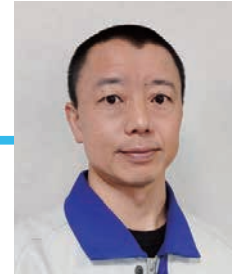




# SDM光ファイバ研究の最新動向と今後の展望



住友電気工業株式会社 光通信研究所 グループ長 **はせがわ たけみ**  
長谷川 健美

## 1. はじめに

光通信網の通信容量需要の指数的な成長を背景として波長多重技術やデジタルコヒーレント伝送技術が開発されてきた結果、広く用いられている単一モードファイバ（SMF：Single Mode Fiber）の1心あたりの情報伝送容量は物理限界に迫りつつあり、伝送容量を更に拡大する手段として空間多重（SDM：Spatial Division Multiplexing）の重要性が高まっている。本稿ではSDM光ファイバの商用化が始まった海底通信と、SDM光ファイバの普及に向けフィールドでの検証が進んでいる陸上通信におけるSDM光ファイバの研究動向を解説する。

## 2. 海底通信向けSDM光ファイバ

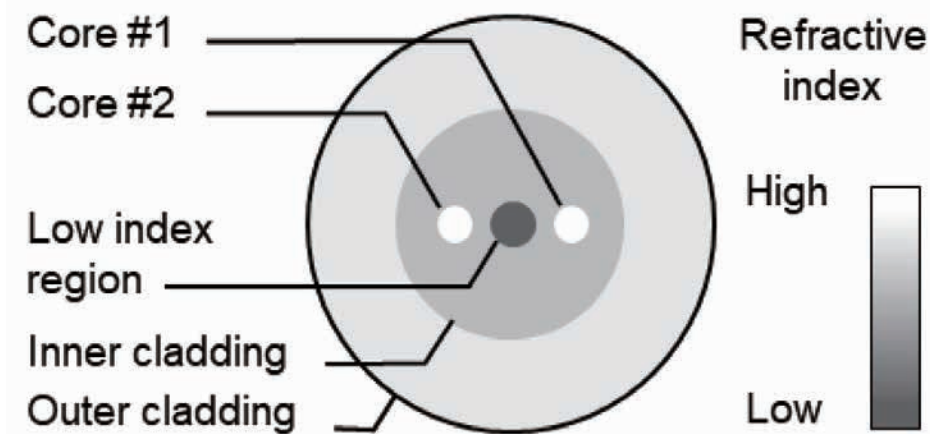
先進的な伝送技術が用いられることが多い海底ケーブルでは1心あたりの伝送容量が既に限界に近いことに加え、海底光中継器への供給電力の制約下で伝送容量を最大化する上でもSDMが有効であることからSDMの必要性が高く<sup>[1]</sup>、ケーブル内の光ファイバの多心化が第1世代のSDMとして普及している。多心化が進んだ結果、最先端の光海底ケーブルとして48心ケーブルが実用化されている<sup>[2]</sup>が、海底ケーブルの構造上の制約もあり、更なる多心化は困難が予想される。そこで、1本の光ファイバに複数のコアを有するマルチコアファイバ（MCF：Multi-Core Fiber）が、第2世代のSDMとして期待されている<sup>[3]</sup>。2023年には光海底

ケーブル用の2コアファイバ（2CF：2-Core Fiber）が商用化される<sup>[4]</sup>とともに、2CFを採用した光海底ケーブルの建設開始も発表される<sup>[5]</sup>など、海底通信での商用化に向けた活動が進んでいる。

MCFは複数のコアを有することから、接続におけるコア配置の管理や敷設環境でのコア間クロストークの管理など、SMFにはなかった複雑性が生じ得る。MCFの普及を円滑に進める上では、MCF自体の光学特性に加えて、上記のような複雑性の低減も重要となる。海底通信用2CF<sup>[6, 7]</sup>（図）では、(a) 鏡像対称コア配置によりMCFの極性をなくして端別管理を不要化し、(b) コアシフトによるコア識別により識別用マークを省略する、などの複雑性の低減策が採用されるとともに、従来の海底通信向けSMFと同等の光学性能が実証されている。

## 3. 陸上通信向けSDM光ファイバ

陸上通信網においても管路空間の制約下で伝送容量を拡大していくためにはMCFなどのSDM光ファイバが今後必要となると考えられる。陸上通信網においてはマルチベンダ化や標準化も重要となるが、これまでに4コアファイバでの複数ベンダ間相互接続<sup>[8]</sup>やITUでの標準化に向けたSDM技術の文書化<sup>[9]</sup>が進められている。また、2019年にはイタリアのL'Aquila市街にMCFのフィールドテストベッドが初めて敷設され<sup>[10]</sup>、陸上環境での伝送性能が実証され



■ 図. 海底通信用2CFの構造

るとともにコア間での位相ゆらぎの相関を利用して精度を高めた光周波数クロック伝送<sup>[11]</sup>など、MCFの特徴を活用した応用技術も実証されている。さらに、データセンタの棟内や棟間の接続では高密度の光ケーブルが用いられるが、12コアファイバによりケーブルの密度を高めるとともに1コア当たりの接続時間を低減できることが期待されている<sup>[12]</sup>。

## 4. おわりに

SDM光ファイバの開発が進み、海底通信向けの商用化や陸上通信向けのフィールド検証が進んでいる。伝送装置や接続・増幅などの関連技術と共に開発と量産が進むことで、光通信網の発展が今後も進むことが期待される。

### 参考文献

- [1] M. A. Bolshtyansky, et al., "Single-mode fiber SDM submarine systems," *J. Lightwave Technol.* 38, 1296-1304 (2020).
- [2] NEC press release, "NEC qualifies 24 fiber pair subsea telecom cable system-Fully qualified end-to-end solution for larger capacity and better connectivity," issued on Mar. 19, 2021.
- [3] H. Takeshita, et al., "Demonstration of uncoupled 4-core multicore fiber in submarine cable prototype with integrated multicore EDFA," *J. Lightwave Technol.* 41, 980-988 (2023).
- [4] Sumitomo Electric press release, "Sumitomo Electric launches world's first mass-produced ultra-low loss, multi-core fiber," issued on Sep. 22, 2023.
- [5] Google blog, "Boosting subsea cables with multi-core fiber technology," issued on Sep. 13, 2023.
- [6] T. Suganuma, et al., "2-core fiber for practical spatial division multiplexing," *SubOptic 2023, TU3C-2*, (2023).
- [7] T. Suganuma, et al., "First  $\leq 0.15$ -dB/km uncoupled 2-Core fibre for transoceanic cable," *ECOC 2023, Th.A.6.3*, (2023).
- [8] T. Matsui, et al., "118.5 Tbit/s transmission over 316 km-long multi-core fiber with standard cladding diameter," *OECC 2017*, doi:10.1109/OECC.2017.8115049.
- [9] C. Kito, et al., "ITU-T standardization activities for spatial division multiplexing optical fibers and maintenance of outdoor optical facilities," *NTT Technical Review* 21 (2), 45-48, (2023)
- [10] T. Hayashi, et al., "Field-deployed multi-core fiber testbed," *OECC/PSC 2019 PDP3* (2019).
- [11] N. Hoghooghi, et al., "Towards international clock comparisons on a telecom network: ultrastable optical frequency transfer over deployed multi-core fiber," *OFC 2024, Th4A.5* (2024).
- [12] T. Hayashi, et al., "Ultra-High-Density Microduct Cable with Uncoupled 12-Core Fibers with Standard 250- $\mu$ m Coating," *OFC 2023, Tu2C.2* (2023).

## ITUが注目しているホットトピックス

ITUのホームページでは、その時々ホットトピックスを“NEWS AND VIEWS”として掲載しています。まさに開催中の会合における合意事項、ITUが公開しているICT関連ツールキットの紹介等、旬なテーマを知ることができます。ぜひご覧ください。

<https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>