

シングルモード光ファイバに適用可能な 高精度32心MTフェルール

High-Precision 32 Mechanically Transferable Ferrule for Single-Mode Fiber

大村 真樹*
Masaki Ohmura

大塚 健一郎
Kenichiro Ohtsuka

佐野 知巳
Tomomi Sano

データセンター、およびハイパフォーマンスコンピュータ用途で光接続の需要が増加している。高速大容量化の流れを受け400GbE用の多心コネクタ(32MPO)の規格化が検討されている。今回、マルチモード光ファイバ用に比べて高い精度が要求されるシングルモード光ファイバ用の32MTフェルールを開発し、その初期特性を評価した。押圧バネ力9.8Nを用いた32MPOコネクタにおいてランダム接続損失 ≤ 0.37 dBを達成した。

Optical interconnection has been increasingly required for data center applications and high performance computers. The standardization of the new multi-fiber connector for 40/100G Ethernet, 32 multi-fiber push on (MPO), is progressing to support high-speed, high-bandwidth applications. We have developed a 32 mechanically transferable ferrule for a single-mode fiber, which requires higher precision than a multi-mode fiber. Using the ferrule, the 32 MPO connector operated at an optical insertion loss of below 0.37 dB at random mating when applying 9.8 N compression springs.

キーワード：MTフェルール、MPO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ー(DC)は大型化が進んでおり、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内の機器間光配線は、単心はLCコネクタ^{*1}、多心はMPO(マルチファイバ・プッシュ・オン)コネクタ^{*2}が主に使用されている。今後、DCシステムでは帯域の伸びに対応するため10GbE^{*3}から40/100GbEへの移行が進むと考えられ、更に次世代の400GbEが2017年を目標にIEEE802.3^{*4}にて標準化が進んでいる。その400GbE用の多心光コネクタとして現行MPOとは異なるインターフェイスを持つ16心系MPO(32MT、16MT)がTIA、およびIEC^{*5}にて提案されている⁽¹⁾。

2. 32MTフェルール^{*6}の規格

規格化済の40/100GbEでは12MPO、および24MPOの使用が推奨されている。40GbE仕様は12心ケーブルソリューションとなり、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心系を送受信それぞれに10心のファイバを使用する(10G×10ch)。

現在、TIA、IECで提案されている400GbE用32MTフェルール、およびIEC準拠の24MTフェールのインターフェイスをそれぞれ図1に示す。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。異なる点は、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(+0.7mm)へ拡大され、一方、ガイド穴径は従来の $\phi 0.7$ mmから $\phi 0.55$ mmへ縮小される点が挙げられる。

現在、32MT(MPO)として規格化が議論されているのは、マルチモードファイバ(MMF)用としての直角端面のフェルールである。今回、我々は長距離通信化の要求を見据えてMMFよりも高い精度が要求されるシングルモードファイバ(SMF)用の32MTフェルールを開発に着手し、その初期評価を評価した。

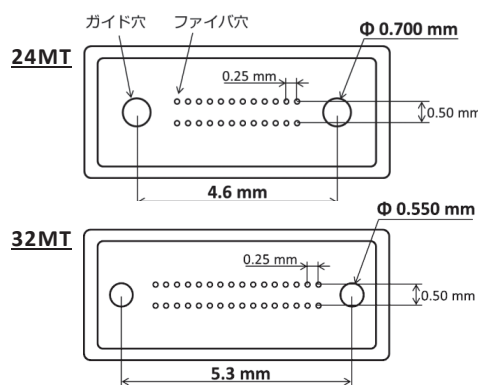


図1 24MT、32MTのインターフェイス

3. SMF用32MTの設計検討

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あり、なしの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22N) が内蔵されている。また、反射減衰量を低減するために、SMF用のMPOコネクタの端面には8° 研磨が施される。

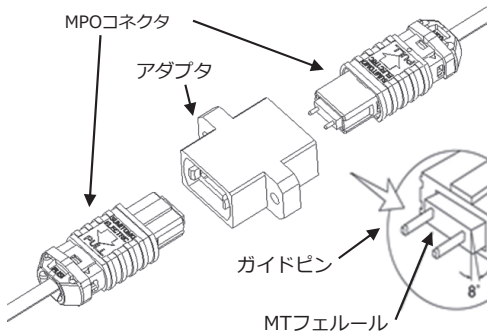


図2 MPOコネクタの概要

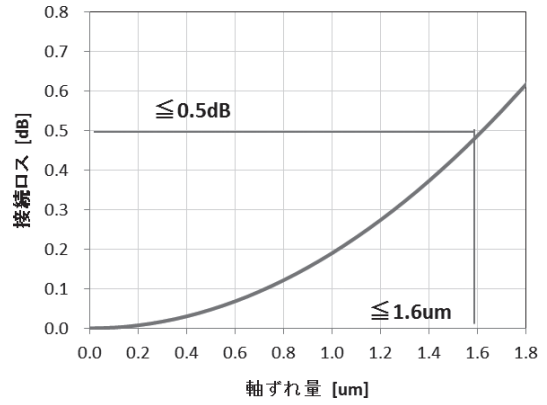


図3 ファイバ軸ずれ量と接続ロス的相关

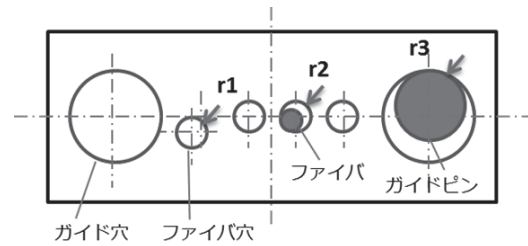


図4 MTコネクタ端面、および偏心の定義

SMF用コネクタはMMF用コネクタに比べて高い寸法精度 (コア径比で単純に1/5) が要求される。加えて心数増加が歩留りに累乗で影響するため、多心化では低接続損失性の担保が重要な課題となる。今回、我々は、SMF用32MT (MPO) コネクタの接続損失を、一般に低損失グレードと呼ばれるランダム接続 (最大) $\leq 0.5\text{dB}$ にすることを目標とした。

その低接続損失を担保するためには、①ファイバの位置精度を担保するコネクタ偏心設計、②フェルールのファイバ穴の曲り低減、およびSMF用は斜め端面に起因する③コネクタ嵌合時のY方向ずれの制御が重要なポイントとなる。

3-1 コネクタの偏心設計

MT (MPO) コネクタの接続損失は、ファイバコアの軸ずれが支配的である。目標の接続損失 $\leq 0.5\text{dB}$ を満足するためには、理論計算結果 (図3)⁽²⁾ から、軸ずれ量は $\leq 1.6\mu\text{m}$ で、コネクタ単体に許容される量は1/2の $\leq 0.8\mu\text{m}$ と理解できる。目標損失 $\leq 0.5\text{dB}$ を満足する実用上の軸ずれ許容値は公差解析の結果から $\leq 0.9\mu\text{m}$ と設定した。

フェルール、ガイドピン、およびファイバ等の設計値は製造実績、仕様等を踏まえて設定し、モンテカルロシミュレーションによる公差解析を行い、上記目標 (損失、軸ずれ量) の実現可能性を検証した。

図4にMTコネクタ端面の概略を示す。ファイバの軸ずれ要素は、①フェルール穴の偏心 (r1)、②ファイバ穴とファイバのクリアランス (r2)、および③ガイド穴とガイドピンのク

リアランス (r3) がある。これらの合成を最終的な偏心R (= $r1+r2+r3$) とした。①、②の確率分布は正規分布、③は斜め端面同士が押圧されるSMコネクタの場合、ガイドピンはガイド穴に接触する状態になることから、方向性 ($< 90^\circ$) を持って接触する確率分布とした。

ファイバの偏心、および接続損失の計算結果をそれぞれ図5、6に示す。ファイバコアの軸ずれ (偏心) は97%が目標 $\leq 0.9\mu\text{m}$ の範囲内にあり、その場合、接続損失はほぼ全て (99.7%) が目標の0.5dB以内に収まることを確認した。

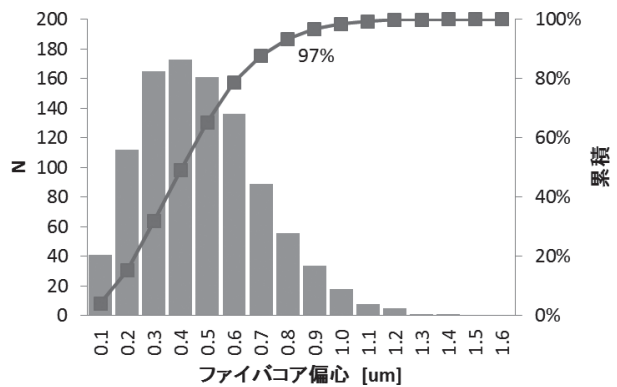


図5 ファイバコア偏心の計算結果

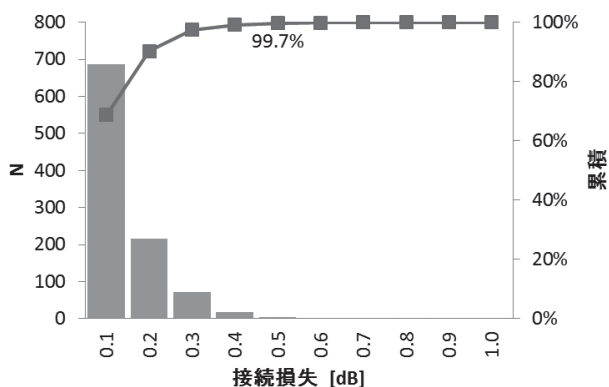


図6 接続損失の計算結果

3-2 フェルールのファイバ穴の曲り

MTフェールは通常、樹脂成形にて加工される。その加工方法の性質上、樹脂の充填圧力、樹脂の成形収縮等によってファイバ穴がガイド穴に対して僅かに傾く現象（穴曲り）が発生する。MTコネクタはファイバ実装後に端面研磨を施すが、この穴曲りがあると図7に示すように研磨量の増加に伴い、ファイバ穴の位置が変化する。特に2次元配列のSMF用コネクタ（8°端面）は上下段の研磨量が異なるため一方への影響が特に大きい。従って、低損失化のためにはファイバ穴曲りの低減が求められる。我々はこの穴曲りを低減するため、製造に用いる金型に特有の部品構造を採用している。

図8中に示すキャビティサポート（CS）部品は、ファイバ

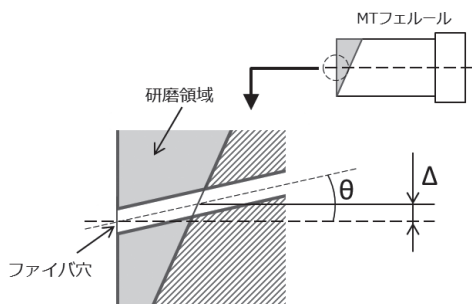


図7 MTフェールのファイバ穴の曲り

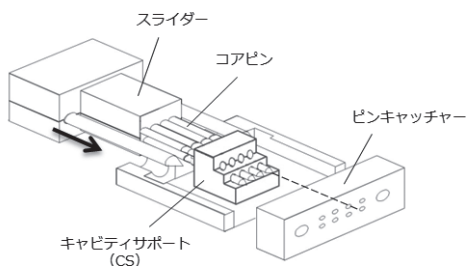


図8 MT形成用の金型部品の概要

穴を形成するコアピンを金型中央で把持する。そのため樹脂圧によるコアピンの曲りを低減でき、CSの穴位置の個別設定で各心の穴曲りを制御できる。この構造を採用することでファイバ穴の曲りは $\leq 0.2^\circ$ を担保している。

3-3 コネクタ嵌合時のY方向ずれ（嵌合ずれ）

SMF用MTコネクタは、接続端面が斜めでガイド穴とガイドピンの間に一定のクリアランスがある。従って、図9に示すように、押圧力（F）を加えてコネクタを嵌合すると、Y方向に軸ずれが生じる（嵌合ずれ（ Δy ））。この嵌合時の軸ずれを補償するために、通常、フェールのファイバ穴は基準位置から嵌合ずれ分をオフセットさせた位置に設定する。

嵌合ずれはガイド穴／ピンのクリアランスの他、押圧バネ力にも依存するため、前者が一定の場合には押圧力に応じたオフセットを設定する必要がある。

SMF用32MTフェールについては規格化前のため押圧力は未定である。そこで押圧力は既存MPO、および規格化中のMMF用32MPOを参考に2種類のバネ（9.8、22N）を用いたサンプルにて評価した。なおフェールのファイバ穴のオフセット値は各バネ用に設定した。

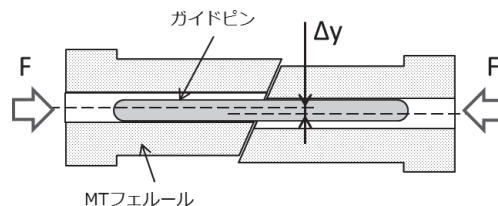


図9 コネクタ嵌合時のY方向ずれ

4. 試作方法

SMF用32MTフェールの試作は射出成形技術を用いた。射出成形技術とは、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注入し、冷却・固化させることによって成形品を得る方法である。

金型は図8で示した構成でフェール端面の穴位置精度を決める金型部品は、サブミクロンの精度で加工された丸穴のピンキャッチャー方式を採用した。成形樹脂は、寸法安定性に優れたPPS*7樹脂を用いた。

フェールの寸法測定は2次元画像測定機を用い、光学特性は標準のMPOハウジングに32MTフェールを組込んで各種評価を実施した。

5. 試作結果

図10に押圧力9.8N用に設計、試作した32MTフェールのファイバ穴のR偏心測定結果を示す。平均0.22 μ m、最大

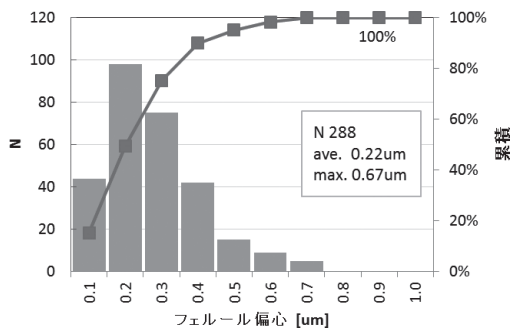


図10 押圧9.8N用フェルール穴の偏心

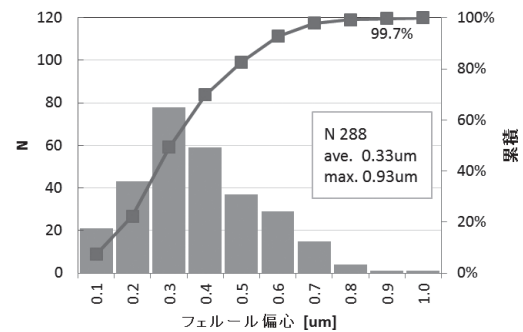


図12 押圧22N用フェルール穴の偏心

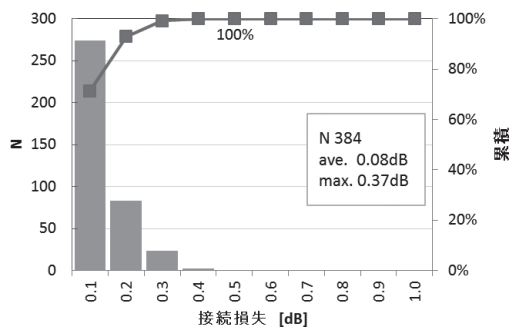


図11 押圧9.8Nの32MPO接続損失

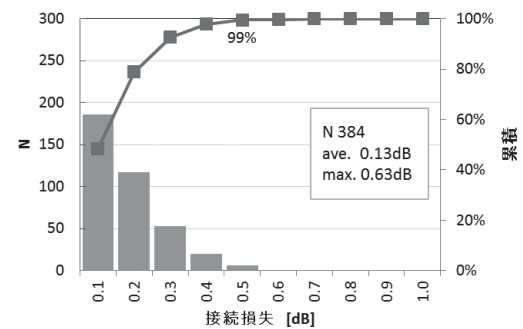


図13 押圧22Nの32MPO接続損失

0.67umであった。このフェルールを用いた32MPOコネクタのランダム接続損失を図11に示す(測定波長1.31um)。接続損失は平均0.08dB、最大0.37dBと目標の接続損失 \leq 0.5dBを満足することができた。この結果は理論検討の結果ともほぼ一致しており、計算の妥当性も確認できた。

図12、および図13に押圧力22N用のフェルールのファイバ穴のR偏心、および接続損失を示す。R偏心は平均0.33um、最大0.93umであった。接続損失は平均0.13dB、最大0.63dBと若干目標に未達であった。原因はフェルール穴のオフセット値が設計から僅かにずれているためで、フェルール穴位置の微修正で9.8N用と同等の特性を得ることができると考えられる。

6. 結 言

400GbE用のシングルモード用32MTフェルールの初期特性を評価した。接続損失は理論検討結果と良く整合し、バネ9.8N用の設計にてランダム接続損失最大0.37dBを実現した。今後、実用化に向けて機械特性、および環境特性の検証を進める。

用語集

※1 LCコネクタ

ルーセントが開発した ϕ 1.25mm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1GbpsのEthernet規格。1Gbps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 TIA、IEC

The Telecommunications Industry Associationの略で、アメリカ国内の業界団体で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。

※6 MTフェルール

Mechanically transferableフェルールの略称で、MPOコネクタ等の多心光ファイバコネクタの主要部品。

※7 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。

参 考 文 献

- (1) <http://www.ieee802.org/3/400GSG/>
- (2) 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



大塚健一郎 : SEIオプティフロンティア(株)
グループ長



佐野 知巳 : 部門スペシャリスト
光通信研究所 部長
工学博士



*主執筆者