

高速成形 Mini-MT フェルールの開発

Development of Short-Cycle Molded Mini-MT Ferrule

前野 耕一*
Koichi Maeno

上野 孝弘*
Takahiro Ueno

椎野 雅人*²
Masato Shiino

荒井 豊*²
Yutaka Arai

高山 一洋*²
Kazuhiro Takayama

末松 克輝*²
Katsuki Suematsu

篠田 正雄*²
Masao Shinoda

高木 浩一*³
Koichi Takagi

山田 浩之*³
Hiroyuki Yamada

緑川 清*³
Kiyoshi Midorikawa

概要 光コネクタ部材の1つであるMini-MTフェルールを高速に成形する成形方法として、射出成形法が目ざされている。Mini-MTフェルールの材料、金型、成形条件及び研磨技術を十分に検討し、従来のトランスファー成形と同等レベルの精度を有するMini-MTフェルールを開発した。開発した4心Mini-MTコネクタは、光学特性において接続損失平均0.107dB、反射減衰平均45dB以上と良好な特性を示した。信頼性評価においても、接続損失変動量が安定した特性を示した。また、2心Mini-MTフェルールを用いた2心Mini-MPOコネクタは、光学特性において接続損失平均0.18dB、反射減衰量平均45dB以上と良好であり、信頼性評価でも接続損失変動量が小さく良好であった。

このように射出成形Mini-MTフェルールの光学特性はトランスファー成形と同等であることが確認された。また、射出成形は、トランスファー成形よりも成形サイクルが短縮できるため、従来のトランスファー成形フェルールよりも低コストに製造できるという特長を有しており、今後、射出成形フェルールが普及すると思われる。

1. はじめに

近年、情報ハイウェイ構想に基づく光ネットワーク事業の発展に伴い、光ファイバは構内配線においてバックボーンに使用されるようになった。一方、フロアにおいてはメタルケーブルによる従来の配線が使われているが、メタルケーブルでは伝送容量に限界があるのに対して、光ファイバはCG、CADデータ、医療分野等の画像情報やマルチメディア、デジタルビデオ会議等、高速データ通信が可能である^{1)~3)}。将来的にはデスクトップのパソコンまで光ファイバで配線するFTTD (Fiber To The Desk) になると予想され、光コネクタ部品の需要が増大すると考えられる。また、大容量データ伝送を迎えて光ファイバケーブルは多心化、高密度化が進み、これらの光ファイバを一括で接続するために、多心光コネクタの需要は急速に高まっている。

このような多心光コネクタとして、現在、MTコネクタが実用化されている^{4)~5)}。MTコネクタは要求される光学特性を満足するために、サブミクロンの位置精度を保證する高精度な技術が必要である。現在、そのようなMTフェルールは、熱硬化性樹脂のトランスファー成形により成形されており、既にその技術は確立されている。

しかし、上述したように最近、多心光コネクタの需要が急速に

立ち上がっており、今まで以上の低コスト化が要求されるが、そのためには精密でありながら従来よりも生産性が高い高速成形技術が必要となってきている。

本報告は、成形コストが廉価でありながら光学特性がトランスファー成形フェルールと同等の特性を有する射出成形フェルールの開発について報告する。

2. 基本構造

Mini-MTコネクタの構造を図1に示す。フェルールには、位置決め用の2本のガイドピン孔、ファイバを挿入するファイバ孔、ファイバをフェルールと接着させるための接着剤注入窓、光

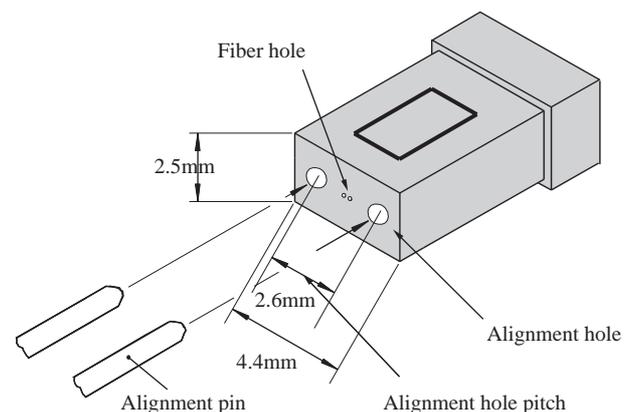


図1 Mini-MTフェルールの構造
Mini-MT ferrule structure

* 研究開発本部 平塚研究所 加工研究室

² 研究開発本部 光技術研究所 線路開発部 光ファイバ接続Gr

³ 設備部 生産技術開発センター プロセス開発部

ファイバテープとフェルールの接触による挫屈を防止するゴムブーツを挿入する挿入口が形成されている。

従来のトランスファー成形フェルールと同様に、射出成形フェルールでも良好な光学特性を得るためには、フェルールのガイドピン孔の間隔と、ガイドピン孔とファイバ孔の位置関係は、サブミクロンの精度が必要である。

図2に、実際のコネクタ同士を接続した構造を示す。図のようにファイバを線付けしたフェルールにガイドピンを挿入し、クランプスプリングをはめ込むことで、光学的に接続させる。

3. 射出成形技術

3.1 開発コンセプト

プラスチックのMTフェルールでは、フェルールのガイドピン孔径、ガイドピンピッチ、ファイバ孔径、ファイバ穴の偏心量が光学特性を左右する。現在、広く普及しているSCコネクタでは、光学特性はフェルール外径に対するファイバ孔の偏心量に依存し、挿入損失において0.1dB程度の良好な特性を安定的に供給している。多心のMTフェルールでは、多心であるがために更に厳しい寸法精度が要求される。今日では、低成形収縮率の熱硬化性樹脂の開発及びトランスファー成形技術の向上により、サブミクロンの高い寸法精度を有するMTフェルールが得られるようになった。この結果、最近では、MTコネクタが、データ通信の分野で注目されるようになった。

今後見込まれる多大な需要に対応するために、MTコネクタには量産技術と低コスト化が要求される。そこで、フェルールの低コスト化を目的として、トランスファー成形フェルールと同

等の光学特性を有しながら安価な射出成形によるMini-MTフェルールの開発を行った。

3.2 材料技術

これまでも我々は、トランスファー成形の場合と同様の検討を、射出成形について行ってきた。射出成形では、熱可塑性樹脂を用いるが、その特性上、低収縮率化が重要である。また、成形収縮率を安定させるには、成形条件や金型に依存することはもちろん、材料的に樹脂種、フィラー形状なども重要なファクターである。主成分となる樹脂の物性とフィラー形状、大きさ、分布、充填量などを十分に検討した結果、射出成形に適した材料を開発するに至った。

開発した材料は、成形安定性がよく、かつ機械的強度に優れている。成形したフェルールのガイドピン孔強度を測定したが、従来のフェルールと同等レベルの機械的強度を持っていることを確認した。

3.3 成形技術

成形は、精密金型を精密に転写することが重要である。

図3に射出成形の模式図を示す。まず、乾燥された材料を成形機の投入口より投入する。投入された材料はシリンダー部で加熱されて熔融状態となる。そして、熔融した樹脂を金型に射出する。適度に保圧をかけた状態でゲート固化を待ち、金型で冷却した後、成形物を取り出す。

成形はファイバ孔成形ピンが歪みを受けないように、熔融した樹脂を射出、保圧、冷却する最適な条件を見つけることが肝要である。そうした条件で成形することで、優れた位置精度を有しながら、安定した成形品を得ることができる。

3.4 光ファイバテープ心線の取り付け、研磨

光ファイバテープ心線は、先端の被覆を除去された後にフェルールに挿入され、エポキシ接着剤により固定される。

この後、端面は平面研磨されるが、研磨されやすさは使用する樹脂に大きく依存する。様々な検討を行った結果、射出成形フェルールに適した研磨条件を見出し、平坦度が良好な研磨面を実現した。

4. 光学特性

接続損失は、ファイバ軸ずれ量の非常に少ない基準プラグに対して損失を測定する対マスター方法による測定方法で測定した。光源には1310nmのLEDを使用し、接続部には屈折率整合剤(マッチングオイル)を塗布した。測定系を図4に示す。

測定は、光ファイバは2つのガイドピン孔の中心軸上に配列しているので、線番を合わせた接続状態(正接続)と、180度反転させた接続状態(反接続)の2つの接続状態で行っている。

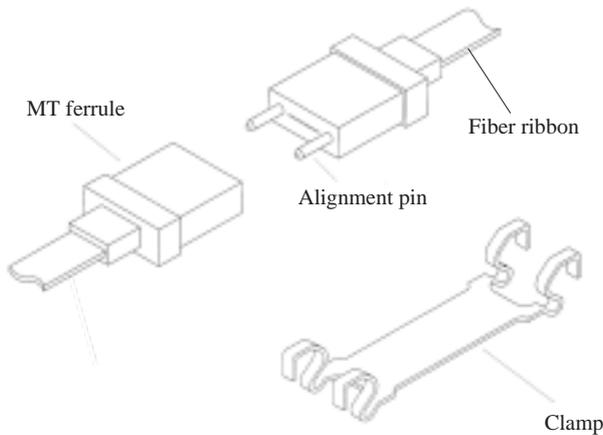


図2 MTコネクタの構造
Structure of MT connector

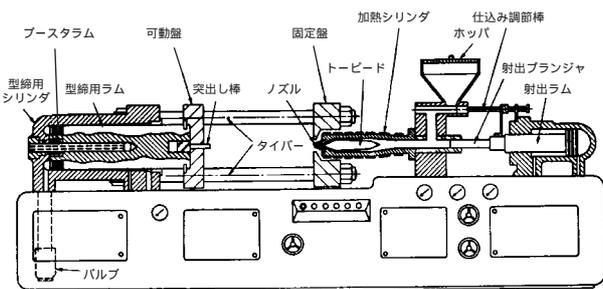


図3 射出成形機*
Injection molding machine
*永井進 監修「実用プラスチック用語辞典」
(発行 プラスチックス・エージ)より転載

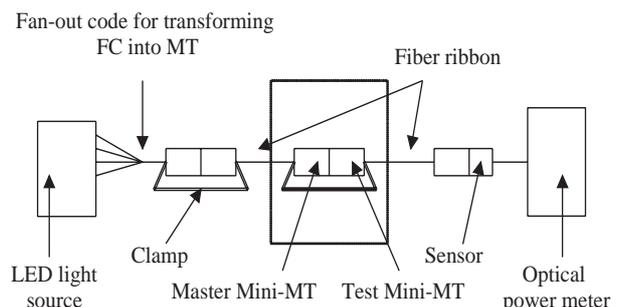


図4 測定系
Measuring system

4.1 1心 Mini-MT フェルール

図5に1心 Mini-MT フェルールを用いた1心 Mini-MT コネクタの接続損失のヒストグラムを示す。また、光学特性を表1に示す。正接続において平均が0.11dB, 最大0.29dB, 反接続で平均が0.159dB, 最大0.46dBの良好な接続特性を実現した。なお、正接続と反接続の損失値がほぼ同じことから、軸ずれの方向、及び量に関して特に傾向がなく、ほぼねらった位置精度を実現していることが分かる。

また、反射減衰量を表2に示す。平均45dB以上であり、良好である。

4.2 2心 Mini-MT フェルール

図6に2心 Mini-MT コネクタの接続損失のヒストグラムを示す。正接続において平均が0.21dB, 最大0.43dB, 反接続で平均が0.262dB, 最大0.54dBと良好な接続特性を実現した。また、接続損失値が正反でほぼ同じであることから、2心のファイバ孔がフェルールの中心に対してほぼ対称に配置されていることが分かる。

4.3 4心 Mini-MT フェルール

図7に4心 Mini-MT コネクタの接続損失のヒストグラムを示す。正接続において平均が0.107dB, 最大0.24dB, 反接続で平均が0.195dB, 最大0.44dBと良好な接続特性を示した。心線数が増えてくると、それぞれのファイバ孔のガイドピンに対す

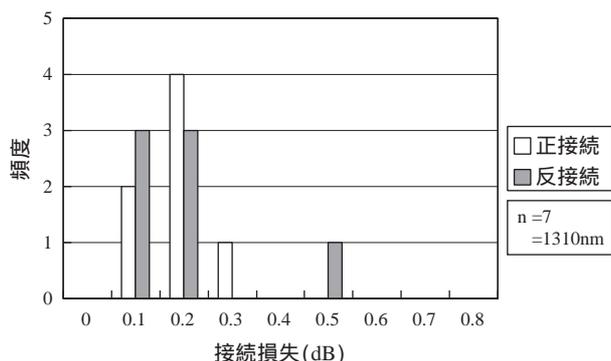


図5 1心 Mini-MT コネクタの接続損失のヒストグラム
Histogram of insertion loss for 1-fiber Mini-MT connector

表1 射出成形 Mini-MT コネクタの接続損失
Insertion loss for Mini-MT connector using injection molded ferrule

	接続損失平均 (dB)					
	1心Mini-MT		2心Mini-MT		4心Mini-MT	
	正接続	反接続	正接続	反接続	正接続	反接続
接続						
n数	7	7	60	60	40	40
平均	0.16	0.159	0.21	0.262	0.107	0.195
最大	0.29	0.46	0.43	0.54	0.24	0.44

=1310nm

表2 射出成形 Mini-MT コネクタの反射減衰特性
Return loss for Mini-MT connector using injection molded ferrule

	反射減衰量 (dB)		
	1心Mini-MT	2心Mini-MT	4心Mini-MT
	n数	10	20
平均	45dB以上	45dB以上	45dB以上

=1310nm

る位置関係のばらつきが大きくなるが、前述した材料と金型の工夫により、接続損失が非常に小さく抑えることができています。ファイバ孔の位置精度は、ほぼ設計通りに配置されている。

5. 信頼性試験

以下に代表的な信頼性試験の結果を示す。なお、信頼性試験結果は、4心 Mini-MT コネクタについて述べる。

信頼性試験は、機械的な歪みを与えられた場合の機械特性評価と温度など環境的な側面から評価を行う温度特性評価の2種類で調べた。なお、比較として現行のトランスファー成形コネクタでの測定結果を併記した。

5.1 機械特性評価

機械特性評価として表3に代表的な試験項目、試験方法、試験結果を示す。試験方法は、JISC-5981に準拠した。

着脱試験は、2つのコネクタを100回着脱したときの10回毎の接続損失変動を見た。結果は、トランスファー成形コネクタと同様に0.20dB以下であることが確認された。

引張り試験は、光軸方向に5.9Nで引張り力を加えた前後での接続損失変動を見た。結果は0.20dB以下と良好であった。

振動試験は、3方向から10~55Hzで掃引した時の接続損失変動を見ている。接続損失変動は0.2dB以下であった。

その他、衝撃試験、屈曲試験、捻回試験、落下試験を実施したが、いずれも0.2dB以下でかつ、同様に試験を行ったトランスファー成形MTコネクタと同等の結果が得られ、機械的な特性は実用上全く問題ないことが確認された。

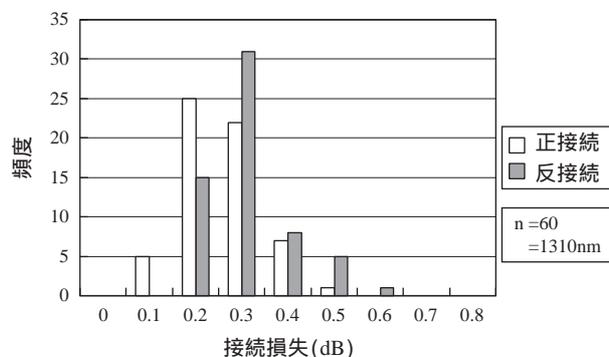


図6 2心 Mini-MT コネクタの接続損失のヒストグラム
Histogram of insertion loss for 2-fiber Mini-MT connector

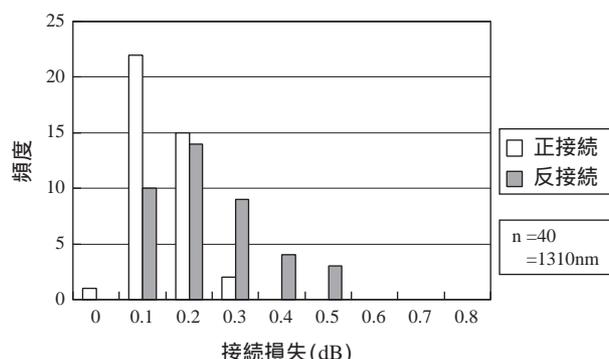


図7 4心 Mini-MT コネクタの接続損失のヒストグラム
Histogram of insertion loss for 4-fiber Mini-MT connector

5.2 温度特性評価

温度特性評価として表4に代表的な試験項目，試験方法，試験結果を示す。

ヒートサイクルは，-40 ~ 60 ，10サイクル，1サイクルあたり 6hr での接続損失変動を調べた。結果は，0.2dB 以下であ

表 3 機械試験結果
Results of mechanical tests

項目	試験条件	接続損失変動 (平均)	
		射出成形	トランスファー成形
着脱	着脱回数: 100回 10回毎に損失測定 屈折率整合剤付き	0.20dB以下	0.20dB以下
引張	荷重: 光軸方向へ5.9N	0.20dB以下	0.20dB以下
振動	周波数: 10 ~ 55Hz 振幅: 1.5mm 方向: 3Dir 時間: 2hr/1Dir	0.20dB以下	0.20dB以下
衝撃	衝撃強度: 100G × 6msec 印加方向: 3Dir 印加回数: 3回/1Dir	0.20dB以下	0.20dB以下
屈曲	荷重: 心線1m先に686N/1心 方向, 回数: ± 90度 × 100回 屈曲, 10回毎に損失測定	0.20dB以下	0.20dB以下
捻回	荷重: 心線1m先に1470N/1心 方向, 回数: ± 180度 × 100回 屈曲, 10回毎に損失測定	0.20dB以下	0.20dB以下
落下	落下高さ: 1.5m 心線長: 2m コンクリート面上へ3回落下	0.20dB以下	0.20dB以下

=1310nm
JIS C-5981に準拠

表 4 温度試験結果
Results of temperature tests

項目	試験条件	接続損失変動 (平均)	
		射出成形	トランスファー成形
ヒートサイクル	-40 から 60 10サイクル 6hr/サイクル	0.20dB以下	0.20dB以下
高温	80 × 96hr	0.20dB以下	0.20dB以下
低温	-40 × 96hr	0.20dB以下	0.20dB以下
湿熱	60 × 95%RH × 96hr	0.20dB以下	0.20dB以下

=1310nm
JIS C-5981に準拠

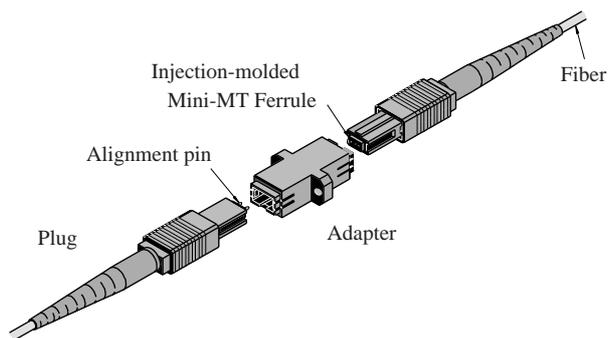


図 8 Mini-MPO コネクタの構造
Structure of Mini-MPO connector

り，良好な結果であった。

また，高温試験，低温試験，湿熱試験を同様に行った結果，いずれも0.2dB以下であり，トランスファー成形コネクタと同等の結果であった。

6. Mini-MT フェルールのまとめ

我々は，射出成形法を用いて1，2，4心のMini-MTフェールを開発した。

4 心 Mini-MT コネクタを例に挙げると，接続損失平均 0.107dB，反射減衰平均45dB以上と良好な結果であった。また機械的特性，温度特性試験においても，接続損失変動量は長期に安定した特性を示した。

7. Mini-MT フェールの MPO 化⁷⁾

7.1 構造

Mini-MTフェールを用いたコネクタとして，Mini-MPOコネクタを開発した。Mini-MPOコネクタは，図8に示すようにpush-on/pull-off脱着式である。

7.2 光学特性

代表例として，射出成形した2心Mini-MTフェールと2心テープ心線を用い，MPOを作製した。フェール研磨はフラットPC研磨とし，屈折率整合剤を用いずに以下の特性の評価を行った。

作製した2心Mini-MPOコネクタの接続損失及び反射減衰量

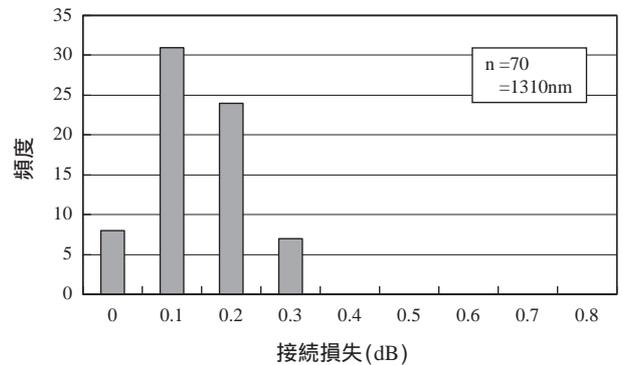


図 9 2 心 Mini-MPO コネクタの接続損失のヒストグラム
Histogram of insertion loss for 2-fiber Mini-MPO connector

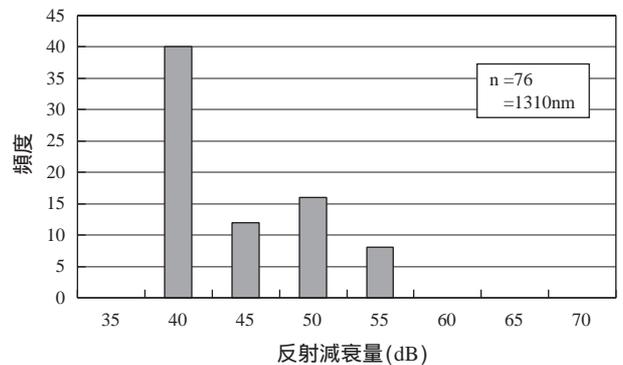


図 10 2 心 Mini-MPO コネクタの反射減衰量のヒストグラム
Histogram of return loss for 2-fiber Mini-MPO connector

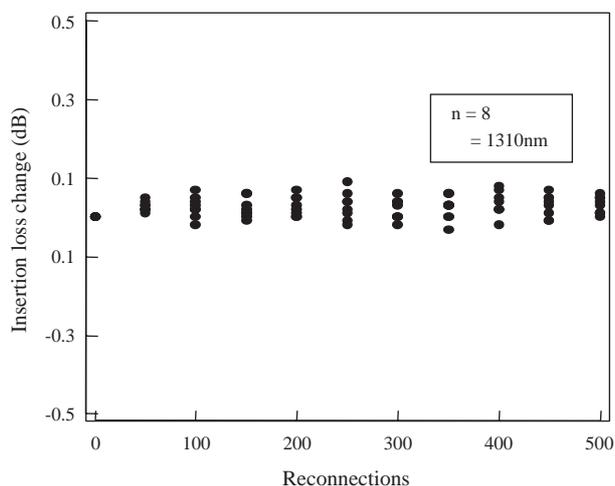


図 11 着脱試験
Reconnection test

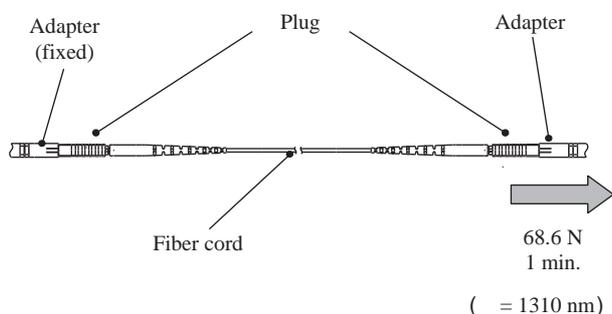


図 12 引張試験
Straight pull test

を図9及び図10に示す。接続損失は平均0.18dB,最大0.36dBと低い値が得られた。また,反射減衰量は平均46.2dB,最小40dBと高い値が得られた。

7.3 機械及び温度特性

機械及び温度特性評価として表5に代表的な試験項目,試験方法,試験結果を示す。試験方法はJIS C-5982に準拠した。

機械特性評価は,着脱試験,引張り試験,屈曲試験,サイドプル試験を行った。

着脱試験は,500回の着脱を行ったときの50回毎の接続損失変動を見た。結果を図11に示す。変動は,0.2dB以下と良好で,接続損失に支障をきたすコネクタの損傷も見られなかった。

引張り試験は,光ファイバコード両端のコネクタを軸方向に68.6Nで引っ張り,この状態を1分間保持することにより行った。図12に模式図を示す。このときの接続損失は0.2dB以下と良好であった。

屈曲試験は,コネクタに取り付けられた光ファイバコードに4.9Nの引張り力を加えた状態で,コネクタの引張り方向に対してコネクタに左右90度ずつ往復100回の屈曲を加えて行った。図13に示す。このときの接続損失変動量は0.2dB以下と良好であった。

サイドプル試験は,コネクタに取り付けられた光ファイバコードを90度方向にプラグの軸に直交する方向に45度間隔で20Nの引張り力を加えて行った。図14にサイドプル試験の方法を示す。このときの接続損失変動量は0.20dB以下,反射減衰量は35dB以上と良好であった。

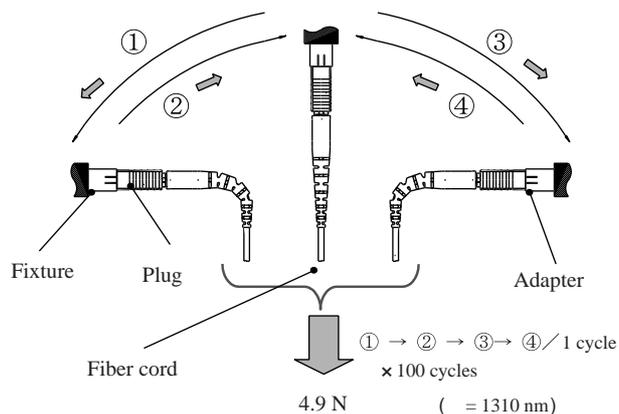


図 13 屈曲試験
Side bend test

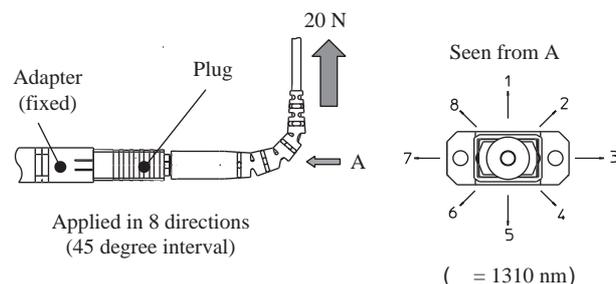


図 14 サイドプル試験
Side pull test

表 5 2心 Mini-MPO の機械試験および温度試験結果
Results of mechanical and temperature tests on SM-2-fiber Mini-MPO connector

項目	試験条件	接続損失変動 (平均)	反射減衰量 (平均)
着脱	着脱回数:500回 50回毎に損失測定 屈折率整合剤なし	0.20dB以下	——
引張	68.6N × 1min	0.20dB以下	——
屈曲	4.9N × 100回	0.20dB以下	——
サイドプル	20N	0.20dB以下	35dB以下
温度サイクル	-25 ~ 70 2.5hr/サイクル 10サイクル	0.20dB以下	——

=1310nm

JIS C-5982に準拠

(サイドプルはBELLCOREを参考)

温度特性評価は,温度サイクル試験を行った。

温度サイクル試験は,温度変化-25 ~ 70 ,2.5時間を1サイクルとして,10サイクル行った。このときの接続損失変動量は0.2dB以下と良好であった。結果を表5に示す。

7.4 Mini-MPOコネクタのまとめ

Mini-MTフェルールを用いたMini-MPOコネクタを試作し,特性を確認した。2心 Mini-MTを用いた Mini-MPO コネクタの光学特性は,PC研磨を行い,屈折率整合剤なしで接続損失平均0.18dB,反射減衰量平均46.2dBと良好であった。

8. おわりに

我々は、射出成形法を用いてMini-MTフェルール及び、このフェルールを用いたMini-MPOを開発した。開発品は、実用上十分な初期光学特性及び長期信頼性を有している。

また射出成形フェルールは、トランスファー成形よりも成形サイクルが短く、従来のトランスファー成形フェルールよりも低コストにすることが可能である。

今後は、環境にやさしいもの作りを目指し、成形時のランナー屑のリサイクル化検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 山本他: "光加入者線路システムの構成法", NTT R&D, Vol.42, No.7, (1993), pp.892-902.
- 2) 谷藤他: "次世代光ファイバケーブル技術", NTT技術ジャーナル, (1993.7), pp.13-16.
- 3) 太田他: "高性能多心コネクタ", 古河電工時報光部品小特集, No.89, (1991.12), pp.8-14.
- 4) Nagasawa et al.: Proc.IOOC'89, paper 21C2-1 (1989), pp.48-49.
- 5) 高谷他: "高速成形・高速組立MTコネクタの基本設計と開発", 信学秋期大会, (1998), B10-13.
- 6) Arai et al.: "Development of Single-Mode 2-Fiber Mini-MPO Connector Using Injection-Molded Ferrule", IWCS Proceedings (1998), pp.574-578.
- 7) M. Takaya, K. Hogari, and S. Nagasawa: "Design and Performance of Miniaturized MPO Type Connector for High-density Optical Duplex Connection," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.10, No. 1, pp. 102-104, 1998.