



光インターコネクション用細径マルチモード光ファイバ心線の接続技術

大村 真樹*・大塚 健一郎・田村 充章
服部 知之・濱田 真弘

Technology for Splicing Reduced-Diameter Multi-mode Optical Fibers for Optical Interconnection — by Masaki Ohmura, Kenichiro Ohtsuka, Mitsunaki Tamura, Tomoyuki Hattori and Masahiro Hamada — The authors have developed a reduced-diameter multi-mode fiber that can withstand bending and an MT-type high-density multi-fiber optical connector. To realize easy splicing of optical fibers, the authors have examined the technology for splicing fibers without removing their coatings. This report presents the structure of a mechanical splicer that allows easy fiber splicing using the V-groove positioning method, and its various optical characteristics.

1. 緒言

近年の通信伝送容量の増大にともないFTTHに代表されるような長距離通信系から高速伝送機器、情報家電のような光インターコネクション領域まで光化が急速に進展している。我々はこれまで主に高速伝送機器をターゲットとした光インターコネクション用の接続技術を検討してきた。その中で高密度／狭小空間配線を実現するため狭ピッチMTコネクタ、および曲げに強い細径高 Δ ファイバを開発し機器内配線光化の目処を得た^{(1),(2)}。

機器内の光配線形態は多心接続がメインだが、受発光素子の接続においては単心ファイバを用いるケースも想定される。この場合、ファイバの余長収納、および接続性が課題となる。従来の光接続技術では、光ファイバの位置決め精度を確保するため、光ファイバ外層の被覆を除去してガラスを露出させる工程がある。この工程はある一定の作業スキルが求められ、また、被覆除去、清掃等で専用工具が必要であるという理由から光接続作業の一つの障壁となっている。そのため被覆除去作業の省略は、光接続の簡易化、および作業コストの低減につながると考えられる^{(3),(4)}。

本報告では被覆除去不要な光接続技術として、被覆付きで高精度位置決め可能な細径光ファイバと、それを用いた簡易接続物品の試作／検討結果について報告する。

2. 設計検討

光ファイバの接続損失はコア部の不連続によって発生する。同種ファイバの接続においては①軸ズレ、②間隙、③角度ズレ、および④端面不整合（反射、端面砕け）等が損失の主要因として挙げられる。今回の被覆付きファイバを用いた簡易接続においては、光ファイバはV溝基板上での突き当て接続となるため角度ズレは小さく、その接続部には屈折率整合剤を適用するため接続端面の不連続性は補償

される（上記要因の③角度ズレ、④端面不整合の影響は小さい）。一方、ガラスより寸法精度の出しにくい被覆層を位置決め基準とするため①の軸ズレの影響が大きいと考えられる。低損失接続を実現するためには、被覆の偏心精度の向上、および接続部材上での位置決め精度がポイントとなる。

2-1 細径マルチモード光ファイバ 被覆付き接続用ファイバとして開発した細径マルチモード光ファイバの概略を図1示す。小径曲げ時のガラス応力低減と曲げ損失低減の観点から、ファイバ構造に関して、ガラス直径は従来の125 μm から80 μm に細径化し、比屈折率差は従来比約2倍の $\Delta 1.9\%$ とした。小径曲げ時のガラスの破断強度はMitsunagaの式⁽⁵⁾を用いて計算を行った。ガラスの細径化により曲げ歪を低減した結果、小径曲げ時も十分な信頼性が得られることを確認した（FIT = 0.01、曲げR = 5mm、10ターン（5年使用時））。

図2に試作したファイバの曲げ損失の曲げ径依存性を示す。高 Δn 化による光の閉じ込め作用の強化により、ファイバ曲げ半径R = 5において $< 0.1\text{dB}$ （10ターン）の低損失を実現した（測定波長850nm_LED）。

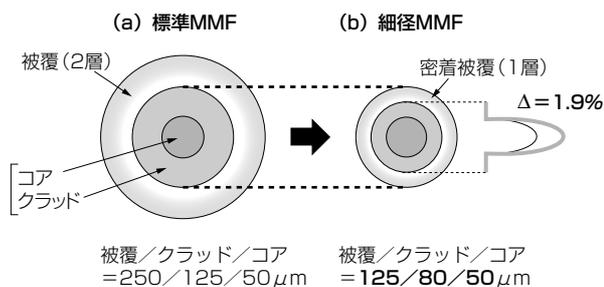


図1 標準ファイバおよび細径MMFの構造

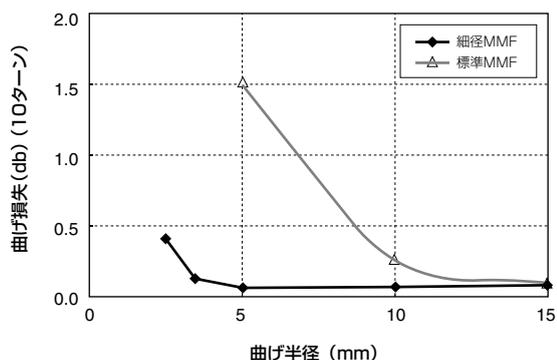


図2 細径MMFの曲げ損失特性

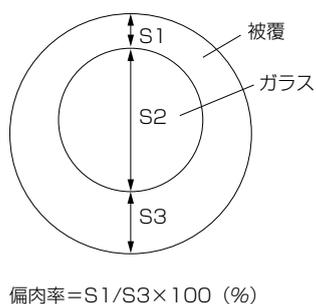


図3 被覆層偏肉率の定義

被覆構造は被覆薄肉化による被覆外径基準の光軸調心精度向上を目的として、被覆直径は標準心線径250 μ m（被覆層62.5 μ m）に対して、細径ファイバ径125 μ m（被覆層22.5 μ m）とした。今回試作した細径ファイバの被覆偏心精度は、図3で定義される被覆偏肉率において平均82.9%（最小80.8%）であった。軸ずれ換算で平均2.1 μ m（最大2.4 μ m）であり、コア径50 μ mのマルチモードファイバ接続では損失0.1dB未満と十分な特性が得られるため今回のファイバを各種評価に用いた。

2-2 被覆付きファイバ用簡易スプライス

被覆付きファイバ用簡易スプライスの構成概略を図4に示す。簡易スプライスは、大きく①ファイバ接続部、②ファイバたわみ部、③ファイバ固定部の3要素から構成される。従来のメカニカルスプライスは接続部のガラスファイバをV溝とフタで押圧固定するが、被覆付きファイバの場合、押圧時に被覆が変形し軸ズレが発生する懸念があるため、接続部は一定の撓動性を持たせファイバたわみの座屈荷重で結合を保持する形態とした。各構成部の要求仕様を以下に示す。

■被覆付きファイバ用簡易スプライスの要求仕様

①ファイバ接続部

ファイバが接続穴内でファイバ座屈力の範囲内で撓動可能なように、ファイバ外径と部材穴径は有る一定のクリアランスを有する。また、軸ずれロスを低減するためにファイバ調心機能を有している。

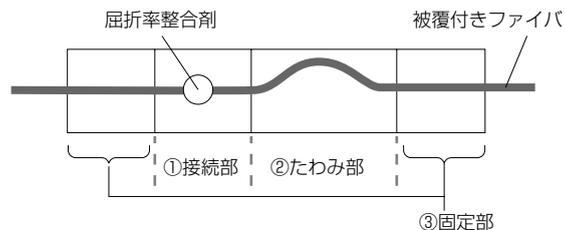


図4 被覆付きファイバ用簡易スプライスの構成

②ファイバたわみ部

曲げロスが小さく、強度信頼性が十分保障されるファイバ曲げ径で有ること。また、ファイバが挿入出来、突き当てが維持出来るファイバ座屈力を有すること。

③ファイバ固定部

ファイバが十分に把持できること。また、ファイバ押付けによる曲げロスが十分小さいこと。

上記の要求を満たすファイバ接続構造として、(a) キャピラリ方式と (b) V溝方式の2つの形態が考えられた。それぞれの接続構造の概略を図5に示す。(a)のキャピラリ方式はサブミクロンの穴径制御が可能なキャピラリ部品をベース部材に埋め込む構成である。そのため、キャピラリ部品の穴径とファイバ外径のクリアランスを最適化することで高精度の位置決めが出来、接続損失の低減が可能である。一方、(b)のV溝方式は、射出成形等でベース部材上にV溝を形成する形態をとるが、一般的に成形ではサブミクロンでの外形寸法精度の確保が困難であるためファイバの位置決め精度は、キャピラリ方式に比べ劣ると考えられる。ただし、軸ずれ許容値の大きいマルチモードファイバ接続では $\pm 5\mu$ m程度の公差でも1dB未満の接続特性が見込める。そこで今回は (b)のV溝方式を採用して接続性を追及する検討を行った。

また、そのV溝は高精度にファイバ位置決めが出来るよう、従来とは異なり形状の一部に段差を持たせてファイバ

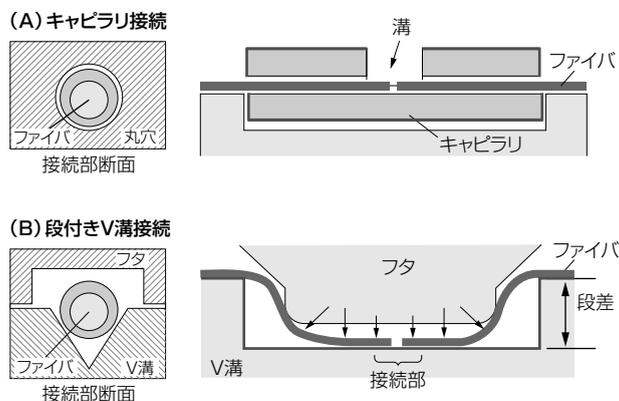


図5 接続部の構造概略

曲げ力を利用してV溝へファイバを接地させる構造とした。この形状の場合、V溝段差量が大きいかほどファイバの曲げ力が増加してV溝接地力が向上する一方、ファイバの挿入性が損なわれる。たわみ部の設計において細径ファイバのたわみ時の座屈力は5～8gf程度と小さい。この座屈力でファイバ挿入でき、かつ、低ロス性（V溝接地性）を両立するV溝段差量、ファイバ挿入角度は実験評価により設定した。

2-3 被覆付きファイバ切断方法 ファイバを相互に接続する場合、ファイバ切断面は軸に直角で、かつ鏡面状態であることが望まれる。裸ファイバの切断では、ファイバ表面に微小傷をつけた後、適切な曲率で引張応力を与える応力破断法がよく用いられている。被覆付きファイバの場合、ガラス表面を保護している被覆層を切断しつつ、かつ、ガラス表面に適切な初期傷を導入するかが技術的に重要な点となる。

通常の裸ファイバ用カッタでは、ガラス表面に直接加傷する条件となっているため刃圧が低く、被覆付きファイバを切断することが出来ない。図6に示す超硬刃を用いた「スクラッチ&バンド式」カッタの場合、刃の高さで加傷力（刃圧）が調整出来る。今回、被覆付きファイバを切断可能な条件を実験、および解析にて評価した。実験では刃高さを上げるに従い、カット面の鏡面領域が大きくなり、ある刃圧以上において図7に示すような良好カット面が得られることを確認した。この条件において細径被覆付きファイバをカットしたときのガラス部の端面角度を図8に示す。その端面角度は平均0.6°、最大1.4°であった。また、碎け、リップ/欠け等の端面不良も無く、被覆除去が必要な融着以外の接続では十分な特性が得られると考えられる。

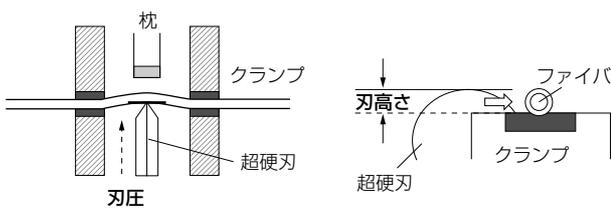


図6 スクラッチ&バンド式カッタの概要

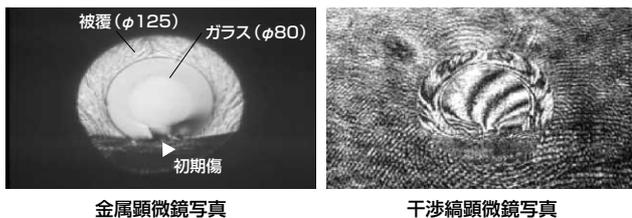


図7 被覆付きファイバのカット端面

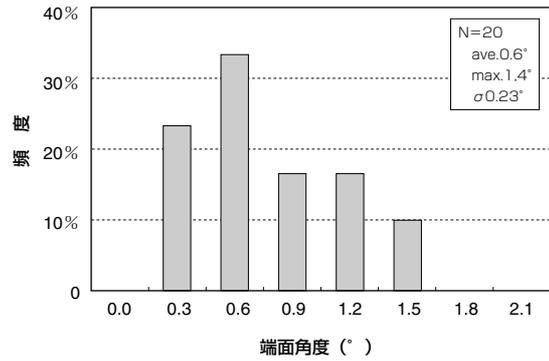


図8 被覆付きファイバのカット面角度

3. 評価結果

試作した細径マルチモード光ファイバ、および被覆付きファイバ用カッタを用いて簡易スプライスの光学特性評価を行った。

3-1 初期特性 図9に示す方法で簡易スプライスの挿入損失を測定した。測定光源は波長0.85umのLED光源を用い、定常モード励振とするため光源側にモードコンディショナーを接続した。

図10に簡易スプライスの挿入損失測定結果を示す。評価数N=30において挿入損失の平均は0.07dB、最大0.11dBと良好な結果が得られた。細径マルチモードファイバの被覆偏肉から推定される軸ズレ損失と簡易スプライス

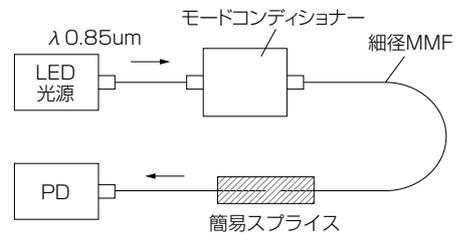


図9 挿入損失測定系

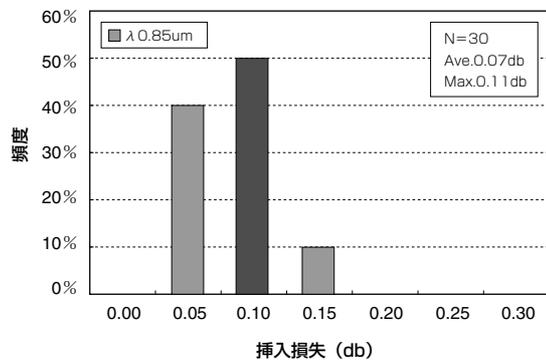


図10 簡易スプライスの挿入損失

の挿入損失はほぼ一致していることから、本溝構造（段付きV溝）にてファイバの高精度位置決めが出来ていると考えられる。また、反射減衰量は、OCWR法（JDSU製 Back Reflection Meter）による測定を行い、測定波長0.85 μ mにて平均-49.0dB、最大-46.5dBであった。

3-2 環境特性、および機械特性 次に簡易スプライスの環境特性について示す。試験条件は、温度-40～70℃、時間6hr/cycle×10cycle=60hrにて行った。また、測定光源は波長1.31 μ mのLED光源を用いた。

試験中の損失変動量を図11に示す。評価数N=10において最大損失変動量は±0.03dB未満であり、良好な結果が得られた。その他の機械特性、および環境特性を表1に示す。機械特性項目の中で振動、および衝撃試験では他の試験項目よりも若干損失が大きい傾向が確認される。V溝へのファイバ接地力よりも大きな衝撃力が加わった際に接続部にズレが発生したものと推定される。更なる信頼性向上に向けてV溝接地パラメータの最適化が課題と考えられる。

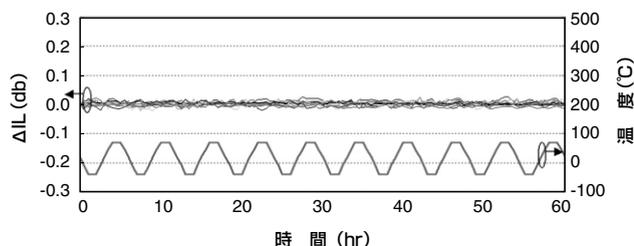


図11 ヒートサイクル試験時の損失変動

表1 簡易スプライスの機械特性、および環境特性

試験項目	条件	損失増加量 (db)	
機械特性	引張	3N 1分	Ave.-0.01 Max..0.00
	屈曲	±90° 0.05N引張曲げ10回	Ave.-0.00 Max..0.01
	振動	全振幅1.5mm、10-55Hz 3軸 2hrs	Ave.0.04 Max..0.14
	衝撃	100G 6ms 3軸 各3回	Ave.0.01 Max..0.10
環境特性	温度サイクル	-40～70℃ 6hrs/cyc×10cyc	Ave.0.02 Max..0.03
	温湿度サイクル	-10～65℃/93%RH 24hrs/cyc×10cy	Ave.0.07 Max..0.08
	高温	70℃ 240hrs	Ave.0.03 Max..0.05
	低温	-40℃ 240hrs	Ave.0.01 Max..0.03

4. 結 言

光インターコネクション用の簡易接続としてファイバたわみ力を利用したV溝調心方式によるマルチモードファイバの被覆付き簡易スプライスを開発した。ファイバの被覆偏心精度から推定される軸ズレ損失と簡易スプライスの挿入損失がほぼ一致していることから本接続方式の原理を実証した。ファイバの偏肉精度の向上、およびV溝設計パラメータの最適化で更なる特性向上が可能と考えられる。

参 考 文 献

- (1) Masaki Ohmura, Kenichiro Ohtsuka, Kazuto Saitoh, "Super High-density Optical Circuits using Downsized Fiber and Multi-fiber Optical Connectors", Proc. International Conference on Electronics Packaging (ICEP2005), pp230-235, Tokyo, Japan (Apr. 2005)
- (2) Masaki Ohmura, Kazuhito Saito, "High-density Optical Wiring Technologies for Optical Backplane Interconnection using Downsized Fibers and Pre-installed Fiber Type Multi Optical Connectors", in Proc. Conf. Optical Fiber Communication (OFC' 06), OWI71 (2006)
- (3) Hitoshi SON, Mitsuru KIHARA, and Shigeru TOMITA, "New Easily Assembled Mechanical Splicer for Direct Coated Optical Fibre Connection without Stripping and Cleaning" Proc. 33rd European Conf. on Opt. Commun., no.5, pp43-44, Berlin, Germany, Sept (2006)
- (4) 孫均、木原満、小山良、富田茂、「被覆付き光ファイバ接続用スプライスの開発」信学技報、TECHNICAL REPORT OF IEICE. OFT2007-33 (2007-10)
- (5) Y. Mitsunaga, "Failure Prediction for Long-Length Optical Fiber Based on Proof Testing," J.Appl.Phys. 53[7], 4847-4853 (1982)

執 筆 者

大村 真樹* : 光通信研究所 光部品研究部 主査
光ファイバコネクタなどの通信用光部品の開発に従事。電子情報通信学会正員。



大塚健一郎 : 光機器事業部 技術部 主席
田村 充章 : 光通信研究所 光部品研究部 プロジェクトリーダー
服部 知之 : 光通信研究所 光材料機能応用研究部 グループ長
濱田 真弘 : 光機器事業部 技術部 グループ長

*主執筆者