

# シングルモードレンズコネクタ

光機器開発部 中間章浩<sup>1</sup>・朝田大貴<sup>1</sup>・藤原邦彦<sup>2</sup>・進藤幹正<sup>3</sup>・瀧澤和宏<sup>4</sup>

## Lensed Connector for single mode fiber

A. Nakama, H. Asada, K. Fujiwara, K. Shindo, and K. Takizawa

近年のインターネットを利用した情報通信の発展により、情報通信量が急激に増大している。これに伴い、データセンター内装置の配線の光化が検討されているが、光接続部のダストによる通信品質の劣化が懸念となっている。これに対し、われわれは、耐ダスト特性や良着脱作業性が特長のMMFレンズコネクタを開発してきた。一方で、データセンターは更なる大規模化が必要となるため、建屋内通信の長距離化を図る必要があり、今後、光配線のSM化が必須となることが想定される。これに応えるため、今回、SMFレンズコネクタを開発し、接続損失 1.0 dB以下となり、実用可能レベルであることを確認したので報告する。

In recent years, data traffic has been rapidly increasing because of development of information and communication technology using the internet. It has been progressed the optical wiring between electronic devices to speed up data transmission, but there is concern that the communication degradation will occur due to dust in optical connection portion. In order to solve this concern, we have developed lensed connector for multi mode fiber which indicates good dust immunity and mating workability. On the other hand, data center needs to be further scaled up. It is supposed that optical wiring will be replaced to single mode fiber from multi mode fiber, in order to communicate long-distance within the building. This time, we have developed lensed connector for single mode fiber and confirmed that this connector is practically usable level.

## 1. ま え が き

### 1.1 開発の背景

近年、インターネットを利用した情報通信の発展により、データ通信速度の高速化や情報通信量の増大化が進んでいる。データ通信速度の高速化の実現の一つの手段として、データセンター等に設置される電子機器間配線の光化が積極的に検討されている。配線の光化の導入に当たり、高密度化は重要な要素であり、これを実現する手段として、われわれは、多数の光ファイバを一括で接続可能なMPOコネクタ<sup>1)</sup>やバックプレーンコネクタ<sup>2)</sup>、またそれらコネクタに実装される超低損失MTフェルル<sup>3)</sup>を開発してきた。現在のデータセンター内光配線においては、短距離通信用途で使用されるMMファイバが主流となっている。一方で、更なる情報通信量の増大に対応するために、データセンターの大規模化が進められており、今後は建屋内の長距離通信が必須となる。これに伴って、光配線のSMF化が進み、SMFコンポーネント

の需要拡大が想定される。

多数の光ファイバを一括接続できるMPOコネクタやバックプレーンコネクタにおいては、コネクタ端面のダストにより、光路が塞がれ通信品質が劣化する頻度が高いことが課題の一つである。これに対し、われわれは、光コネクタ端面清掃用クリーナー<sup>4)</sup>を開発し、課題解決に貢献してきた。一方で、装置の奥まった個所に設置されるバックプレーンコネクタについては、同クリーナーを適用することが困難であるケースが多く、光接続部のダストが依然として課題として残っている。これを解決する一つ的手段として、コネクタ端面における光路を拡大することで耐ダスト特性を向上させたレンズコネクタが注目を集めている。われわれは、これまでに、MMFレンズコネクタを開発し<sup>5)</sup>、MPOコネクタやバックプレーンコネクタに適用して、その特性が実用可能レベルであることを報告してきた。

### 1.2 レンズコネクタの概要

多心光コネクタの接続方式には、MTコネクタを実装した光コネクタのPC接続とレンズコネクタに分類されるビーム結合とがある。PC接続とビーム結合の特徴の比較表を表1に示す。

表1の接続イメージの欄にMTコネクタとレンズコネ

1 光機器開発部

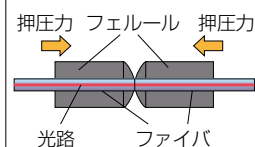
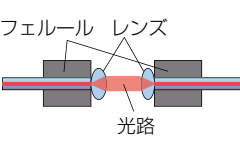
2 光機器開発部グループ長

3 光機器開発部部長

4 Fujikura Europe Ltd.

略語・専門用語リスト		
略語・専門用語	正式表記	説明
MTフェルール	MT ferrule	多心コネクタに実装される樹脂部品の素子。複数のファイバ穴が開いており、その穴の精度によりコネクタの特性が決まる。
MPOコネクタ	Multi-fiber Push On connector	1つのMTアセンブリを実装し、複数の光ファイバを一括で接続できる光コネクタ。
バックプレーンコネクタ	Backplane connector	複数のMTアセンブリを実装した光コネクタ。伝送装置等のバックプレーンの光接続部に用いられる。
MMF	Multi Mode Fiber	コア径が50 umの光ファイバ。短距離通信用途で用いられる。
SMF	Single Mode Fiber	コア径が10 umの光ファイバ。長距離通信用途で用いられる。
コリメート光	Colimate beam	長い距離を伝搬しても広がったり収束したりしない平行な光。
モードフィールド径	Mode Field Diameter	ガウス分布で表される光強度について、最大強度（中心部）の $1/e^2$ で与えられるビーム径の実効値。
ARコート	Anti-reflection coating	物体の表面に誘電体多層膜等を施して空気との屈折率差を減少させることで、物体の表面で発生する反射を低減させる表面処理。
モンテ・カルロ法	Monte Carlo Method	乱数を用いてシミュレーションや数値計算を実施する方法。

表1 PC接続方式とビーム結合方式の特性の比較表  
Table 1. Comparison table of characteristics between PC coupling and expanded beam coupling.

接続方式	PC接続	ビーム結合
イメージ図		
耐ダスト	Usual	Good
着脱作業性	Usual	Good
ポテンシャルコスト	Usual	Good
光学特性	Very good	Difficult

コネクタの接続時の断面を示す。PC接続では、端面が球面研磨されたコネクタに後端側から押圧を付与することで、対抗したコネクタのファイバ同士を物理的に接触させ、光学的に接続を行う。MTコネクタのように複数ファイバを一括で接続させる場合には、心数に合わせた押圧が必要となる。一方で、ビーム結合では、コネクタ端面側に設けられた凸レンズにより、端面で拡大された光路をコリメート光に変換し、対抗したコネクタと空間を隔てて光学的に接続を行う。平行光として伝搬するので、コネクタ間にダストが侵入しギャップが発生しても、安定して接続することが可能である。また、たとえ光路上にダストが付着したとしても、コネクタ端面で光路が拡大されているので、通信品質の低下を抑えることができる。さらに、接続時に大きな押圧を付与する必要がなく、ハウジングのばね圧を半分以下に抑えることができるため、コネクタの着脱作業性が良い。必要なばね圧は心数に依らないので、心数を増やしてもばね圧を強くする必要がない。

レンズコネクタは、MTコネクタと比較して、耐ダスト性及び着脱作業性に優れる。加えて、レンズコネクタの製造工程においては、端面研磨及び端面形状検査が不要であるため、ポテンシャルコストが低いことも特長の一つである。一方で、MTコネクタと比べると構造上損失要因が多いため、一般的にMTコネクタよりも低損失な接続損失特性を実現することが困難である。

### 1.3 開発の目的

今後の需要拡大が想定されるSMFで構築したシステムでは、光接続部のダストによる通信品質の劣化が更に深刻化することが予想される。上述のように、耐ダスト性および着脱作業性が優秀であるレンズコネクタをSMFのシステムに適用することで、ダストの課題解決につながることが期待される。しかし、SMFレンズコネクタは低損失を実現することは技術的に難しく、システム構築のために必要とされる特性を達成することが課題となる。

今回、システム上で使用可能レベルと考えられる接続損失 1.0 dB以下を目標として、MTフェールの成形技術を応用し、12心SMFレンズコネクタの開発を行った。

## 2. SMFレンズコネクタ

### 2.1 フェルール構造

図1に12心MTフェールと本開発品の12心レンズ付きフェールの外観を示す。レンズ付きフェールは、フェール全長及び外形がMTフェールと同じであるため、ハウジングの設計を変えずにMTフェールとの入れ替えが可能である。また、MTフェールのIEC標準規格の機械互換標準<sup>6)</sup>に準拠した設計としているため、MTフェールと機械的に嵌合することが可能であり、さらに凸レンズのパラメータを最適化することで、光学的にも接続可能となる。

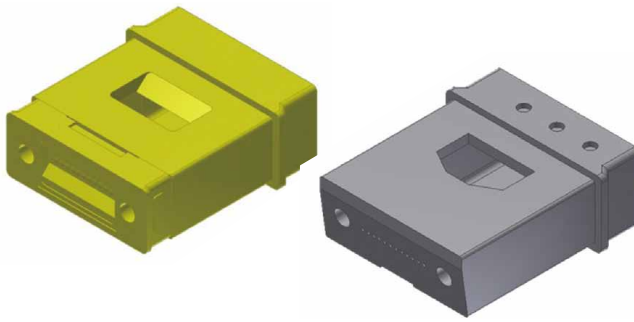


図1 レンズ付きフェルールとMTフェルールの比較  
Fig. 1. Comparison between lens ferrule and MT ferrule.

レンズ付きフェルールは、レンズ部とファイバ穴部の2つの構成要素から成る。これまでに開発したMMFレンズコネクタ<sup>5)</sup>では、これら2つの要素の一体成形化を実現し、低コストで製造することを可能とした。一方、SMFレンズコネクタの場合は、MMFレンズコネクタよりもさらに高精度な部品の作製が必要である。そこで、今回は、レンズ部とファイバ穴部をそれぞれ高精度に作製するために別々の部品に分ける構造とし、更に、これら2つの部品の貼り合わせ時に精密ピンで正確に位置決めする組立方法とした。

2.2 光学設計

レンズコネクタ端面の凸レンズのパラメータにおいて、ファイバから射出された光がコリメート光に変換されるように最適化している。このコリメート光のビーム径は、大きいとコネクタ同士の傾きの接続損失への影響が大きくなり、小さいとダストの接続損失への影響が大きくなる特徴がある。これらのバランスを考慮し、モードフィールド径を 100  $\mu\text{m}$  と設定した。凸レンズ表面において、空気と樹脂の屈折率差により損失が発生するので、これを抑制するために表面にARコートを実施している。

レンズ部およびファイバ穴部の部品精度、部品のクリアランス、アセンブリ精度等を考慮し、モンテ・カルロ法により計算した接続損失の分布を図2に示す。波長 1310 nm および 1550 nm において、97%以上の確率で接続損失が 1.0 dB 以下となる結果となった。

3. 諸特性

本開発品の 12 心レンズ付きフェルールアセンブリを MPO コネクタに実装し、光学特性、機械特性および環境特性の評価を行った。尚、ハウジングのばね圧は 5 N とした。機械特性、環境特性の評価方法および試験条件については、本開発品の使用環境と考えている、温調がとられていない室内を想定し、国際標準規格 IEC の Category U<sup>7)</sup> を参考として試験を実施した。

3.1 光学特性

接続損失の測定結果を図3に示す。測定波長 1310 nm および 1550 nm に対し、平均が 0.50 dB と

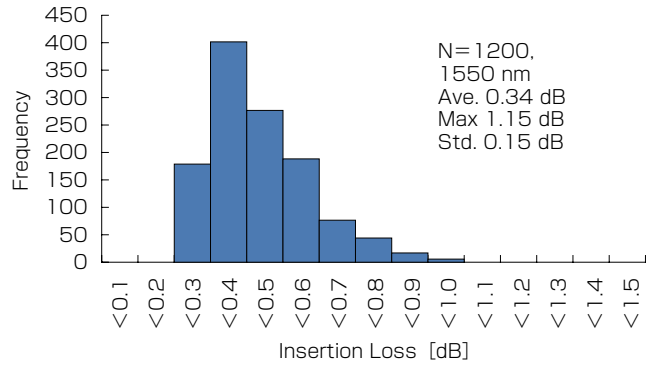
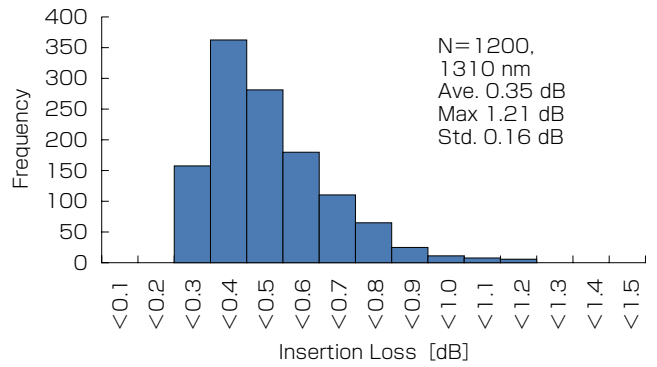


図2 モンテ・カルロ法による接続損失の計算結果  
Fig. 2. Calculation result Insertion Loss histogram by Monte Carlo Method.

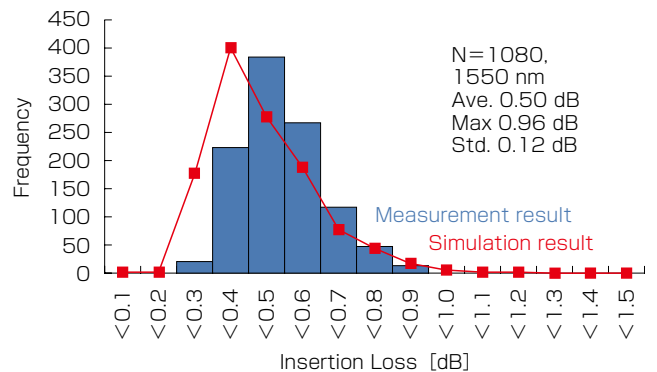
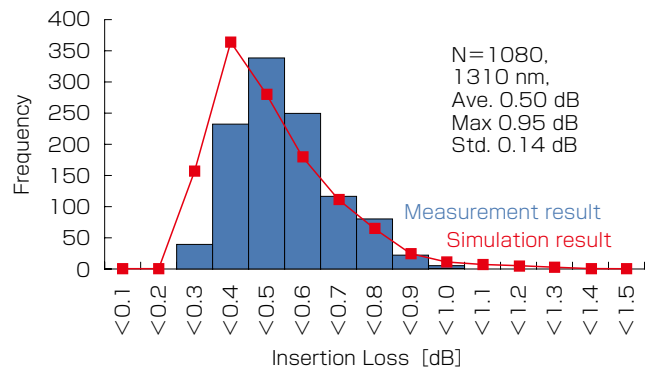


図3 12心SMFレンズコネクタの接続損失測定結果  
Fig. 3. Measurement result of Insertion Loss of 12 fiber lens connector.

0.50 dB, 最大が 0.95 dBと 0.96 dBとなり, 両波長において 1.0 dB以下となる良好な結果を得た. この結果は, シミュレーション結果と非常に近く, 設計通りの結果と考える..

反射減衰量の測定結果を図 4 に示す. 測定波長 1310 nm / 1550 nm に対し, 平均 37.2 dB / 39.3 dB, 最小 34.2 dB / 36.1 dBとなる良好な結果を得た.

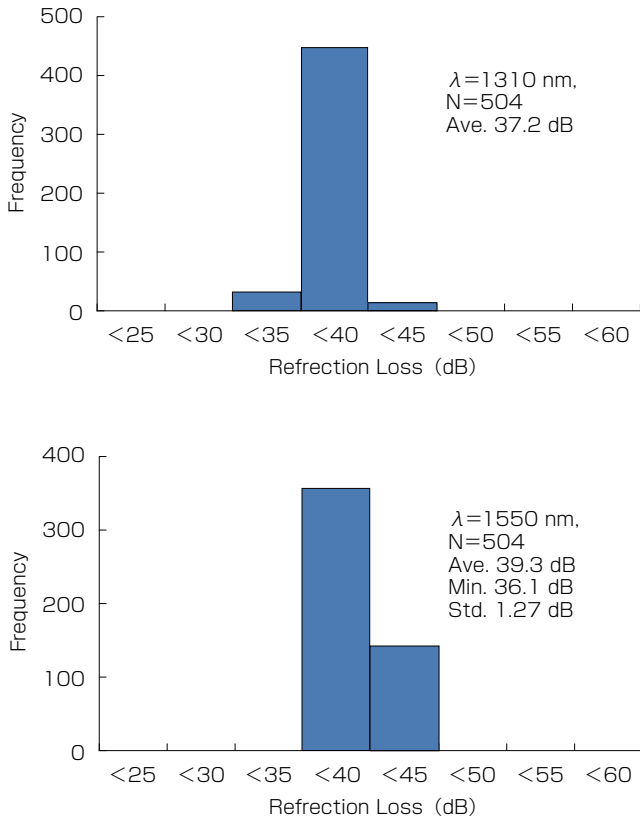


図4 12心SMFレンズコネクタの反射減衰量測定結果  
Fig. 4. Measurement result of Refraction Loss of 12 fiber lens connector.

### 3. 2 機械特性

実施した試験項目の試験条件および試験結果を表 2 に示す. 着脱試験の試験条件については, 端面清掃が困難である箇所への適用を想定し, 接続損失測定前に端面清掃を実施しない, とした. 図 5 に測定波長 1310 nm の着脱試験結果を示す. 最大接続損失増加量 0.03 dBとなり, 良好な結果を得た.

すべての試験において, 最大損失増加量 0.08 dB以下であり, 実用可能レベルであることを確認した.

### 3. 3 環境特性

実施した試験項目の試験条件および試験結果を表 3 に示す. 図 6 に測定波長 1310 nm のヒートサイクル試験結果を示す. 試験中の最大接続損失増加量が 0.24 dB以下となり, 良好な結果を得た.

すべての試験において, 試験中の最大損失増加量が 0.24 dB以下となり, 実用可能レベルであることを確認した.

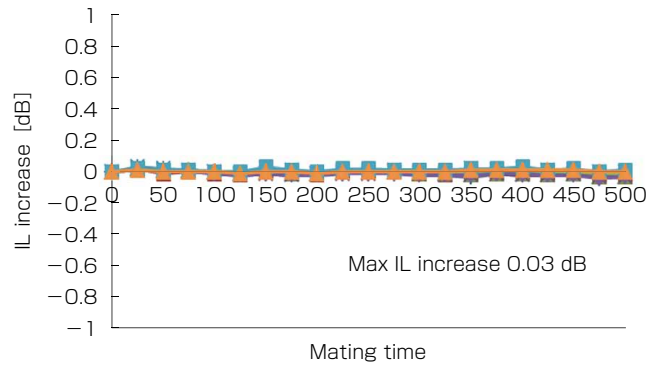


図5 12心SMFレンズコネクタの着脱試験結果  
Fig. 5. Durability test result of 12 fiber lens connector.

表2 SMFレンズコネクタの機械試験結果

Table 2. Mechanical performance test result of SMF lensed MPO connector.

試験項目	試験条件 IEC 61753-1 Category U	試験結果	
		接続損失最大増加量 (dB) 試験前後	
	測定波長 (nm)	1310	1550
振動	10-55 Hz, 15 sweeps, 3 axes, 0.75 mm amplitude	0.06 dB	0.08 dB
引っ張り	5.0 N, 60 sec	0.05 dB	0.03 dB
衝撃	5 drops, 1.5 mm height	0.03 dB	0.06 dB
捻回	2.0 N, 25 cycle, ±180°	0.06 dB	0.06 dB
着脱	500 cycle, without cleaning, measure every 25 cycle	0.03 dB	0.03 dB

表3 SMFレンズコネクタの環境試験結果

Table 3. Environmental performance test result of SMF lensed MPO connector.

試験項目	試験条件 IEC 61753-1 Category U	試験結果	
		接続損失最大増加量 (dB) 試験中	
	測定波長 (nm)	1310	1550
低温	-25±2 °C, 96 h	0.14 dB	0.11 dB
高温	70±2 °C, 96 h	0.22 dB	0.17 dB
湿熱	25-55 °C,	0.19 dB	0.18 dB
サイクル	> 90%, 24 h 6 cycle, 144 h		
ヒート	-25-70 °C, 12 cycle, 144 h	0.24 dB	0.18 dB
サイクル			

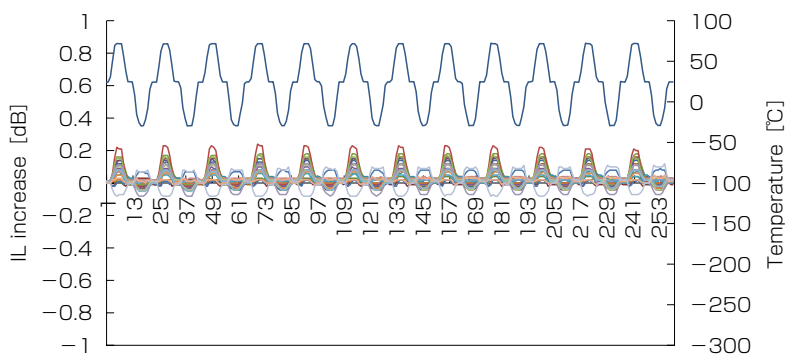


図6 12心SMFレンズコネクタのヒートサイクル試験結果  
Fig. 6. Thermal Cycle test result of 12 fiber lens connector.

## 5. む す び

今回、われわれは、MTフェルールの成形技術を応用し、SMFレンズコネクタを開発した。MPOコネクタに実装して評価試験を実施し、接続損失においては、測定波長1310 nmおよび1550 nmにおいて、97%以上が1.0 dB以下となり、今回の開発目標である接続損失1.0 dB以下を達成した。また、機械特性および環境特性の評価結果から、実用可能レベルであることを確認した。

今後も、さらなる低損失・低反射や多心数化等のの需要が想定されるので、それに対応したSMFレンズコネクタを開発し、光ファイバネットワーク発展へ貢献する。

## 参 考 文 献

- 1) S. Kato, et al. : "Condition for making physical contact of multi mode 2D MPO connector", 59th IWCS, 2010
- 2) S. Kato, et al. : "Compact size backplane connector", 61th IWCS, 2012
- 3) S. Kanno, et. al. : "Short size and low-loss MPO connector for high-density optical interconnection application", 66th IWCS, 2017
- 4) J. Nakane, et. al. : "Simplex optical connector cleaner", Fujikura Technical Review, Dec. 2014
- 5) 中間ほか : 「多心レンズ光コネクタの開発」, 電子情報通信学会, 2016
- 6) International Standard IEC 61754-7-4, 7-5
- 7) International Standard IEC 61753-1