

講義

光ファイバとその応用—VII

光ファイバ関連技術 (2)—光コネクタ

増田 裕一・柿井 俊昭

住友電気工業(株)横浜研究所 〒244 横浜市栄区田谷町 1

(1990年1月8日受理)

Optical Fiber and Its Applications—VII

Optical Fiber Technology (2)—Optical Fiber Connector

Yuichi MASUDA and Toshiaki KAKII

Yokohama Laboratories, Sumitomo Electric Industries, Ltd.,
1, Taya-machi, Sakae-ku, Yokohama 244

1. はじめに

低損失・広帯域な特性を有する光ケーブルを用いた光通信システムの構築が国内および諸外国で活発に展開されているが、光伝送装置や測定器の入出力端子などにおいて、着脱可能な光ファイバ同士の接続が必要である。また、とくに光加入者線路では、従来の電話局間の中継線路と異なり、加入者の増加、移転の際に柔軟かつ迅速に対応すること、および線路保守を容易にするための観点から、線路の途中で切替および着脱を可能とするための、光コネクタが重要な構成物品となっている¹⁾。

光ファイバの接続は、従来の電気通信で用いられていた金属導体の接続と異なり、単に導体が接触すればよいのではなく、光が伝送されているコアと称する部分をミクロンオーダーで正確に位置決めする必要がある。着脱操作において安定した低損失を実現するには、光コネクタ部品の精密加工、精密成形、精密計測の各高精度化技術が不可欠となる。本号では、光コネクタの適用場所の一例を紹介し、使用形態により分類するとともに、要求特性、損失要因について整理した後、光コネクタの高精度芯出し方法、寸法計測、検査方法および各種光コネクタの構造についての説明を行う。

2. 光コネクタ適用場所

光コネクタは、光伝送装置や光測定器の入出力端子と

して用いられる以外に、光通信線路内では、光ケーブル同士の接続にも利用されており、線路の切替、保守等に役立っている。図1に加入者光コネクタの適用場所を一例として示す¹⁾。図に示されるように、光コネクタは、電話局内のMDF (main distribution frame)、切替盤、引落接続函、および加入者宅内のDSU (digital service unit) 等で、光線路の切替、分岐、機器との結合に用いられている。また最近では、光ケーブルの現地布設接続工事を短時間で完了させるために、光ケーブルにあらかじめ工場内で光コネクタを取り付けておき、光コネクタ付ケーブルの形態で布設工事を実施することも進められている。前者の光コネクタは、その使用目的から、着脱回数が比較的多く必要になるのに対して、後者の光コネクタは、むしろスプライスの結合 (永久結合) が主であり、着脱切替は付加機能になる。加入者光コネクタ適用場所で、とくに中継系の光コネクタと異なる点は、柱上切替盤や引落接続函などに代表されるように、屋外での使用が不可欠となることである。そのため、自然環境に十分耐える信頼性の高いコネクタが要求される。

3. 光コネクタの規格と分類

光コネクタの規格は、光産業技術振興協会、光コネクタ専門委員会が中心となり、種々検討が実施されている。現在JIS化されている光コネクタは、ネジ締結機構式のもので、F 01/F 02/F 03の3種類があげられる²⁾。

は、基本的には、それが用いられる光通信システムの要求特性および使用形態によって決定される。一例として、多モード光ファイバの光コード型プッシュプル光コネクタの評価試験結果を表1に示す⁴⁾。本品は加入者多モード光ファイバ用光コネクタとしての適用を対象としている。表1での反射減衰量とは、光コネクタ端面での反射光量比を規定するもので、半導体光源に反射光が再入射して生じる雑音増加や発振波長変動を防ぐために設けられている。JIS規格でも光コネクタ性能として、C-5962に21項の性能について、試験方法とともに規定されている。このほかにも使用形態において、屋外で使用される光コネクタでの水没を想定して、水浸漬信頼性などが実施されている。

5. 光コネクタ結合損失の要因

光コネクタにおける結合損失は、軸ずれ、角ずれおよび間隙が原因した機械的ミスアライメントと、光ファイバ構造パラメータの差によるもの、端面反射に起因するものの、大別して三つに区別できる³⁾。

5.1 光ファイバの機械的ミスアライメントによる損失

2本の光ファイバを突き合わせ整列するバットジョイント方式における挿入損失は、光ファイバ間の、① 軸ずれ、② 角ずれ、③ 端面間隙の大きさに大きく依存し、光ファイバの種類および光源の入射モードの種類により異なる。以下に接続部の損失の理論近似式と図を示す³⁾。

5.1.1 多モード光ファイバにおける軸ずれ、角度ずれと接続部の損失 (図2)

定常モード励振の場合 (L_1)

$$L_1 = -10 \log_{10} \left\{ 1 - \frac{u^4 D^2}{8(u^2 - 4)} \right\} \quad (\text{dB})$$

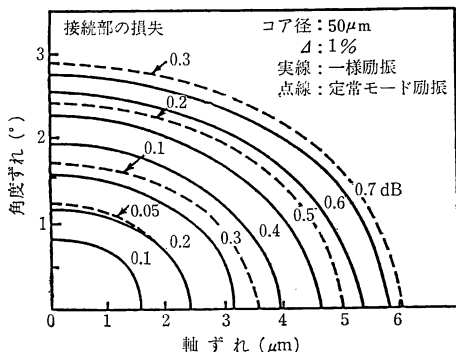


図2 多モード光ファイバにおける軸ずれ、角度ずれと接続部の損失

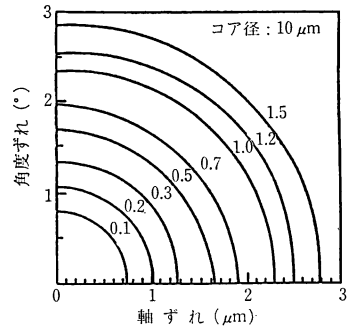


図3 単一モード光ファイバにおける軸ずれ、角度ずれと接続部の損失

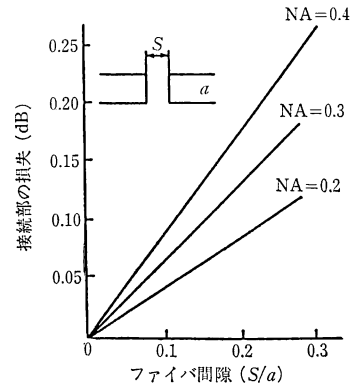


図4 多モード光ファイバにおけるファイバ間隙と接続部の損失

ただし $D^2 = \left[\frac{d}{a} \right]^2 + \left[\frac{2\tilde{n} \tan(\theta/2)}{NA} \right]^2$

$u=2.405$, d : 軸ずれ量, θ : 光ファイバの角度ずれ, $\tilde{n}=1$, a : 光ファイバコア半径, NA : 開口数
図2より、0.3 dBの接続損失を許容したとき、多モード光ファイバでは、軸ずれ6 μm 以下、角度ずれ0.5°以下が要求される。

5.1.2 単一モード光ファイバにおける軸ずれ、角度ずれと接続部の損失 (L_2) (図3)

$$L_2 = 4.34 \{ (d/\omega_0)^2 + (\pi \tilde{n} \omega_0 \theta / \lambda)^2 \} \quad (\text{dB})$$

ただし $\omega_0/a = 0.65 + 1.619/V^{3/2} + 2.879/V^6$

λ : 波長, d : 軸ずれ量, ω_0 : スポットサイズ, V : 規格化周波数, θ : 角度ずれ, $\tilde{n}=1$

0.3 dBの接続損失を許容した場合、単一モード光ファイバでは、軸ずれ1.2 μm 、角度ずれ0.5°以下を実現する必要がある。

5.1.3 多モード光ファイバにおけるファイバ間隙と接続部の損失 (L_3) (図4)

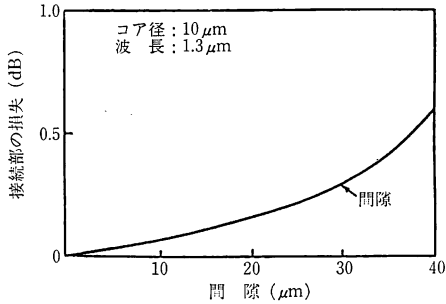


図 5 単一モード光ファイバにおけるファイバ間隙と接続部の損失

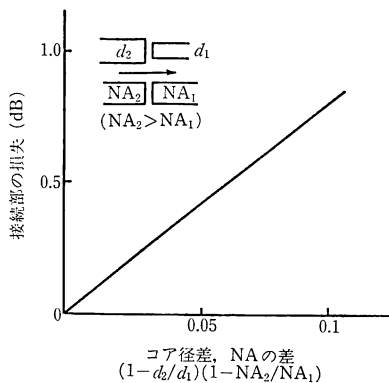


図 6 コア径差, NA 差と接続部の損失 (G 150/125 ファイバ)

$$L_3 = -10 \log_{10} \{1 - (S/2a)NA\} \quad (\text{dB})$$

ただし S : 光ファイバ間隙, NA : 開口数, a : 光ファイバコア半径

5.1.4 単一モード光ファイバにおけるファイバ間隙と接続部の損失 (L_4) (図 5)

$$L_4 = -10 \log_{10} \left[\frac{1 + 4z^2}{(1 + 2z^2)^2 + z^2} \right] \quad (\text{dB})$$

ただし, $z = S/kn_2\omega_0$

S : 光ファイバ間隙, $k = 2\pi/\lambda$, n_2 : クラッド部屈折率, ω_0 : スポットサイズ

5.2 光ファイバの構造パラメータのミスマッチによる損失

光ファイバの構造パラメータにおける, コア径, コアの非円率, 開口数 (NA 値) などのミスマッチングにより接続部の損失を生ずる。これらの関係を多モード光ファイバに関して図 6 に示す。

(a) コア径の差による損失 (L_{5a})

$$L_{5a} = -10 \log_{10} \left[\frac{16K^2}{(1+K)^4} (1-P)^2 \right] \quad (\text{dB})$$

ただし, $P = 1 - a_2/a_1$

a_1 : 送り側光ファイバコア径, a_2 : 受け側光ファイバコア径, $K = 1.46$

(b) NA 差による損失 (L_{5b})

$$L_{5b} = -10 \log_{10} \left\{ \frac{16K^2}{(1+K)^4} [(1-q\Delta_1)(1-q)^{1/2}] \right\} \quad (\text{dB})$$

ただし, $q = 1 - \Delta_2/\Delta_1$

Δ_1 : 送り側光ファイバの比屈折率差, Δ_2 : 受け側光コネクタの比屈折率差, $K = 1.46$

なお, 光コネクタの性能を表す場合は, 通常光ファイバの構造パラメータのミスマッチングによる損失を含めず, 同一パラメータ構造の光ファイバ同士を接続したときの挿入損失値をもって表す。

5.3 光ファイバ端面反射に起因する損失

光コネクタ端面での光ファイバ突合せ面は, 端面の機械加工精度等の条件により, 通常は光ファイバ間に微かな間隙が生ずる。この場合, 光コネクタから出射された光は, ガラス~空気~ガラスと屈折率の異なる媒体を通過することとなり, 光は媒体の境界面で反射を生じる。ガラスと空気間のフレネル反射損は約 0.3 dB となる。また, フレネル反射損を減少させるためには, 光ファイバ結合端面間に屈折率整合剤を塗布するか, 端面形状およびその精度を高度に仕上げ, 光ファイバの端面同士を完全に接触させる必要がある。

6. 光コネクタ結合端面反射とその対策

光コネクタの反射光防止法として表 2 の分類が提案されている⁵⁾。大まかに,

- 1) 反射光を臨界角以上とし, クラッドへ逃がす。
- 2) 屈折率の整合
- 3) 間隙を完全になくす。

の三つに分類することができる。

1) は光コネクタフェルル先端を臨界角以上に斜め研磨する方式であり, 端面形状による若干の損失増加が発生するが, 反射低減効果に著しいものがある。図 7 に単一モード光ファイバと多モード光ファイバのそれぞれの傾斜面からの反射量計算結果を示す。図 7 の結果より, たとえば反射減衰量 40 dB 以上必要な場合は, フレネル反射減衰量 14 dB よりさらに 26 dB 減衰させる必要があるので, 多モード光ファイバでは, 8° の端面斜め研磨が必要となる。図 7 に示されるように, 単一モード光ファイバは多モードファイバに比べて約半分の傾斜角ですむことがわかる。

2) は屈折率整合剤 (マッチングオイル) を光コネクタフェルル端面に塗布して使用する形態である。本方式

表 2 反射光防止法

分類	種類	効果	信頼性	製作の容易性	問題点
反射光のみを外へ逃がす	斜め研磨	◎	◎	◎	研磨面と中心軸の一致 球とファイバの軸合せ
	先端球	◎	◎	○	
間隙を完全になくす	オプティカル コンタクト	◎	○	○	端面の保護 再現性
屈折率の整合	蒸着膜	○	△	△	現地組立不可 } ゴミの付着, よごれ
	酸処理法	△	△	△	
	プラスチック膜	○	△	◎	
	液体	◎	△	◎	

◎:大, ○:中, △:小

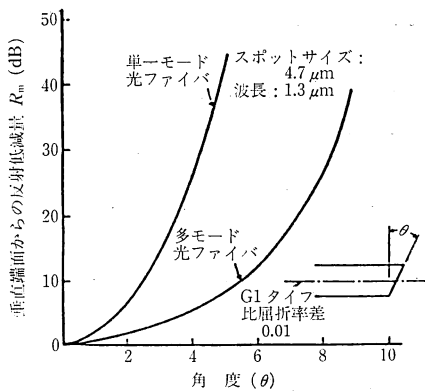


図 7 傾斜面からの反射量理論曲線

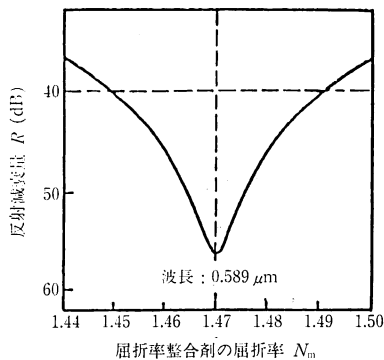


図 8 屈折率整合剤の屈折率と反射減衰量の関係

は、フェルル端面研磨形状を特殊形状にする必要がなく、高い反射減衰量を達成することができる。屈折率整合剤の使用に際しては、①最適な屈折率整合剤の選定と、②反射戻り光を低減する研磨条件の設定が重要であることが報告されている⁶⁾。まず①に関しては、図8に波長 0.589 μm (ナトリウム D 線) の場合の石英ガラスでの屈折率整合剤との反射減衰量の関係を示す。本図より、たとえば反射減衰量 (R) 40 dB 以上を満足する

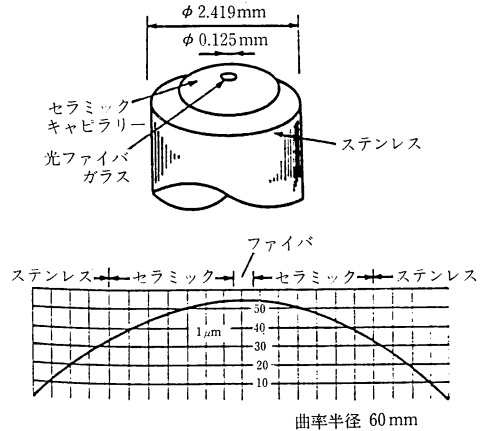


図 9 凸球面研磨によるフェルル端面の形状

屈折率整合剤の屈折率 N_m は中心値が 1.47 (室温約 20 $^{\circ}\text{C}$ で)、許容変化量は ± 0.020 以下の必要がある。屋外環境での温度変化は $-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ の範囲と考えられるので、屈折率の温度係数は約 $4.0 \times 10^{-4} \text{ deg}^{-1}$ 以下となる。使用波長での光の吸収率も小さく、取扱い性も良好な屈折率整合剤として、一般にはシリコン樹脂が用いられている。②の研磨条件に関しては、光ファイバガラス端面が研磨されることにより、高屈折率に変化させないようにすることが重要であり、その解決方法として、最初に硬度の高いダイヤモンドで研磨し、その後、硬度の低い酸化セリウムで研磨することが有効であることが提案されている⁶⁾。

3)は、光ファイバガラス端面同士を、使用波長より十分近づけ、ほぼ空気層のない状態で密着させることにより (physical contact)、反射の少ない接続状態を実現する方法で、最近では、この原理を応用した PC 形光コネクタが開発されている⁷⁾。図9に示すように、フェルル先端を球面 (約 60 mmR) に研磨することにより、PC

状態を実現している。PC 状態は、フェルール先端の結合力に対するマイクロな変形（ヘルツ接触）により実現されており、光ファイバを保持している周囲材料のヤング率は、着脱耐久性、信頼性に問題がなければ、小さいほうが好ましい。図 10 に、光コネクタフェルールの材質別の PC 結合時の接触領域を示すが、外周が金属パイプで内部がエポキシ樹脂で形成されている MP フェルール等は、光ファイバ周囲を構成している材料のヤング率が小さく PC 実現に適していることがわかる²⁾。

7. 光コネクタの芯出し方法

光コネクタの芯出し方法は、調心型と無調心型に分けられる。代表例を表 3 に挙げる⁸⁾。調心型のうち、2

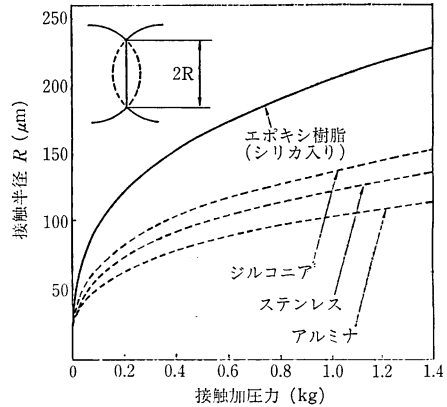


図 10 光コネクタフェルールの材質別の PC 結合時の接触領域

表 3 コネクタプラグの芯出し方法

	名称	略 図	特 徴
調心型	2重偏心形		内側管と中間偏心管を回転させると、光ファイバコアの中心は図の点群の領域内の任意の位置に移動できる。この方法でコアの中心を外側偏心管の外径の中心に軸合せする
	中心コア形		光ファイバのコアが外側管の中心にくるように光学的手段により調整し軸合せする
	外層切削形		光ファイバのコアを中心として外周を切削し、軸合せを行う
無調心型	精密フェルール形		円筒カラーの外径中心に穴を加工した精密フェルール内に光ファイバを挿入し固定する
	V溝形		精密加工されたV溝上に光ファイバを固定する
	3ボール形		3個の球で光ファイバを固定する
	インサートモールド形		光ファイバを金型内にセットし、プラスチックで直接モールドする

表4 単心光コネクタ円筒フェルール構造例

	材 質	構 成	主たる加工方式
複合フェルール	セラミック+金属		研 削
	ガラス+金属		研 削
	プラスチック+金属		研 削 削 形
単相フェルール	プラスチック		金 成 型 形
	ガ ラ ス		研 削
	金 属		研 削 ドリル加工
	アルミナセラミック		研 削
	ジルコニアセラミック		研 削

重偏心形と中心コア形は、光ファイバのコアの中心を顕微鏡等で拡大モニタしながら、光コネクタフェルールの外周円の中心とを一致させ、フェルール内の光ファイバの位置を接着剤により固定する方法である。外周切削形はコア中心をモニタしながら、プラグの外周を切削する方法である。一方、無調心型は、光ファイバの外周面を基準として芯出しする方法である。精密フェルール形、V溝形、3ボール形は、それぞれ、高精度に加工されたフェルール、V溝、ロッドを用いて芯出しし、接着固定する方法である。インサートモールド形は、光ファイバをプラスチック成形金型の中にセットし、光ファイバを直接コネクタプラグの中心に、芯出し固定してしまう方法である。単心光コネクタフェルールの芯出しは、精密フェルール形が主流となっている。

表4に一例として、単心光コネクタの各種フェルール構造を示す。セラミック+金属型は、現在最も普及しているFC光コネクタに用いられている構造で、光ファイバガイドにセラミックを使用し、外周は金属により形成されている。フェルールの製造に際しては、 $\phi 128\mu\text{m}$ 程度の光ファイバガイド光と、フェルール外周部($\phi 2.5$)をいかに高精度でかつ量産性高く加工するかが技術課題となる。FCフェルールでは、光ファイバガイドの細穴部は、セラミックキャピラリーを用い、穴径は内面ラップすることにより寸法出しを行い、外周は、セラミックキャピラリーを金属フェルール部に圧入後、ガイド穴中心に外周研削することにより、表5に示されるように $1\mu\text{m}$ 以下の高精度加工を達成している^{9,10)}。最近では、

表5 FC光コネクタで用いるフェルールの寸法公差

項 目	フェルール	
	多モードファイバ用	単一モードファイバ用
外 径 寸 法	$\pm 1.0\mu\text{m}$	$\pm 0.5\mu\text{m}$
外 径 真 円 度	0.5 μm 以下	
外 径 円 筒 度	0.5 μm 以下	
外 径 面 あ ら さ	1.0 μm 以下	0.5 μm 以下
微 小 穴 の 偏 心	2.0 μm 以下	0.7 μm 以下
微 小 穴 の 平 行 度	0.3° 以下	

表6 セラミックスの物性値

項 目	アルミナ	ジルコニア
曲げ強度 (kgf/cm ²)	36	120
破壊靱性量 (MN/m ^{3/2})	1~3	6~9
ヤング率 (kgf/mm ²)	38000	19000
ビッカース硬度 (kgf/mm ²)	1800	1200
結晶粒径 (μm)	5 以下	0.5 以下

単相フェルールの中で精密フェルール円筒部全体をジルコニアセラミックスで形成したSCフェルールが、従来のアルミナセラミックスの圧入工程を省略でき、量産性に優れたフェルールとして開発されている¹¹⁾。

表6にアルミナセラミックとジルコニアセラミックの比較を示す。ジルコニアはアルミナと比較すると、強度も強く、結晶粒径が小さいので、取扱い時のフェルール欠け対策に有効であり、着脱に伴う耐摩耗性も向上している。ヤング率はアルミナの約半分であり、この点はPC結合しやすい利点となっている。また、PC結合しやすい形状のフェルールとして、外周金属で、内部がプラスチック成形して光ファイバガイド穴を形成しているMPフェルールがある²⁾。MPフェルールは、外周金属は研削加工で高精度化し、内部は、金型にコアピンをインサートして、シリカ入りエポキシ樹脂をトランスファー成形することにより、光ファイバガイド穴を形成している。研磨面は、エポキシ樹脂だけで形成されているため、研磨が容易で、PC結合しやすいという利点を有している。

8. 光コネクタ寸法計測

光コネクタを製造開発していくうえで、材料、加工方

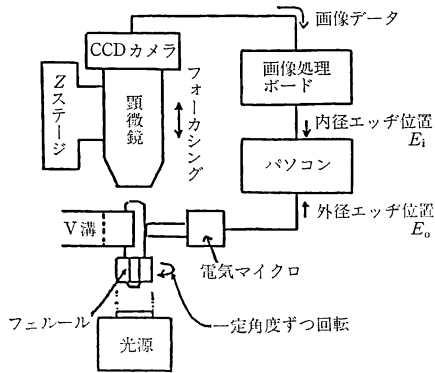


図 11 偏心測定システム構成

法、寸法検査方法の開発を伴うが、なかでも寸法検査は、サブミクロンの精度が要求され重要な開発テーマとなっている。光コネクタで、最も精度が要求されるフェルールの寸法測定方法を紹介する。

フェルール寸法管理でとくに特性上重要となっているところは、① 外径、② 光ファイバガイド穴内径、③ 偏心量（単心精密円筒フェルールでは同心度に相当する）、④ 光ファイバガイド穴角度（フェルール中心軸と光ファイバガイド穴の角度）、⑤ 出射角（フェルール中心軸と光ファイバコアの出射角）である。図 11 に単心フェルール偏心測定装置のシステム構成例を示す¹²⁾。フェルールを一定角度ずつ回転させ、1 回転する間、各角度での内径エッジ位置 E_i と外径エッジ位置 E_o を測定する。ここで E_i は透過照明によるフェルール穴のエッジの画像から画像処理ボードにより読み取る。 E_o は電気マイクロにより読み取る。次に、これらの点に対して sine フィッティングを行う。sine 曲線の振幅が偏心量 Δ として、回転起点からピークまでの角度が偏心角 α として測定される。内径エッジ位置読取り分解能は、 $\times 100$

のレンズを使った場合、 $0.11 \mu\text{m}$ である。外径エッジ読取り分解能は、 $0.01 \mu\text{m}$ である。これらにより達成された偏心測定精度は、 $0.05 \mu\text{m}$ 以下である。多心光コネクタの測定に関して、ガイドピン穴径、光ファイバ穴径、偏心量を、透過光照明により画像処理を行うとともに、レーザー測定器で移動量を読みとることにより、測定再現性 $0.05 \mu\text{m}$ を達成している¹³⁾。

9. 各種光コネクタ¹⁷⁾

9.1 単心光コネクタ

(1) FC 光コネクタ⁹⁾

FC 光コネクタは NTT により開発された高精度光コネクタで、多モードおよび単一光ファイバ用として国内で最も普及している光コネクタである。JIS では FO 1 型に相当する。FC 光コネクタの構造を図 12 に示す。FC フェルールは外周が金属で、光ファイバガイド部はセラミックキャピラリーで形成されている。キャピラリーに焼結材料としてセラミックを用いた利点は、硬度が石英ガラスの 4 倍もあるため、光ファイバガイド穴 ($\phi 128 \mu\text{m}$) のような細長い穴も高精度に加工できることにある。接続はネジ締結方式で M 8 使用であり、外径は約 10 mm である。フェルール端面を約 60 mmR に研磨加工することにより、PC 結合が実現でき、単一モード光ファイバで平均 0.26 dB が実現されている¹⁴⁾。

(2) SC 光コネクタ^{4,11)}

SC 光コネクタは、低コスト、高密度実装、PC 結合特性向上をねらって NTT で開発された光コネクタで、フェルールはジルコニアセラミックで形成されており、FC 光コネクタで必要である、セラミックキャピラリーを作成し、金属円筒フェルールに圧入する工程を省略できる構造となっている。SC 光コネクタの構造を図 13 に示す。高密度実装に適するように、プッシュオンロッ

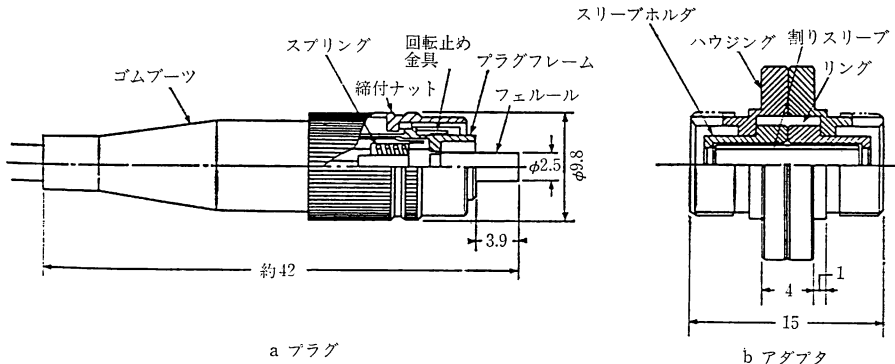


図 12 FC 光コネクタ構造図

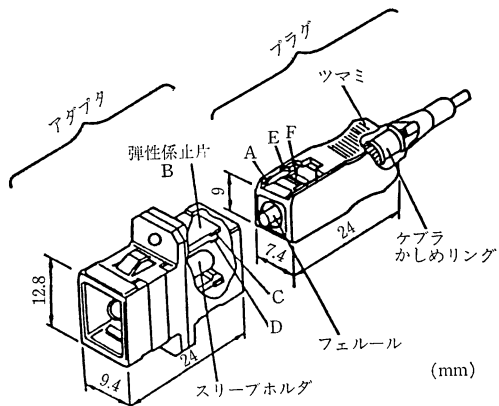


図 13 SC 光コネクタの構造

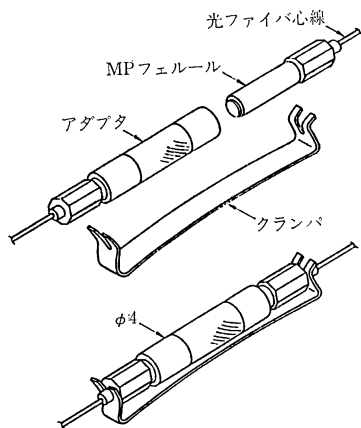


図 14 SSF 光コネクタ構造 (光ファイバ心線用)

ク方式を採用している。ハウジングはプラスチックで成形されている。ジルコニアのヤング率は、FC 光コネクタで用いられているアルミナセラミックキャピラリーのヤング率の2分の1程度で、PC 接続 (physical contact) しやすい利点を有している。また、結晶粒系を $0.5\ \mu\text{m}$ 以下にして、着脱特性の安定性の向上を実現している。単一モード光ファイバの PC 結合で、結合損失平均 $0.08\ \text{dB}$ 、反射減衰量平均 $29\ \text{dB}$ を達成したことが報告されている¹⁵⁾。

(3) SSF 光コネクタ

加入者光ファイバケーブルの導入に対応して、NTT で開発された線路用光コネクタで、光コネクタ付ケーブル用を目的として、アダプタ外径 $3.5\ \text{mm}$ を達成している。SSF 光コネクタを図 14 に示す。SSF 光コネクタは、締結構造として、クリップを用いており、部品点数削減と小型化を実現している。

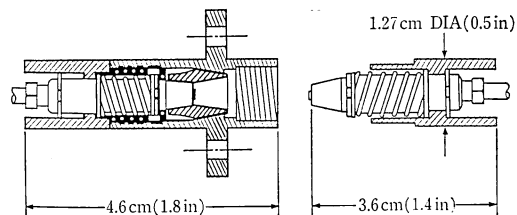


図 15 バイコニック光コネクタ

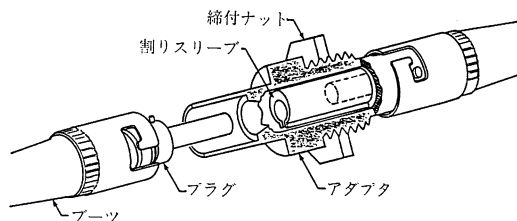


図 16 ST 光コネクタ

(4) バイコニック光コネクタ¹⁶⁾

AT & T で開発され、米国で最も使用されている光コネクタで、構造を図 15 に示すが、フェルール先端がテーパ状になっており、両テーパになっているスリーブ (バイコニカル) に、挿入結合することにより芯出しを実現している。フェルールは、シリカ充填されたエポキシ樹脂により成形されている。成形樹脂の流れを均一化するために、フェルール内部に金属円筒ガイドをインサートしている。バイコニック光コネクタでは、単一モードファイバに適用する場合には、偏心を低減するために、プラグ内部に接着固定した光ファイバのコアを中心として、プラグ外周を研削する方法を採用している。これにより単一モード光ファイバに対して平均接続損失 $0.3\ \text{dB}$ 以下を実現している。

(5) ST 光コネクタ¹⁶⁾

LAN 用光コネクタとして AT & T が開発した光コネクタで、低コストを実現するために、アルミナセラミック一体型フェルール、プラスチック製割リスリーブ、亜鉛ダイキャスト製ハウジングを用いている。締結構造は、バヨネット式で、接続損失は、多モード光ファイバで、平均 $0.02\ \text{dB}$ である。構造を図 16 に示す。

9.2 多心光コネクタ

(1) MT 光コネクタ¹⁸⁾

NTT で開発された光コネクタで、構造を図 17 に示す。単一モード光ファイバに適用でき、4心または8心一括結合用として利用されている。すでに NTT により開発された多モード光ファイバ5心一括接続用光コ

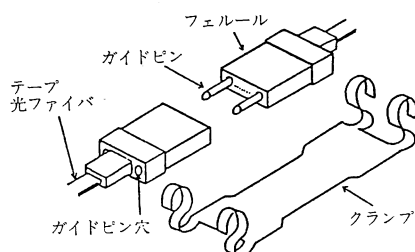


図 17 MT 光コネクタ

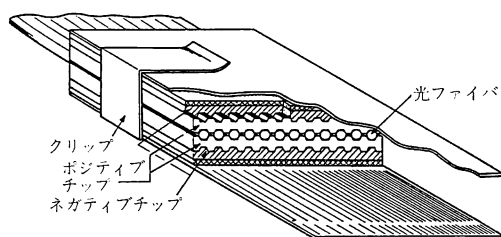


図 18 シリコンチップアレイコネクタ

クタである MF 光コネクタ²³⁾をさらに偏心精度を向上させたものである。光ファイバガイド穴は、ガイドピン穴に対して配列位置決めされており、偏心量は $0.7 \mu\text{m}$ 以下が達成されている。フェルルール結合は、2本のガイドピンに対向挿入した後、スプリング型クランプ材で結合を安定化するようにしている。ガイドピン穴は貫通されており、外部よりガイドピンの移動およびフェルルールの着脱とソレノイドを利用して行うことにより、光コネクタの切替を、平均 12 ms で実現できることが報告されている¹⁹⁾。反射防止用としてフェルルール端面に屈折率整合剤を塗布して用いられる。平均結合損失は、単一モード光ファイバ 8 心一括結合で平均 0.32 dB である。

(2) シリコンエッチング V 溝アレイコネクタ¹⁶⁾

AT & T で開発された 12 心一括結合用の光結合部材で光コネクタというより、むしろスプライサとしての使われ方が主流であるが、高精度光結合部材の代表例であり紹介しておく。名前のとおり、フェルルールは単結晶シリコンを材料として、両面露光技術をもとに、上下面に異方性エッチングにより光ファイバガイド溝用の微小 V 溝加工を行っている。シリコンは異方性エッチング効果を利用することにより、角度 70.53° の V 溝を容易に形成することができる。図 18 に示されるように、この V 溝で光ファイバをサンドイッチして芯出しするとともに片側面の V 溝は、対向するフェルルールの突合せ整列用のガイドレールの役割をしている。結合は、突き合わせた状態で、外部よりクリップで結合して安定化させる。

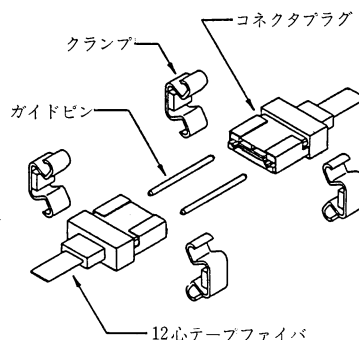


図 19 SV 光コネクタ

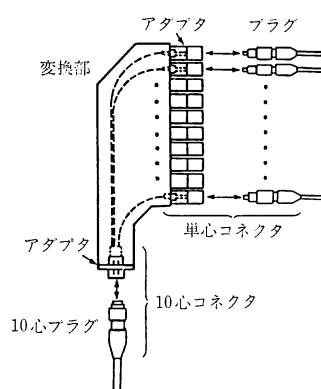


図 20 Fan-out 光コネクタ (多心単心変換コネクタ)

結合損失は、12 心一括結合の単一モードファイバで、平均約 0.4 dB 以上の接続損失が報告されている。

(3) シリコン研削 V 溝アレイコネクタ²⁰⁾

シリコン研削 V 溝アレイコネクタ (SV 光コネクタ) の構造図を図 19 に示す。2本のガイドピンを利用して、フェルルールの整列を行い、ガイドピンをシリコンのガイドピン V 溝に加圧固定することにより、結合の安定化を実現している。ガイドピン V 溝と光ファイバ V 溝はダイヤモンドブレードを用いて単結晶シリコンを研削することにより加工されている。単一モード光ファイバ 12 心一括での結合損失は、平均 0.33 dB が報告されている。

(4) Fan-out 光コネクタ²¹⁾

多心光ファイバテープから単心光ファイバへの分岐結合に対応して、fan-out 光コネクタが開発されている。構造を図 20 に示す。片側は、多心光コネクタ push-pull 構造の結合形態で、反射側は、独立した個々の単心光コネクタ push-pull 構造となっている。Fan-out ユニット部の変換は光ファイバを用いて行っている。多心光コネクタの push-pull 結合は、構造を図 21 に示すが、アダプタのツメ部とプラグ部の溝部とがかみ合った後、さ

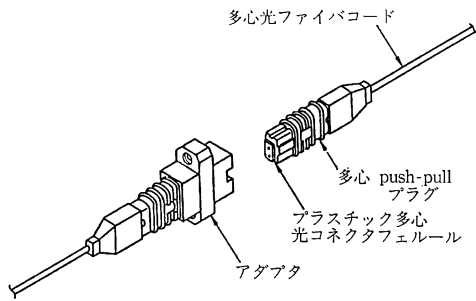


図 21 Push-pull 型多心光コネクタ

らに両者の結合を補強するカバー部が包みこむことにより結合の安定性の向上と、ワンタッチロックを実現している²²⁾。多モードファイバ 10 心での fan-out 光コネクタ結合損失は、多心・単心光コネクタ・分岐ユニットの全体 loss 合計が平均 0.52 dB であることが報告されている。

10. おわりに

現状の光コネクタについての概要を説明してきたが、本文にも示されたように、コア径 10 μm の単一モード光ファイバを接続するには、サブミクロンでの位置決めが要求され、光コネクタ製造には、精密材料、精密成形・加工、精密計測の総合技術が不可欠となっている。光通信は、より大容量、低損失、高信頼性へ向けて開発がすすめられており、そのなかでも、現場で安定して低損失を実現できる光コネクタの役割はますます重要となっている。原理原則に基づいた、高性能化への前進が今後ともいっそう期待されている。

文 献

- 1) 高島征二：“光加入者ネットワーク”，NTT R & D, **38** (1989) 441.
- 2) 柿井俊昭，ほか：“加入者 GI 用各種光コネクタの開発”，住友電気, 132号 (1988) 51.
- 3) JIS C 5970, C 5971, C 5972-1987.
- 4) 杉田悦治，ほか：“高性能プッシュプル光コネクタ及びプラグイン光コネクタ”，通研実報, **36** (1987) 919.
- 5) 鈴木信雄，ほか：“無反射・低損失光コネクタ”，通研実報, **33** (1984) 503.
- 6) 三川 泉，ほか：“屈折率整合剤による光コネクタの反射低減方法”，通研実報, **35** (1986) 99.
- 7) 鈴木信雄：“超低損失の PC 形光コネクタ”，O plus E, 12月 (1985)
- 8) 福富秀雄：光ファイバケーブル (改訂版) 電気通信協会 (オーム社, 東京, 1986) 第5章.
- 9) 鈴木信雄，ほか：“伝送装置用光コネクタ”，通研実報, **28** (1979) 1945.
- 10) 小山正樹，ほか：光通信回路とシステム, 第1版 (オーム社, 東京, 1987)
- 11) 杉田悦治，ほか：“高性能プッシュプル結合式光ファイバコネクタの設計”，信学論 (C), **J70-C** (1987) 1405.
- 12) 植木宗昭，ほか：“単心フェルール偏心測定装置の開発”，昭和64年信学春季全大, B-686.
- 13) 牧 久雄，ほか：“多芯コネクタの高精度寸法測定技術の開発”，昭和63年信学秋季全大, B-343.
- 14) 鈴木信雄，ほか：“凸球面研磨光コネクタ”，昭和60年信学総全大, No. 2606.
- 15) 岩佐恭一，ほか：“単一モード SC 形光ファイバコネクタの諸特性”，昭和62年信学総全大, No. 2386.
- 16) J.M. Anderson：“Lightwave splicing and connector technology,” AT & T Tech. J., **66** (1987).
- 17) 末松，ほか：光ファイバ応用技術集成 (日経技術図書, 1986).
- 18) S. Nagasawa：“Mechanically transferable single-mode multifiber connectors,” IOOC '89 21C2-1 (1989).
- 19) I. Watanabe：“Optical fiber cable transfer splicing system using optical fiber connectors,” IWCS '89 (1989) p. 191.
- 20) K. Saito：“Development of novel multiple single-mode fiber connector composed of U-grooved silicon chip and guide-pins,” IWCS '89 (1989) p. 444.
- 21) S. Nagasawa：“Optical fiber fanout connector for ten-fiber ribbon cable termination,” OFC '86 WK 2 (1986).
- 22) T. Komiya：“Optical-fiber fanout connector using push-pull multi-fiber connector,” IWCS '88 (1988) p. 670.