

多心シングルモード光ファイバの耐ダスト、低押圧接続を可能にするレンズコネクタ

Single-Mode Multi-Optical-Fiber Lensed Connector
Enabling Dust Insensitive and Low Mating Force

島川 修*
Osamu Shimakawa

荒生 肇
Hajime Arao

松下 通生
Naoki Matsushita

水戸瀬 雄一
Yuichi Mitose

佐々木 大
Dai Sasaki

大村 真樹
Masaki Ohmura

現在、光コネクタは、押圧力を付与することで光ファイバの端面同士を互いに押し付け、光ファイバ端のコア間を隙間なく面接触させる「フィジカルコンタクト」接続方式が主流である。しかし近年の多心化で押圧力の増加が大きな問題となっている。さらに、コア直径が約10ミクロンのシングルモード光ファイバ (SMF) の場合、ダストに敏感であるため端面の念入りの清掃を必要とする。当社は、レンズを用いた接続方式でこの問題を解決する技術開発に取り組んだ。レンズ方式はレンズと光ファイバ間の高精度な組立精度を要するため、従来SMFには適用困難であったが、高精度な部品成形によりSMFのコネクション技術を開発し良好な光学特性を実現した。

The most popular optical fiber connector today is a “physical-contact” connector. When two connectors are pressed with each other, both optical fiber end faces are deformed to achieve face contact without any gap between their cores. However, increase in optical fiber count per connector makes pressing force increase a big challenge. In addition to that, as core diameter in single-mode optical-fibers (SMFs) is only about 10 microns, their end faces are sensitive to dust and require careful cleaning. Sumitomo Electric Industries, Ltd. started developing SMF lensed connectors to cope with the challenges. Requiring high precision in assembly of the lens and optical fiber, the fiber connection using lens has been hard to be applied to SMF connection. However, Sumitomo Electric has achieved good optical characteristics in multi-SMF connection by utilizing high precision molding technologies.

キーワード：多心コネクタ、レンズ、拡大ビーム、シングルモード

1. 緒言

インターネット上で流通する情報を扱うデータセンターでは、近年の急激なデータ通信量の増大に伴い大規模化が進んでおり、センター内に張り巡らされた光ファイバ配線に、より高速大容量かつ長距離でデータ伝送することが求められている。

現在、データセンター内の機器間光配線は、多心光ファイバコネクタのMPO (マルチファイバ・プッシュ・オン) コネクタ*1が主流である。当コネクタは、光ファイバ間に押圧力を付与することで光ファイバの端面同士を互いに押し付け合わせ、光ファイバ端の光信号が通過するコア間を隙間なく面接触させるフィジカルコンタクト (PC) 接続技術をベースとしている⁽¹⁾。しかしながら、昨今の情報トラフィックの増加でMPOコネクタに求められる光ファイバ心数が増加しており、それに伴いPC接続に要する押圧力も増加している⁽²⁾。また、シングルモード光ファイバ (SMF) はコア径がおおよそ10μmと小さいので、コネクタ端面に付着したダストに対して敏感である。したがって取扱いの際には念入りの端面清掃を必要とする。

これら押圧力とダストの問題に対処する方法として、凸レンズを用いて光ファイバを接続するレンズコネクタが提案さ

れている。マルチモード光ファイバ (MMF) 用に関しては接続損失1.2dB以下のものが既に報告されている⁽³⁾。しかしながら、SMF用に関しては現在のところ実用レベルの接続損失を有するものが報告されていない⁽⁴⁾。一方で今後、データセンター内の光ネットワークの大容量化と光配線の長距離化に伴い、SMFコネクタが重要な役割を果たすものと予想される^{(5)、(6)}。

これまでSMFを低損失に接続するレンズコネクタが報告されていない主な理由は、光ファイバとレンズの位置精度として1μm以下が求められるが、それを実現するのが困難であったことである。

当社はMTコネクタ*2やMPOコネクタに用いられている高精度な樹脂成形技術とコネクタ間の位置決め技術に加えて、グレーデッド・インデックス (GI) ファイバ*3をレンズとして使う技術⁽⁷⁾を融合することで、多心のSMFレンズコネクタ技術を開発した⁽⁸⁾。

2. 構造

24心のSMFレンズコネクタの内部構造を図1に示す。GIレンズアレイプレートには、24個の光ファイバ挿入穴を持

樹脂成形プレートに石英ガラス製のGIファイバが挿入されている。このプレートを所定の厚みになるように製作することでGIファイバはレンズとして機能するようになる。同じく図中でMTフェールには24本のSMFが挿入され、端面は研磨されている。GIレンズアレイプレートとMTフェールは各々ガイド穴が設けられており、ガイドピンを挿入することで相対位置決めした状態で互いに接着剤で固定される。GIレンズアレイプレートとMTフェールは同一樹脂でかつ同一プロセスで成形されるため、SMFとGIファイバレンズ間には高精度に位置決め可能である。MTフェールにGIレンズアレイプレートが固定されたコネクタから出射されたビームは、**図2**に示すようにGIレンズで拡大されて空間上を伝搬し、対向するもう一つのコネクタに結合する。コネクタ間にスペーサを挿入することで、コネクタ間の距離(Z)を最適に光学結合するよう一定に保つことができる。またコネクタ同士のX、Y相対位置(光軸に垂直な面内方向)はガイドピンで制御され、コネクタ間のあおり角度(θ_x 、 θ_y)は、コネクタとスペーサ間が面接触することで制御される。**写真1**は、**図1**のコネクタをMPO用ハウジングに収納した写真である。コネクタの端面には反射防止膜が施されている。

GIファイバレンズは石英ガラス材であるため、樹脂材のレンズに比べて温度変化環境下において焦点距離の変動が小さい。したがって安定的な結合損失が得られる。さらに、

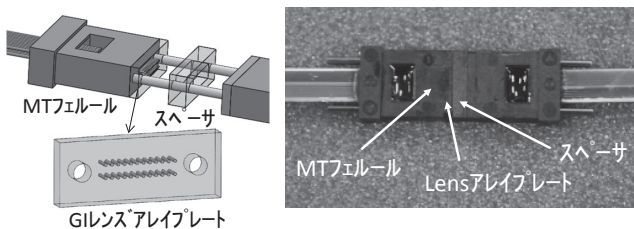


図1 24心SMFレンズコネクタの内部構造



図2 光学系概略

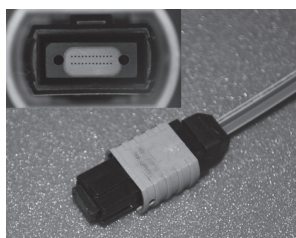


写真1 ハウジングに収納されたコネクタの外観

GIファイバレンズの表面は平面であるため、通常の凸面レンズに比べて表面の清掃が容易である。

3. 光学設計

光ファイバから出射された光は、レンズでビーム径が拡大されたコリメート光となる。ビーム径が拡大されることで、コネクタ端面に細かなダストが付着しても従来のPCコネクタと比べてコネクタ接続損失が増加しにくい。さらに、コネクタ間のX、Y方向の軸ずれに対しても接続損失が増加しにくい利点がある。その一方で、ビーム径が大きくなるに従い、接続するコネクタ間の θ_x 、 θ_y 角度ずれに対して接続損失が増加しやすくなる。そこで拡大されるビームのサイズは最適化が必要となる。当レンズコネクタではGIファイバレンズの把持にもMTフェール構造をベースとしたレンズ把持プレートを用いており、MTコネクタと同様の方法で組み立てられる。そこでMTコネクタの部品精度や組立て精度を加味し、損失1dB以下のためにビームウェスト直径を52 μ mに設定した。

次にモンテ・カルロ解析法^{*4}によりコネクタ挿入損失分布を計算した。計算に用いた主な部品や組立の公差はMT、MPOコネクタの典型値を用いて計算している。解析の結果を**図3**に示す。コネクタ挿入損失の平均値は波長1.31、1.55 μ m各々において、0.78dB、0.53dBである。また、98%以上の確率で損失は2dB以下である。なお、光学設計が波長1.55 μ mに最適化されているため、損失も1.55 μ mの方が低くなっている。

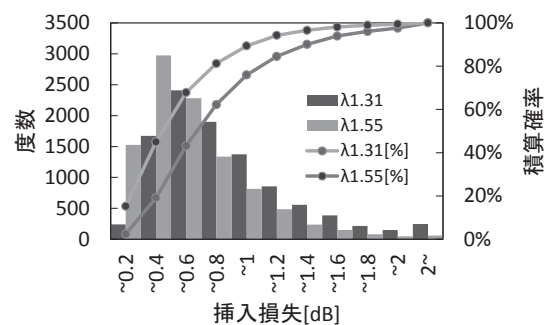


図3 モンテ・カルロ解析による損失の計算結果

4. 光学特性

24心(ファイバは12列 \times 2段配置)コネクタを試作し、光学特性を評価した。標準の24MPOコネクタと同じく、同一列内のファイバ配列ピッチは0.25mmで、段間のピッチは0.5mmである。レンズ表面には反射防止膜が施されている。コネクタを嵌合するためのスプリングの圧力は3.3Nであり、標準的な24心MPOの1/6程度である。

4-1 接続損失

試作したコネクタの接続における挿入損失分布を図4に示す。N数は5コネクタ対×各24心=120である。棒グラフが試作品の評価結果で、それと対比するために前項で計算した解析結果を曲線上にプロットで示す。波長1.31、1.55 μm 各々における測定値の平均値は0.67dB、0.54dBであり、解析値とよく一致している。また最大損失は両波長とも1.6dB以下であり、我々が把握している多心のSMFレンズコネクタとしてはこれまでに報告されている中で最も良い結果である。

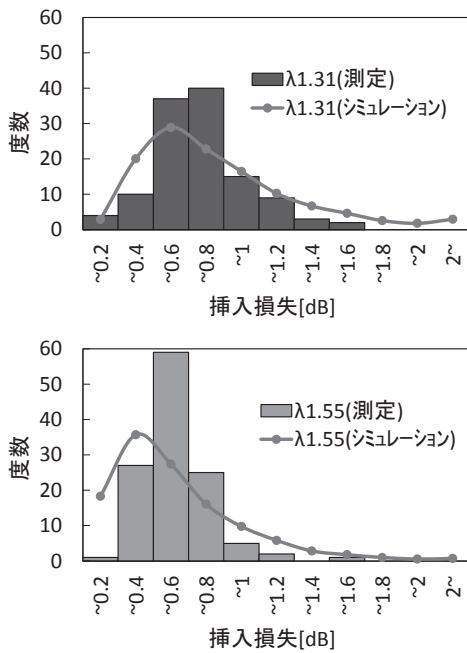


図4 接続損失の評価結果

4-2 クロストーク

レンズコネクタはPCコネクタと違い、ビームが空間上を伝搬するため、散乱した光が他のポートに結合する可能性がある。そこでクロストーク^{※5}を測定した。ポート6に入射したときの他のポートへのクロストーク値を示したのが図5で

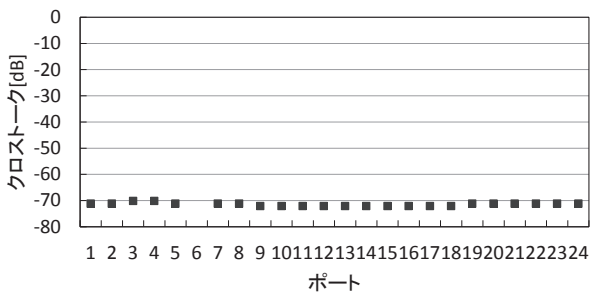


図5 クロストークの評価結果

ある。同一列で隣接するポート5と7が最も近接するためクロストークが発生しやすいが、-70dB以下でほとんど漏光していないことがわかる。

4-3 挿入損失の波長依存性

光スペクトルアナライザを用いて挿入損失の波長依存性を評価した結果を図6に示す。通常、レンズで結合される場合はレンズの収差や反射防止膜の特性により波長依存性が発生するが、波長1.28~1.625 μm の広範囲において挿入損失の変動は0.2dB以下と小さい。

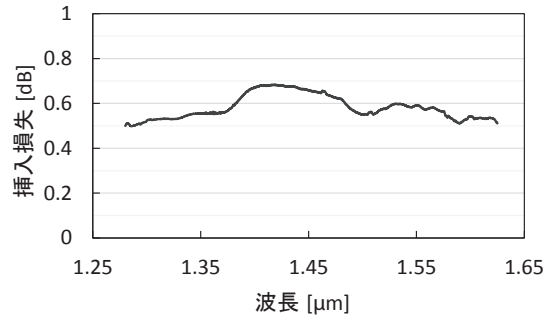


図6 接続損失の波長特性評価結果

4-4 挿入損失の温度依存性

環境温度-10~60 $^{\circ}\text{C}$ における挿入損失の変動結果を図7に示す。測定波長は1.55 μm である。全24ポート(12列×2段)のうち、1段目の両端2ポートおよび中央4ポートの計8ポートの測定結果を示している。温度サイクル15回における損失変動は0.08dB以下と小さい。これはSMFを把持しているフェールールとGIファイバレンズを把持しているプレートが同一材料からなっており、熱膨張による軸ずれの影響を受けにくいためである。

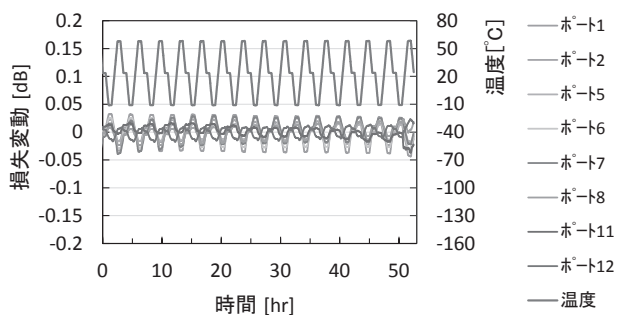


図7 接続損失の温度特性評価結果

4-5 反射減衰量

反射減衰量を測定した結果を図8に示す。24ポート全て、1.31、1.55 μm の波長において33dB以上を確保している。

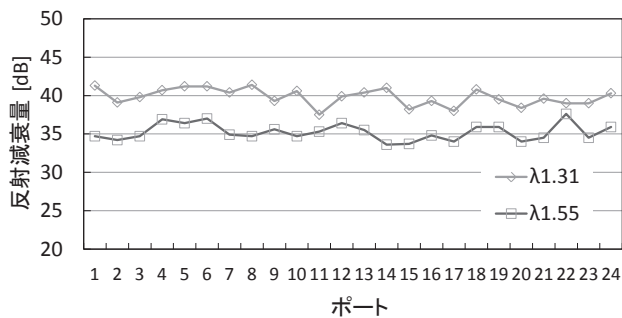


図8 反射減衰量の評価結果

5. 結 言

シングルモード光ファイバを低押圧力で接続可能かつ、端面の細かなダストに耐性のある多心レンズコネクタ技術を開発した。MTコネクタ技術をベースとして24心のシングルモードファイバコネクタを試作し、平均挿入損失0.7dB以下、最大損失1.6dB以下の良好な特性を得た。これは我々が把握しているレンズを用いた多心のシングルモード光ファイバ用コネクタの報告の中で、最も良い結果である。

用語集

※1 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。コネクタをアダプタにワンタッチで押しつけることで接続が完了する。

※2 MTコネクタ

Mechanically transferableコネクタの略称で、MPOコネクタの基礎となった多心光ファイバコネクタ。MPOコネクタと同じ樹脂成形フェルールを用いる。

※3 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。製法に違いはあるものの、光に対してGRINレンズと同じレンズ作用を及ぼす。

※4 モンテ・カルロ解析法

乱数を用いた計算を繰り返し行うことで近似解を求める計算手法。ここでは、SMレンズコネクタの部品や組立精度のばらつきを乱数で与え、予想される損失を計算で求めた。

※5 クロストーク

伝送信号が他の伝送路に漏れること。本紙では特定の光ファイバから他の光ファイバに光が漏れることを指している。

参 考 文 献

- (1) S. Nagasawa et al., "A high-performance single-mode multifiber connector using oblique and direct endface contact between multiple fibers arranged in a plastic ferrule," IEEE Photonics Technol Letters, vol. 3, no. 10, pp. 937-939 (1991)
- (2) S. Kato et al., "Condition for making physical contact of multi mode 2D MPO connector," Proc. IWCS2010, P-16.
- (3) D. Childers et al., "High density, low cost, no-polish optical ferrule," IEEE Optical interconnects conference2013, MD4.
- (4) D. Childers et al., "New, single-mode, multi-fiber, expanded beam, passive optical interconnect," Proc. SPIE, vol. 8991, 89910J-1 (2014)
- (5) C. DeCusatis, "Optical interconnect networks for data communications," J. Lightwave Technol., vol. 32, no. 4, pp. 544-552 (2014)
- (6) C. Lam et al., "What devices do data centers need?," Proc. OFC2014, M2K.5.
- (7) W. Emkey et al., "Analysis and evaluation of graded-index fiber-lenses," J. Lightwave Technol., vol. LT-5, no. 9, pp. 1156-1164 (1987)
- (8) O. Shimakawa et al., "Single-mode 24-fiber connector with GI fiber lens array," Proc. OFC2015, W4B.2

執 筆 者

島川 修* : 光通信研究所 主席



荒生 肇 : 光通信研究所



松下 通生 : 光通信研究所



水戸瀬雄一 : 光通信研究所



佐々木 大 : 光通信研究所 主査



大村 真樹 : 光通信研究所 主席



*主執筆者