

# 低損失 LC 型マルチコア光ファイバコネクタ

Simple-Structure Low-Loss Multi-Core Fiber LC Connector

森島 哲\*  
Tetsu Morishima

齊藤 侑季  
Yuki Saito

真鍋 賢  
Ken Manabe

豊川 修平  
Shuheï Toyokawa

中西 哲也  
Tetsuya Nakanishi

林 哲也  
Tetsuya Hayashi

動画配信サービス等のネットワークサービスの情報処理を担うデータセンタにおいて、光配線の高密度接続技術の需要が増大している。今後の更なる高密度接続技術の要求に対応すべく、我々はマルチコア光ファイバを実装した LC 型の単心コネクタを開発した。当コネクタは、汎用光ファイバコネクタと同じ部品数のシンプルな構造で、Telcordia GR-326-CORE 規格に準拠した信頼性と IEC61753-1 Grade B 相当の低接続損失を得られることを確認したので、これを紹介する。

The rapid growth of optical network traffic has dramatically increased the demands for high-density optical interconnects in data centers. To realize high-density multi-channel optical connections with easy handling, single-fiber connectors with multi-core fibers (MCFs) are expected. In this paper, we present a new type of LC-interface MCF connector. The connector has passed the Telcordia GR-326-CORE reliability test and achieved low insertion loss compatible with IEC 61753-1 Grade B for low-loss SMF connectors.

キーワード：マルチコア光ファイバ、LC コネクタ、単心コネクタ、低損失

## 1. 緒言

近年、動画配信等に代表されるネットワークサービスの普及に伴い、ネットワークを流れるトラフィックは指数関数的に増加し続けている。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/高速大容量通信が困難であるため、光配線化が進展している<sup>(1)</sup>。

DC 内の機器間をつなぐ光コネクタとして、多数のファイバを一括で高密度に接続できる、MPO コネクタ<sup>\*1</sup>が広く用いられている。今後の更なる通信大容量化に合わせ、MPO コネクタ内に実装するファイバ数の増加が見込まれるが、以下2点の課題が想定されている。

① コネクタ接続端で光反射が生じないようにコアとコアを隙間なく接続する、「Physical contact (PC) 接続 (図1)<sup>(2)</sup>」がし辛くなる

② ごみや汚れの影響が増す

①に関して、PC 接続はコネクタ接続時のばね圧によってファイバ端面を変形させることでなされ、ファイバの本数分だけファイバ変形量が増加するため、コネクタ端面のファイバ形状をより厳密に管理する必要がある。或いは、ばね圧の増加でも対応可能だが、コネクタ挿抜時のハンドリング性の悪化が懸念される。

②に関して、光ファイバ端面のごみや汚れは光損失発生の要因となるため確実に清掃する必要があり、ファイバ数の増加によって清掃が必要な領域が増加するため、その対策が必要になってくる。

上記のファイバ数増加に伴う課題に対し、LC コネクタ<sup>\*2</sup>等の単心コネクタにマルチコア光ファイバ (MCF) を実装した「単心 MCF コネクタ」は有望な解決策となる<sup>(3)</sup>。MCF は1本のファイバに複数のコアを持つため、そのコア

数分だけコネクタ1個あたりの通信容量を増加できる。単心 MCF コネクタは、ファイバの本数が1本であることから MPO コネクタと比べ低ばね圧化が可能である。また清掃も容易であり、ハンドリング性と高密度光接続を両立するコネクタである (図2)。本稿では、単心 MCF コネクタの実現上の課題、及び当社が開発した単心 MCF コネクタについて紹介する<sup>(4),(5)</sup>。

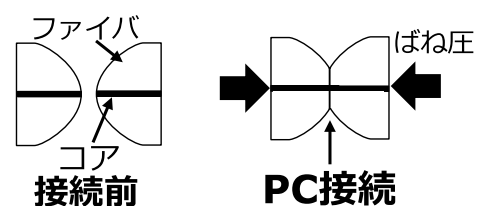


図1 PC接続<sup>(2)</sup>

	MPO コネクタ(8ch)	単心MCFコネクタ (LC型-8コア)
押圧力	9.8 N	5N
清掃性	1コア×8 清掃必要領域	8コア×1

図2 単心MCFコネクタのメリット

## 2. 単心MCF コネクタの開発課題

既存の光伝送システムで使用するシングルコアファイバ用単心コネクタ（単心SCF コネクタ）は、接続損失0.5dB以下、反射減衰量40dB以上で接続し、かつ、光接続中にコネクタに外力が加わってもその特性が維持されることが必要とされている。これらを実現するため、単心SCF コネクタにおいて、表1にまとめる技術が用いられている。

表1 単心SCF コネクタの技術

項目	技術
低接続損失	ジルコニアフェールと割スリーブによる、コアの高精度XY位置合わせ
外力遮断	コネクタ内部のフランジフェールのフローティング構造
高反射減衰量	コア同士を弾性変形し物理的に接触させるPC接続

単心MCF コネクタにおいても単心SCF コネクタと同様の接続特性が要求されるが、表1の技術をそのまま流用しても十分な特性は得られない。これはMCFがファイバの中心以外にもコアを有することから、以下2点の新たな課題の解決が必要となるためである。

- ① 回転抑制／フローティング／生産性の全てを満たすコネクタ構造
- ② ファイバ外周にあるコアをPC接続するコネクタ端面次項よりそれぞれの課題の詳細を説明する。

### 2-1 課題①コネクタ構造

図3に示す通り、MCFはファイバの中心以外にもコアを有するため、低接続損失のためにコネクタ間のコアの位置をXY方向のみならず回転方向にも合わせる必要がある。当社で開発したクラッド径125 $\mu$ mの8コアのMCF（ファイバ中央から40.5 $\mu$ mの位置に各コアが円環配置）<sup>(6)</sup>を例にすると、接続損失0.5dB以下の実現に許容される回転方向の角度ずれは $\pm 0.5^\circ$ である。

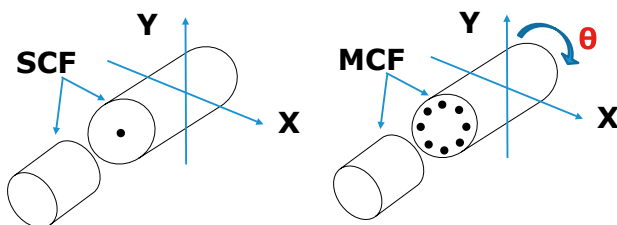


図3 SCFとMCFのコア位置自由度比較

単心MCF コネクタはこの回転抑制構造に加え、コネクタ接続中にフェールフランジの周辺に外力遮断のためのク

リアランスを設ける、「フローティング構造」をとる必要がある。しかし、図4に示す単心SCF コネクタの構造では、フェールフランジはコネクタ内において $\pm 10^\circ$ の回転余地があり、許容される回転角度ずれを大きく超過してしまう。各部品の寸法を単心SCF コネクタよりも高精度に管理すれば回転抑制とフローティングは両立するが、生産性の点で問題がある。そのため単心MCF コネクタの実用にあたっては、回転抑制とフローティングを、部品の製造精度を上げることなく実現する、新たな構造が重要となる。

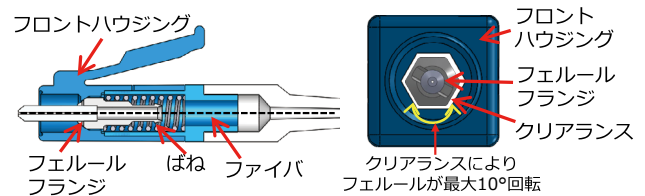


図4 単心SCF コネクタの構造

### 2-2 課題②ファイバ外周コアのPC接続

ファイバ中央にあるコアのみPC接続すればよい単心SCF コネクタに対し、単心MCF コネクタはファイバの外周にあるコアまでPC接続が必要である<sup>(7),(8)</sup>。コネクタ端面で生じるPC接続の様子と、単心コネクタの端面形状の決定要素を図5に示す。端面形状は光ファイバ端面の曲率半径R、研磨後のファイバ頂点とフェールの頂点ずれ量d、光ファイバの引き込み（突き出し）量Uで規定される。MCFの全てのコアをPC接続させるためには、PC接続半径aがコアの存在領域よりも大きくなるように、MCFに適した端面形状を形成する必要がある。

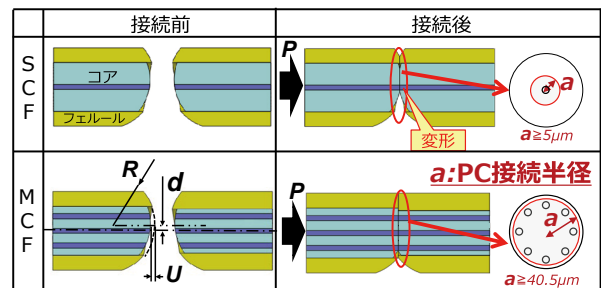


図5 要求されるPC接続半径の差

## 3. 開発した単心MCF コネクタの構造

### 3-1 低接続損失と生産性を両立する新規構造

単心SCF コネクタよりも高い加工精度の部品を使用せず

に、フェルールフランジの回転抑制と、フローティングの両立させることを目指し、MCF用新規コネクタを開発した。単心SCFコネクタと当コネクタの構造を図6に示す。構造の変更点は、フェルールのフランジ形状と、フロントハウジング内部のフランジ穴の形状である。フェルールのフランジ形状は、回転位置決め精度を考慮し、六角柱構造のフランジを持つ標準LCフェルールに代わり、四角柱構造のフランジを持つ標準MUフェルールを使用している。

本コネクタのフロントハウジングのフランジ穴形状と、この形状を利用した本コネクタの動作原理を図7、図8に示す。フランジ穴形状は、フロントハウジングの前方向に先細りした、テーパ状の穴形状となっている。本コネクタは、相手コネクタと接続していない状態(図7)では、MUフェルールフランジがハウジング内のテーパ部にばねで押

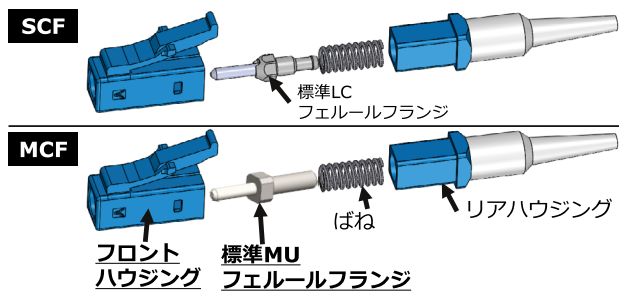


図6 単心SCFコネクタと新規コネクタの構造比較

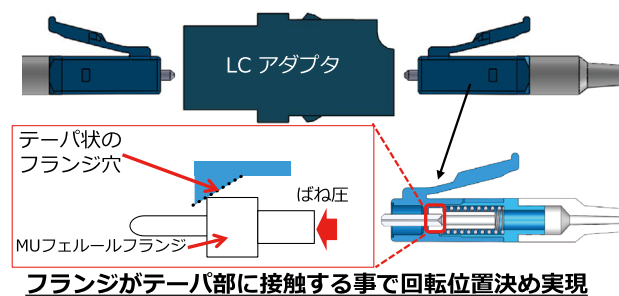


図7 コネクタ接続前の状態

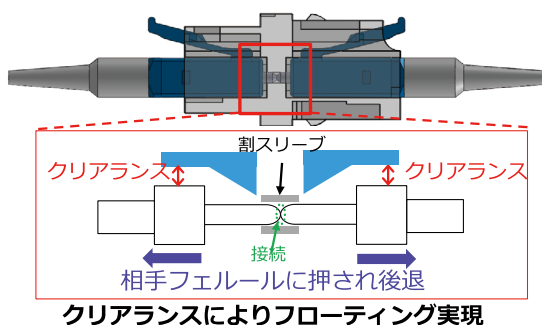


図8 コネクタ接続中の状態

し付けられた状態になっている。この時、フランジとハウジング間は接触しクリアランスは0となり、フェルールの回転方向の位置決めがなされる。この回転位置決めされた状態で、アダプタを介して相手コネクタと接続した状態が図8である。コネクタ同士でのフェルールの接触・後退により、ハウジングのテーパ部からフェルールが離れることでクリアランスが生じる。このクリアランスによりフェルールのフローティングが実現される。

当フロントハウジングは特別な加工精度は不要であり、一般的な射出成形技術によって作製可能である。フェルールやばね等のその他部品は全て単心SCFコネクタで用いられる標準品を使用可能であり、生産性に優れた構造となっている。

### 3-2 PC接続

IEC<sup>※3</sup>の標準規格によって定められた単心SCFコネクタ押圧力でMCFのPC接続を実現するため、有限要素法により、必要なコネクタ端面条件を解析した。解析関連のパラメータは前述の図5の通りである。コネクタ押圧力(P)を5N、ファイバ引き込み量(L)を50nmと、それぞれ単心SCFコネクタの典型値に設定した際の、ファイバがPC接続する範囲(a)を示したのが図9となる。頂点ずれ量(d)を小さくすることがPC接続半径aの増加に有効であることが確認できる。これを受け、研磨条件の最適化を行ったところ、目標の40.5μm以上のPC接続半径を実現するコネクタ端面形状が作製可能であることを確認した。

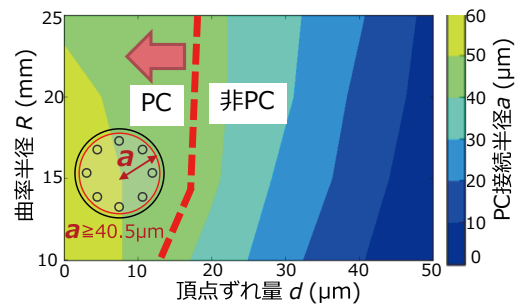


図9 PC接続半径aの解析

## 4. 単心MCFコネクタの光学特性評価

### 4-1 接続損失分布評価

考案した新規コネクタの接続損失の特性分布を調べるために、ランダム接続試験を実施した。前述の125μmクラッド径-8コアファイバを実装したコネクタにて、計112対のランダム接続、各コネクタ対にて着脱3回、計2688コア分の接続損失を評価した結果が図10になる。接続損失の平均値は0.07dB、97%値は0.20dB、最大値は0.39dBとなった。この結果から、当コネクタはIEC61753-1 Grade B相当の低接続損失を実現できていることが確認できた。

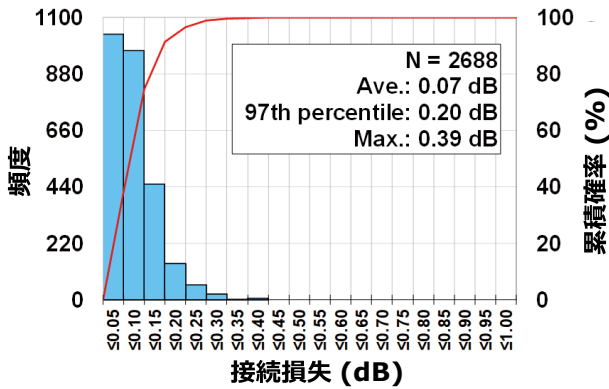


図10 接続損失分布

### 4-2 信頼性試験

当コネクタ構造とコネクタ端面条件による効果を確認するため、コネクタを試作し信頼性試験を行った。信頼性試験は、前述の125 $\mu$ mクラッド径-8コアファイバを実装したコネクタを2対作製し、Telcordia GR-326-COREに定められた試験項目について実施した。

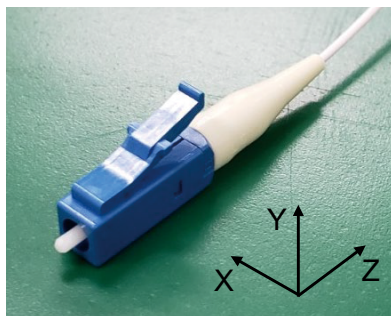


写真1 コネクタ外観と軸の定義

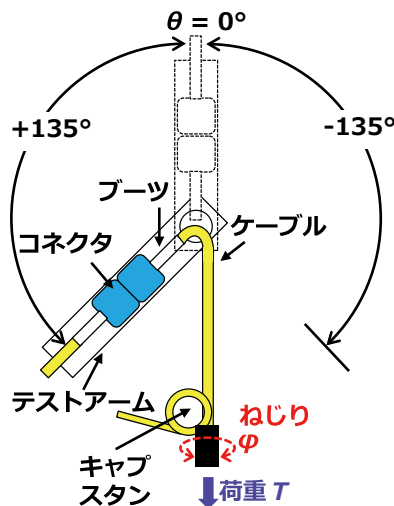


図11 機械試験評価系

写真1に試作したコネクタの外観と機械試験の際の軸の定義、図11に機械試験評価系を示す。また、表2に実施した機械試験の項目及びそれらの結果、結果の代表例として繰り返し着脱試験における接続損失と反射損失の推移を図12、図13に示す。機械試験各項目の規格値は、荷重や曲げ等の負荷印可時に発生する接続損失最大値 (表2中Max. IL) が0.5dB以下、反射減衰量の最小値 (表2中Min. RL) が40dB以上である。全ての試験項目において規格値を満たしており、当コネクタが機械信頼性を担保していることを

表2 機械試験評価結果

項目	内容	Max. IL	Min. RL
振動試験	XYZ各2時間 1.5mm (p-p), 10-55Hz	0.24dB	47.0dB
曲げ試験	T=0.6kgf, $\theta = (0^\circ, 90^\circ, -90^\circ, 0^\circ)$ , 100サイクル	0.20dB	50.1dB
ねじり試験	$\phi = \pm 90^\circ$ , T=1.35kgf, 9サイクル	0.17dB	49.3dB
強度試験	T=4.5, 6.8kgf ( $\theta = 0^\circ$ ) T = 1.5, 3.4kgf ( $\theta = \pm 90^\circ$ )	0.36dB	48.4dB
通光引張り試験	T=0.25~2.0 kgf ( $\theta = 0^\circ$ ), T=0.17~1.3kgf ( $\theta = \pm 90^\circ$ ), T=0.17kgf ( $\theta = \pm 135^\circ$ )	0.34dB	47.9dB
衝撃試験	1.5m高さから コンクリートに8回打ち付け	0.09dB	50.1dB
繰り返し着脱	200回着脱試験	0.31dB	43.0dB

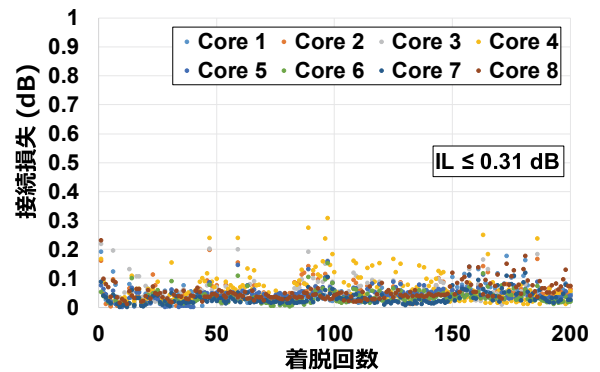


図12 繰り返し着脱試験 接続損失推移

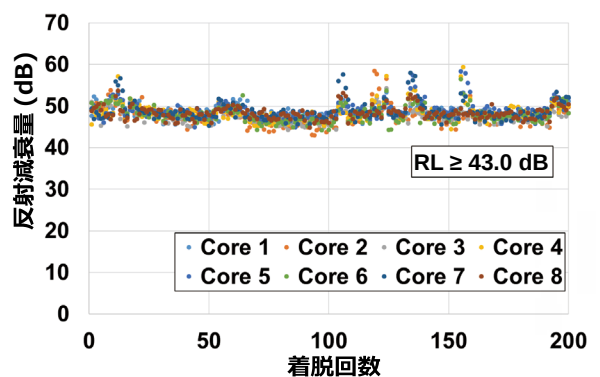


図13 繰り返し着脱試験 反射損失推移

確認できる。ここから、新規開発したコネクタはフェルールの回転抑制とフローティングを両立できていることがわかる。

当コネクタで、Telcordia GR-326-COREに定められた環境試験も合わせて実施した。試験項目とその結果をまとめたものを表3に示す。また、結果の代表例として、温湿度サイクル試験における接続損失と反射減衰量の推移を図14、図15に示す。当環境試験における接続損失、反射減衰量の規格値は機械試験と同様である。研磨端面が不十分であると高温環境下でのファイバ引き込みによってPC接続が不能になり、反射減衰量の劣化が生じるが、そのような劣化は当コネクタでは確認できず、全ての項目で規格値を満たしている。すなわちMCFのPC接続を安定して実現する端面が形成できていることがわかる。

表3 環境試験評価結果

項目	内容	Max. IL	Min. RL
高温	85°C, 168時間	0.44dB	46.4dB
温度サイクル	-40~75°C, 8時間, 21サイクル	0.37dB	44.2dB
高温高湿	75°C, 湿度95%, 168時間	0.37dB	44.3dB
温湿度サイクル	-10~65°C, 湿度90~100% 12時間, 14サイクル	0.36dB	44.0dB

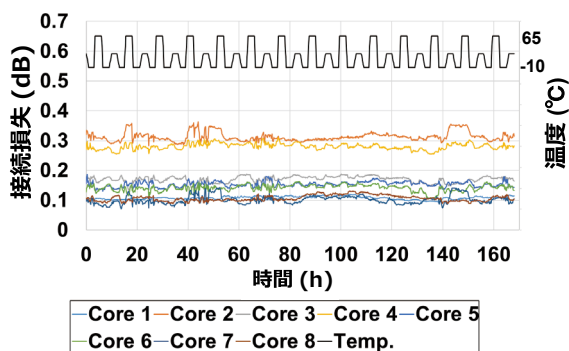


図14 温湿度サイクル 接続損失推移

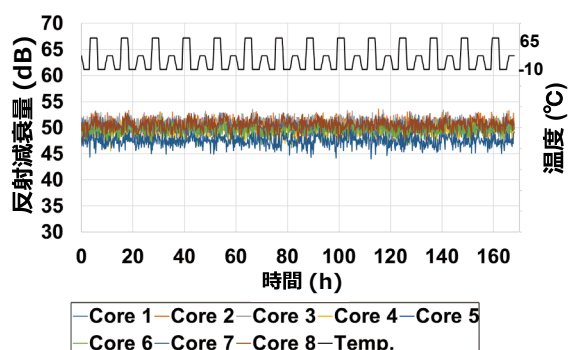


図15 温湿度サイクル 反射減衰量推移

## 5. 結 言

単心SCFコネクタと同じインタフェースを持ち、高精度な部品を不要とする、LC型の単心MCFコネクタを新規開発した。課題である回転抑制とフローティングを両立するため、テーパ状のフランジ穴を持つハウジングと矩形構造を持つ標準MUフェルールを組み合わせた構造を採用した。当ハウジングは標準的なLCハウジングと同様の射出成形法で十分作製可能であり、生産性に優れたものとなっている。当コネクタについて、Telcordia GR-326-COREで定められた機械試験及び環境試験を実施し、要求値である接続損失0.5dB以下及び反射損失40dB以上の達成を確認した。また、接続損失分布を評価したところ、IEC61753-1 Grade B相当の低接続損失を実現できていることを確認した。今後さらに、当コネクタ並びに他のMCF周辺部品の製造技術と性能向上に努め、光配線の高密度接続の需要に応えていく。

## 6. 謝 辞

本研究の一部は、国立研究開発法人・情報通信研究機構の高度通信・放送研究開発委託研究／革新的光通信インフラの研究開発の一環としてなされたものである。

## 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。

### ※2 LCコネクタ

ルーセントが開発したφ1.25mm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。

### ※3 IEC

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。

## 参 考 文 献

- (1) C. Kachris and I. Tomkos, "A Survey on Optical Interconnects for Data Centers," IEEE Commun. Surveys Tuts. 14(4), pp.1021-1036 (2012)
- (2) T. Shintaku, R. Nagase, and E. Sugita, "Connection mechanism of physical-contact optical fiber connectors with spherical convex polished ends," Applied Optics, vol.30, no.36, pp.5260-5265 (1991)
- (3) T. Hayashi, T. Nagashima, T. Morishima, Y. Saito, and T. Nakanishi, "Multi-core fibers for data center applications," in Eur. Conf. Opt. Commun. (ECOC) (2019), paper M.1.D.6
- (4) T. Morishima, K. Manabe, S. Toyokawa, T. Nakanishi, T. Sano, and T. Hayashi, "Simple-Structure LC-Type Multi-Core Fiber Connector with Low Insertion Loss," in OFC (2020), paper Th3l.2
- (5) T. Morishima, K. Manabe, S. Toyokawa, T. Nakanishi, T. Sano, and T. Hayashi, "Simple-Structure low-loss multi-core fiber LC connector using an align-by contact method," Optics Express, Vol.29, Issue 6, pp.9157-9164 (2021)
- (6) T. Hayashi, T. Nakanishi, K. Hirashima, O. Shimakawa, F. Sato, K. Koyama, A. Furuya, Y. Murakami, and T. Sasaki, "125- $\mu$ m-cladding eight-core multi-core fiber realizing ultra-high-density cable suitable for O-Band short-reach optical interconnects," J. Lightw. Technol. 34(1), 85-92 (2016)
- (7) O. Shimakawa, M. Shiozaki, T. Sano, and A. Inoue, "Pluggable Fan-out realizing Physical-contact and low coupling loss for Multi-core fiber," in OFC (2013), paper OM3l.2
- (8) K. Shikama, Y. Abe, S. Asakawa, S. Yanagi, and T. Takahashi, "Multicore Fiber Connector with Physical-Contact Connection," IEICE Trans. Electron., E99-C(2), pp. 242-249 (2016)

## 執 筆 者

森島 哲\* : 光通信研究所 主査



齊藤 侑季 : 光通信研究所



真鍋 賢 : 解析技術研究センター 主席



豊川 修平 : 解析技術研究センター



中西 哲也 : 光通信研究所 グループ長



林 哲也 : 光通信研究所 グループ長  
博士 (工学)



\*主執筆者