

# 高機能特殊光ファイバ融着接続機

光機器・システム事業部 吉田 和行<sup>1</sup>・高橋 中<sup>1</sup>・小沼 朋浩<sup>1</sup>  
吉田 謙介<sup>1</sup>・佐々木 一美<sup>1</sup>

## Fusion Splicer for Specialty Optical Fiber with Advanced Functions

Kazuyuki Yoshida, A. Takahashi, T. Konuma, Kensuke Yoshida, and K. Sasaki

光ファイバ技術の応用分野は情報通信だけでなく非通信分野にも展開され、伝送媒体である光ファイバの種類も増えている。昨年、特殊光ファイバの高品質な融着接続性能を実現した特殊光ファイバ融着接続機（型番：FSM-100M / FSM-100P）を開発したが、今回はさらに機能を追加し、直径 1200  $\mu\text{m}$  までの大口径光ファイバの接続機能や、光ファイバを端面方向から観察しマルチコア光ファイバのような特殊光ファイバを調心する機能を備えた高機能特殊光ファイバ融着接続機を開発した。

The application of optical fiber technology has advanced beyond the field of telecommunications and into a variety of other fields. Completely new fiber types have been developed to enable many other applications, and this trend is increasing. Last year, we introduced a fusion splicer that was developed to achieve high-quality splicing performance with these specialty optical fiber applications, model FSM-100M/FSM-100P.<sup>CE2</sup> Now we have developed a new fusion splicer with more advanced features and functions in order to offer further capabilities such as splicing fibers with diameters as large as 1200  $\mu\text{m}$  in diameter, and to observe the fiber end surface for aligning specialty fibers such as multi-core optical fiber and non-circular fibers.

### 1. ま え が き

今や情報通信インフラの構築において欠くことのできない光ファイバであるが、そ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っている。そのため、特殊光ファイバの種類は増え、昨年には特殊光ファイバ融着接続機（型番：FSM-100M / FSM-100P）を開発した。今回はさらに機能を追加し、

近年特に需要が高まってきている光ファイバレーザ用途などのクラッド径 1200  $\mu\text{m}$  までの大口径光ファイバの広域加熱放電機能や、複雑なプロファイルを持つ光ファイバを調心するための光ファイバ端面観察機能を備えた高機能特殊光ファイバ融着接続機を開発した。

### 2. 装 置 概 要

融着接続機の外観を図 1 に、仕様を表に示す。

表 仕 様  
Table. Specifications.

項 目	仕 様/特 性	
調心部 クラッド把持径	$\phi$ 60 ~ 1200 $\mu\text{m}$	
調心部 被覆把持径	$\phi$ 60 ~ 1500 $\mu\text{m}$	
光ファイバホルダ 把持径	$\phi$ 60 ~ 2000 $\mu\text{m}$	
電極上下可変機構	$\pm$ 1 mm	
電極間隔可変機構	1 ~ 3 mm	
長手方向放電範囲	$\pm$ 18 mm	
接 続 性 能	接続損失 ITU-T G.652 SM ファイバ	0.01 ~ 0.03 dB
	偏波 クロストーク 125 $\mu\text{m}$ PANDA ファイバ	- 40 dB / 0.6 degree
寸 法	470 × 232 × 160 mm	
重 量	約 8.4 kg	



図 1 高機能特殊光ファイバ融着接続機  
Fig. 1. Fusion splicer for specialty optical fibers  
with advanced functions.

1 精密機器製品部開発グループ

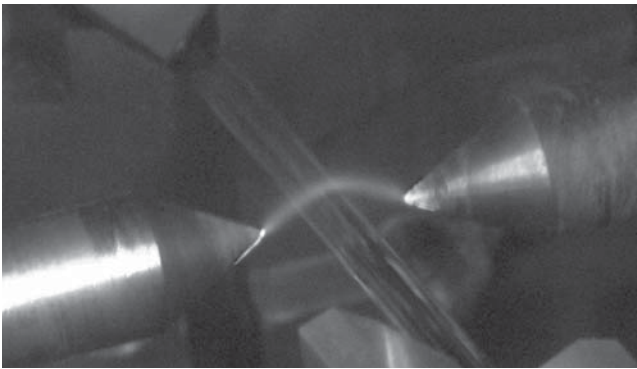


図2 大口径光ファイバに対する放電路  
Fig. 2. Typical arc discharge path over large diameter fibers.

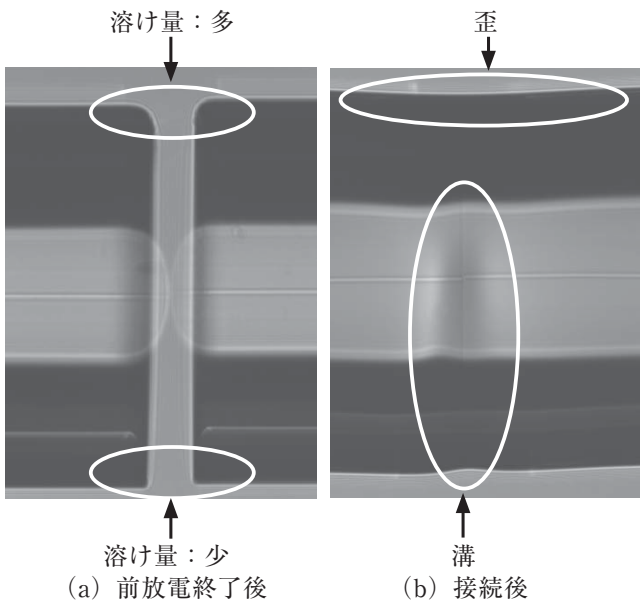


図3 通常加熱による $\phi 1000 \mu\text{m}$ 光ファイバの接続  
Fig. 3.  $\phi 1000 \mu\text{m}$  fiber splicing using standard heating method.

### 3. 高機能特殊光ファイバ融着接続機の特長

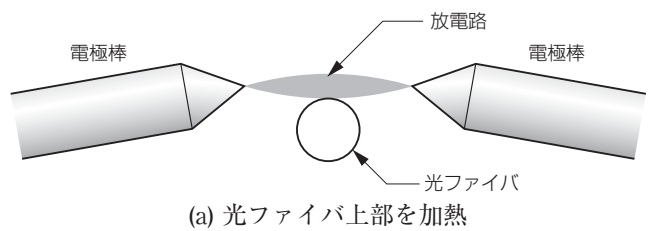
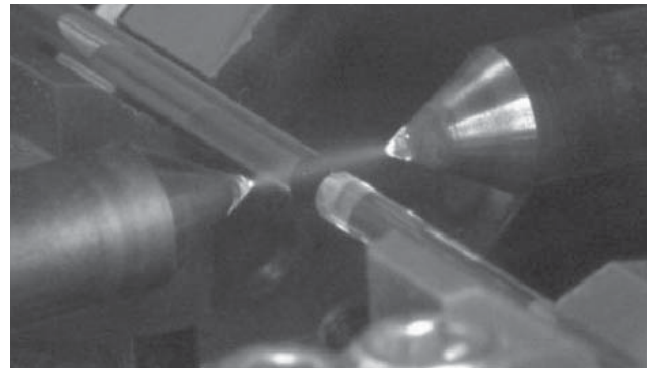
#### 3.1 大口径光ファイバの接続機能

##### 3.1.1 電極棒上下駆動機能

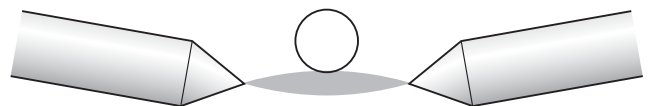
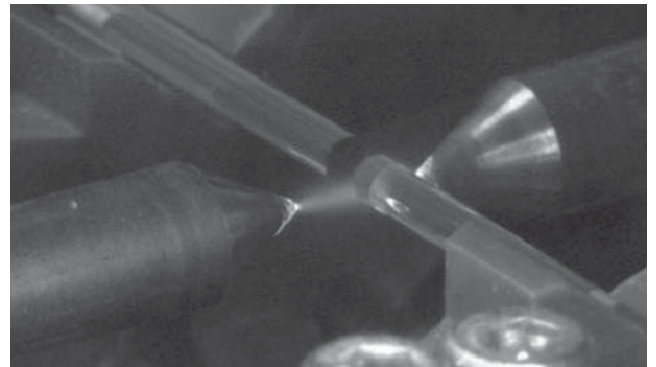
クラッド径  $500 \mu\text{m}$  を超える大口径の光ファイバを放電で融着接続する場合，従来の方式では放電加熱領域が狭く，局所的にしか加熱できない．電極間隔を広げると，放電が高温かつ不安定になり，放電電極棒先端の損耗も著しい量になる．

図2はクラッド径  $1000 \mu\text{m}$  の光ファイバを，従来の放電路で加熱した様子を示している．クラッド径に対して電極間隔が狭いと，放電路は光ファイバ外周の片側のみしか加熱できない．写真では光ファイバの下部が加熱されていないため，温度分布が不均一になっている．

融着接続動作は，2本の光ファイバの端面の間に隙間を設けて突き合わせ，光ファイバを調心した後に前



(a) 光ファイバ上部を加熱



(b) 光ファイバ下部を加熱

図4 電極棒上下駆動機能による広域加熱  
Fig. 4. Wide area heating by electrode up/down oscillation driving function.

放電によって光ファイバ端面をわずかに溶かして端面に粘性を持たせる．そして，放電を行いながら片側の光ファイバをもう片側へ押し込んで融着接続する．

図3(a)は，従来方式で前放電加熱を行った場合の端面の写真である．光ファイバ上部は角の溶け量が多く丸くなっているが，下部はほとんど溶けていないことがわかる．放電路は端面の間隙を通らず，外側上端を通して光ファイバ上部のみを加熱した．

図3(b)は，不均一な前放電を行った後，放電を行いながら光ファイバを押し込んで融着接続した写真である．不均一で局所的な前放電加熱は，接続点に溝や歪を発生させる．光ファイバを広い領域で均一に加熱する必要がある．

今回開発した融着接続機は，大口径光ファイバの端面を均一に加熱するため，電極棒を上下に駆動させることで加熱領域を拡げ，光ファイバ端面全体の均等加熱を実現した．図4は電極棒の上下駆動で放電させた

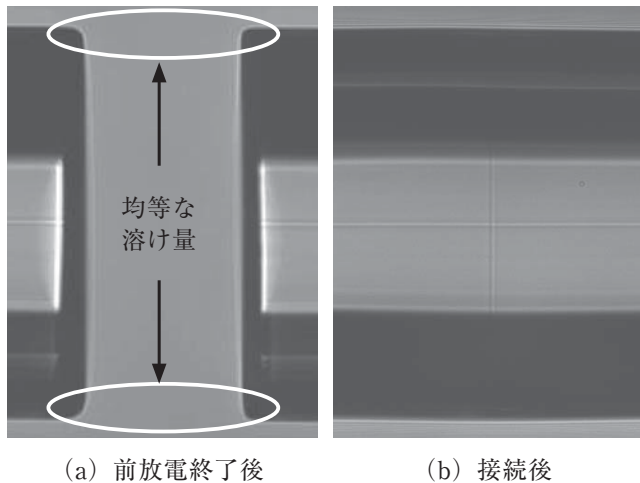


図5 広域加熱による $\phi 1000 \mu\text{m}$  光ファイバ接続  
Fig. 5.  $\phi 1000 \mu\text{m}$  fiber splicing using wide area heating method.

時の写真と模式図を示す。電極棒が放電中に何度も上下に駆動されることで、放電路が光ファイバに対して上下に移動し、端面全体を均一に加熱することが可能になる。

### 3.1.2 電極棒上下駆動機能の効果

図5 (a) は、電極棒上下駆動機能を用いてクラッド径 $1000 \mu\text{m}$  光ファイバ端面を前放電で溶かした後の写真である。図3 (a) と比べて、光ファイバ端面の上下が均等に溶けていることが確認される。

図5 (b) に融着接続時の接続部の写真を示す。接続部には図3 (b) のような接続点上の溝や歪がなく、良好な接続状態となっている。

次に、クラッド径 $1000 \mu\text{m}$  の同種光ファイバを接続した場合の接続損失を図6 に示す。MFDは $125 \mu\text{m}$  通信用光ファイバと同じ $9 \mu\text{m}$  であり、わずかな軸のずれが大きな接続損失を引き起こす厳しい条件である。30回の融着接続を行い、波長 $1310 \text{ nm}$  で平均接続損失 $0.08 \text{ dB}$  を達成した。

以上の結果より、広域加熱放電が大口径光ファイバの高品質接続に重要であることがわかる。

## 3.2 光ファイバ端面観察機能

### 3.2.1 開発の背景

融着接続機の通常の観察方式は光ファイバ側面方向からの観察であるが、ダブルクラッドファイバやマルチコアファイバなどのコア位置の測定は側方からでは困難である。また、断面が円ではない多角形光ファイバ、応力付与部がコアの周囲にある定偏波光ファイバ、空孔のある光ファイバにおいても側方観察でコア位置を測定することはできない。これらの光ファイバに対しては、接続損失がコア調心可能な光ファイバよりも劣るといえる課題がある。

複雑なプロファイルを有する光ファイバの高品質な接続を実現するため、端面方向からの観察機能を用いた融着接続機を開発した。

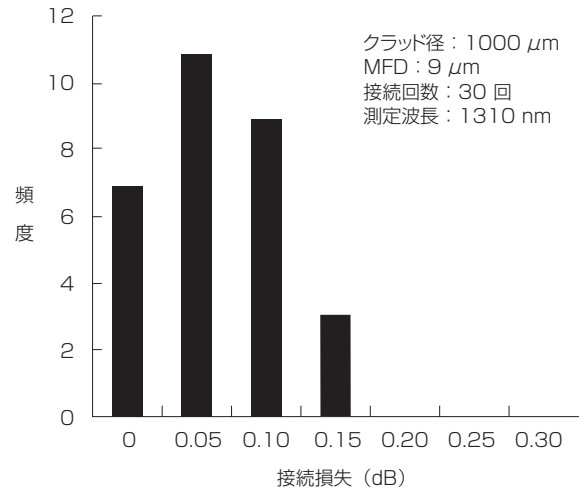


図6  $\phi 1000 \mu\text{m}$  光ファイバの接続損失分布  
Fig. 6. Splice loss distribution for  $\phi 1000 \mu\text{m}$  optical fiber.

### 3.2.2 端面観察機能

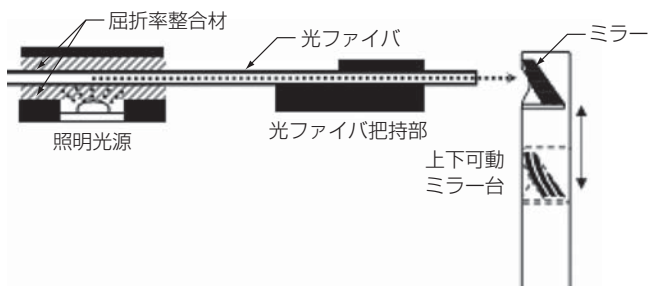
図7に光ファイバの端面観察機能の概略図を示す。装置には端面観察用の照明光源が内蔵され、光ファイバはこの照明光源の上に設置される。照明光源と光ファイバの間には屈折率整合材が配置され、照明光はこの屈折率整合材を通して光ファイバの被覆からクラッド部に結合し、端面まで伝播する。光ファイバ端面の先には上下に駆動可能なミラー台が配置され、ミラー台には光ファイバ長手方向に対して斜め $45$ 度下方向に反射するミラーが設けられている。融着接続機は、ミラーを介して撮像部に入射される光ファイバ端面の画像を観察する。

端面観察を行う場合はミラー台を光ファイバの位置まで上昇させる。また、側方観察や放電による融着接続を行う場合はミラー台を障害にならない位置まで下降させる。制御内容に応じてミラー位置を変化させることで、側方観察と端面観察の両方の機能を実現した。

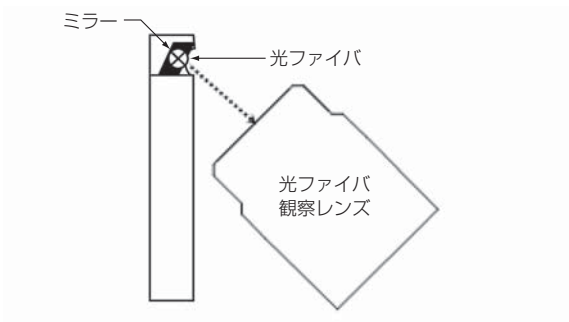
濃い色に着色された被覆を持つ光ファイバの場合、側方からの照明光がクラッド内に結合されない場合がある。このような場合、専用の外部照明光源を用い、観察側とは反対側の光ファイバ端面から照明光を入射することも可能である。

図8に本機構で取得した光ファイバ端面画像の例を示す。定偏波光ファイバの応力付与部およびコア位置、マルチコア光ファイバの各コア位置、6面体ダブルクラッドファイバの外形状とコア位置など、光ファイバの特長を高精度に観察可能である。

融着接続機内には端面観察画像を解析するアルゴリズムが搭載されていて、偏波面の方向やコア位置等の自動調心を行い、融着接続を行うことも可能である。

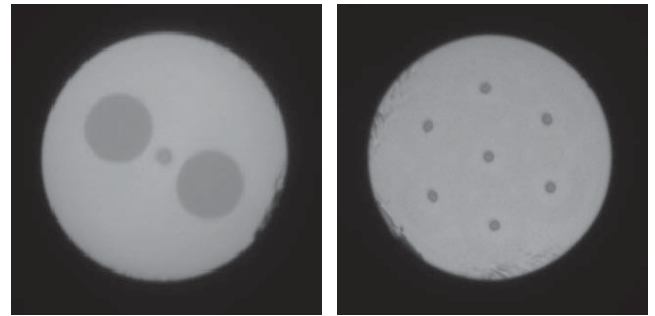


(a) 正面図



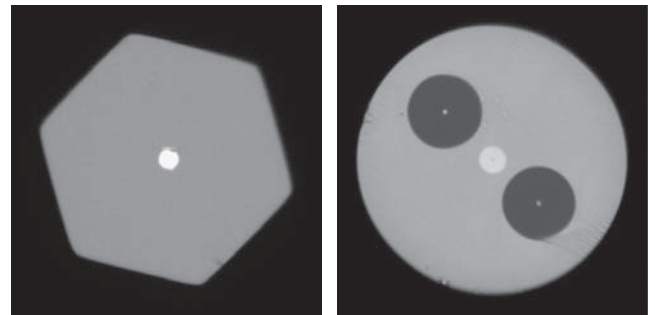
(b) 側面図

図7 光ファイバ端面観察機能  
Fig. 7. Fiber end view function.



PANDA fiber

Multi-core fiber



Hexagonal  
double clad fiber

Double clad PANDA fiber

図8 様々な光ファイバの端面画像  
Fig. 8. End view images of various optical fibers.

#### 4. む す び

光ファイバレーザなどで使用される大口径光ファイバや、側方観察ではコア位置や偏波面を測定できない複雑なプロファイルを有する光ファイバの融着接続を実現するため、電極棒の上下駆動機能、光ファイバ端面観察機能を搭載した、高性能特殊光ファイバ融着接続機を開発した。これらの新機能を使用することにより、従来では接続が困難であった光ファイバを高品質に接続することが可能である。