張係数、および低異方性を実現して高精度化を図っている。

次にMT成形用の金型部品の概要を図5に示す。ファイバ穴およびガイド穴を形成するコアピンをスライダで把持し、成形時にピンキャッチャーにて固定する構成である。主要構成部品はサブミクロンの寸法精度を有する。更に当社では、コネクタ加工時(研磨工程)の品質に大きく影響するファイバ穴の曲りを極限まで小さくするために特殊な金型構造を採用している。図5中に示すキャビティサポート(CS)部品は、ファイバ穴を形成するコアピンを金型中央で把持する。これにより成形時の樹脂圧によるコアピンの曲りを低減することができる。この構造を採用することでMTフェルールのファイバ穴の曲りは0.2°以下を担保している。

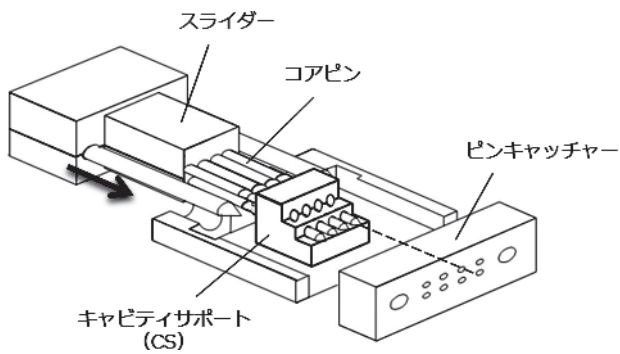


図5 MT成形用の金型部品の概要

また、高精度な品質を実現するためには、加工と同等もしくはそれ以上の高精度測定技術が必要である。当社ではサブミクロンの各種計測技術を保有している。

3. SMF用MPOコネクタ

ここでは上記の精密成形技術を用いて製品化したもしくは開発中のファイバ接触式の各種MPO製品について紹介する。

3-1 40/100GbE用MPOコネクタ

40/100GbEシステムでは12MPO、および24MPOの使用が推奨されている。40GbEの仕様は12心ケーブルソリューションであり、4心の送信ファイバ、および4心の受信ファイバを使用する（10G×4ch）。また、100GbE仕様の一形態としては24心のファイバのうち送受信それぞれに10心のファイバを使用する（10G×10ch）。

(1) Q8MPO (MT)

信号の送受信に用いられる光トランシーバ (QSFP) へ接続される12MPOは、通常12心のファイバの内、中央の4心は未使用（ダークファイバ）である。大量の配線部材が用いられるDCでは見過ごせないファイバの量であり、当社では経済化のために8心ソリューションを提案している。

図6にダークファイバを必要としないQ8MPOコネクタの概要を示す。標準的な12MTフェルールのファイバ穴配列において中央4心をなくし、両側にそれぞれ各4心を振り分けることで光ファイバが無駄にならない構成としている。

図7にSMF用のQ8MPOのランダム接続時の損失分布を示す。測定波長1.31μmにおいて接続損失は、平均0.09dB、最大0.31dBと良好な特性が得られている。また、使用形態によっては通常の12MPOと接続するケースが考えられるため、Q8MPOと12MPOとを連続500回着脱した後のQ8MPOフェルール端面の状態（凹凸形状）を観察した。その結果を図8に示す。端面中央のファイバのない平坦部には対向ファイバの接触に伴う凹みは特に認められなかった。また、他の12MPOと接続した状態での信

頼性試験も規格を満足しており、標準コネクタとの接続互換性が問題ないことを確認した。

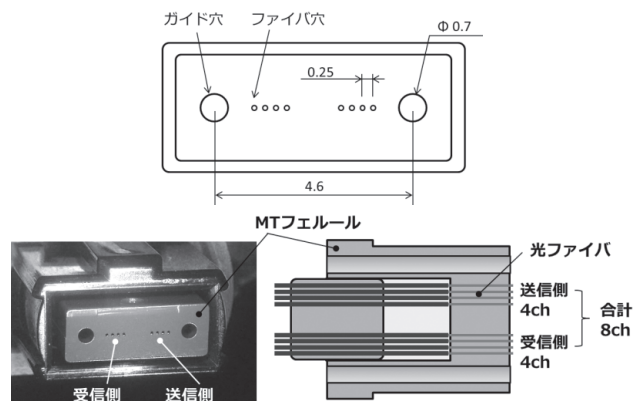


図6 Q8MPOコネクタの概要

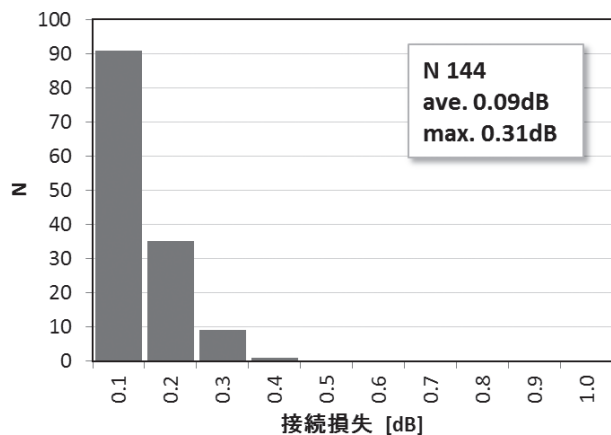


図7 Q8MPO (SMF) の接続損失分布

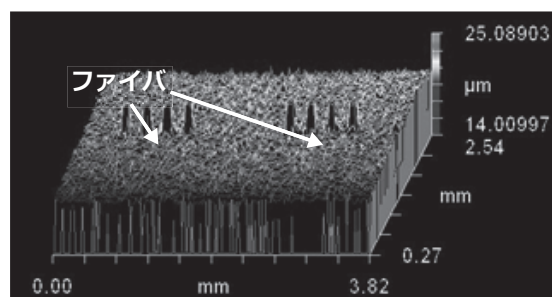


図8 500回連続着脱後のQ8MPOの端面状態

(2) 24MPOコネクタ

図9に24MTフェルールの端面を示す。図10にその24MPO (SMF) コネクタのランダム接続時の損失分布を

示す（測定波長1.31 μ m）。N数60対向（ch数1440）において接続損失は、平均0.10dB、最大0.38dBとLL（Low Loss）グレードを満足する良好な特性が得られている。

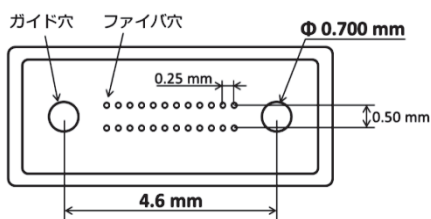


図9 24MTフェルール

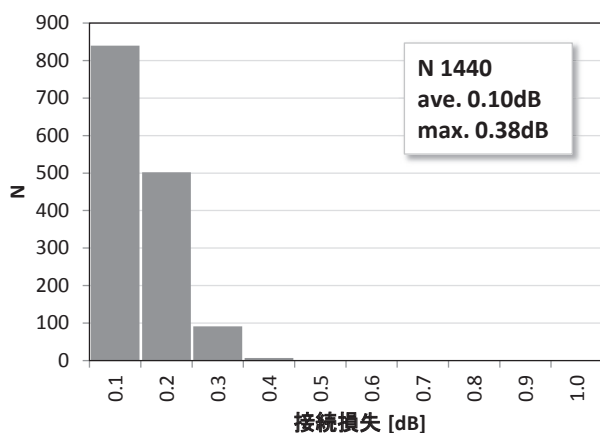


図10 24MPO (SMF) の接続損失分布

3-2 400GbE用MPO コネクタ

TIA、IEC^{*6}で提案されている400GbE用32MTフェルールのインターフェイスを図11に示す。400GbEでは送受信で各16本のファイバを使用する形態（25G×16ch）となる。32MTは現行24MTと比較して外形寸法、およびファイバ穴の配列ピッチ（X方向0.25mm、Y方向0.5mm）は等しいが、X方向にプラス4心分のファイバ配列領域を確保するために、ガイド穴ピッチが従来の4.6mmから5.3mmと0.6mm拡大され、ガイド穴径は従来のφ0.7mmから

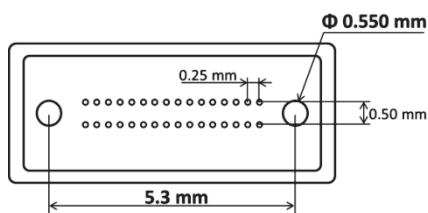


図11 32MTフェルール

φ0.55mmへ縮小されている。

図12、13に開発中の32MPO (SMF) のランダム接続時の損失、および反射減衰量の分布を示す（測定波長1.31 μ m）。接続損失は、平均0.1dB、最大、0.41dB、反射減衰量は、平均67.9dB、最小55.3dBと良好な特性が得られている。現在、製品化に向けて各種信頼性試験を実施しており、その一部である環境試験の評価結果を表1に示す。規格の損失増加0.3dB以下に対して何れも問題ない結果が得られている。

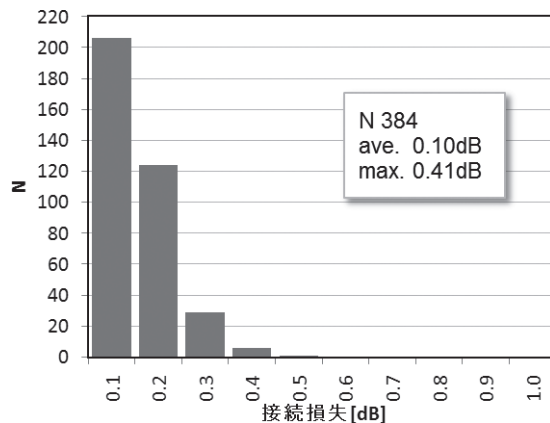


図12 32MPO (SMF) の接続損失分布

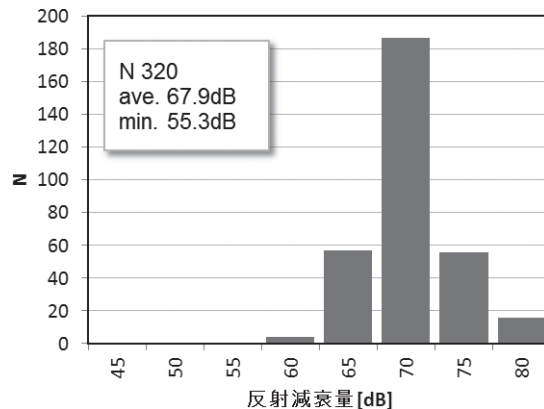


図13 32MPO (SMF) の反射減衰量の分布

表1 32MPO (SMF) の環境試験結果

項目	試験条件	最大損失増加
高温	85℃, 7日間	0.06dB
高温高湿	95%, 75℃, 7日間	0.11dB
温度サイクル	-40~75℃, 7日間 (21サイクル)	0.15dB
温湿度サイクル	-10~65℃, 90~100%, 7日間(14サイクル)	0.07dB

4. SMF用耐ダスト（非接触式）多心コネクタ

DC向け多心コネクタには更なる多心化と低接続損失性が要求されているが、それに伴い新たな課題が発生している。接続心数の増加に応じて接続に必要な荷重が比例して大きくなること、接触時の損傷を防ぐため入念な清掃が必要であることなどが挙げられる。その課題をクリアするため非接触式のコネクタが多く提案されている。非接触であれば接続荷重は心数に比例せず一定であり、接続点でのダストも噛みこみ難いという利点がある。しかし、ファイバの位置精度 $1\mu\text{m}$ 以下が求められるSMF用コネクタではプラスチックレンズの適用は性能担保が厳しいため、MPO精密成形技術、石英ファイバ系をベースとした非接触式の多心コネクタの検討を進めている。

図14に石英ファイバであるグレーデッド・インデックス (GI) ^{*7}ファイバをレンズとして機能させるSMF用の非接触式多心コネクタを示す。GIレンズを複数組込んだGIレンズアレイプレートをMTフェルール端面に接着固定する構成である。図15にはGIレンズで拡大された光が空間伝搬してそれぞれのSMFと光学結合する様子を示す。空間伝搬する光のサイズは約 $10\mu\text{m}$ から $50\mu\text{m}$ 程度まで拡大されるため、仮に接続部へのダストが混入した場合にも挿入損失への影響が小さいことが期待できる。

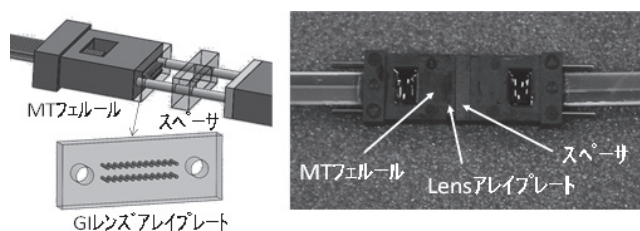


図14 24心SMFレンズコネクタの内部構造



図15 光学系概略

図16に24心SMFレンズコネクタ試作品の挿入損失分布を示す。波長 $1.31\mu\text{m}$ における平均値は 0.67dB で最大値は 1.6dB 以下であった。また、図17に環境温度 $-10\sim 60^\circ\text{C}$ における挿入損失の変動を示す。温度サイクル15回における損失変動は最大 0.08dB と基準 0.3dB に対して非常に小さいことを確認した。これはSMFを把持しているフェルールとGIファイバレンズを把持しているプレートの材料が同じであり、熱膨張によるファイバ位置ズレの影響が小さいためである。

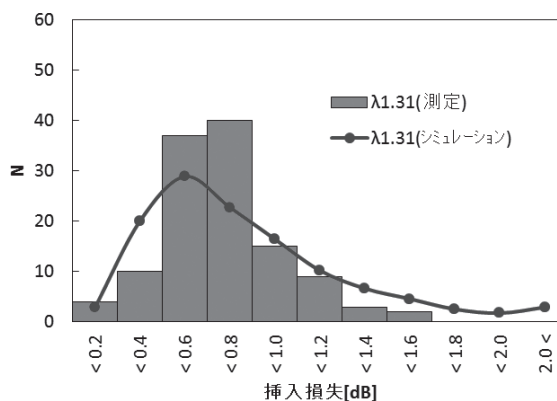


図16 接続損失の評価結果

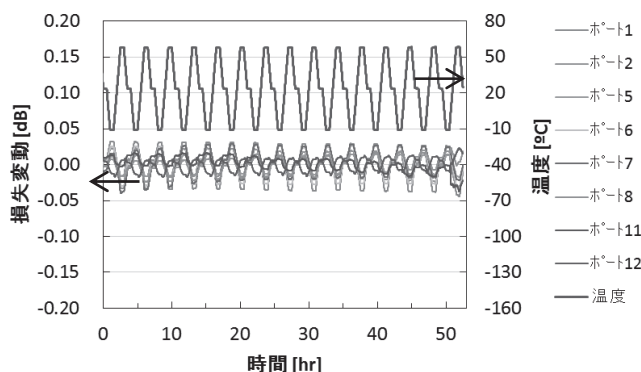


図17 接続損失の温度特性評価結果

5. まとめ

次世代のDCに求められるSMF接続ソリューションに向けて当社の精密成形技術をベースとした各種MPOコネクタと耐ダストコネクタの製品ラインナップ、および開発状況について報告した。

用語集

※1 LCコネクタ

ルーセントが開発した $\phi 1.25\text{mm}$ のジルコニア製フェルールを用いた単心接続用の光コネクタ。

※2 MPOコネクタ

Multi-fiber Push-onコネクタの略称で、光ファイバをPC接続技術により結合する多心光ファイバコネクタ。

※3 GbE

Gigabit Ethernet (ギガビットイーサネット) の略称で、通信速度 1Gbit/s のEthernet規格。 1Gbit/s は毎秒10億ビットのデータ転送を表す。

※4 IEEE

IEEEは標準化を担うアメリカの電気電子学会。IEEE802.3はイーサネット規格に関する委員会。

※5 PPS

Poly Phenylene Sulfideの略で、結晶性の熱可塑性エンジニアリングプラスチックの一種。寸法精度、機械強度、および耐薬品性に優れる。

※6 TIA、IEC

The Telecommunications Industry Associationの略で、アメリカ国内の業界団体が組織され通信機器の規格化に関わる。IECはInternational Electrotechnical Commissionの略で、電気工学、電子工学の分野に特化した国際的な標準化団体。

※7 グレーデッド・インデックスファイバ

マルチモードファイバの一種で、光ファイバのコアの屈折率を放射線状に分布させたもの。

参 考 文 献

- (1) <http://www.ieee802.org/3/400GSG/>
- (2) F. Uehara et al., "Highly Precise MT Ferrule Enabling Single-Mode 32-fiber MPO connector," Proc. IWCS2016, 13-4
- (3) A. Nakama et al., "High density Optical connector with Unibody Lensed Resin Ferrule," Proc. IWCS2015, 8-3.
- (4) O. Shimakawa et al., "Single-mode 24-fiber, expanded beam, passive optical interconnect," Pro. OFC2015, W4B.2
- (5) H. Arai et al., "Single-mode 32-fiber connector with GI fiber lens array," 2015IEEE Optical Interconnect Conference, WB4
- (6) B. Jian, "The Non-Contact Connector: A New Category of Optical Fiber Connector," Proc. OFC2015, W2A. 1
- (7) D. Marcuse, "Loss analysis of single-mode fiber splice," Bell Syst. Tech. J. vol.56, pp. 703-718 (1977)

執 筆 者

大村 真樹* : 光通信研究所 主席



上原 史也 : 光通信研究所



荒生 肇 : 光通信研究所 主査



島川 修 : 光通信研究所 主席



島津 貴之 : 光通信研究所 グループ長



*主執筆