



光ファイバ融着接続技術の歴史と今後の展望

History and Vision of Optical Fiber Fusion Splicing Technology

伊藤 謙輔*
Kensuke Ito

宮森 誠
Makoto Miyamori

佐藤 龍一郎
Ryuichiro Sato

高柳 寛
Hiroshi Takayanagi

遊佐 英明
Hideaki Yusa

本間 敏彦
Toshihiko Honma

住友電工が1980年にマルチモード型の光ファイバ用に固定V溝型の光ファイバ融着接続機「TYPE-3」を世に発売開始した以降、光ファイバの技術的進歩や新たな接続工法の開発と共に光ファイバ融着接続も技術革新を繰り返し、着実に進化している。本報ではこれまでの光ファイバ融着接続技術の歴史を振り返り、進化のポイントとなった技術を紹介する。さらに今後の光ファイバ融着接続の方向性について述べる。

Sumitomo Electric Industries, Ltd. first released the TYPE-3 fixed V-groove optical fiber fusion splicer for multi-mode fibers in 1980. Over the years, optical fiber fusion splicing technology has been making steady progress with the advancement of optical fiber production technology and the development of new jointing methods. This paper looks back at the history of splicing technology and highlights the technology that marked a crucial turning point in the progress. We also discuss our perspectives on how the technology can make further headway in the future.

キーワード：光ファイバ、融着接続、コア直視、無線LAN

1. 緒 言

光ファイバ融着接続機（以下、融着接続機）とは、アーク放電によって発生する約1,800℃の熱で光ファイバ端部を溶融し、左右に配置した光ファイバの端面同士を瞬時に接続（図1）する装置である。

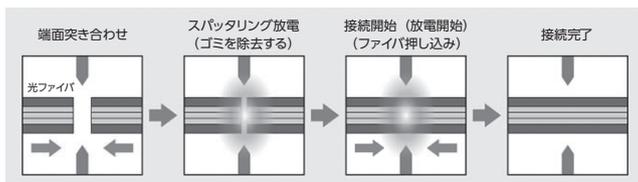


図1 放電による融着接続

日本では世界に先駆けて光ファイバケーブルの敷設が進み、今日では家庭用のデータ通信サービス（FTTH）の普及と共にインターネットやテレビ、携帯端末の利用において大容量のデータ通信サービスの恩恵を受けている。一方で世界各国においても光ファイバネットワークの構築は急速に進んでおり、幹線系やFTTHの敷設工事のみならず、光通信機器の組立工場においても融着接続機を活用する機会が飛躍的に増えている。

当社は1980年に当社初となる融着接続機TYPE-3の販売を開始した。当時の融着接続機はマルチモードファイバ

（MMF/ITU-T G.651）専用で、作業者が固定V溝に置いた光ファイバの外径位置を、顕微鏡を覗きこみながら直接観察し接続していた。このため、接続損失は作業者の技術や習熟度に依存していたが、コア径の大きいMMFでは固定V溝方式で低い接続損失を得ることができた。一方で、MMFに比べコア径が約1/5となるシングルモードファイバ（SMF/ITU-T G.652）へ対応するため、当社は1982年に光ファイバの位置合わせを行う融着接続機TYPE-11を開発し、日本初となる中継系光ファイバ網の構築に寄与した。この融着接続機では光ファイバの接続点以外の片端に光源を、もう一方に受光器を配置し、受光量が最大となるように調心を行い融着接続を行った。しかし、数百m～数km離れた位置に光源、受光器を設置する作業の煩雑さや接続時間の長さなど、まだ多くの課題があった。

そこで接続品質の安定化を目指して登場した技術が、光ファイバのコア部を顕微鏡により観察し自動調心するコア直視技術である。当時は海底ケーブル用に開発したコア直視技術であったがその後、陸上用途も含めて技術を展開していった。

2. 光ファイバ融着接続技術

2-1 光ファイバコア直視技術

1984年に販売を開始した融着接続機TYPE-33において、当社は初めて光ファイバのコア部を観察する技術を採用した。

光ファイバのコア部を観察するために、TYPE-33では高精

度・高倍率の対物レンズを搭載した顕微鏡を採用した。更にTYPE-34では撮像方式にCCDカメラを採用している。これにより光ファイバのコア部の観察とコア調心(図2)の自動化が可能となり、低接続損失で安定した融着接続が可能となった。

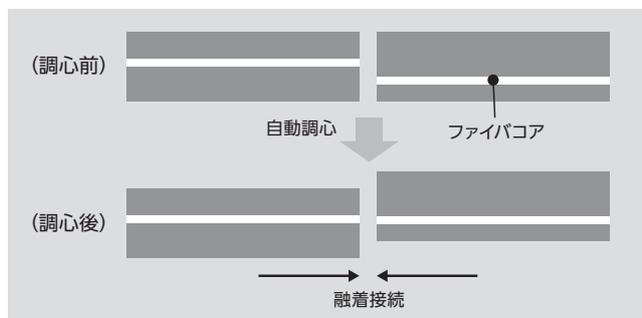


図2 コア直視による調心

2-2 小型・軽量化

TYPE-34の画像処理はCCDカメラ、制御回路、モニターなどで構成しており、質量や容積とも大型化した。

一方で日本では光ファイバの普及が進むにつれて、当初は局舎やとう道だけであった敷設工事も、マンホール内や架空など多様な環境で行われるようになっていた。このような環境変化に伴い、融着接続機には可搬性に優れた小型・軽量の製品が求められるようになっていた。

当社もその要請に合わせ、その後の製品開発においては、CMOSに代表される小型イメージセンサや専用LSI、積層型高密度実装基板を採用し小型、軽量化を進めていった。また同時にAC電源から給電できない環境での使用ニーズの高まりから1990年後半にはバッテリー駆動モデルを開発、2000年以降は小型・軽量・バッテリー搭載の融着接続機が主流となった。

2-3 耐環境性能

光ファイバの普及が世界中で加速される中、融着接続機には更に過酷な作業環境への適用が求められるようになっていった。日本においては架空、送電線といった高所作業に対応できるように耐風性能が重視されたが、他国では更に厳しい外気温、標高差、防塵・防滴、耐衝撃性といった環境性能が重視され、融着接続機も動作温度-10℃~50℃(保管温度-40℃~80℃)、高度0m~5,000m、防塵防滴等級への準拠などが要求されている。特に耐衝撃性については、融着接続機の小型軽量化(総重量削減)と衝撃吸収材の採用により、重要部品へ伝達する衝撃加速度を減衰させて、向上させている。

以降では、2000年以降の当社光ファイバ融着接続技術

の特徴と今後の展望について紹介する。

3. 住友電工の光ファイバ融着接続技術の特徴

3-1 デュアルヒータ

2000年以降、光ファイバの普及に伴い課題となったのが、ファイバ保護スリーブで接続点を保護する加熱補強時間の長さにあった。当時の融着接続機は融着接続時間が約10秒に対し加熱補強時間が約50秒を要し、融着接続機の操作に慣れた作業によっては作業に待ち時間が生じる場合があり、工事短縮のためにも加熱補強作業の短縮が期待されていた。この状況を打破したのが、世界初となる加熱補強機能を2つ備えた補強器構造(デュアルヒータ)であり、TYPE-39(写真1)に搭載した。



写真1 TYPE-39

デュアルヒータの採用により作業の手持ちは解消され、中国では複数人で分業し1台の融着接続機を操作する工法が出現することにつながった。一方で融着接続機においては、2つの補強器を連続動作させるため、電源容量を大幅に増加させる必要があった。これに対し、当社ではヒータ構造を改良して熱容量を削減し、更にはファイバ保護スリーブへの熱伝導効率を高めることで、加熱補強時間を35秒に短縮させた。これにより、電源容量の増加は20%以下に抑えられ、小型構造を維持している。

3-2 自動心線判別機能

また2000年代後半には宅内配線を目的に小さく曲げても光が減衰し難い曲げ特性強化光ファイバ(BIF/ITU-T G.657)が普及し、融着接続機にも適用が求められた。BIFはコアの周囲にドーパント(屈折率分布を形成するために添加する材料)や孔構造を有するため、SMFとは異なる融着接続条件が必要となり、作業者は融着接続する光ファイバの種類毎に融着接続条件を変更する必要があった。一方でSMFとBIFに外観上の違いはなく、その種類を目視で

判別できないため、作業者は工事仕様書等でファイバの種類を確認していた。しかし融着接続条件の設定を誤ると適切な融着接続が実施できず、接続損失の増加などの品質不具合が発生した。そのため融着接続機が自動で光ファイバの種類を判別し、適切な融着接続条件を自動で設定して融着接続を行うことが求められた。これを解決するために当社は高倍率、高精細な観察方式（対物レンズ及びカメラ）を追求し、取得した光ファイバ像を画像処理することで光ファイバの種類を判別する新機能を開発した。光ファイバは適切なフォーカス位置に観察装置を合わせるとコアの部分に特徴的な明暗が現れ、これを画像処理することでコア位置を特定し調心するが、この部分の明暗パターンがSMFとBIFで異なることを活用し光ファイバの種類を判別するアルゴリズムを搭載した。この機能により作業者は光ファイバの種類を確認することなく高品質な融着接続を実施できるようになっている。

3-3 世界最小・最軽量

FTTH接続工事は柱上など限られたスペースで効率よく作業できる融着接続機のニーズが高い。当社は小型融着接続機TYPE-25をリリースし好評を得ていたが、更なる省スペース化、作業効率化の要望が高まり、特に光クロージャ内で融着接続を行うために全高を低くした融着接続機に大きな期待が高まっていた。当社は従来の融着接続機で機能毎に分けていた制御回路の集約を図り、対物レンズやカメラなど光ファイバを観察する部品の小型化を進めることで構造の見直しを行った。これらにより世界最小・最軽量のコンパクトボディである小型融着接続機TYPE-201シリーズ（写真2）を2013年に販売を開始した。



写真2 TYPE-201シリーズ

3-4 操作性の向上

2010年頃には携帯端末としてスマートフォンの普及が日本でも急加速し、タッチパネル操作の利便性と共にその認知度が上がっていった。これに伴い、様々な分野でユーザインタフェース（UI）がボタン操作からタッチパネル操

作へ転換、浸透していった。融着接続機においても多種多様な光ファイバへ適用するため操作が複雑化した時期であり、操作性の改善が期待されていた。そこで当社では業界初となるタッチパネル搭載機TYPE-71シリーズ（写真3）を2011年に販売開始し、従来のボタン操作から直感的な操作への転換を図っている。

融着接続機へのタッチパネルの搭載においては、耐候性や広い温度範囲への適用、耐衝撃性に課題があった。このためタッチパネルの材料に耐環境性や機械的な耐久性に優れた強化ガラスを採用し、また防塵防滴性を考慮した構造も採用することで、屋外の厳しい環境下における使用に耐えるタッチパネルを搭載している。



写真3 TYPE-71シリーズ

また、近年のIoT（Internet of Things）やビッグデータ活用の流れは、融着接続機においても例外ではなく、完成度の高い工事記録（実施日時や融着接続状態の記録、データ）や、容易なメンテナンス・融着接続機の稼働管理への期待が徐々に高まっている。その中で融着接続機に内蔵された膨大な画像や接続データの活用、ソフトウェアの一括更新など、スマートフォンと同様に融着接続機を容易に操作できることが重要になっている。当社はこの期待に応えるべく、2015年に無線LAN機能を搭載した融着接続機TYPE-71C+を販売開始している。

3-5 融着接続機管理システム

昨今のインターネット等の情報通信技術の普及によりIoT技術が発展し注目されており、当社はインターネット経由で融着接続機を管理する「SumiCloud」システム（図3）を開発した。このシステムは融着接続機がクラウドサーバと接続し、融着接続情報や位置情報などのデータを蓄積・管理する。

融着接続機の管理者はクラウドサーバのデータ機能を利用することで、遠隔で工事の状況や融着接続機の状態を管

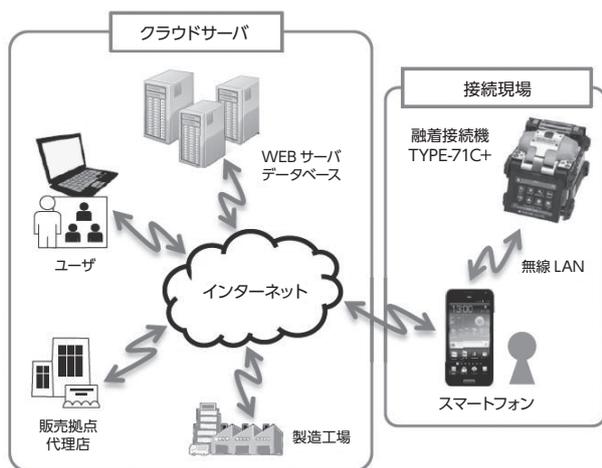


図3 SumiCloudシステム構成図

理することができ、融着接続の品質確認や工事管理を行い効率的な運用を行うことができる。

4. 今後の展望

高速通信インフラの実現に向け、世界各国で光ファイバの普及は今後も進んでいく。先端技術としてマルチコアファイバに代表される第5世代通信に向けた光ファイバの開発や細径超多心ケーブルの開発など、新世代の技術も世界各国で開発競争が進んでいる。より高度な光通信を実現するためにはあらゆる光ファイバに適応した融着接続技術の確立が重要である。そのためには今後も光ファイバのコア直視技術を中心に、付随する周辺技術と合わせて開発に取り組んでいく。

5. 結 言

光ファイバ融着接続技術の歴史を振り返り、進化のポイントとなった技術を紹介した。当社では今後も更なる高精度・高機能、付加価値の高い光ファイバ融着技術を開発し市場に提供していく。

・SumiCloudは、住友電気工業㈱の商標または登録商標です。

執 筆 者

伊藤 謙輔* :SEIオプティフロンティア㈱
グループ長



宮森 誠 :SEIオプティフロンティア㈱ 参事



佐藤龍一郎 :SEIオプティフロンティア㈱ 参事



高柳 寛 :SEIオプティフロンティア㈱
グループ長



遊佐 英明 :SEIオプティフロンティア㈱ 次長



本間 敏彦 :SEIオプティフロンティア㈱ 部長



*主執筆者