



# マルチコアファイバ接続・光ケーブル研究の最新動向と今後の課題



株式会社フジクラ 光応用技術R&Dセンター 光通信研究部 主席研究員

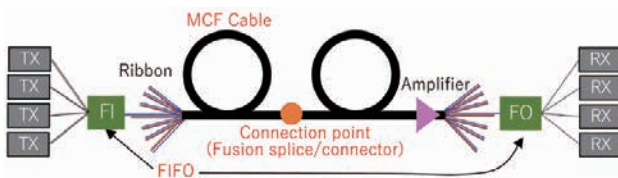
たけなが かつひろ  
竹永 勝宏

## 1. 研究背景

現在、光通信で用いられているSMF (Single mode fiber) は光の通り道であるコアが1つであり、その通信容量限界が差し迫っていると言われており<sup>[1]</sup>。近年の通信容量増大の要望に応えるため、複数のコアを持つMCF (Multi-core fiber) が注目され、研究開発が盛んに行われている。最近では、MCFの実用化に必要な接続技術、ケーブル技術が数多く報告されている。ここでは、これらの最新の動向と今後の課題を紹介する。

## 2. マルチコアファイバの接続技術

MCFを用いた伝送システムの概略図を図1に示す。ここでは、MCF同士を接続する技術として融着接続技術、コネクタ接続技術について紹介する。また、既存のSMFのシステムに接続するために必要となるSMF-MCF変換技術についても紹介する。さらに、それらの課題についても述べる。



■ 図1. MCFを用いた伝送システム概略図

### 2.1 融着接続技術

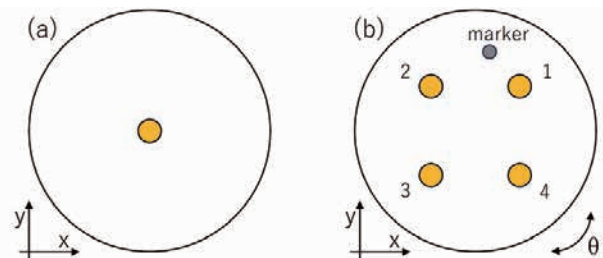
融着接続は、光ファイバの先端部を加熱、融解し、光ファイバ同士を接続する方法である。クラッドの中心に1つのコアを持つSMFでは汎用的な接続方法として広く用いられているが、クラッドの中心から離れた位置にコアを持つMCFでは、MCFの軸周りに回転調心する必要がある (図2参照)。

MCFを調心する際の観察手段としては、図3に示す2つの方法が主に検討されている。サイドビュー方式、エンドビュー方式は、それぞれMCFの側面画像、断面画像を基に調心する方法である。サイドビュー方式はエンドビュー方式に比べて装置の構成をシンプルにすることができ、サイズ・コスト面で有利である。

近年、サイドビュー方式での検討が多くなされており、4コ

アMCF同士の融着接続損失、調心時間としてそれぞれ平均0.1dB<sup>[2, 3]</sup>、90秒という報告もなされている。

MCFの融着接続技術は、SMFの接続損失、接続時間にどれだけ近付けるかが課題であり、更なる低損失化や接続時間短縮の検討が必要である。



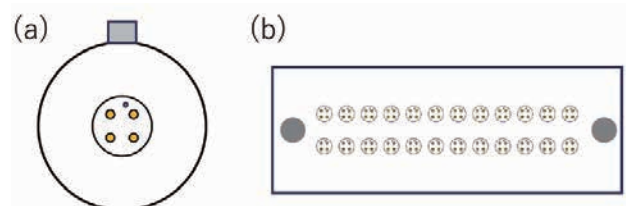
■ 図2. 光ファイバ断面と調心方向 (a) SMF、(b) MCF

	Side-view method	End-view method
観察方法		
融着機の構造	シンプル (回転調心機構は必要)	複雑
調心時間	普通	長い
マーカの検出	可	可(複雑な構造でも)

■ 図3. 融着接続の観察方法と特徴

### 2.2 コネクタ (単心、多心) 技術

脱着が可能な接続方法として、コネクタ接続技術がある。融着接続同様に、光ファイバの軸に対する回転調心後、コネクタキーに対して固定が必要となる。これまで、単心コネクタだけでなく、多心コネクタ (図4参照) の報告も複数なされている。単心では平均0.1dB以下の損失<sup>[4]</sup>、多心では、平均0.2dB以下の損失が報告されている<sup>[5, 6]</sup>。



■ 図4. MCFコネクタ模式図 (a) 単心、(b) 多心

MCFのコネクタ接続技術では、SMFの接続損失、調心時間（コスト）にどれだけ近付けるかが課題であり、今後も低損失化や簡易な調心方法の検討が必要である。

### 2.3 SMF-MCF変換技術

既存のSMFのシステムやデバイスとMCFを接続するためには、MCFの各コアを合分波するFIFO（Fan-in/Fan-out）が必要である。これまで、図5に示すような様々なFIFOが報告されている<sup>[7]</sup>。図5には挿入損失やコストについても示しており、低損失、低コストが実現可能と考えられているバンドル型<sup>[7, 8, 9]</sup>や低損失が実現可能で、信頼性も高い溶融延伸型<sup>[10]</sup>などが注目されている。

バンドル型、溶融延伸型ではそれぞれ、平均0.4dB、0.2dBの挿入損失が報告されている。

SMF-MCF変換技術（FIFO）は、通常のSMFのシステムにはないデバイスであり、今後、更なる低損失化、低コスト化及び低クロストーク化の実現が望まれる。

	空間光学系	導波路型	バンドル型	溶融延伸型
模式図				
損失	○	△	○	○
コスト	△	○	○	△

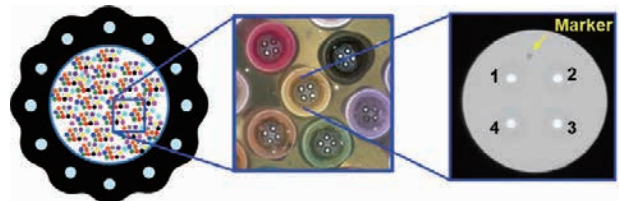
■図5. FIFOの各種方式と特徴

### 3. マルチコアファイバケーブル技術

MCFを実用化するためには、実際のフィールドにケーブルとして敷設する必要がある。これまで、2コア～12コアのMCFを十数本～数百本束ねたMCFケーブルが数多く報告されている<sup>[11-15]</sup>。これらMCFケーブルは、SMFと同等の損失増加や機械特性が報告されており<sup>[11-14]</sup>、実際のフィールドに敷設しても大きな問題がないことが確認されている<sup>[13]</sup>。図6は288心の4コアMCFを実装したケーブルの断面模式図及び一部の実写真である。MCFケーブルは、非常に多くのコアを高密度に束ねることができるため、海底ケーブ

ルやデータセンターなど高密度大容量伝送が求められる領域での活用が期待されている。

MCFを実用化するためにはケーブル中の大量のMCFの接続時間、検査時間の短縮技術開発が望まれる。



■図6. MCFケーブルの断面模式図及びMCF断面写真

### 4. おわりに

MCFの実用化に必要な接続技術、ケーブル技術の最新の動向を紹介した。また、それぞれの技術の今後の課題についても紹介した。

#### 参考文献

- [1] T. Morioka, OECC2009, FT4, 2009.
- [2] T. Kremp et al., OFC2023, Tu2C.1, 2023.
- [3] M. Nakagawa et al., International Symposium EXAT2023, P-16, 2023.
- [4] R. Nagase, IEICE Transactions on Communications, Vol. E106-B, No. 11, pp. 1044-1049, 2023.
- [5] H. Nakane et al., 2024 IEICE General Conf., B-10A\_B-13-25, 2024.
- [6] K. Haji et al., OFC2024, W4J.6, 2024.
- [7] M. Takahashi et al., OECC/PSC2022, TuC4-1, 2022.
- [8] T. Kikuchi et al., OECC/PSC2022, TuC4-2, 2022.
- [9] K. Ozaki et al., OFC2023, W2A.10, 2023.
- [10] V. I. Kopp et al., OFC2022, Th1E.2, 2022.
- [11] M. Tsukamoto et al., IWCS2016, 14-3, 2016.
- [12] M. Kikuchi et al., IWCS2017, 9-1, 2017.
- [13] T. Oda et al., OFC2023, Tu2C.4, 2023.
- [14] T. Hayashi et al., IWCS2023, 8-6, 2023.
- [15] Google. プレスリリース<https://cloud.google.com/blog/products/infrastructure/delivering-multi-core-fiber-technology-in-subsea-cables?hl=en>