

# コア直視型融着機 S175 の開発

## Development of Direct Core Monitoring Fusion Splicer S175

田邊明夫\*  
Akio Tanabe

山本和憲\*  
Kazunori Yamamoto

風間純一\*  
Jun'ichi Kazama

加藤路彦\*  
Michihiko Kato

原田慎二\*  
Shinji Harada

三島誠良\*  
Seiryu Mishima

小嶋秀和\*<sup>2</sup>  
Hidekazu Kojima

日野連海\*<sup>3</sup>  
Tsuremi Hino

鈴木信春\*  
Nobuharu Suzuki

川添英世\*<sup>2</sup>  
Hideyo Kawazoe

概要 海外の通信ケーブルやWDM関連の光部品内など依然として需要の多い単心型光ファイバであるが、その接続装置として当社はコア直視型融着機S174を市場に供給してきた。今回、さらなる小型軽量化を図るとともに、動作時間を大幅に高速化した新製品S175を開発した。基本性能の向上だけでなく、豊富な機能も新たに付加しており、特殊ファイバの接続用途向けに特殊セッティングを施したS175Kもラインナップに加えている。

### 1. はじめに

国内では光ファイバの伝送容量を高密度化するため早くから時間分割多重 (TDM) に空間分割多重 (SDM) を組み合わせてきたのに対し、海外、特に北米では波長分割多重 (WDM) との組合せに移行し、光部品市場を急成長させることとなった。

この変化に対応して光ファイバ融着接続機の需要も、光ファイバ通信ケーブル敷設のための工用具として堅調であるだけでなく、光部品製造のための工場内設備としての範囲でも伸びつつある。

本稿では、それぞれの用途に対応すべく開発した、コア直視型融着機 S175 及び S175K の特徴について述べる。

### 2. 装置構成

本機は、コア調心機能を有する単心型ファイバ専用融着接続機である。融着のための熱源は、従来方式と同じくアーク放電により得る。空間分割多重に対応する多心テープ心線の接続は不可能であるが、これにはS148等の他の機種で対応している。

前述のように単心型光ファイバは、通信ケーブル(主に海外)や光部品内で用いられているが、それらの特徴を分類すると以下ようになる。

#### (1) 通信ケーブルとしての特徴

- ・種類が少ない。(主にSM, MM, DS)
- ・同種間の接続が主である。
- ・品質が比較的低い場合が多い。(コア偏心量が大き)

#### (2) 光部品内配線としての特徴

- ・種類が多い。(EDF等, 特殊タイプ)
- ・異種間の接続が多い。

前者の用途に適応させた機種がS175, 後者の用途に的を絞った機種がS175Kであり、後に述べるアーク放電設計と接続損失

表 1 装置の主な仕様  
Specifications of S175

項目	内容	備考
大きさ	181 × 285 × 181mm	従来比約2割減
重量	6.3kg	従来比約2割減
電源電圧	AC85 ~ 264V DC10 ~ 16V	
消費電力	20W (待機時) 70W (最大)	
接続損失	平均 0.03dB以下	当社SMファイバ使用
損失推定精度	± 0.05dB (<0.4dB) ± 15% (>0.4dB)	
接続時間	20sec	従来比約3倍速
加熱補強時間	90sec (含冷却工程)	従来比約1.1倍速
動作モニタ	5inchカラーLCD XY2画面同時表示 拡大倍率自動切替 ( × 132 × 264 )	



写真 1 装置外観  
Appearance of S175 fusion splicer

\* ファイテル製品事業部 設計開発部 線路機器課

\*<sup>2</sup> ファイテル製品事業部 設計開発部

\*<sup>3</sup> ファイテル製品事業部 ファイテル技術部

推定方式が異なる。

### 3. 装置概要

#### 3.1 装置諸元

S175の主な仕様を表1に示した。基本的にS175・S175K共通であるが、接続損失や推定精度、接続時間についてはファイバ種によって異なる。

#### 3.2 装置外観

写真1に装置の外観を示した。外観はS175, S175K共通である。軽量・堅牢化のため、ボディはアルミダイキャスト製とした。写真には含まれていないが、装置上部を覆うポリカーボネイト製の半透明カバーが付属品として付く。このカバーは、取りつけたままでも接続が可能のように設計されており、地下鉄線路脇など極端な強風下での作業時にアーク放電が影響を受けるのを防ぐことができる。本体そのものにも風の進入を防ぐ工夫がしてあり、通常はカバーを使用する必要は無い。

操作ボタンは大型化し、操作しやすいよう液晶モニタの隣に配置した。

手前には作業台を取りつけるフックがあり、平坦な場所が少ない工事現場などでの工具類の置き場を確保する。

#### 3.3 機能

##### 3.3.1 ファイバ種自動認識機能

アーク放電の強度や時間等の最適条件は、光ファイバの種類によって異なる。従来は、作業者の判断でプログラム変更を行っていたが、本装置では画像処理によってファイバ種を判定して自動的にプログラムを切り替える(SM, MM, DSの3種)機能を有する。手動選択も可能である。

##### 3.3.2 ミスマッチ損失警告機能

マルチモードファイバは、コア径50 $\mu$ mと62.5 $\mu$ mのものが多く使用されているが、現場でどちらかを判別することは非常に難しい。誤って接続すると大きな接続損失を発生することとなる。本装置では、画像処理により2本の光ファイバの差を判別して警告を発する機能を有する。シングルモードファイバでも有効である。

##### 3.3.3 自動追加放電機能

S175にオプション設定されているアッテネーション機能 故

意にコアをずらして接続し、所望の光損失を得る機能)や、S175Kでの異種光ファイバ接続時に有効で、画像処理を利用して接続状態が最適化されるまで追加放電を自動的に繰り返す。

#### 3.3.4 マルチ表示画面

写真2のように5インチのカラー液晶画面に以下の情報を表示する。

- ・ファイバ観察像(2方向観察画面の同時表示)
- ・工程名(多国語対応)
- ・操作補助メッセージ(多国語対応, スクロール表示可能)
- ・融着プログラム名
- ・加熱補強プログラム名
- ・加熱補強器動作モニタ
- ・放電回数カウンタ(電極棒寿命警告機能付き)
- ・時計(2000年問題対応カレンダー内蔵)

#### 3.3.5 接続データメモリ

接続の日時や接続損失等を400回分記憶するメモリを有する。装置画面上での度数分布グラフ作成や、パソコンに接続してのデータ転送が可能である。放電強度を補正するために行う「放電検査」の情報も100回分記憶している。

#### 3.3.6 リモートコントロール

オプション設定で以下の機能を有する。

- ・装置の遠隔操作
- ・融着プログラム等の管理
- ・画像データの管理

#### 3.3.7 高速加熱補強器

40mm及び60mm長の補強スリーブに最適化させた温度分布を有するヒータエレメントと、送風能力の高い冷却ファンを組み合わせて補強工程の時間短縮を図った。60mmタイプの補強スリーブで、加熱工程70秒、冷却工程20秒の計90秒で補強が終了する。光ファイバを両手で持ったままで加熱補強器へ設置できるようにした自動クランプ機構と、補強スリーブ内の光ファイバのたるみを自動的に無くす張力印加機構を有する。

#### 3.3.8 手元照明ランプ

超高輝度タイプのLEDランプ2個を使用し、光ファイバ位置決めV溝を照射するように配置した。暗所で光ファイバを装置にセットする際に有用である。

### 3.4 装置構造

#### 3.4.1 光学系

図1に光学系の模式図を示した。光ファイバの3次元位置を正確に計測するためには直交する2方向から観察することが必要であるが、本装置ではそれぞれの観察方向に応じて完全に独立した光学系を配置した。従来の方式では、1つの光学系を用いて観察位置を移動させることで2方向観察に対応しており、停止位置が毎回微妙に異なるために画像処理に誤差を生じる原因となっていたが、本装置ではこの誤差がゼロになった。同時に移動時間もゼロとなり、接続時間の高速化に大きく貢献している。

また、従来の2方向観察方式では光ファイバ近傍に観察ミラーを配置する必要があり、このミラーが傷や汚れなどにより劣化して交換頻度の高いメンテナンス部品となっていたが、本装置では不要となり、装置のMTBFが向上した。

独立2系統の光学系を装置内にレイアウトする場合は、アーク放電の電極棒とのスペースの取り合いが難しくなる。光ファイバのコア測定の精度を維持するためにレンズの開口径(N.A.)

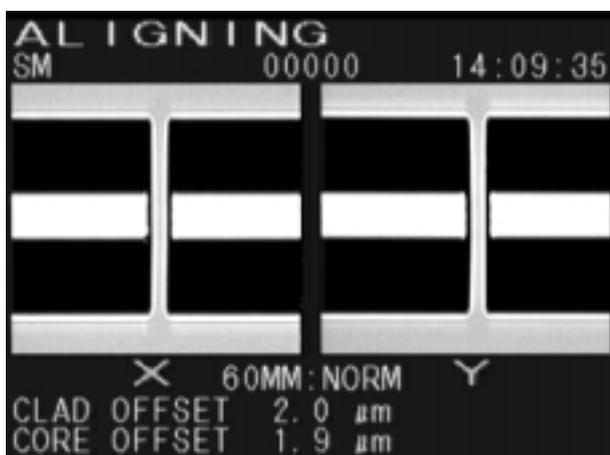


写真2 液晶モニタ画面  
LCD display

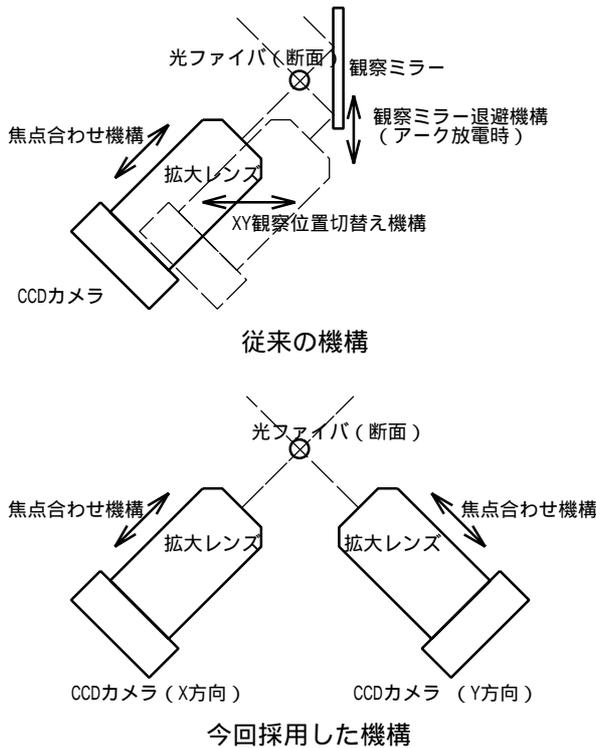


図1 光学系の比較  
Comparison of optics design

を大きくする必要があり一方で、高電圧の電極棒とは十分な距離を確保して放電のリークを避けなければならない。本装置では開口数を小さく抑えつつ、コアの観察像を鮮明に保つために、故意に微弱な収差を与えたレンズを専用設計して搭載している。

3.4.2 画像処理装置

光学系を独立2系統設けたことにより、2つの観察像を同時に得られるようになった。一方、NTSC規格のカメラから出力される映像信号は1/30秒で1画面分となっており、画像処理回路内での計算処理に必要な時間に比べて圧倒的に大きい。本機では、カメラの映像信号を画像処理回路に取り込む方式を工夫し、得られた2つの観察像を同時に処理することで、時間を大幅に短縮することができた。

図2に画像取り込み方法の模式図を示した。2つのインターレース方式のカメラを同期させ、出力映像信号を1フィールドごとに切り替えてA/Dコンバータでデジタル化することにより、1つの画像を取り込むのと同じ時間で2つの画像を取り込むようにした。それぞれのカメラの半フレームのみを使用するために走査線と直交する方向の解像度は半分になるが、走査線が光ファイバと直交するようにカメラを縦置きに配置してあるため、画像データの中で最も重要な情報である「光ファイバの軸ずれ」方向への解像度は減っていない。

また光ファイバの切断面の形状測定など、特に光ファイバの長手方向への解像度が必要な場合は、スイッチを切り替えずに一方のカメラのみをA/Dコンバータに接続させ、1フレーム分の画像を取り込んで処理している。

取り込んだ後の画像データはスキャンコンバータで走査方向を変換してから液晶モニタに表示しているが、この際にデータの間引き処理等により表示倍率の変換や表示位置の微調整を行っている。

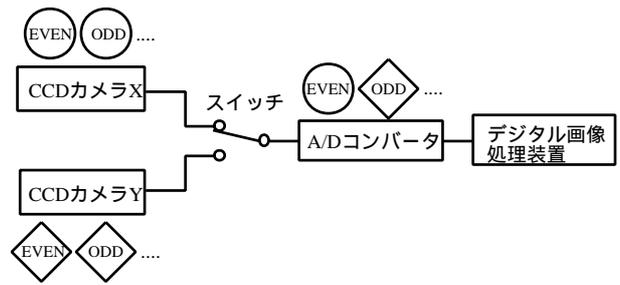


図2 2つのカメラからの映像信号の取り込み  
Capturing image data

3.4.3 調心装置

図3に調心装置を示した。

2本の光ファイバの軸合わせを行うにはXY方向の移動ステージが必要になる。従来は装置を小型化するために、一方の光ファイバをX方向に、他方をY方向のみに移動させるよう、調心機構を2つに分散させていた。しかしこの方式では調心終了時の光ファイバの3次元位置が定まらず、高さ方向の位置ずれはアーク放電から受ける熱量ばらつきとして、水平方向の位置ずれはZ方向ステージ（光ファイバ突き合せ送り）との位置関係の変化による位置決め不良として、接続損失を増加させる要因となっていた。

本装置では、一方の光ファイバのみをXYの2方向に調心し、他方をZ方向送りに専念させる構成を採った。

XYリニアガイドを介してフローティングされているV溝ブロックを、ベアリングを介して2本のてこアームで支えており、一方のてこアームが回転すると他方のてこアームのベアリングがガイドとして作用する。ベアリングとV溝ブロックの接点に

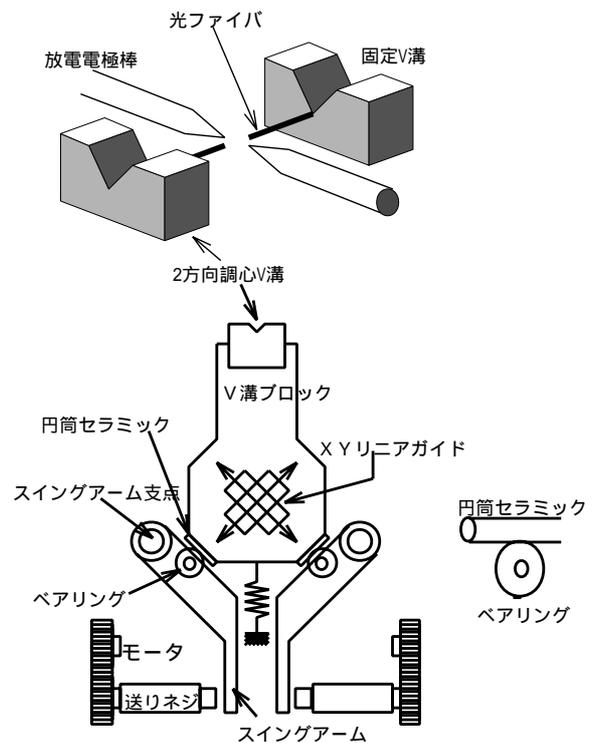


図3 調心機構  
Aligning mechanism

は、円筒形セラミック部材が直交して設けられており、ばねの反力を発生する位置が一点に定まるように設計されている。反力発生位置の変化は機構部にサブミクロン台の歪みを発生させ、調心不良などの不具合を引き起こすためである。

また、本調心機構ではV溝ブロックの移動方向を光学系のXY方向とそれぞれ直交させてあり、一方のカメラで測定される光ファイバの軸ずれは一方のモータだけで調心できるようになっている。2方向からの軸ずれを同時に測定した後、モータも2つ同時に動作させ、調心時間を短縮している。

### 3.4.4 アーク放電設計

アーク放電は加熱領域の大きさから狭域放電と広域放電の2タイプに分けられる。図4に模式図を示した。

コアがクラッド軸心に対して偏心している場合、コアの軸合わせをして接続すると、クラッド軸心のずれが発生する。ところが、熔融した接続部が発生する表面張力は、クラッド軸のずれを減らす方向に作用し、結果としてコア軸のずれを発生させる。表面張力により移動する方向と距離を推測して、あらかじめ故意にコアをずらして軸合わせするIAS(Intentional Axis Shift)制御を行っているが、加熱領域を狭くして変形範囲を狭めた方が表面張力の影響を制御しやすい。

また、光ファイバの切断面の品質は接続損失に大きな影響を与えるが、その影響を減らすためには、切断端面の近傍のみを充分に加熱溶融させたほうが好ましい。

したがって通信ケーブルの接続を主眼とした場合、狭域放電が適している。S175では狭域放電を得るため、アーク放電の中心と光ファイバの軸心を一致させ、アーク放電強度は比較的弱く設定している。

一方、異なる種類(異なるモードフィールド径)の光ファイバを接続すると、接続部にモードフィールド径の段差が生じて光損失(ミスマッチ損失)が発生する。アーク放電の熱でこの段差を滑らかにすることによって、ミスマッチ損失を緩和させるこ

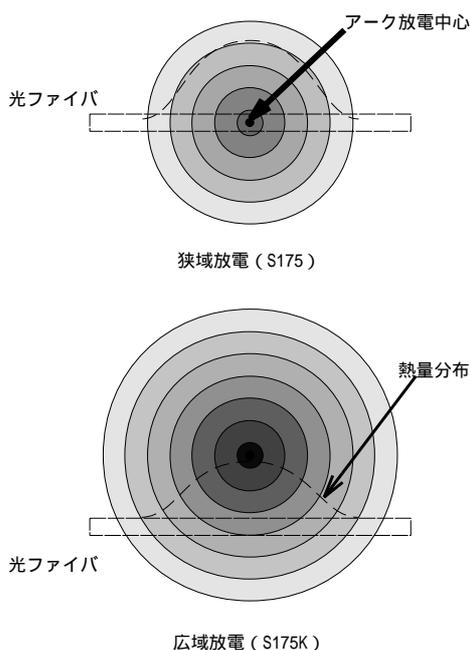


図 4 アーク放電の熱量分布図  
Distribution of heat of arc discharging

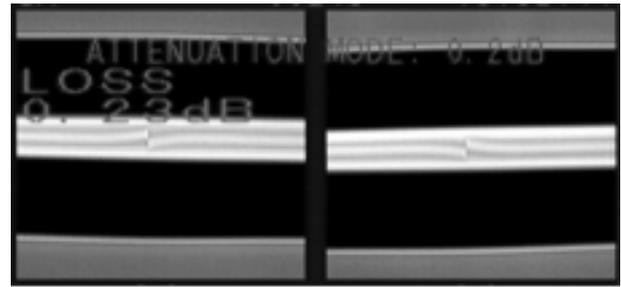


写真 3 接続部のコア変形  
Micro bending deformation of spliced point

とができるが、段差をより滑らかにするためには広い範囲を加熱することが好ましく、広域放電が適している。そこでS175Kでは光ファイバの軸心からアーク放電の中心をオフセットさせ、アーク放電強度を強く設定している。それにともなってアーク放電を発生させる高圧電源を、強い出力のタイプに変更している。

### 3.4.5 接続損失推定プログラム

接続損失の推定は、光ファイバコアの形状を画像処理で認識して行う。評価項目は従来の軸ずれ及び倒れ角度に加え、接続部のマイクロベンディングを新たに追加して推定精度を向上させた。写真3にマイクロベンディングの様子を示した。マイクロベンディングの発生要因は、主に光ファイバ表面の汚れによる位置決め不良やアーク放電条件の不良であるが、アッテネーション接続時に必ず発生するため、アッテネーション精度の向上にも貢献している。プログラム開発にはFITEC科学技術センターの協力を得た。

更にS175Kでは、異種ファイバ間の接続時に発生するミスマッチ損失の変化を、コアの様子の変化を尺度として推定する方式を採用入れた。図5にグラフを示した。横軸はコアコントラスト変化率と呼ぶパラメータで、接続前のコア画像の鮮明さを基準としたときの接続後のコア画像の鮮明さの変化を比率で表したものである。コア画像の鮮明さはアーク放電を繰り返す毎に低くなるが、接続損失は一旦減少してから上昇に転ずる。接続損失を極小にするコアコントラスト変化率は、ファイバの種類や波長によって異なるが、決まった組合せのファイバ間においてはアーク放電の強度の変化をさほど影響を受けずにほぼ一

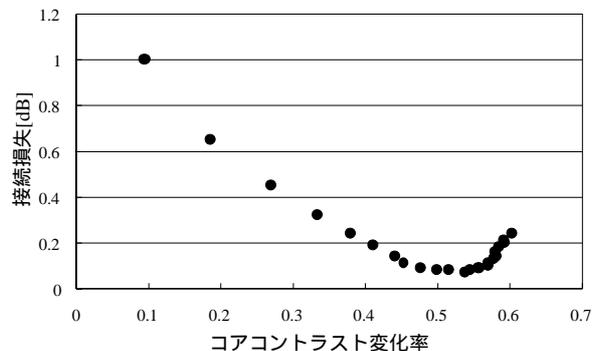


図 5 コア画像の変化と接続損失の関係  
Splice loss vs. deformation of core image

定値をとる。この曲線によって接続損失を推定するとともに、自動追加放電機能と組み合わせて、最小の接続損失値を安定して得ることが可能となった。

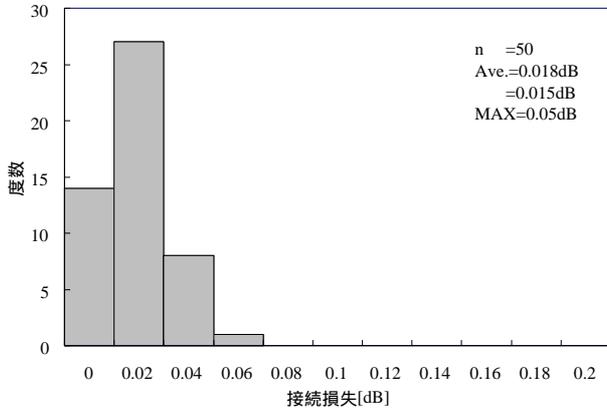


図6 SMファイバの接続損失分布  
Histogram of splice loss for single-mode fiber

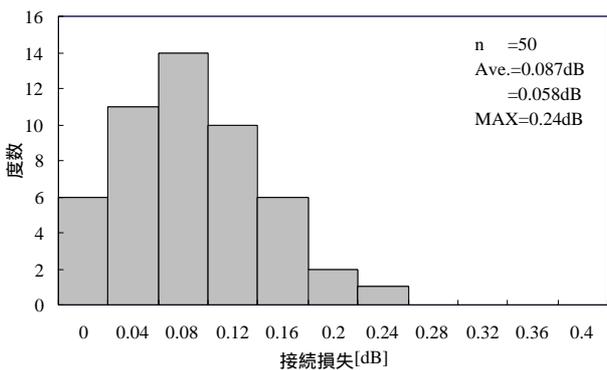


図7 コア偏心SMファイバの接続損失分布  
Histogram of splice loss for single-mode fiber of high core eccentricity

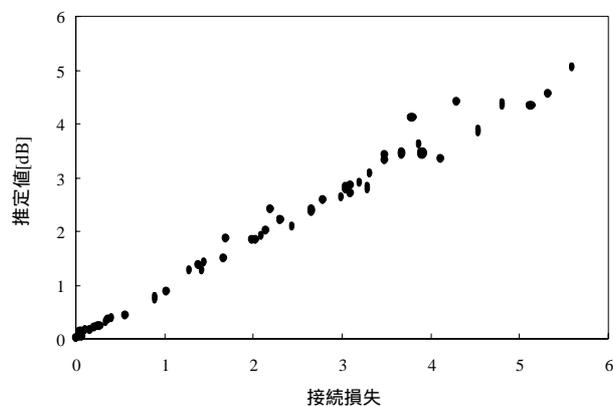


図8 マイクロベンディング発生時の接続損失推定精度  
Accuracy of splice loss estimation under the presence of micro-bending

## 4. 特性

### 4.1 S175の接続損失及び推定精度

図6にシングルモードファイバ(当社製)の接続損失の分布図を示した。マルチモードファイバやDSファイバについても同様の試験を行ない、低損失であることを確かめた。

図7にコア偏心量1 $\mu$ mのシングルモードファイバを接続した際の接続損失の分布図を示した。

図8にシングルモードファイバを使用してマイクロベンディングを発生させた場合の接続損失と推定損失の相関を示した。

### 4.2 S175Kの接続損失及び推定精度

図9にEDF(Lucent社製HE980)とSM(Corning社製SMF28)を接続した場合の接続損失の分布を示した。通常の接続方法では0.7dB前後のミスマッチ損失が発生するのに対し、広域放電と自動追加放電機能を組み合わせたS175Kでは約0.1dBまで低減させることができた。接続損失値に差はあるものの、様々な製造元の光ファイバの組合せにおいて同様の試験を行ない、低損失であることを確かめた。ただし、特殊ファイバ等には製造ロットごとのモードフィールド径のばらつきが大きいものが多く、その場合は設定を微調整する必要がある。

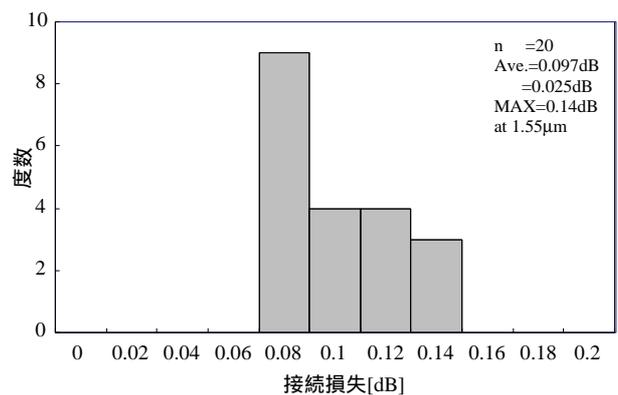


図9 EDFとSMファイバの接続損失分布  
Histogram of splice loss between erbium doped fiber and single-mode fiber

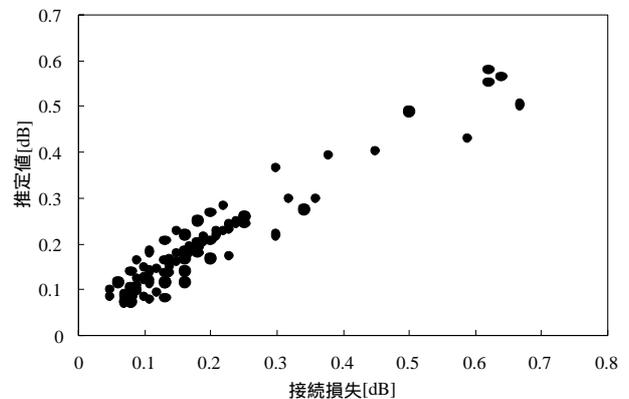


図10 EDFとSMファイバの接続損失推定精度  
Accuracy of splice loss estimation between erbium doped fiber and single-mode fiber

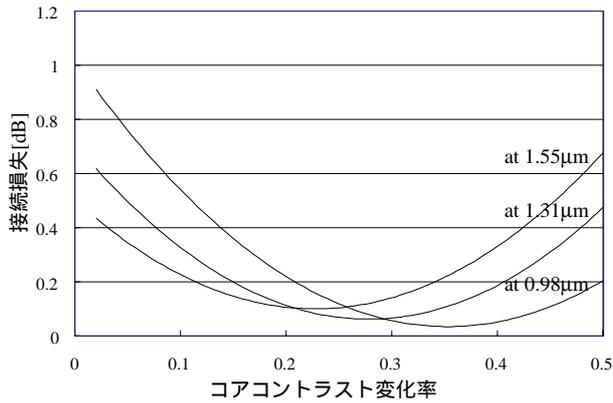


図 11 異種ファイバ接続時の接続損失波長依存性  
Wave length dependency of dissimilar fiber splicing

表 2 信頼性試験結果  
Results of reliability tests

主な評価項目	結果
低温 ( -15 ) 環境下での接続特性	変化無し
高温 ( +50 ) 環境下での接続特性	変化無し
高湿度 ( 38 , 90%RH ) 環境下での接続特性	変化無し
低圧 ( 640Hpa , 高度3660mに相当 ) 環境下での接続特性	変化無し
低温 ( -40 ) 及び高温 ( +60 ) で保存した後の接続特性	変化無し
振動試験 ( 1.5G , 10 ~ 500Hzまで0.1オクターブ / 分でスイープ ) の接続特性	変化無し
収納ケース梱包状態で1.2mから落下させた後の接続特性	変化無し

図10に上記組合せの接続時の接続損失と推定損失の相関を示した。最適接続条件以外での精度も示すために、アーク放電時間を過剰に与えた場合と不足させた場合によって生じる接続損失の大きな領域も加えてある。推定誤差を発生させる要因は、光ファイバの切断面の品質ばらつきとモードフィールド径のばらつきによるところが大きい。

ミスマッチ損失はモードフィールド径 ( スポットサイズ ) の関数であり<sup>1)</sup>、モードフィールド径は波長の関数であるから、ミスマッチ損失は波長依存性を有する。波長の変化に対するモードフィールド径の変化量が、光ファイバのプロファイルによって異なるためである。

図 11 に EDF ( FiberCore 社製 DF1500F-0980 ) と FlexCor™-106Q ( Corning社製 ) を接続した場合の、コア画像の変化と接続損失の関係を示した。接続損失を極小にするコアコントラスト変化率は波長ごとに異なっており、使用する波長ごとに異なる設定を行なう必要があることがわかる。

#### 4.3 信頼性試験

表2に装置の主な耐環境特性試験の結果を示した。その他の項目についても Bellcore 仕様<sup>2)</sup>に準拠した評価を行い、問題の無いことを確認した。

## 5. おわりに

小型軽量化、接続時間・加熱補強時間の短縮、接続損失推定精度の向上など基本性能を充実し、機能面でもファイバ種類の自動認識機能や5インチ液晶画面への2方向観察画面同時表示など使い勝手を向上させたコア直視型融着機S175と、特殊ファイバの接続用途に重点を置いた専用融着機S175Kを開発した。

装置の信頼性についてはBellcore仕様に準拠した評価を行い、問題の無いことを確認した。

今後は、クラッド非接触方式により接続部の破断強度を向上させた高強度融着接続機の製品化を予定している。

#### 参考文献

- 1) D. Marcuse : The Bell System Technical Journal , Vol.56 , No.5 , May-June , 1977 , pp.703-718
- 2) Bellcore Generic Requirements for Single Fiber Single-Mode Optical Splices and Splicing Systems , GR-765-CORE , ISSUE 1 , SEPTEMBER 1995