

コア直視型融着機 S176 の開発

Development of Direct Monitoring Fusion Splicer S176

山本和憲*

Kazunori Yamamoto

田邊明夫*

Akio Tanabe

横溝直*

Sunao Yokomizo

風間純一*

Jun'ichi Kazama

原田慎二*

Shin'ji Harada

渡辺秀樹*

Hideki Watanabe

日野連海*

Tsuremi Hino

概要 従来は光通信網への光ファイバの敷設に使用されていた融着機であるが、WDM伝送方式が実用化されるのにもない光部品工場での製造設備として使用されることが多くなってきた。更に光部品工場が中国・アジア諸国等に移転し始め、他社が発表した新機種との価格破壊競争の様子を呈している。これらの背景からコスト競争力を高めるとともに、屋外での工事用途から屋内での光部品製造用途まで幅広くカバーする製品を開発することを目標とし、今回 S176 コア直視型融着機を開発した。構造面では樹脂部品と金属部品を使い分け、高い信頼性を持たせつつコストを抑えることに成功した。更に機能面では融着接続時間の高速化を実現し、特殊ファイバ接続に対しても対応可能とした。装置の使い勝手にも特別の配慮を払っている。

1. はじめに

インターネット等の普及に伴い、DWDMの通信方式が急速な勢いで発達してきた。それにもなつて光部品等の需要も急伸し、融着機の市場も光通信網の工事用途のみならず光部品の製造工場用途まで幅を広げて拡大している。

従来機種 S175 は工事用途を主眼に開発されたが、世界最速の融着接続時間を武器に工場用途にも数多く販売され、過去最高の売上げを記録した。一方で、光部品工場の生産拠点が東南アジア地域に移行していることにより、価格破壊競争も激しくなっている。そこで工事用途だけでなく工場用途まで広くカバーしつつ価格を抑えて開発した新機種が S176 コア直視融着機

シリーズである。形態が異なる 3 タイプをラインナップし、お客様の用途により最適な 1 台を選択していただくことが可能である。いずれも外観は異なるものの主要機構部は部品を共用しており、樹脂化可能な部品には積極的に樹脂を導入したことで合わせてコストを抑えている。

CF/CR タイプは主に工場内での光部品製造に適した設計がなされており、短いファイバ余長で接続でき、光部品との位置関係も自由に変更できるようになっている。また、接続作業者の頸骨や背骨への負担を減らすように装置を前傾させている。装置重量が軽く、バッテリーも内蔵できるので工事用途においても架空接続などに適している。



写真1 S176CF 装置外観
Appearance of S176CF



写真2 S176CR 装置外観
Appearance of S176CR



写真3 S176LP 装置外観
Appearance of S176LP

* 光接続製品部 光メカトロニクス部 設計開発 Gr.

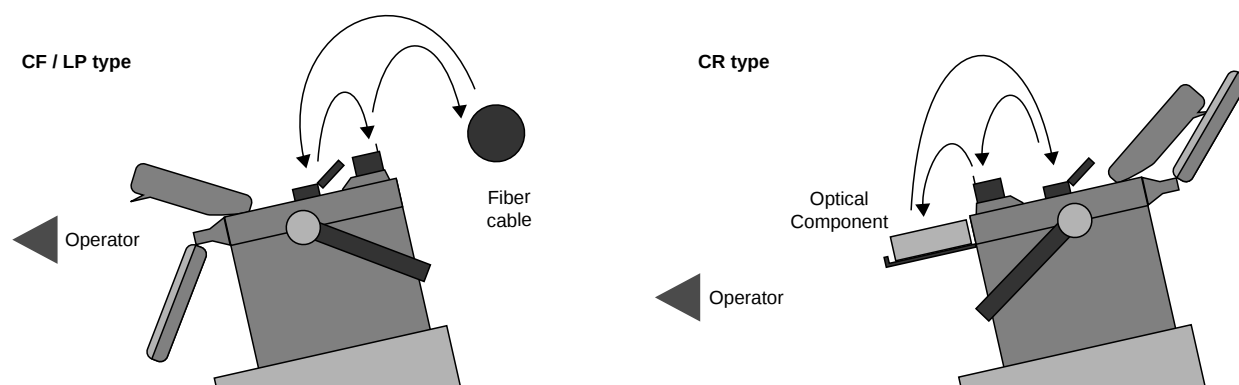


図1 装置タイプによる使用方法
Using method for the machine types

LPタイプは可動部を減らしてアルミボディで包み、頑丈さを強調して設計されており、工事用途に適している。装置の全高が低いので一部の工場用途にも適している。

いずれのタイプも融着接続時間は11秒（高速モード）と世界最速であり、多種多様の特殊ファイバの低損失接続が可能である。

2. 装置概要

2.1 装置配置

装置外観を写真1～3に示す。

CFタイプ（Cubic shape Front monitor）とLPタイプ（Low Profile）は動作モニタと融着機構部の風防カバーの開閉方向が手前側、加熱補強器が後方のレイアウトをとる。光ファイバ敷設工事では、ケーブルの配線の関係から、オペレータが融着接続機の前で操作し、接続部を収納するクロージャが後方であることが一般的であり、このレイアウトが適する（図1の左図参照）。

CRタイプ（Cube shape Rear monitor）とは動作モニタが後方にあり、風防カバーの開閉方向と加熱補強器が前側になるレイアウトをとる。光部品の製造現場では、光部品やモジュールを融着機の手前側に置いて光ファイバの接続及び収納作業を行うことが一般的であり、このレイアウトが適する（図1の右図参照）。

いずれのタイプでも、ケーブルの敷設状況や光モジュールの形状によっては逆のレイアウトのほうが使い勝手が良い場合があり、CFタイプ及びCRタイプでは、装置下の斜め形状の台座（以下ボトムベースと記す）の取付け方向を変えると同時に、ソフトウェアスイッチで動作モニタ画面の表示を上下反転させることによって相互に変換可能である。ボトムベースは取り外しても動作するが、本体をオペレータ側に傾けることによって、深く融着機後部に屈み込まなくても光ファイバを容易にセットできるようになる。

LPタイプは、従来機種であるS175と同じく動作モニタをオールアルミボディに内蔵し、頑強な構造とした。また内部部品のレイアウトを変更して作業面を低くすることにより、前処理工程との作業面高さ差を押さえ、従来機種より作業性を向上させた。バッテリーは内蔵できないが、工事用途に最適な大容量

表1 装置の主な仕様
Specification of S176

	S176CF, S176CR	S176LP
大きさ（mm）	169W×203D×179.5H 但し突起物は除く 従来機種の34%減	192W×277D×154H 但し突起物は除く 従来機種の13%減
質量	4.2 kg 従来機種の33%減	4.8 kg 従来機種の24%減
電源電圧	85～264 V （50～60 Hz） S950使用 [部品の共通化]	85～264 V （50～60 Hz）
消費電力	定常：22.66 W 最大：56.23 W	定常：28.5 W 最大：65.53 W
バッテリー駆動 （融着＋補強）	30回 （S940で5分間隔）	60回 （S942で5分間隔）
接続ファイバ種	SM, DS, MM, NZDS, CS980, CS980 - SM, FeIX1060-SM, EDF-SM etc.	
接続損失	SM：0.02 dB, MM：0.01 dB, DS：0.04 dB, NZDS：0.04 dB	
接続損失精度	±0.05 dB（0.4 dB） ±15%（>0.4 dB）	
切断長	5～16 mm（～φ0.25 mmファイバ） 16 mm（φ0.4～0.9 mmファイバ）** **オプションで10 mmにも対応可能	
接続時間	11秒（高速モード） 13秒（高精度モード） 従来機種より6秒短縮	
加熱補強時間	90 sec,（60 mmスリーブ） 40 sec（20 mm細径スリーブ）	
動作モニタ	5 inchカラーLCD 2画面同時表示 拡大倍率自動切替（×132 ×264）	

バッテリー（オプション）を本体背面に装着することができる。

2.2 装置特性

主な仕様を表1に示した。

2.3 機能

2.3.1 短切断長融着

光部品やモジュールの小型化には融着接続部の補強部材寸法の小型化がキーポイントとなっている。このためファイバチャック部分の寸法を極限まで小型し、 $\phi 0.25$ mm の被覆径を持つファイバに対してファイバ口出し長 5 mm（左右計 10 mm）での融着接続を可能としている。このため、全長 20 mm の超小型補強部材の使用が可能となった。

2.3.2 オートスタート

光部品の工場で検査工程にて製品を測定器に接続することに用いられる用途では、1 日あたりの接続回数が 300 回から 500 回におよぶ場合があり、融着接続の作業時間とオペレータへの負担を減らすことへの期待が大きい。従来の融着プログラム自動選定機能にオートスタート機能を加えることにより、オペレータに要求される作業は「ファイバを融着機にセットして風防カバーを閉めるだけ」になる。

2.3.3 放電テスト

光ファイバを溶融させるためアーク放電の強度を最適化させるために、従来機種では融着プログラムの種類ごとに放電テストを行う必要があった。光ファイバ種が少ない場合は大きな問題にはならないが、光部品に用いられているように特殊ファイバの種類が増えてくると大きな作業負担になる。本機では放電テストの結果をすべての融着プログラムにフィードバックさせており、1 日の作業開始時に放電テストを 1 回行えば、それ以降は融着プログラムを変更しても再度放電テストを行う必要はない。

2.3.4 推定接続損失

S176 では従来の軸ずれ、曲がり、傾き、ミスマッチ損失による接続損失の推定にくわえて、更に端面角度の項を追加して推定精度を向上させた。

接続部の検査については一部を簡略化した「高速モード」も選択でき、融着時間を優先させる場合に適用できる。

2.3.5 異種ファイバ接続

光ファイバ通信網で用いられているノンゼロ分散シフトファイバや、光部品製造時に用いられる小モードフィールド径シングルモードファイバやエルビウムドープファイバ等、豊富な融着プログラムが用意されている。異種間接続では、S175K で用いられた自動追加放電機能により安定した TEC 融着（モードフィールド径の段差を滑らかにする技術）が行えるようになっている。

融着プログラムは 64 種類まで内部記憶可能で、オプションのリモートコントロールプログラムによりパーソナルコンピュータに無制限に外部記憶することも可能である。

2.3.6 アッテネーション接続

軸ずらし融着により所望の光減衰量を得るアッテネーション接続、所望の軸ずらし量を得る軸ずれ融着、光パワーメータと PC との連携による高精度アッテネーション接続が可能である。

2.3.7 加熱補強器

従来型の 40 mm 及び 60 mm 長の補強部材にくわえて 2025/30 mm の小型補強部材にも対応したヒーターエレメントを開発した。冷却を確実にし、トータルでの加熱補強時間を短縮する冷却ファンも内蔵している。

2.3.8 リモートコントロール機能

PC と接続し、融着プログラムの編集及び保存、ファームウェアのバージョンアップ、故障診断等が行える。前述の高精度アッテネーション接続も可能。

2.3.9 ショートカットキーの追加

融着機の各種特殊機能やプログラム変更等、複雑なツリー構造となっているが、頻繁に使う機能を記憶させておいてボタン一つで呼び出すことが可能。融着動作への復帰も同じくボタン一つで可能。

2.3.10 ファイバーホルダーシステム

従来、コア調心型融着機の場合は、光ファイバを直接手で融着機にセットするタイトホルダータイプが採用されていたが、工場等で非熟練者が操作する場合を考慮して、ファイバホルダーシステムをオプション設定した。ファイバをアダプターにセットして前処理を行ってから、そのまま融着機に簡単にセットできるようになっており、光ファイバにダメージを与える等の危険性を回避する。

2.3.11 マルチ電源

CF/CR タイプでは、電源スロットの差し替えにより、AC 電源駆動、バッテリー内蔵、外部 DC 電源駆動の 3 電源対応となっている。

LP タイプもバッテリーは背面への装着になるものの 3 電源対応となっている。

2.4 装置構成

2.4.1 光学系

基本構成は従来機種と同じで、ファイバを直交する XY 方向から、それぞれ独立した光学系（各々の方向に対して対物レンズと CCD カメラを搭載している）を用いてファイバ像を観察している。

光学系寸法は装置の奥行き方向の寸法を決定する。従来機種は約 10 倍の対物レンズと 1/3 inch の CCD を用いていたが、S176 では約 7.5 倍の対物レンズと 1/4 inch の CCD を搭載し、現状と同じ分解能を維持したまま小型化した。光源には赤色 LED を用いているが、指向性を抑えてかつ均一化するためにディフューザを使用している。

2.4.2 画像処理装置

S176 ではフレームメモリーを 2 枚用意し、X と Y の 2 方向の CCD 画像をそれぞれ同時に取りこむようにしたため、完全な 2 方向並列処理が可能となった。また、ODD フィールドデータと EVEN フィールドデータのどちらのタイミングからでも待ち時間無くデータを取り込めるようにしたため、フレームデータの取り込みサイクル時間が従来の 120 msec から 45 msec へと大幅に短縮でき、リアルタイム性の高い処理が可能となった。

2.4.3 調心機構

従来機は図 2 に示すようにマイクロスクリーによってモーターの回転運動を直進運動に変換していた。今回はコスト削減と動作時間短縮のために偏心カムシャフトを用いている（図 3 参照）。偏心カムシャフトの偏心部分にはベアリングがはめ込まれており、調心アームと偏心カム間は滑らかに相対運動する。偏心カムシャフトにおける回転角度と垂直変位量の関係は正弦波的な動きになるが、ほぼ直線的な動作をする 45 ~ 135 度の範囲を使用している。偏心カムシャフトの使用により、モーター

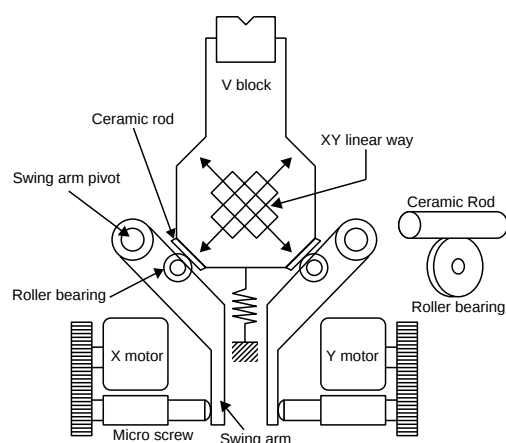


図2 S175における調心機構
Aligning mechanism of S175

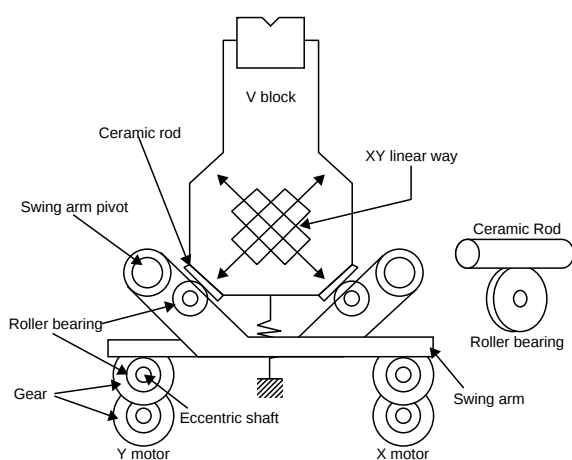


図3 S176における調心機構
Aligning mechanism of S176

1回転当たりの動作距離が従来の約5倍となり、高速調心動作が可能となった。必然的にバックラッシュによるヒステリシスが增大するが、制御方法を工夫することで解決している。

同機構は焦点合わせ機構にも用いている。

2.4.4 樹脂部品の採用

従来機とS176の部品点数（ネジ類含む）を表2に示した。総部品点数は従来機種より100点以上削減され、樹脂成形部品点数は約30点増加した。熱可塑性樹脂やガラスフィラーを混入した熱硬化性樹脂などを部品に要求されるレベルに応じて使い分けている。品質面では270000回の連続動作確認や高温多湿での接続特性など表3に示すようにさまざまな品質テストもおこなっており問題がないことを確認している。CF/CRタイプではきょう体力カバーにも樹脂を用いているが、電磁放射ノイズを抑え込むことにも成功している。（EN55022のClass2）

2.5 異種ファイバの接続

一般に光部品やモジュール製造時にはモードフィールド径の異なる2種類のファイバを融着接続することが多い。通常に接続すると接合部分でモードフィールド径のミスマッチによる接続が発生する。特にエルビウムドープファイバ等のハイデルタファイバと通常のシングルモードファイバの間のモードフィールド径の差は大きく、ミスマッチによる接続損失も非常に大き

表2 構成部品点数

The number of structuring parts

	S176	S175
総部品点数	770	881
樹脂成形部品点数	31	2

表3 信頼性試験結果

Results of reliability test

主な評価項目	結果
低温（-10℃）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
高温（40℃、90%RH）環境下での接続特性	変化無し
低圧（640 hPa、高度3660 mに相当）環境下での接続特性	変化無し
低温（-40℃）と高温（60℃）で保存した後の接続特性	変化無し
振動試験（1.5 G、10～500 Hzまで0.1オクターブ/分でスイープ）後の接続特性	変化無し
収納ケース梱包状態で1.2 mからの落下させた後の接続特性	変化無し
各種アクチュエータの270000回動作後の接続特性	変化無し

くなる。接続部分を加熱することによって、このミスマッチ損失を低減させる技術がTEC融着技術である。

接続部分を加熱するとコアのドーパントが熱拡散するが、一般にモードフィールド径が小さいファイバはシングルモード条件を満たすためにコアの屈折率が高く、ドーパント濃度が高い。したがって拡散が早く進み、モードフィールド径も早く広がる。この場合は必ず双方のモードフィールドが一致するタイミングがあり、接続損失の極小値をとる。更に加熱を続けるとモードフィールド径の大小関係が逆転し、接続損失は増大する。

装置内ではモードフィールド径を直接測定せずに、光ファイバ像の明暗コントラストの変化によって間接的に変化を定量化している。コーニング製CS980ファイバとシングルモードファイバ間の接続において、コントラスト変化と接続損失の関係を図4に示した。図4のボトムポイントで2つのモードフィールド径がほぼ一致したときと考えられる。S176ではコントラスト変化を測定しながら追加加熱を繰り返し、最適なポイントまで自動的に到達させる制御を行っている。

エルビウムドープファイバにはモードフィールド径の拡散速度が非常に早いものもあり、これらに対しては加熱温度を下げ、拡散速度を遅くするような工夫をしており、より低い接続損失が得られるようになっている。

2.6 異径ファイバ接続

異径ファイバ接続ではコア径（モードフィールド径）の差を埋める制御を行うが、クラッド径が異なるファイバ間の接続に対しては、加熱温度の制御とファイバ観察時のピント合わせ及び軸ずれ測定方法に工夫を凝らしている。

図5に直径が80 μm、125 μm、150 μmの3種類のファイバにおける放電強度と溶け量の関係を示した。「溶け量」とはファ

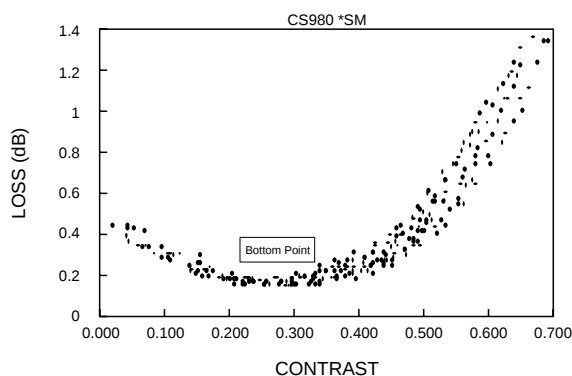


図4 接続損失とコントラストの関係
The relation of splicing loss and contrast ratio

イバ先端を加熱したときの表面張力による後退量であり、放電テストの際の評価値となる。別の実験で溶け量がいずれも90から110画素の範囲で接続損失が最小になることがわかっており、ファイバ径に対して最適となる放電強度をプロットすると図6のようになる。これらの結果からS176では使用されるファイバに対して自動的に放電の強度補正をおこなっており、ファイバ径が変化した場合でも改めて放電テストを行う必要が無くなった。

ピント合わせは左右それぞれのファイバで個別に行ってファイバ位置を測定している。

3. 特性

3.1 接続特性

通常のシングルモードファイバ間、及びコーニング社製CS980とシングルモードファイバ接続時の、接続特性ヒストグラムをそれぞれ図7、図8に示した。

CS980とシングルモードファイバは1550 nmの波長に対して、それぞれ6.76 μm と10.74 μm のモードフィールド径を持ち、理論的なミスマッチ損失は0.90 dBとなる。これに対してTEC融着の効果により実測値の平均は0.15 dBであり、2つのモードフィールド径が適度に一致していることがわかる。

3.2 推定精度

前述のように従来の軸ずれ、曲がり、傾き、ミスマッチ損失の項にくわえて、更に切断端面角度の項を追加して推定接続損失を算出している。従来の方式では光ファイバ切断器の整備不良等により、切断端面角度が大きい場合には実測接続損失に対して推定損失値が、非常に少なく表示されることがあった。

左右のファイバの切断端面間の相対的な角度と接続損失の関係を実験によって求め、従来の推定方法に補正を加えた結果を図9に示した。○が従来方式による推定値、×が切断端面角度を反映させた方式、▲が実測接続損失値である。通常の光ファイバ切断器では相対端面角度はほぼ1度以下であり、推定損失値の誤差は問題にならないが、1度を超える領域では従来の方法では極端に推定精度が不十分であることがわかる。切断端面角度を加えることにより、改良の余地は残るものの従来の推定精度よりはるかに向上してことがわかる。

相対端面角度が1度以内の領域では図10に示したように精度良く推定できている。(シングルモードファイバ間接続)

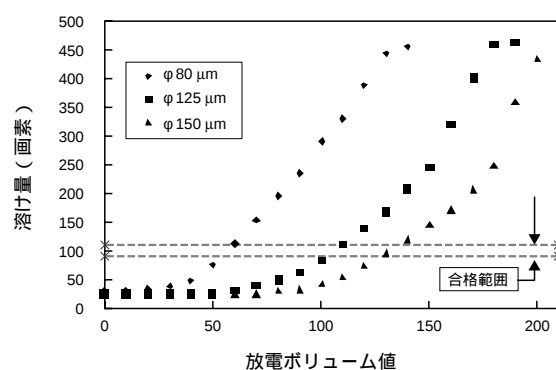


図5 異径ファイバと溶け量の関係
Retortion different diameter of fiber

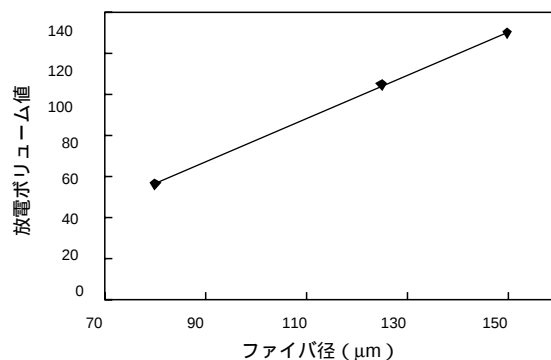


図6 ファイバ径と放電強度
Correlation between arc power and fiber diameter

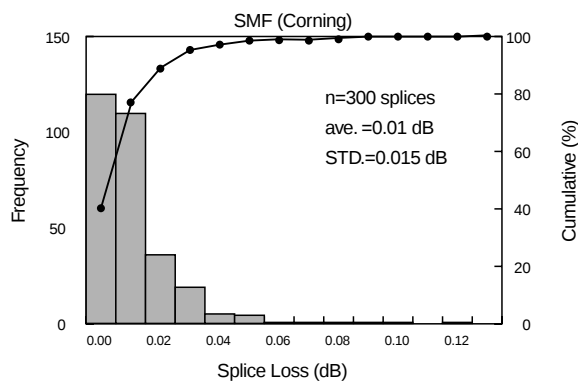


図7 SMファイバ接続損失ヒストグラム
Histogram of splice loss for SM28

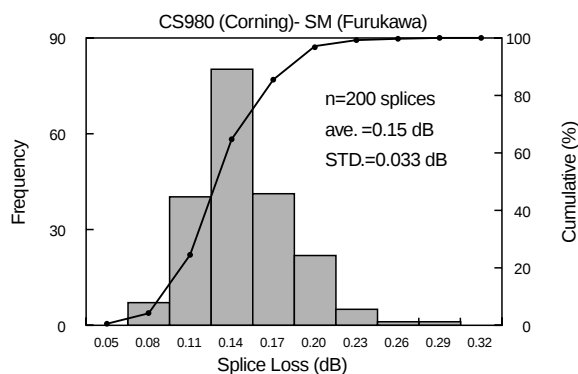


図8 CS980とSMの接続損失ヒストグラム
Histogram of splice loss between CS980 and SM

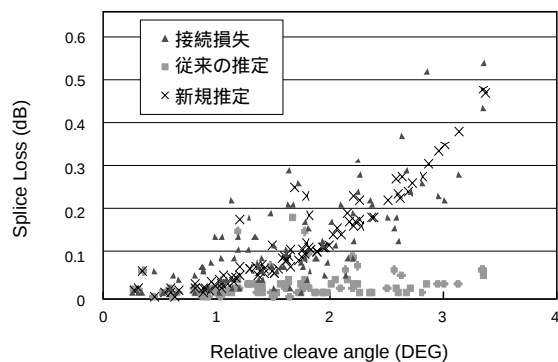


図9 推定値の比較
Comparison of estimate equations for splicing loss

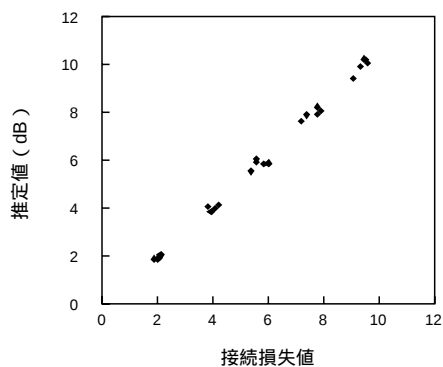


図10 SMファイバ接続損失推定精度
Accuracy of splice loss estimation for SM fiber

4. 終わりに

多様化するお客様のニーズに細かく対応すべく、3タイプのバリエーションを持った融着機をコストを抑えつつ開発することができた。加熱補強器や収納ケースの有無、あるいはファイバーホルダーシステムへの換装などお客様の要望に応じて細かく設定できることに加え、豊富なオプション品（作業効率や操作性を向上させるためのフットスイッチ、ルースチューブファイバ接続対応のホルダ、手元照明ランプ、光モジュールや収納ケースをのせるワークテーブル等）も用意した。

機能面でも超短切断長接続やバッテリー内蔵（CF/CRタイプのみ）に加え、従来比35%減の接続時間（高速モードで11秒）を達成する等、基本性能を充実させた。

既に製品化済みのハイエンド機である高強度接続型偏波ファイバ融着接続機とのラインナップで、光ファイバ通信網の敷設から光部品製造まで幅広い市場に対応できる製品構成となった。