

# 光ファイバ融着接続機

光機器・システム事業部 佐藤 武司<sup>1</sup>

## Optical Fiber Fusion Splicer

T. Sato

光ファイバを利用した低損失で高速伝送に適した光通信網を構築するためには、光ファイバケーブル自身の低損失化や高速伝送に適した設計に加え、接続技術の高品質化も必要不可欠です。光コネクタやメカニカルスプライスによる簡易接続も数多く使われるようになってきましたが、基幹線路、とりわけ光海底ケーブルのような長距離かつ大容量基幹線路の接続には融着接続が今なお必須です。極低損失や極低反射という要求のみではなく、物理的熔融接続という長期信頼性が必要となるからです。さらに光ファイバアンプなどの増幅用特殊光ファイバの接続、医療や加工用途のハイパワーレーザ伝達用光ファイバの接続にも融着接続が使用されます。光ファイバの融着接続を行うためには、接続技術に加えて切断技術や補強技術も重要です。本稿では当社が持つそれぞれの技術の特長について述べます。

The essential requirement for establishing a low-loss and high-speed telecommunication line using optical fibers is high-performance, quality splicing technology. The simple connections of optical fibers such as optical connectors and mechanical splices is increasing. However, we currently need the fusion splice for long-haul and high-capacity trunk communications such as optical fiber submarine cable. This is the reason why we require not only ultra low loss and back-reflection, but also long-term reliability and strength of the fusion splice. The fusion splice is also used when splicing specialty optical fibers for light amplification and high-power laser transmission for use in various medical procedures or machining applications. In addition to the splicing technology, fiber cleaving and splice protection technologies are also important steps in the splicing process. In this paper, we introduce the features of each technology owned by our company.

### 1. ま え が き

1970年代に光ファイバの単位長当たりの光損失は低下を続けていましたが、接続損失の低下は進まず大きな課題となっていました。光ファイバ 1 kmの光損失が 0.2 dBを切っても、シングルモード光ファイバの融着接続損失は 0.2 dBを超えていました。熱源が不安定であったこと、切断端面の状態が悪かったことのほかに、コアがクラッドの中心からずれていたことが大きな問題でした。

当社は様々な技術課題を克服して、1979年にマルチモード光ファイバ融着接続機を発売し、1985年にシングルモード光ファイバ融着接続機を発売しました。さらに1985年にはコア直視方式のシングルモード光ファイバ融着接続機を発売しました。これにより、光ファイバケーブルの敷設工事に目途が立ち、光通信時代の幕開けに貢献することが可能になりました。融着技術はその後も進化を続け、最新のコア直視方式による融着接続機によるシングルモード光ファイバの接続損失は平均 0.02 dBを下回りました。また、光ファイバカッターの切断角度誤差も平均 0.5度を下回る性能を有しています。

### 2. 融着接続技術

#### 2.1 コア直視調心型融着接続機

用途に応じて様々な融着接続機が開発されましたが、世界で最も使用されている融着接続機は、コア直視方式の調心型融着接続機（以降コア直視調心機と省略）です。コア直視調心機においては、図1の観察レンズを用いて、光ファイバのコア位置を高精度に測定する機能を持っています。

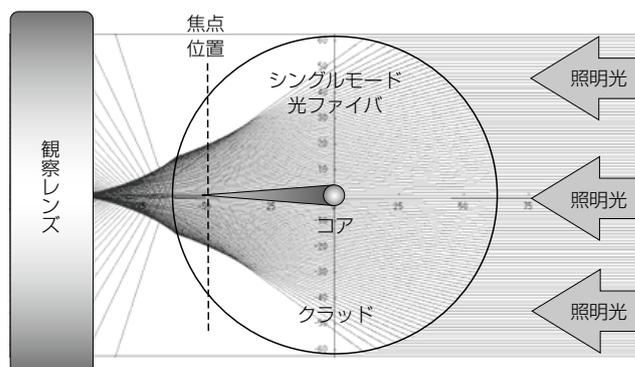


図1 コア位置の測定

Fig. 1. Core position measurement.

<sup>1</sup> 精密機器製品部副事業部長

略語・専門用語	正式表記	説明
コア直視調心機	コア直視方式の調心型融着接続機	可動V溝でコア同士を調心接続する融着接続機
テープファイバ	多心テープ型光ファイバ	複数の心線を一列に配置した構造の光ファイバ

そして、図 2 の V 溝調心機構によって光ファイバを調心し、タングステン電極棒によって放電加熱します。

コア調心機はコア位置の測定のみならず、屈折率プロファイルから光ファイバの種類を通常シングルモード光ファイバ (SMF: ITU-T G.652 または ITU-T G.657)、分散シフト型光ファイバ (DSF: ITU-T G.653 または NZDSF: ITU-T G.655)、マルチモード型光ファイバ (MMF: ITU-T G.651) であるかを分析し、最適な放電

加熱条件で接続する機能も有しています。

融着接続機と言えば大きく、重く、高価で壊れやすい精密機器という印象がありましたが、図 3 に示す FSM-60S は 760 mm 垂直落下の衝撃耐性を世界で初めて実現し、何度落としても壊れない融着接続機として業界からの信頼を得ました。コアがクラッド中心から偏心している光ファイバであっても、世界で最も低損失で接続可能なケーブル敷設用の融着接続機です。

コア直視調心機の長所と短所は下記であります。

[長所]

- ・光ファイバ表面や V 溝表面のゴミに起因する軸ずれを調心機構によって除去
- ・コア偏心による損失増大を防止

[短所]

- ・光ファイバ調心機構や焦点調整機構が必要

## 2.2 多心テープ型光ファイバ融着接続機

作業効率向上のため、多心テープ型光ファイバ (以降はテープファイバと省略) の一括融着接続機も開発しました。テープファイバの場合、ファイバ間の配列ピッチが  $250 \mu\text{m}$  と狭いため、可動 V 溝をこのピッチで配置することは困難です。テープファイバを接続するために、図 4 に示す調心機構が無い固定 V 溝を使用します。

固定 V 溝方式の問題は、光ファイバ表面や V 溝表面に付着したゴミであります。屋外の工事ではゴミを完全に

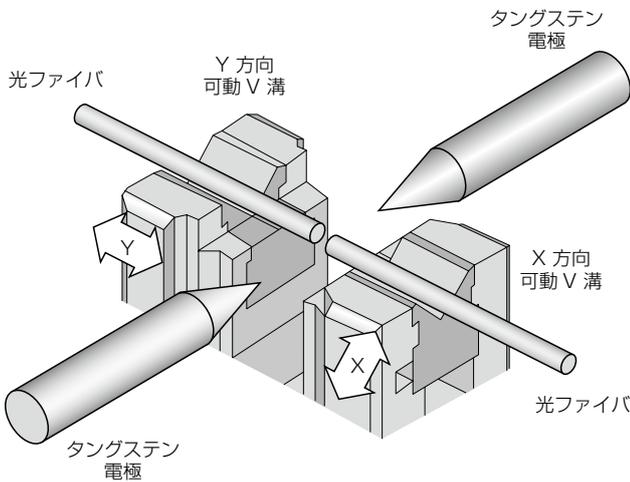


図2 可動V溝による調心と融着接続  
Fig. 2. Alignment with movable V-groove and fusion splice.



図3 コア直視調心機 FSM-60S<sup>1)</sup>  
Fig. 3. Core alignment fusion splicer FSM-60S.

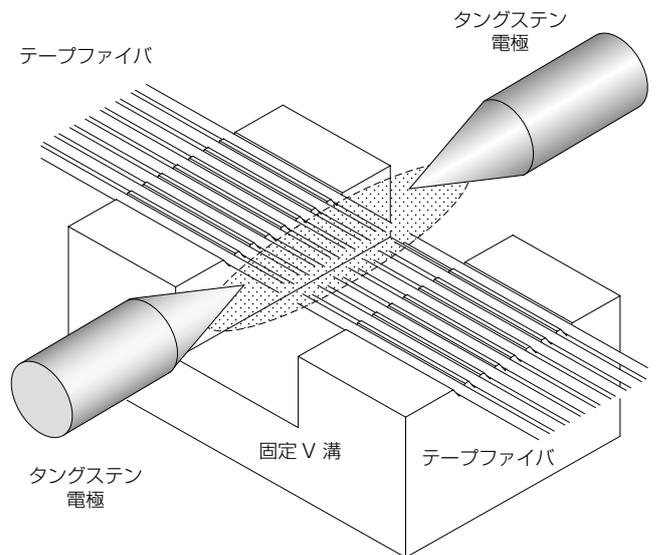


図4 固定V溝方式  
Fig. 4. Splicing method with fixed V-groove.

除去できません。図5に示すように、付着したゴミの大きさに比例して接続する光ファイバにずれが発生します。これを解決するのが自己調心作用です。

光ファイバを加熱すると、温度上昇と共に光ファイバが溶けて軟化します。接合部のクラッド表面のずれは、粘度が低くなったガラスの表面張力によって段差が無くなる方向へ自己調心されます。接続部近傍にコアの歪みが残りますが、軸ずれによる光損失と比較すれば十分に小さい損失です。固定V溝方式を採用する融着接続機においては、放電時間を長く設定することで、自己調心作用を最大限に引き出すよう設計されています。図6にテープファイバを放電加熱している様子を示します。

近年、光ファイバが家庭まで配線されるようになり、Fiber to the home（以降はFTTHと呼ぶ）に対応した小型・軽量の融着接続機が要求されるようになりました。図7に示すFTTH融着接続機は、世界最小・最軽量の装置です。FTTH融着接続機とは、固定V溝機の中でも小型・軽量に設計された機体を意味します。

テープファイバ接続用の固定V溝方式の長所と短所は下記の通りです。

[長所]

- ・テープファイバの一括融着接続により 1 心あたりの接続作業時間が短い
- ・可動部品が少ない

[短所]

- ・接続損失はV溝や光ファイバ表面のゴミの影響を受ける
- ・コア偏心が大きい場合は損失が増加

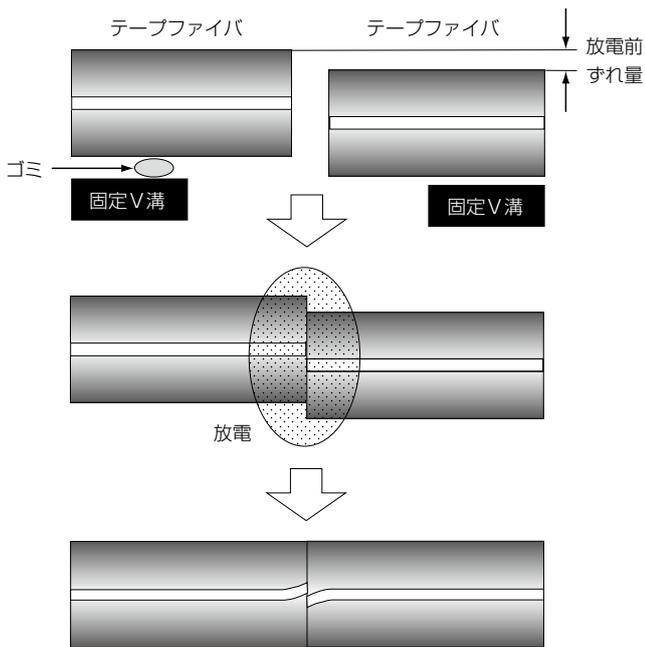


図5 表面張力による自己調心作用

Fig. 5. Self-alignment effect by surface melting tension.

2.3 特殊光ファイバ融着接続機

光ファイバの応用分野は情報通信にとどまらず、非通信分野においても用途が広がりました。レーザ伝送用の大口径光ファイバや定偏波光ファイバなどを高品質に融着接続するため、光ファイバ把持部可変機構、放電電極上下駆動機構、光ファイバ端面観察機構を搭載した特殊光ファイバ融着接続機を開発しました。その外観を図8に示します。

特殊光ファイバのクラッド直径は用途に応じて様々であり、細い場合は直径 60 μm, 太い場合は直径 1000 μm を超えます。融着接続機において光ファイバの把持部は



図6 テープファイバに対する放電加熱

Fig. 6. Heating to ribbon fiber with electric discharge.



図7 FTTH融着接続機<sup>2)</sup>

Fig. 7. FTTH application fusion splicer.



図8 特殊光ファイバ融着接続機  
Fig. 8. Specialty fiber fusion splicer.

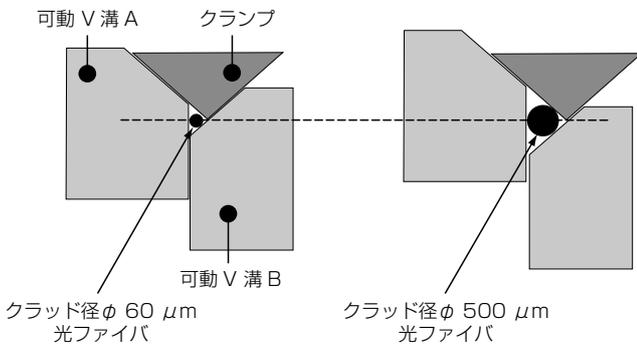


図9 光ファイバ把持部可変機構<sup>3)</sup>  
Fig. 9. Adjustable clamping mechanism for optical fibers.

重要部位であり、左右光ファイバを精度良く平行に把持する必要があります。また左右光ファイバが接合された瞬間の衝撃に対して十分な把持力が必要です。図9に示す可変把持機構はクラッド径や被覆径に応じて無段階に調整可能であり、平行かつ十分な把持力を発揮します。

電極間の放電による加熱範囲は狭いため、クラッド径の大きな光ファイバを熔融する場合は、温度分布が不均一になります。特殊光ファイバ融着接続機には、放電電極棒を上下に振動させる機能があり、放電回路を光ファイバの上側と下側に振り分けながら、均一加熱を行います。図10に放電電極上下駆動機構の原理を示します。

さらに特殊光ファイバ融着接続機には、光ファイバ端面を観察するミラーが搭載され、図11に示す光ファイバ端面画像を撮像可能です。

従来、光ファイバの屈折率プロファイルは側面からのみの観察でしたが、今回開発した特殊光ファイバ融着接続機では側面観察と端面観察を組み合わせることで屈折率プロファイルの解析が行えます。

以上の各種新機能により、定偏波光ファイバやマルチ

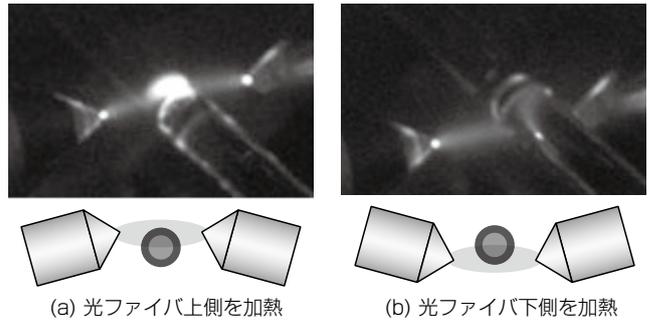


図10 放電電極棒上下駆動機構<sup>4)</sup>  
Fig. 10. Discharge Electrodes Vibrating Mechanism.

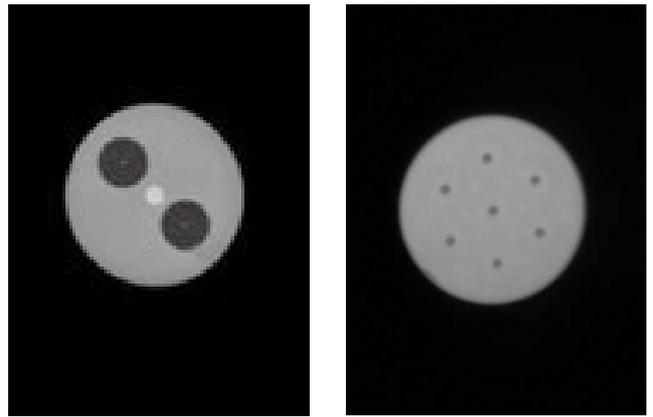
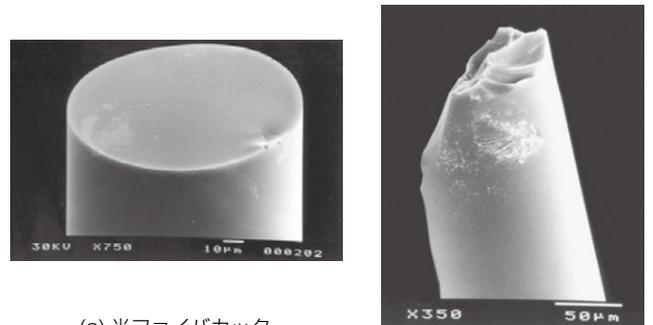


図11 端面観察画像<sup>4)</sup>  
Fig. 11. Optical Fiber End-View Image.



(a) 光ファイバカッターによる切断  
(b) 指で折って切断  
図12 光ファイバ端面の電子顕微鏡写真  
Fig. 12. Cleaved optical fiber end observed with SEM.

コアファイバ等の数多くの特殊光ファイバに対し、世界最高性能での融着接続を実現しました。

### 3. 切断技術

光ファイバを高品質に融着接続するためには、光ファイバの切断品質も重要です。図12において、左側は光ファイバカッターで劈開して切断した場合の端面状態です。右側は、光ファイバを指で折った場合の端面状態です。



(a) 多心単心共用<sup>5)</sup> (b) 単心専用

図13 丸刃方式の光ファイバカッタ

Fig. 13. Optical fiber cleaver with metal disk blade.

融着接続機には接続前に光ファイバの端面を溶かして整形する機能が備わっていますが、指で折った端面は加熱整形が困難です。より低接続損失を得るためには高精度に劈開された端面が要求されます。図13に示す光ファイバカッタは、金属製の円形刃で光ファイバに傷を付け、その後に光ファイバを折り曲げることで切断する原理を用いた装置です。

これらの丸刃切断方式のカッタは、工事現場における劣悪な環境においても1枚の丸刃で48000切断を達成する能力を有します。

一方、特殊光ファイバを切断する高性能カッタには、丸刃の代わりにダイヤモンド刃を用います。図14に示す特殊光ファイバカッタの場合、高精度切断に加えて、斜め切断の機能も有します。

光ファイバの特性や要求性能に応じて、様々な種類の光ファイバカッタを提供しています。

#### 4. 補強技術

融着接続の信頼性を論じる上で重要な技術に、融着接続点の補強技術があります。図15に熱収縮型の補強スリーブの構造を示します。

熱収縮型補強スリーブは、光ファイバ周囲をホットメルトで成型することで接続点を保護する方式です。外側の熱収縮チューブが被覆径に応じてホットメルトの形状を成形する役割を果たします。また、中央から加熱収縮させることでスリーブ内の空気をスリーブ中央から外側へ押し出す役割も担います。補強された接続点は、光ファイバにとって有害な水分などの外部からの物質を遮断します。単心光ファイバの場合はステンレス抗張力体によって、多心テープの場合はガラス抗張力体によって、曲げや張力に耐える構造を実現しています。融着接続機に搭載された加熱補強器を使用することで、30秒前後で高速収縮させることが可能です。



図14 ダイヤ刃方式の特殊光ファイバカッタ

Fig. 14. Specialty fiber cleaver with diamond blade.

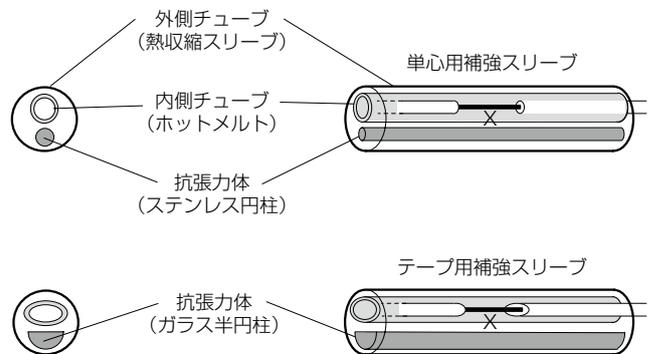


図15 熱収縮型補強スリーブ

Fig. 15. Heat shrinkable splice protection sleeve.

#### 5. むすび

フジクラが永年培ってきた光ファイバ融着技術、および切断、補強など関連技術をさらに進化させ、高度情報を社会のインフラ整備に今後とも尽くしていけるようにしたいと思います。

#### 参考文献

- 1) 水嶋ほか：「新型光ファイバ融着接続機の耐環境性向上」, フジクラ技報, 第114号, pp. 17-20, 2008
- 2) 岩下ほか：「超小型光ファイバ融着接続機 SpliceMate™」, フジクラ技報, 第108号, pp. 10-13, 2005
- 3) 飛田ほか：「特殊光ファイバ融着接続機」, フジクラ技報, 第119号, pp. 17-21, 2010
- 4) 小沼ほか：「高機能特殊光ファイバ融着接続機」, フジクラ技報, 第120号, pp. 12-15, 2011
- 5) Iwashita, et al.: "Small Fusion Splicer and Fiber Cleaver," Fujikura Technical Review, Vol.35, pp. 10-14, 2006