

■5 群(通信・放送) - 2 編(光アクセス線路・伝送技術)**5 章 光接続技術**

(執筆: 大塚健一郎) [2017 年 8 月 受領]

【概要】

通信網への光ファイバの進展には光ファイバをつなぐための接続技術が必要不可欠であり、光ファイバの研究開発と並行して複数の接続技術の開発が 1970 年前後から 2015 年現在に至るまでなされている。光ファイバの接続は 2 本の光ファイバのコアを正確に位置決めし、コア間の隙間をなくすることができるかが重要である。これらを実現する接続方法としては大別して 2 種類の技術開発が進められてきた。一つは接続した状態を保持する融着技術等の永久接続、もう一つは何度も着脱を繰り返すコネクタ接続である。

開発当初の 1970 年代、光ファイバはコア径が 50 μm もしくは 62.5 μm のマルチモード光ファイバが主流であったが、1980 年代には、コア径が約 10 μm のシングルモード光ファイバが主流となり、上記接続技術の難易度が上がり、光接続物品の精度向上が不可欠となった。さらにそれを複数本並べて多心化したテープ心線が登場し、新たな技術開発も必要となった。

また、2000 年代にはアクセス系の光サービスの進展に伴い、現場で簡易に組立接続可能、工場で組み立てた高い信頼性を有する物品が必要とされるなど、様々な要求が出てきた。同時に、光ファイバを接続した後、どのように収納、維持するかも通信網の信頼性にとって非常に重要である。特に、地下管路内で雨水から防護する工夫、架空で風雨、紫外線から防護する工夫、所内での管理なども広義の接続技術であり、これらの要求を実現する技術開発が進められ、2015 年現在に至っている。

【本章の構成】

本章では、光ファイバ接続技術の種類と特徴を解説 (5-1 節) し、光ファイバ接続技術の歴史 (5-1-1 節)、光ファイバ接続の基本原理 (5-1-2 節) について説明する。次に、融着接続技術 (5-1-3 節)、光コネクタ (5-1-4 節)、現場組立接続技術 (5-1-5 節) について詳述する。さらに、光ファイバケーブルを接続する方法 (5-2 節) を解説し、地下クロージャ (5-2-1 節)、架空クロージャ (5-2-2 節)、施工のポイント (5-2-3 節) について説明し、光接続技術の標準規格 (5-3 節)、光成端架 (5-4 節) についても述べる。

■5 群 - 2 編 - 5 章

5-1 光ファイバの接続

(執筆著者：加島宜雄) [2015年4月 受領]

通信光を導波する光ファイバ中のコア径は 10 μm から数百 μm と細径であり、従来の半田による接続や電気のコネクタのような精度で接続することは困難である。このため光ファイバの開発初期から色々な高精度接続技術が開発されてきたが、大きく融着接続とコネクタ接続の二つに分類される。融着接続は永久接続で半田による接続に相当し、一度接続すると理想的には永久に接続状態を保持するタイプの接続である。一方、光コネクタ接続は電気のコネクタと同様に着脱可能な接続である。別の分類として光ファイバ 1 心ごとに接続する単心接続（単心融着接続，単心コネクタ接続）と，光ファイバを多心で一括接続する多心一括接続（多心融着接続，多心コネクタ接続）に分類できる。

5-1-1 光ファイバ接続技術の歴史

(執筆著者：加島宜雄) [2015年4月 受領]

(1) 開発の流れ

1970 年に 20 dB/km の光ファイバが実現されて以来，初期の頃から光通信実用化のために光ファイバ接続が重要であると認識され，単心接続の研究開発が始まった。さらに 1979 年に 0.2 dB/km の低損失光ファイバが実現し，低損失な接続技術が要求され，主に日，米，欧で実用化研究が行われてきた。その中でも日本で開発した接続技術は広く世界で使われ，今日の光通信ネットワークを支えている。光ファイバ接続技術は 1970 年頃から現在（2015 年）までの約 45 年間の歴史があるが，初期の 20 年間に開発された日本を含めた世界の光ファイバ接続技術の歴史を表 5・1 に示す。単心接続から多心一括接続へ，また，マルチモード光モードファイバからシングルモード光ファイバの接続へと開発の流れがあった。これには，光通信システムの高速度化と，光通信システムの中継系からアクセス系までの浸透が深く関係している。

表 5・1 日本を含めた世界の光ファイバ接続技術開発の歴史

	1970	1980	1990
光ファイバ	20 dB/km	0.2 dB/km	
接続	単心融着 単心コネクタ 単心メカニカルスプライス 多心一括メカニカルスプライス	多心一括融着 多心一括コネクタ	2次元コネクタ
伝送システム	波長0.8 μm マルチモード光ファイバ伝送 100Mbps	波長1.3 μm	波長1.55 μm シングルモード光ファイバ伝送 2.5Gbps

このような流れの中でシステム構築に必須の接続技術がタイムリーに開発された。アクセス網から使用されたテープ心線 (fiber ribbon) を一括で接続するため、多心一括融着接続や多心一括コネクタ (MT) が開発されたのは 1980 年代である。

(2) スプライス (光ファイバ接続) 技術の開発の歴史

スプライスには、放電や CO₂ レーザなどの熱で光ファイバを熔融接続する融着接続 (Fusion Splices) と、軸合わせをした光ファイバを機械的に保持するメカニカルスプライス (Mechanical Splices) に分類できる。日本では 1978 年の中継伝送用の現場試験で放電を用いた単心融着接続とプラスチック製の V 溝を用いた単心メカニカルスプライスの両方が試験されたが、その後、融着接続の開発が重点的に行われた。放電を用いた融着接続は、図 5・1 に示す 1975 年頃の実験室での基礎研究を経て、図 5・2 左の様な中継伝送用の現場試験で使用する予加熱融着法を用いたマルチモード光モードファイバ用の装置へと進化した。これらの装置をベースとしてシングルモード光ファイバ用の装置も開発されていった。一方、光アクセス網構築の研究が 1979 年頃から開始され、小型、軽量、バッテリー駆動する装置が開発された (図 5・2 右)。この高周波トリガ方式の技術は日本国内の光ファイバ中継網で使用される装置にも導入された。表 5・1 に示すように、1980 年代に多心一括融着接続装置が開発された。この装置は、単心融着と同じく一対の電極棒での 1 回の放電で例えば 8 心テープ心線を一括融着接続でき、接続時間の短縮に貢献した。また、同じ頃、画像技術を用いたコア直視技術、接続損失推定技術などの高度な技術が開発され、使いやすい装置へと進化した。

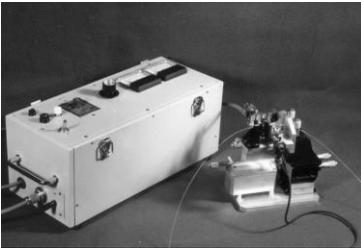


図 5・1 初期の融着接続装置 (1975 年頃)



図 5・2 融着接続装置小型化、バッテリー駆動化

メカニカルスプライスは米国で主に研究開発され、シリコン V 溝を用いた 12 心一括のスプライス技術などが表 5・1 に示すように早期に開発された。日本では、1978 年頃研究開発されたが融着接続に重点化され中断していたが、1990 年代に光アクセス網構築の簡易な接続方法としてのメカニカルスプライスが開発された。

(3) 光コネクタ技術の開発の歴史

接続により伝送特性の劣化、すなわち接続損失と反射が生じる。表 5・2 に接続損失の要因を示す。接続技術に起因する要因のほかに光ファイバの構造パラメータが異なる (ミスマッチ) ことに起因する要因がある。接続すべき光ファイバの寸法 (MFD や外径、コア偏心) が

異なると低損失接続が困難となる。

光ファイバ製造技術の向上により、光ファイバの構造パラメータのスペックは厳しく（例えば、初期の外径 $125 \pm 3 \mu\text{m}$ の規定から $125 \pm 1 \mu\text{m}$ へ）製造・管理されてきた。これにより、特に光コネクタの接続損失の低減が可能となった。

また、光ファイバ寸法精度の向上で、2重偏心コネクタなどの様な巧妙な技術を用いなくとも、調心しないシンプルな単心コネクタ（FC コネクタ、1979 年）が実現した。このタイプが今日の単心コネクタ技術の流れとなった。FC、SC、MU、LC などの単心コネクタが開発されると共に、コネクタ端面を物理的に接触する PC（Physical Contact）接続や大幅に反射を抑制する斜め研磨の APC（Angled PC）技術が開発され、光コネクタの低損失化、低反射化が実現した。

表 5・2 接続損失の要因

光ファイバ起因	MFDミスマッチ（コア径、 Δ 、 α のミスマッチ）
	外径ミスマッチ
接続技術に起因	軸ずれ、角度ずれ、間隔 端面の品質 接続部屈折率変化

（注）MFD：Mode field diameter（モードフィールド径）

Δ ：比屈折率差 α ：屈折率分布を表すパラメータ

光ファイバテープ心線（4心から16心）を一括でコネクタ接続するため、高精度プラスチック成型技術を用いた多心一括コネクタ（MT）が開発された。図 5・3 にその構造を示す。2本のガイドピンで軸合わせをするのが特徴である。MT コネクタは光ファイバがテープ心線の状態のアレイ状（1次元）に配列されている。

MT コネクタ技術を基礎に図 5・4 に示すプラグ断面をもつ2次元多心一括コネクタが1988年頃に開発された。この例ではテープ心線を5段にしている。さらに、MT コネクタフェルールを用いてプッシュ・プルタイプの一括接続できるコネクタ（MPO）が1990年頃に開発され、PC接続が実現している。

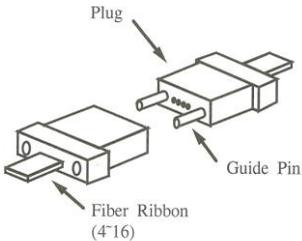


図 5・3 多心一括コネクタ (MT)

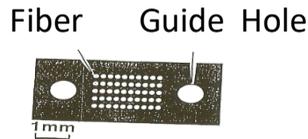


図 5・4 2次元多心一括コネクタ

5-1-2 光ファイバ接続の基本原則

(執筆: 木原 満) [2015年4月 受領]

本節では、シングルモード光ファイバの接続に関する一般的な特性を概説する。光ファイバ接続に関する重要なパラメータは、挿入損失と反射減衰量の二つである。挿入損失は、dBの単位で表され、透過係数 T の対数変換したものに10倍すること、すなわち、 $-10 \log(T)$ で導出される。ここで、 T は、接続点での入射パワーと透過パワーの比である。同様に、反射減衰量も、dBの単位で表され、反射係数 R の対数変換したものに10倍すること、すなわち、 $-10 \log(R)$ で導出される。ここで、 R は、接続点での入射パワーと反射パワーの比である。本節では、まず初めに、D. Marcuse によって体系化されたシングルモード光ファイバの挿入損失特性¹⁾を述べ、その後、W.C. Young などによってまとめられたシングルモード光ファイバの反射特性^{2,3)}を解説する。

(1) 光ファイバ接続点の挿入損失

光ファイバ接続特性に関する重要なパラメータの一つは挿入損失である。挿入損失は、接続点を含んだ光ファイバ伝送距離への影響が大きく、その低減は伝送路の長距離化につながることは当然として、そのほかにも光デバイスとの接続を容易にするといった特徴を含んでいる。ここでは、シングルモード光ファイバの接続に関して、D. Marcuse が行った、光ファイバ中を伝搬するモードの電磁界分布をガウシアンと近似して求めた接続特性を説明する。

図 5・5 に、光ファイバ接続において挿入損失要因となる項目を四つ示す。それら光ファイバ端面間隙、角度ずれ、軸ずれ、モードフィールド不整合の個々の損失要因についての接続特性を以下に示す。

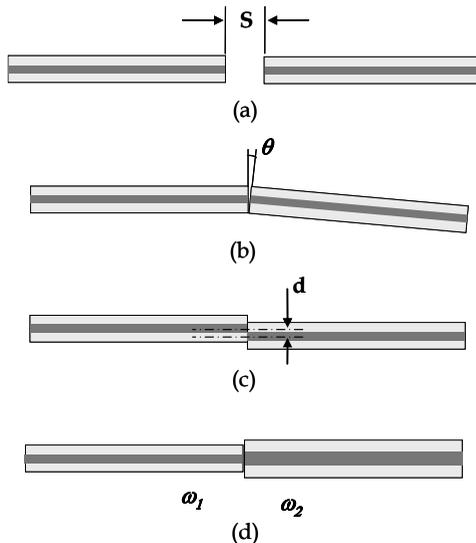


図 5・5 光ファイバ接続での挿入損失要因

(a) 光ファイバ端面間隙, (b) 角度ずれ, (c) 軸ずれ, (d) モードフィールド不整合

(a) 光ファイバ端面間隙損失

図 5・5(a)に示すような対向する光ファイバ端面の間隙 S が及ぼす透過係数 T は式(5・1)で表すことができる。

$$T = \frac{1}{Z^2 + 1} \quad (5 \cdot 1)$$

$$\text{ただし, } Z = \frac{\lambda S}{2\pi n \omega^2}$$

ここで, n は端面間の媒質の屈折率, ω は伝搬する光のモードフィールド半径, λ は光の波長を示している。ただし, ここでは光ファイバ端面間で多重反射は生じない, すなわち光ファイバ端面間隙は, 波長に比べて非常に大きいと仮定している。

(b) 光ファイバ間の角度ずれ損失

図 5・5 (b)に示すような角度ずれ θ が及ぼす透過係数 T は式(5・2)で表すことができる。

$$T = \exp\left[-\frac{(\pi n \omega \theta)^2}{\lambda^2}\right] \quad (5 \cdot 2)$$

(c) 光ファイバ間の軸ずれ損失

図 5・5 (c)に示すような軸ずれ d が及ぼす透過係数 T は式(5・3)で表すことができる。

$$T = \exp\left[-\frac{d^2}{\omega^2}\right] \quad (5 \cdot 3)$$

(d) モードフィールド不整合損失

図 5・5(d)に示すような対向する光ファイバのモードフィールド半径 ω_1 , ω_2 が及ぼす透過係数 T は式(5・4)で表すことができる。

$$T = \exp\left(-\frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1^2 + \omega_2^2}\right)^2 \quad (5 \cdot 4)$$

上記の透過係数 T から, $-10 \log(T)$ を計算することで dB の単位の挿入損失を求めることができる。

以上示した式が, シングルモード光ファイバの挿入損失の一般式である。

(2) 光ファイバ接続点の反射減衰量

光ファイバ接続点における, 挿入損失と同等の重要なパラメータが反射減衰量である。反射は, 屈折率の異なる媒質の境界面で生じ, これをフレネル反射という。光ファイバのコアの屈折率を n_1 外部空間の屈折率を n とすると, 光ファイバ端面が軸に垂直に切断されている場

合のフレネル反射による反射率は以下の式で表される。

$$R_0 = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2 \quad (5.5)$$

ここで、光ファイバが空気中にあるとして $n_1 = 1.454$ 、 $n = 1.0$ とすると、 R_0 は 0.034 (このときの反射減衰量は 14.7 dB) となる。すなわち、光ファイバ端面が空気中にあると、その端面に入射する光パワーに対して 3.4% のパワーの光が入射側へ反射されることになるが、伝送特性上この値は無視できない大きさである。

光ファイバの接続にしてみると、光ファイバ端面間に間隙がない場合には屈折率の不連続性はほぼないため、反射はほとんどないと考えてよいが、間隙がある場合には反射を考慮する必要がある。その端面間で間隙が生じ、かつその間隙が光の波長と同じくらいの微小な場合、光はそれらの端面間で多重反射を繰り返す。多重反射された光は反射により位相差が生じ、場合によっては光が強め合ったり弱め合ったりして、接続特性に影響を与える。これは、図 5.6(a) に示すような Fabry-Perot 共振器の平行平面版での多光束干渉の原理⁴⁾と全く同一である。

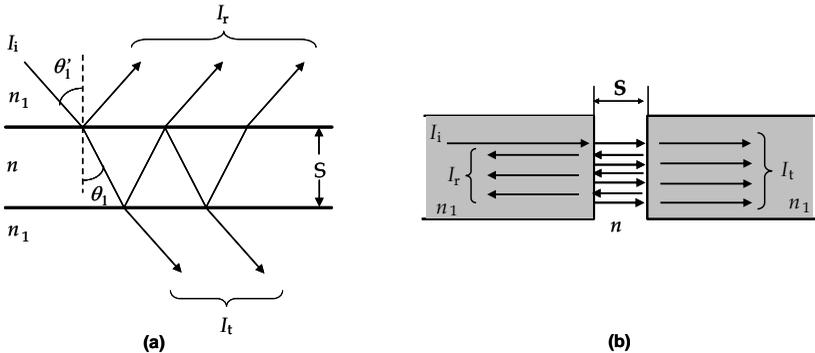


図 5.6 (a) Fabry-Perot 共振器の干渉モデル、(b) 微小間隙を持った光ファイバ接続点のモデル

図 5.6 (a) は屈折率 n 厚み S の極めて平行度の高い平面板が屈折率 n_1 の媒質中に置かれている。光強度 I_i の平面波がこの平面板の中へ入射角 θ で入射したときの Fabry-Perot 共振器モデルを示している。微小間隙を持った光ファイバ接続部の特性は、この Fabry-Perot 共振器の特性と全く同じである。図 5.6 (b) は微小間隙を持った光ファイバ接続点を示す。ここで、微小間隙とは光の波長と同程度であるという意味である。それぞれのモデルで、入射強度 I_i 、透過強度 I_t 、反射強度 I_r を示している。このモデルを基に、入射波に対する反射波の比、すなわち反射率は次式で表される。

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \frac{4R_0 \sin^2(\delta/2)}{(1 - R_0)^2 + 4R_0 \sin^2(\delta/2)} \quad (5.6)$$

$$\delta = \frac{4\pi n S \cos \theta_1}{\lambda}$$

ここで、 δ は反射による波の位相差、 n は端面間の媒質の屈折率、 S は端面間隙、 R_0 は式(5・5)で表される光ファイバのコアと端面間隙の媒質の屈折率の違いによるフレネル反射を表している。もし、 $R \ll 1$ の場合、式(5・6)は以下のように近似することができる。

$$R = 2R_0(1 - \cos \delta) \quad (5 \cdot 7)$$

図 5・6 (b)に示すような光軸に対し垂直端面を持った光ファイバどうしの接続点での反射は、上記のモデルの入射角 θ_1' 、および θ_1 を 0° とすることで、角度の項を消去し、次式のようになる。

$$R = 2R_0 \left(1 - \cos \left(\left(\frac{4\pi n}{\lambda} \right) S \right) \right) \quad (5 \cdot 8)$$

上記の反射係数 R から、 $-10 \log (R)$ を計算することで dB の単位の反射減衰量を求めることができる。この式が端面間隙を持っている光ファイバ接続点での反射の一般式である。

5-1-3 融着接続

(執筆者：大塚健一郎) [2015 年 7 月 受領]

(1) 融着接続技術

2000 年以降、インターネット、携帯の普及に伴い、光ファイバ網の構築が世界各国で急速に進んでいる。クラッド径 $\phi 125 \mu\text{m}$ 、コア径 $10 \sim 62.5 \mu\text{m}$ の通信用光ファイバを接続する技術としては、表 5・3 に示すようにコネクタ接続、接続融着、メカニカルスプライスなどあるが、永久接続、低損失、高信頼性の観点で幹線系、アクセス系のみならず、光部品組立工場など様々な用途で融着接続技術が使用されている。

表 5・3 光ファイバ接続方式一覧

接続方式	コネクタ接続	融着接続	メカニカルスプライス
着脱作業	可能	不可	不可
専用工具	不要	融着接続機、工具	専用組立工具
接続時間	1分以内	3分～5分程度	3分程度
接続スキル	不要	事前の講習推奨	事前の講習推奨
接続損失 (SMF/PM)	Typical 0.2dB以下 (対々)	Typical 0.05dB以下	Typical 0.1dB以下
反射減衰量	25～60dB (研磨で異なる)	—	40dB以上
特徴	・着脱可能 ・スキル不要	・ロス値低い ・接続状態画面確認可	・工具安価

融着接続技術の基本は、図 5・7 に示すように開発当初の 1970 年代からほぼ変わらず、二つの電極棒の間でアーク放電を形成し、その熱により光ファイバを熔融、一体化させる技術である。放電の条件（パワー、時間）を最適化することで、光ファイバの種類（シングルモード光ファイバ、マルチモード光ファイバなど）によらず融着することができる。

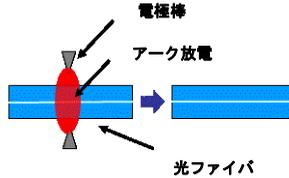


図 5・7 融着接続技術

世界各国、先進国から新興国まで通信網の普及に伴い、あらゆる環境下で容易に取り扱える作業性、保守性に優れた融着接続機が求められている。2010 年以降、海外向け需要が圧倒的に多くなり、単心光ファイバを接続するコア直視型融着接続機が主に使用されている。国内幹線系、アクセス系では、多心光ファイバテープ心線の接続が多く、外径調心型（V 溝型）融着接続機が用いられることが多い。

開発当初の 1970 年代から 2010 年の約 40 年の間に、自動で融着を行う融着接続機、異種ファイバをつなぐ融着接続機など、融着接続機は進化してきている。2010 年以降の動向としては、(a) 小型軽量化、(b) 接続作業の高速化、(c) 耐環境性能向上に力点を置いた製品開発がなされている。更に、(d) 無線 LAN やインターネットなどの情報通信技術を適用した保守機能をもった機種も開発されており、次項に詳述する。

(2) 融着接続機の動向

(a) 小型軽量化

小型軽量化に関して、1970 年代当時の融着機（図 5・8 左）⁵⁾ と 2015 年の融着機（図 5・8 右）⁶⁾ の外観サイズ、重量等の比較表を表 5・4 に示す。2015 年品は筐体の内部部品について軽量化のため材料の樹脂化、部品一体化による部品点数の削減が進んでいる。操作入力にはタッチパネルが採用され、スマートフォンと同じような直感的でわかりやすい操作性と小型化がなされている。また、軽量なりチウムイオンバッテリーの搭載などにより、融着接続機本体としては 1970 年代品と比較して体積減約 60% の小型化、重量減約 80% の軽量化を実現しており、地下、架空などの作業環境によらず、安心して使用できるものとなっている。

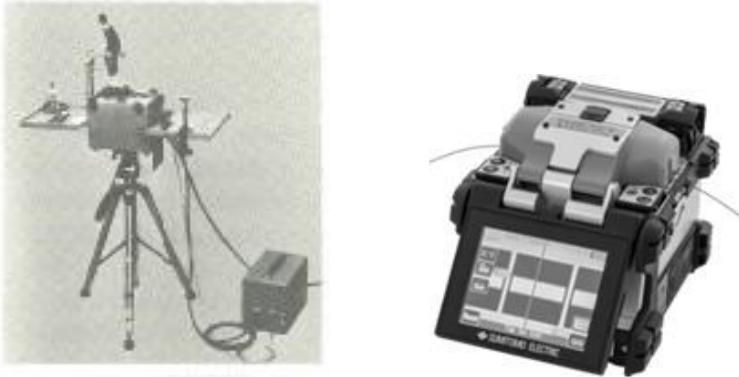


図 5・8 1970 年代当時の融着機（左）と 2015 年の融着機（右）

表 5・4 1970 年代当時の融着機と 2015 年の融着機の比較表

	1970年代融着機	2015年融着機
外観サイズ	22cm×15cm×19cm ※電源ボックス含まず	12cm×15cm×13cm ※電源含む
重量	12kg	2kg
接続損失	平均0.07dB ※マルチモード光ファイバ	平均0.02dB ※シングルモード光ファイバ

(b) 接続作業の高速化

保護スリーブの加熱時間短縮のための工夫もなされている。熱応答特性に優れたフィルムヒータを用い、保護スリーブの底面部だけでなく側面部に加熱ヒータを配置し、スリーブとヒータの接触面積を増やすことで昇温時間の高速化、加熱時間の短縮化を実現している。

(c) 耐環境性能向上

融着接続機は屋外の過酷な環境でも使用される機器であり、耐衝撃性、防塵防滴性、高地対応などの耐環境特性の向上も進んでいる。

耐衝撃性は、小型軽量化による自重による衝撃エネルギーの低減、部品一体化による重量部品の締結部分の削減等により向上する一方、風防等の外装部品の一部は金属ダイカストなどを用いて堅牢性を向上させる工夫を行っている。更に筐体外装部には弾力性を有する衝撃緩衝部材を装着することで、76 cm 落下試験を、上面を除く多面で適合可能となっている。

防塵防滴性は、密閉性を高めた筐体設計により、国際規格である保護等級 IP52 相当の防塵防滴性を有するまでになっている。

高地特性は、放電回路の出力性能の向上を図り、海拔 6 000m 相当の低気圧環境下においても安定した融着接続が可能となっている。

(d) 情報通信技術を適用した保守機能

インターネットなどの情報通信技術の急速な発展、普及により、IoT (Internet of Things) は世界中で大きな注目を集めている。そのような中で融着接続機に無線 LAN 機能を搭載し、インターネット経由で融着接続機を管理するシステムを搭載した融着機が開発されている⁶⁾。

本システムは、融着接続機に無線 LAN 通信で接続されたスマートフォンアプリで構成される。スマートフォンアプリは、融着接続情報の送受信、位置情報付与、作業報告書作成などの機能により、データ管理の利便性を向上させる。また、作業者が現地でトラブルに直面した際に役立つ融着接続機のヘルプ動画、機体状態診断などの保守機能も搭載している。

(3) 周辺技術（融着型現地取付光コネクタ）の動向

融着機は市場ニーズを元に進歩してきているが、周辺技術に関しても同様に進歩を遂げている。その周辺技術の一つとして、融着型現地取付光コネクタ⁷⁾が挙げられる。単心/多心ともにインタフェースとして IEC-61754 に準拠した光コネクタ〔詳細参照：本章 5-3-3 光接続技術関連の標準規格〕であり、工場取付と同等の寸法となっている。取付時間は、融着時間を含めて 5 分程度（心線型）であり、現地取付時に使用する工具は可能な限り減らすようなコネクタ構造となっている。

図 5・9 に融着型の基本構造として SC コネクタタイプの融着型現地取付光コネクタの構造を示す。スタブ、融着保護スリーブ、スプリング、フロント/リアハウジングから構成される。リアハウジングはスプリングを固定する部品とコードのケブラを把持する部品とブーツから構成される。光学特性を担保するための部品であるスタブのコネクタ接続面は、通常の工場付けと同じ品質に研磨加工を行っている。逆側光ファイバはそのまま融着可能とするため、高精度に切断している。このほかに、LC コネクタ、ST コネクタなどの単心コネクタ、並びに MPO コネクタの多心コネクタタイプの融着型現地取付光コネクタが製品化されている。

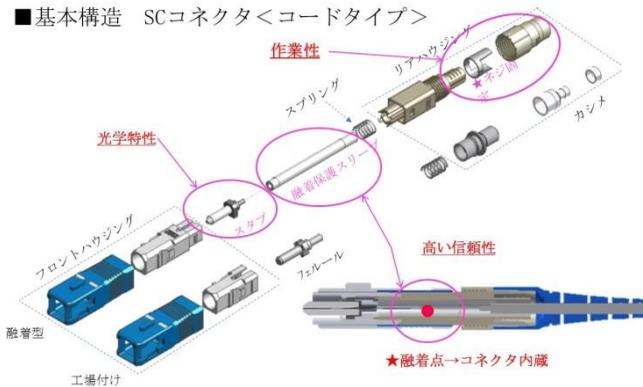


図 5・9 融着型現地取付光コネクタ

単心 SC コネクタ（融着型現地取付単心 SC 光コネクタ）の組立てフローは、①先入れ部品を取付側コードに通し、専用工具で端末処理を行った後に融着保護スリーブ、スプリングを光ファイバに通す。②光ファイバの被覆を除去し、融着ホルダに寄せファイバカットする。③融着機にその端末とファイバスタブを搭載し融着を行う。④融着後融着保護スリーブを融着点に寄せ、融着機加熱部で収縮させる。⑤フロント部の組立てを行う。⑥ケブラ及び外被の長さを調整する。⑦ケブラ、外被止め引留部を組み立てる。

融着型現地取付光コネクタの接続損失は、工場付けコネクタと比較して融着接続点での損失の分だけ増えるが、一般的なコネクタの接続損失規格を十分に満たしている。また、機械特性、環境特性も工場付けコネクタと遜色なく、融着技術により組み立てたことで高信頼性を有していることがわかる。

5-1-4 光コネクタ

(執筆者：木原 満) [2015年4月 受領]

本節では、日本で開発され、実用化された光コネクタについて概説する。まず、単心コネクタを述べた後、多心コネクタの構造や特徴を説明する。

(1) 単心コネクタ

図 5・10 に、光ファイバ端面どうしを密着接続させる PC (Physical Contact) 接続タイプの単心コネクタの基本構造を示す⁹⁾。ほとんどすべての PC 接続タイプのシングルモード光ファイバ用の単心コネクタは、2 個の円筒形精密フェルールと 1 個の円筒形の割りスリーブから構成されている。精密フェルールの中心には微細孔が作製され、そこに単心光ファイバが接着固定されている。さらに、接続の際に光ファイバ端面間に空気層ができないようにフェルール端面は最適に研磨されている。円周方向の一部にスリットが入っている割りスリーブの中に、2 個の精密フェルールを挿入することで、光ファイバどうしは位置合わせされ、適切な押圧力を加えられることで PC 接続を実現している。

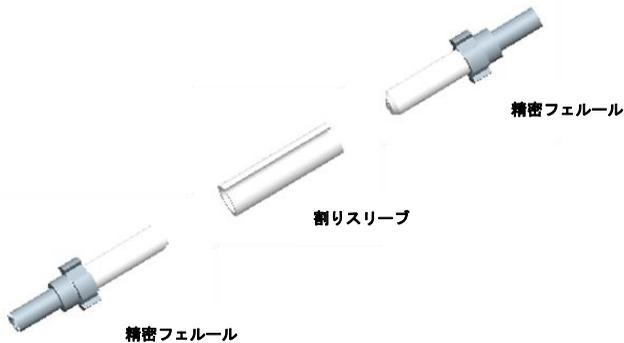


図 5・10 精密フェルールと割りスリーブ

図 5・11 に FC (Fiber transmission system optical connector) コネクタの外観を示す。FC コネクタは、最初に実用的に使われた単心コネクタである。FC コネクタは、円形のプラグとアダプタから構成され、プラグの中に精密フェルールが組み込まれ、アダプタの中に割りスリーブが組み込まれており、精密フェルールと割りスリーブを採用した最初のコネクタである。接続時は、プラグのフェルールをアダプタの中の割りスリーブに挿入し、ねじ方式で確実に嵌合する方式を採用している。

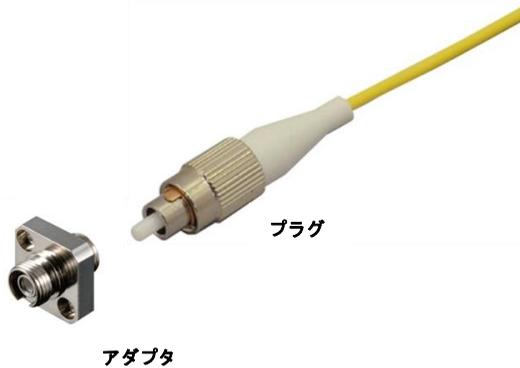


図 5・11 FC コネクタ

図 5・12 に SC (Single fiber coupling optical fiber connector) コネクタを示す。SC コネクタは、FC コネクタの基本構造を踏襲し、更に利点に加えたコネクタである¹⁰⁾。SC コネクタは、ジルコニアフェルールを採用し、プラグ形状を円形の金属から角形プラスチックへ、更に勘合方法を従来のねじ方式からプッシュプル方式へと変更し、低コスト化と容易な着脱操作性を実現したコネクタである。この SC コネクタは、所内や宅内での装置への接続や単心光ファイバ接続用として、大量に利用されている。

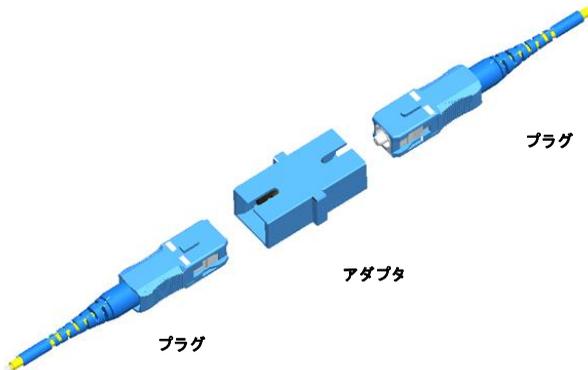


図 5・12 SC コネクタ

SC コネクタから、さらに高密度実装を実現した単心コネクタが MU (Miniature unit coupling optical fiber connector) コネクタである¹¹⁾。MU コネクタを図 5・13 に示す。MU コネクタも、FC コネクタと SC コネクタと同様に、プラグとアダプタから構成される。従来の 2.5 mm 直径のフェルールから 1.25 mm 直径のフェルールへ変更して、実装密度を大幅に改善したコネクタである。MU コネクタは、日本の FTTH (Fiber To The Home) の中の所内設備 [本章 5-4 光成端架：詳細参照] で大量に使用されている。

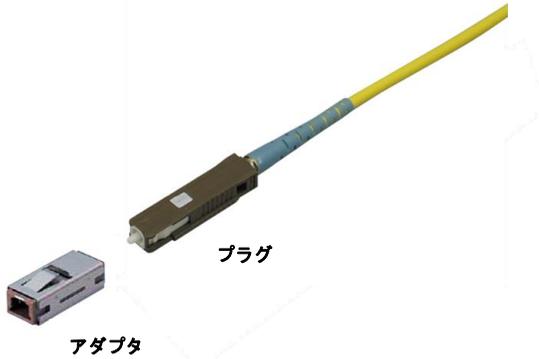


図 5・13 MU コネクタ

(2) 多心コネクタ

地下光ファイバケーブル接続用、及び多心光ファイバテープ心線接続用に開発されたコネクタが、MT (Mechanically Transferable multifiber connector) コネクタである¹²⁾。図 5・14 に MT コネクタを示す。MT コネクタは、2 個の MT フェルールと 2 本のガイドピン及びクランプスプリングから構成される。MT フェルールは、二つのガイド穴と複数の光ファイバ穴を有するプラスチック成形フェルールに多心光ファイバテープ心線が接着固定されている構造である。2 個のコネクタフェルールの接続は、2 本のガイドピンをガイド穴に挿入・位置合わせし、フェルールどうしを突き合わせて、クランプスプリングで締結することで行う。フェルール端面には空気層で生じるフレネル反射を抑制するため、屈折率整合材が用いられている。取り付ける多心光ファイバ心線は、4 心、8 心、12 心の光ファイバテープ心線に対応することができ、更にテープ心線を、複数枚を積層させて、取り付けることができ、24 心コネクタが実用化されている。

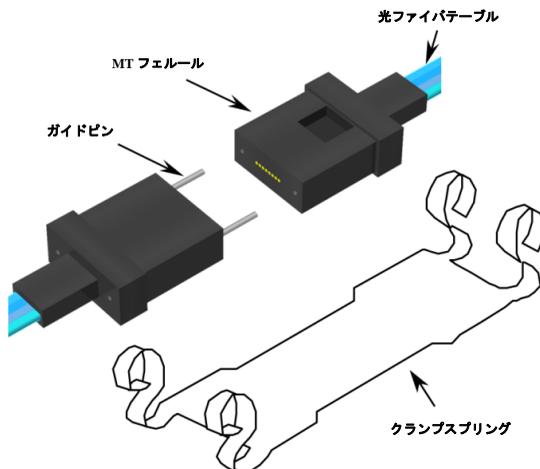


図 5・14 MT コネクタ

MT コネクタをベースに着脱容易性を向上させた多心コネクタが、MPO (Multifiber push-on/pull-out connector) コネクタである¹³⁾。MPO コネクタは高密度光実装が求められる光ファイバケーブル終端部や装置間や装置内の光インターコネクションでの使用を目的に開発されたコネクタである。図 5・15 に、MPO コネクタの構造を示す。MPO コネクタは、2 個のプラグと 1 個のアダプタから構成される。プラグ内には、斜め端面の MT コネクタが組み込まれている。この MT フェルールの斜め端面から研磨された光ファイバがわずかだけ突き出させて、この構造により、屈折率整合材を用いずに、光ファイバ端面どうしを密着接続させる PC 接続を可能にしている。同時に、反射特性も優れた性能を得ることができる。プラグどうしは、アダプタを介してプッシュプル操作で、SC コネクタと同様に、締結と切り離しが容易にできる。

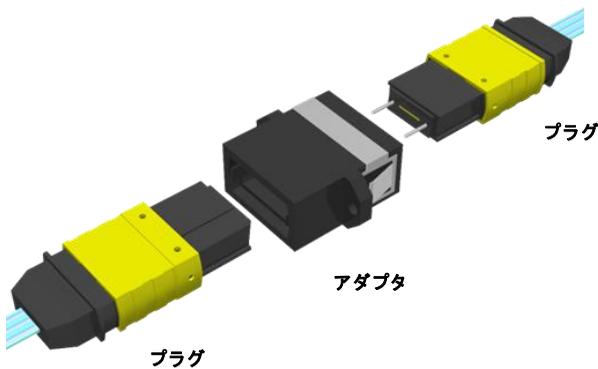


図 5・15 MPO コネクタ

5-1-5 現場組立接続技術

(執筆者：木原 満) [2015 年 4 月 受領]

本節では、現場組立の光ファイバ接続技術は、現場で作業者が光ファイバ心線の被覆除去や切断などの端末処理を行った後、光コネクタなどに取付け・作製する技術である。

実用化された現場組立の接続技術は、適用場所で分類すると、大きく二つある。一つが地下光ファイバケーブル接続用で、もう一つが引落し点以降の光ファイバケーブル接続用である。

まず、地下ケーブル接続用として、本章 5-1-4(2)多心コネクタで説明した MT コネクタを現場で作製する技術が実用化された。図 5・16 に現場組立する MT コネクタの作業工程と組立のための工具を示す。

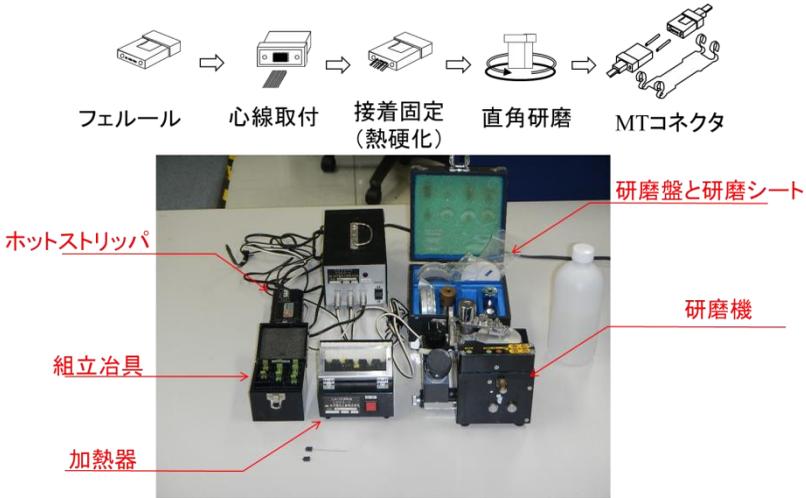


図 5-16 MT コネクタの現場組立の作業工程と工具

作業工程は、まずプラスチック材料からなる MT フェールールに組立治具を用いて多心光ファイバを挿入する。挿入した多心光ファイバに接着剤を塗布して、加熱器に入れて、接着剤を熱硬化させる。その後、多心光ファイバが固定された MT フェールールを研磨機に取付け、粗研磨と仕上げ研磨の 2 段階の研磨を行って、1 個の MT フェールールを作製する。コネクタ組立には、多心光ファイバの被覆を除去するためのホットストリッパ、組立治具、加熱器、研磨機、及び電源を必要とし、組立時間は 1 フェールール当たり 10 分以上を必要とした。

MT コネクタの現場組立時間を大幅に改善したのが、高速組立 MT コネクタである¹⁴⁾。図 5-17 に従来の方法と比較した高速組立 MT コネクタの作業工程と組立時間を示す。従来の組立工程が、光ファイバの被覆除去、光ファイバ挿入、熱による接着固定、フェールール端面研磨であったところを、高速組立 MT コネクタでは、被覆除去した後に、ファイバカッターで多心光ファイバを切断し、専用の組立工具を用いて高速組立 MT フェールールに切断した多心光ファイバを挿入する。その際、ダミーフェールールに光ファイバ心線を突き当てて、位置合わせし、その位置で、瞬間接着剤で固定させるという工程をとる。この工程により、従来の組立工程から接着剤固化の時間短縮と研磨工程をなくす無研磨化により、従来の組立時間を大幅に短縮することを可能にした。

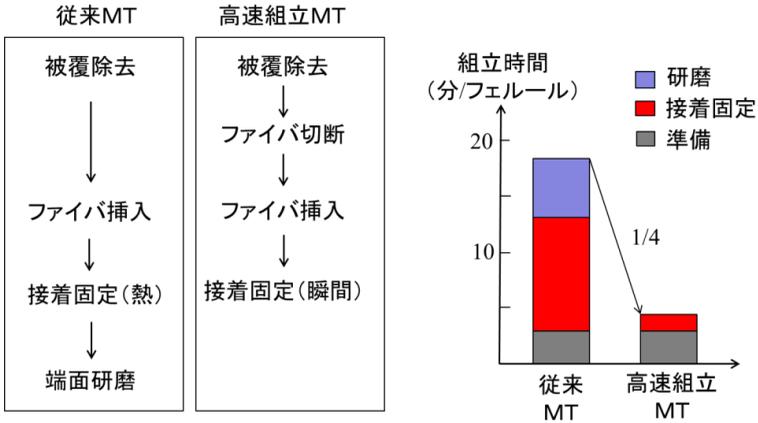


図 5・17 従来と高速組立 MT コネクタの作業工程と組立時間

次に、引落し点以降の現場組立の光ファイバ接続技術について述べる。図 5・18 に、架空クロージャなどの屋外設備で単心光ファイバ接続用に用いられているメカニカルスプライスを示す。メカニカルスプライスは、V 溝基板と上蓋、クランプスプリングから構成される。光ファイバを接続する際は、メカニカルスプライスの側面からくさびを挿入し、基板と蓋の間にスペースをつくる。そのスペース内に、光ファイバを V 溝に沿わせて挿入し、対向する光ファイバどうしを突き合せて接続する。その後、くさびを抜くことで、クランプスプリングにより機械的に固定される構造となっている。接続される光ファイバの端面間には、フレネル反射を抑制するため、屈折率整合材が使用されている。メカニカルスプライスの組立には、接着固定や端面研磨などは必要としないため、電源不要の光ファイバ接続技術である。

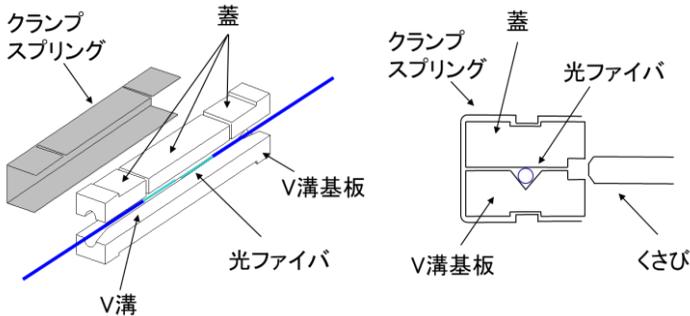


図 5・18 メカニカルスプライス

次に、FA (Field Assembly) コネクタを説明する。FA コネクタは、宅内で単心光ファイバを接続するための現場組立コネクタである。FA コネクタは、図 5・19 に示すように、大きく

三つの部分から構成される。一つは工場であらかじめ内蔵ファイバを接着固定し、端面研磨されたフェール部である。それと、その内蔵ファイバと現場で端末処理された光ファイバを接続するメカニカルスプライス部と、インドア光ファイバケーブルを固定する固定部から構成されている。FA コネクタの大きな特徴として、FA コネクタどうしても接続できるが、SC コネクタと接続できる。また、メカニカルスプライスと同様に電源不要である¹⁵⁾。

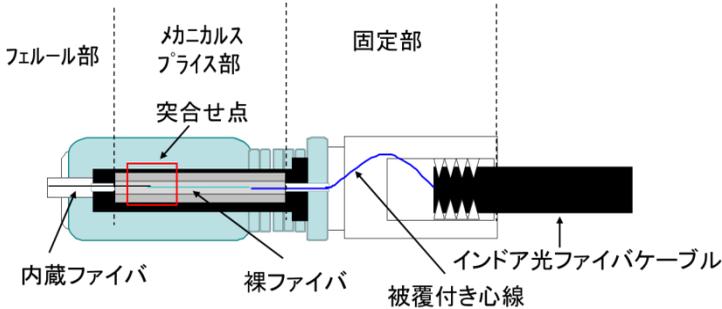


図 5・19 現場組立コネクタ：FA コネクタ

FA コネクタをさらに小型にし、架空クロージャでの単心光ファイバ接続用の現場組立コネクタが、FAS (Field Assembly Small) コネクタである¹⁶⁾。FAS コネクタを図 5・20 に示す。FAS コネクタの構造は、FA コネクタと同様に、内蔵ファイバを持った端面研磨されたフェール部、内蔵ファイバと現場で端末処理した光ファイバを接続するメカニカルスプライス部、光ファイバ心線把持部またはドロップ光ファイバケーブル把持部から構成される。FAS コネクタの大きな特徴は、接続するコネクタにオス・メスのような構造の違いがあるプラグ・ソケット方式を採用している。このため、FAS コネクタは、FAS コネクタプラグと FAS コネクタソケットでのみ接続する光コネクタである。

以上が実用化された現場組立の光ファイバ接続技術の代表的なものであるが、この他にも現場組立の接続技術はある。それは、ドロップ光ファイバケーブルの外被を把持するメカニカルスプライスや反射特性を改善した斜め端面光ファイバを使用したメカニカルスプライス型の現場組立コネクタ、メカニカルスプライスの代わりに融着接続で内蔵ファイバと現場で端末処理した光ファイバを接続する現場組立コネクタ、従来の液体状の屈折率整合材から固形状の屈折率整合材を使用した現場組立コネクタが開発されている。これらの光ファイバ接続技術は、使用条件や要求条件の違いなどによって適材適所で使い分けされると考えられる。

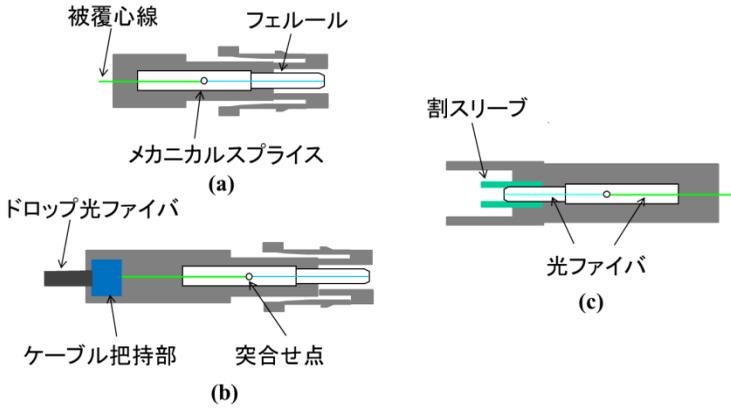


図 5・20 現場組立コネクタ：FAS コネクタ

(a)心線把持タイプのプラグ, (b)ドロップケーブル把持タイプのプラグ, (c)心線把持タイプのソケット

■5 群 - 2 編 - 5 章

5-2 光ファイバケーブルの接続

(執筆者：青柳雄二) [2015 年 6 月 受領]

■はじめに■

【クロージャの機能】

光ファイバケーブル用クロージャは、光ファイバケーブルの接続点やドロップ光ファイバとの接続箇所などに設置し、ケーブル部を把持する機能や、融着接続、メカニカルスプライス、各種コネクタなどにより接続された光ファイバ心線の接続部と光ファイバ心線の余長を収納する機能を有するものである。また、マンホールやハンドホールなどに設置する地下用クロージャと電柱に布設されたケーブルなどに設置する架空用クロージャに分類される。

地下クロージャは、マンホール、ハンドホール内の浸水、凍結、振動、ケーブルクリーニングなどによる過大張力、架空クロージャは、風、雨、紫外線など様々な自然環境下において長期的な信頼性を確保する必要がある。

クロージャ内での光ファイバ心線の収納技術では、規定された許容曲率半径を確保するとともに、限られたスペース内で高密度に収納することが必要である。更に、光ファイバケーブルの増設、ユーザへの引き落とし、故障修理などの作業時における光ファイバ心線の識別や取り出しなどにより、現用回線へ影響を極力与えないように設計することも重要である。

【クロージャの開発経緯】

架空用クロージャは、メタリック接続端子函をベースとした FFA クロージャにはじまり、1996 年、FTTH 用架空光クロージャとして SFAO クロージャ (Subscriber Facility Aerial Optical Closure)、通称 AO クロージャが導入され、その後も機能向上、経済化などの改良が進められている。

地下用クロージャは、1980 年に開発された SSM クロージャにはじまる。その後、SSM クロージャをベースに筐体のプラスチック化及びシール材等の改良を加え、電話局相互間の中継伝送路に用いる光ファイバケーブルやメタリックケーブルにも汎用的に使用可能な低コストで機械的に組立・解体できる汎用型のスタンダードクロージャ (3SC) が開発された。その後も機能向上、経済化などの改良が進められている。

本節では以下、地下クロージャ、架空クロージャ及び施工のポイント等について概説する。

5-2-1 地下光クロージャ

(執筆者：西村公敬) [2015 年 6 月 受領]

(1) クロージャの機能

地下光クロージャの主な機能は以下のとおりである。

- ・ケーブルを外被接続し、把持する機能
- ・接続した光ファイバを余長含めトレイに収納する機能
- ・光スプリッタを収納する機能
- ・収納した光ファイバに過度の曲げを与えない保護機能

- ・ クロージャ内への浸水を防止する機能
- ・ 切り替えや故障切り分け時において多数収容されている心線を識別できる機能

(2) 地下光クロージャの経緯

(a) SSM クロージャ

1980年に開発された。地下光ケーブルの外被を接続するためクロージャの外側は鉛材質であり施工には火力を必要とした。

(b) 3SC

外被接続には火力を必要としていたが電話局のとう道火災以降、火を用いない接続方法として SSM クロージャをベースにメタリックケーブル、同軸ケーブル及び光ケーブルのすべての接続点で適用できる標準的なクロージャとして開発したことから“スタンダードクロージャ”と命名。メタリックケーブル用クロージャとの共用部品を用いることで経済化を図った。

(c) 4SC

FTTH 向け光ファイバケーブルのサービス提供の増加を見据え、施工現場からの要望を取り入れ 3SC の構造全体を見直した。クロージャの部品数を削減し組立作業性の向上及び経済化を図った。更に電話局相互間をつなぐ中継伝送路用の光ファイバケーブルの多心化への適用を行った。

(d) 7SC/7BSC

スタンダードクロージャの開発当初は光サービスの需要が少なく、メタリックケーブル用と共用化を図ってきたが、光サービスの需要増加及び非ガス化した光ケーブルの開発に伴い、非ガスケーブル対応の光専用のクロージャとして開発。導入後はクロージャの開閉作業の増加によりクロージャの気密性担保をするためクロージャスリーブの閉じ方を片側バックル方式から両側バックル方式の改良し水密性を向上。

(e) TN クロージャ

光サービスの需要拡大により設備量が増加してくると地下光クロージャの浸水等の不具合が散見されてきたことから新しいクロージャを開発した。TN クロージャの特徴は下記のとおりである。

- ・ 増加するクロージャの開閉作業を容易にするためスリーブの平面とし単純な構造とすることでスリーブの合わせ目にかかる圧力を均一化し水密性の向上を実現
- ・ ケーブル導入部の施工をスキルレス化するためポートアダプタを適用。従来はアジャストテープ巻き付けることで水密性を確保していたが施工者により巻き方が異なることを回避し均一の出来型を実現

TN クロージャは、組立てにおいてスキルレス化を実現することで水密性を確保しつつ新設時の施工性を向上させるとともに、開閉作業における作業時間短縮を図った。

(f) UOW-P/S, UOP-T

電柱地中化エリアにおけるサービス需要の増加に伴い、迅速なサービス提供に向け地下配線区間のシンプルな接辞構成を実現するため地下配線用のクロージャとして開発。配線点用クロージャと引落し用クロージャとの機能を特化することで施工性向上、経済化を図った。

(3) 長期的信頼性への取組み

(a) マンホール、ハンドホール内の浸水への取組み

地中に設置されているマンホールやハンドホールは、蓋、管路がずれた箇所、コンクリート部分の亀裂などから浸水する場合がある。光ファイバは長時間浸水することで光損失の増加や機械的強度の低下が発生するため、マンホールやハンドホールに入った水をクロージャ内に浸水させない防水機能を有している。

クロージャの外装部は主にスリーブ、端面板、ケーブルポート部から構成されており、プラスチック系の材質を使用している。スリーブの組立てにおいては間にゴムパッキンを挿入している。開閉作業のたび、ゴムパッキンは取替えを行っている。ケーブル挿入部であるケーブルポート部においては、ポートケースとシールゴム、シールカラー及びシールキャップで構成され各物品を組み立て、ネジを締結することでケーブルとゴム間の隙間が埋まるように設計されている。

また、耐久性を確認するためヒートサイクル試験を実施し浸水がないことを十分に確認し物品の導入を行っている。

(b) ケーブルクリーピングへの取組み

管路に布設された地下光ケーブルは、管路内の振動などの影響により移動することがある。特に橋梁に添架されている場合は、橋梁上の車両交通によるたわみや温度変化により地下管路の布設されたケーブルに比べ大幅な伸縮が発生しやすい。ケーブルの移動に関しては移動防止金物を取り付けて対処しているが、クロージャにおいてもケーブル外被を把持する金物において、クリーピングを考慮した把持力が確保可能な形状を採用している。

5-2-2 架空光クロージャ

(執筆者：西村公敬) [2015年6月 受領]

(1) クロージャの機能

架空光クロージャの主な機能は以下のとおりである。

- ・ ケーブルを外被接続し、把持する機能
- ・ 接続した光ファイバを余長含めトレイに収納する機能
- ・ 光スプリッタを収納する機能
- ・ 収納した光ファイバに過度の曲げを与えない
- ・ 設置した架空環境において、風、雨、紫外線などの自然環境下において光ファイバに影響を与えない機能
- ・ 切り替えや故障切り分け時において多数収容されている心線を識別できる機能

(2) 架空光クロージャの経緯

(a) FFA クロージャ

光サービスの需要が非常に少ない時代であったことから、メタリックケーブル用クロージャの函体を流用した低コストのクロージャを開発した。加入者用は 40 心、中継伝送路用は 120 心の光ファイバを収納可能であった。ケーブル導入部はシーリングテープを巻くことでクロージャ内への浸水を防止。

(b) AO-H/S/C クロージャ

H8 年ごろメタル並みコストを目指し光専用の機能別クロージャとして開発。構造の簡略化により取付け作業の向上を図っている。機能点別に 3 種類とした。

AO-H：き線ケーブル用

AO-S：接続点用

AO-C：配線点用

(c) SFAO クロージャ (Subscribe Facility Aerial Optical closure)

光の需要増加に伴い施工件数も増加し、現場要望より 3 種類のクロージャ機能を統合。ケーブル導入部の浸水防止においてはゴムの端面板を採用したことでテープ巻による施工の個人差を解消し防水機能の均一性と向上を実現。

以前は光ファイバをテープ単位で運用していたが、心線使用率向上のため単心運用技術の適用、PON 方式経済化のため光スプリッタ収納技術を適用したクロージャを開発しドロップ区間の経済化を実現した。

大量開通時代に向けては、クロージャ内パーツのモジュール化及び接続部のコネクタ化を実現。更には光配線構成を見直し、現行のクロージャの空きスペースを有効活用し、引落し点の下部延ばし機能を追加、光スプリッタなどの収容効率を向上した。また、施工現場から要望を基に施工時において、心線のトレイ収納時などの発生する心線の挟み込み、飛び出し防止への機能も盛り込んでいる。より迅速かつ安全な作業を可能としたクロージャである。

更に FTTH サービスが日本のブロードバンドサービス全体の 6 割程度を占めてくると光設備の構築においてはサービスの廃止、移転などの需要変動への迅速かつ効率的な対応が求められる。そこで光設備の効率的な構築・運用に向け開通工事のたびに行っていた配線点にて光スプリッタの設置と合わせて配線ケーブルへの接続までを完了することでサービス提供の際は、ユーザ宅近傍での引落し作業のみで開通することが可能となる機能を具備した。

また、光ケーブルの間欠テープ開発 [本編 4-4-1 参照] に伴い、単心分離後の心線識別性の確保に重点をおいた物品改良を実施。

(d) AOF/AOF24

以前はケーブル布設と合わせてクロージャを設置してきたが、少心ケーブル後設置可能としたクロージャを開発。このクロージャは、軽量化し、接続のコネクタ化による接続収納の簡素化、光ファイバ心線収納作業の軽減、ケーブル固定方法の簡素化を実現しており、より経済化、機能・品質の向上を図り、ユーザ宅へのサービス開通工事の迅速化に貢献したクロージャである。

(e) AOT-M/S

光サービスの需要増加による更なるコスト削減に向け光設備の効率的な構築・運用を実現する引落し点用のクロージャ。引落し点ではサービスの廃止、移転などにより既存設備の保留が増加することから、既存の配線ケーブルの有効活用を図るため下部延ばし機能を具備。ケーブル心数 8 心用と 24/40 心用の 2 種類を開発し機能を限定することで物品コストの経済化を実現している。

(f) AOT-D2/AOC-D

主に地方部の需要が点在しているエリアでの使用を考慮して開発されたクロージャ。一つのクロージャからの引落しユーザ数を 2 加入とし、小容量、軽量化した。引落し作業が従来

のクロージャどおり施工できる構造を実現。同じベースを活用し、8 心光ケーブルを全心線接続可能なクロージャのラインアップを追加し支障移転、加害事故への迅速な対応を可能とした。

(3) 長期信頼性への取り組み

(a) 架空環境設置による劣化対策への取り組み

架空光クロージャは、電柱に布設されたケーブルなどに設置していることから直射日光の直接浴び、雨風など厳しい自然環境下にさらされる。物品の開発においてはヒートサイクル試験後の防滴機能、紫外線劣化特性試験、振動疲労試験など実施し、劣化加速試験においても品質維持されることを確認し物品の導入を行っている。

5-2-3 施工のポイント アース、設置環境等

(執筆著：西村公敬) [2015 年 6 月 受領]

(1) 地下光クロージャの取付手順とポイント

- ・ケーブルの接続点となるマンホールなどの中において、地下光ファイバケーブルは、クロージャ内で必要となるケーブル剥ぎ取り長を確保し、かつ、ケーブルの最小許容曲げ半径を確保してとり回し、受け金物に固定する。
- ・地下光ファイバケーブルは、外被を剥ぎ取り、ゴムパッキンの位置などをマーキングし、ケーブルのテンションメンバヤスロットロッドを、設置するクロージャの規定の長さに処理する。
- ・マンホールなどの受け金物の上にスリーブを設置する。
- ・ケーブル固定部品によりケーブルをクロージャに固定する。ケーブル固定の際、締め付けトルク値以上で固定するとケーブルが変形し、光ファイバ心線に負荷がかかるため、注意する。
- ・ポートケースをケーブルに取り付ける。
- ・融着接続した光ファイバ心線をトレイに収納する。収納の注意事項は次のとおりである。
 - (a) 収納の際は、トレイのふたなどに挟み込まないこと。
 - (b) テープ心線にねじれが加わらないようにすること。
 - (c) 一つのトレイに複数のテープ心線を収納する場合は、接続点が重ならないようにすること。
- ・スリーブを取り付ける際は、上下の水密部分をアルコール清掃し、ゴム部分にはシリコングリスを塗布する。上下のスリーブを嵌合する際は、ゴムパッキンの倒れ込み、挟み込みを防止するため真上から降ろすようにする。また、バックルがついている場合は、中央のバックルから取付け、嵌合部への圧力が均一になるように行うこと。
- ・すべての物品を順序通り実施したのち、クロージャ内に乾燥空気を注入し、組立時における接続点の気密確認を確実に実施し、浸水防止機能の確認を行うこと。
- ・気密確認が完了後、クロージャをマンホールなどの受け金物に固定する。

(2) 地下光クロージャの作業全般について

- ・地下光クロージャ施工において、光ファイバ心線を取り扱う際は、心線の挟み込みには十分に注意すること。特に収納トレイの開閉時、スリーブの開閉時には光ファイバ心線の位置を確認することが重要である。

(3) 電食対策について

通常、地下光クロージャをマンホールなどへ設置する際は電食対策は不要であるが、下記の場合には対策する。

- ・過去に海水が流入したことがあるマンホールなど
- ・既設の金属露出部分があるクロージャにおいて金属露出部分の腐食が発生したことがあるマンホールなど
- ・海岸、河口または運河等から概ね 100 m 以内にあり、海水が流入する恐れがあるマンホールなど

対策は、金属露出部分と流電陽極をボンド線でつなぎ、マンホールなどの平鋼へ固定する。

(4) 架空光クロージャの取付手順とポイント

- ・クロージャの取付位置を確認し、ケーブル引き通し箇所／ケーブル新設、ケーブルの種類（心線数、スロットロッドの有無等）を確認する。
- ・確認した内容に基づき、規定のケーブル外被の剥ぎ取り長に従い、ケーブル外被の剥ぎ取りを行う。
- ・外被を剥ぎ取ったケーブルはケーブル固定部品にてクロージャに固定する。
- ・光ファイバ心線は相互に接続を行い、接続トレイに収納する。収納する際は、心線に撚りが入らないようにすること。また、心線に損傷を与えないようにすること。
- ・一束化区間においては、ほかのケーブル支持線またはつり線が支持体となる場合は、クロージャの筐体へアースを取り付ける。
- ・上記作業が終了後、スリーブをしっかりと取り付け、スリーブ下部にあるラッチを嵌合する。確実に嵌合されていることを確認し取付け作業は終了。

(5) 架空光クロージャの作業全般について

- ・架空光クロージャを施工する際は、作業着の袖のボタン、腕時計などが光ファイバ心線に引っ掛かり、損傷を与える可能性があることから、腕カバーを着用するなど対策が必要である。
- ・特に、架空光クロージャ内では光ファイバ心線がスリーブの開閉、トレイの引き出しや開閉の際に挟み込み、引っ張りが生じやすいことから、細心の注意を払い、慎重な作業を行うこと。
- ・スロットレスケーブルの施工においては、ケーブル把持金具の鬼目がケーブル外被に深く食い込むと光ファイバ心線に損傷を与えることから、食い込み度合いを確認し、ネジ締結を行うこと。
- ・スロットレスケーブルの施工においては、ケーブルの識別性を維持するため光ファイバ心線にあみ組しておくこと。

■5 群 - 2 編 - 5 章

5-3 光接続技術の標準規格

(執筆著者：川高順一，富田 茂) [2015 年 7 月 受領]

5-3-1 はじめに

光ファイバネットワークでは光ファイバや光ファイバケーブルを光ファイバ，光ケーブルとし，または伝送装置や測定装置への接続が必要になる。様々な国で製造される光ファイバや光ファイバケーブルの接続に関する互換性の確保や品質の確保をするためには標準化が重要になる。ここでは光コネクタやクロージャなどの光接続部品の国際標準化について述べる。

5-3-2 光接続部品標準化組織

光接続部品の国際規格は IEC (International Electrotechnical Commission) において標準化が行われている。IEC は電気及び電子の技術分野における標準化のすべての問題及び規格適合性評価のような関連事項に関する国際協力を促進し，これによって国際理解を促進することを目的にしている標準化組織であり，2015 年現在 83 か国が参加している。

国際規格は専門委員会 (TC : Technical Committee) で作成されており，光ファイバ関連技術の標準化は第 86 専門委員会 (TC86 : Technical Committee 86 : FIBRE OPTICS) において審議されている。SC (Sub Committee)，WG (Working Group) に細分化されている TC86 の組織構成と技術担当分野を図 5・21 に示す。TC86 では，主に通信装置とともに用いる光ファイバシステム，モジュール，デバイスそしてコンポーネントの標準を整備することを目的としている。制定する規格では，用語，特性，それに関連する試験・校正・測定方法，機能インタフェース，そして，適切な品質評価手続きを用いて信頼性のあるシステム動作を保障できるような光学的・環境的・機械的な要求条件が規定されている。

組織の構成		標準化の内容
TC86 ファイバオプティクス	SC86A 光ファイバ・光ケーブル	通信用途に関連する光ファイバ、光ファイバケーブルの一般特性・試験・測定方法
	WG1 光ファイバ	光ファイバ関連仕様・試験方法
	WG3 光ケーブル	光ケーブル関連仕様・試験方法
	光ファイバ接続部品・受動素子	光ファイバ接続部品・受動部品動作の測定方法、機能インターフェース、相互接続性、信頼性
	SC86B WG4 試験・測定	光ファイバ接続部品・受動部品へ利用できる試験・測定方法
	WG6 光接続部品	光コネクタ、スプライス等の光ファイバ接続部品とクロージャ等
	WG7 光受動部品	WDMデバイス、アッテネータ、分岐デバイス、スイッチ等のような光ファイバ受動部品
	JWG8 ターミネータケーブルアッセンブリ	WDMデバイス、アッテネータ、分岐デバイス、スイッチ等のような光ファイバ受動部品
	光ファイバシステム・アクティブデバイス	光ファイバシステム、能動デバイスの用語、特性、試験・測定方法、信頼性等の要求条件
	SC86C WG1 光システム	光ファイバ通信サブシステムの規定パラメータ、試験手順、物理レイヤに対する設計方法等
	WG2 光ファイバセンサ	光ファイバセンサの性能、インタフェース特性、試験手順、用語、信頼性
	WG3 光増幅器	光増幅器の関連パラメータ、試験手順、仕様
	WG4 光ファイバアクティブデバイス	光能動部品、デバイスそしてハイブリッドモジュール分野
	WG5 ダイナミックモジュール	光フィルタ特性や光バス接続状態等を動的に制御する光部品であるダイナミックモジュール
	WG4 光部品構成	TC86の試験法の試験装置に関する校正

図 5・21 TC86 における SC86B (光接続部品・受動部品) の担当する分野

光接続部品については光接続部品・受動部品の標準化を担当する SC86B (光接続部品・受

動部品) 内に設置された SC86B/WG6 (光接続部品) において議論されており, また関連試験方法は SC86B/WG4 (試験・測定) が担当している。

5-3-3 光接続技術関連の標準規格

光ファイバ接続及び光ケーブル接続に関する国際標準規格について, それぞれ, 表 5・5 と表 5・6 に示す。光接続部品に関する IEC 規格は主に, 性能標準 (IEC61753 シリーズ), かん合標準 (IEC 61754 シリーズ), 光学互換標準 (IEC 61755 シリーズ) の各規格番号体系において標準規格が規定されている。IEC61753 シリーズでは, 光接続部品が使用される温湿度や架空, 地中などの設置位置など製品の各種使用環境に応じたカテゴリに分けて要求される性能の規定を行っている。IEC61754 シリーズは光コネクタの機械的な互換 (かん合) に関するサイズや条件を規定しているシリーズであり, 光ネットワークで広く使われている単心丸型 (SC コネクタなど) や多心角形 (MT コネクタなど) をはじめ, 装置インタフェースなどの市場要求に応じた多様なコネクタが個別の規格として制定されている。IEC61755 シリーズは光コネクタの光学的な接続品質を規定するための各種条件を規定しているシリーズである。損失や反射のような基本的な光学特性について性能ごとにグレードを設定し規定している。また, その特性を満たすために必要な軸ずれ, 角度ずれ, 端面角度などの接続パラメータについても IEC61755 シリーズで規定している。このように光接続部品の性能要求や機械的・光学的互換に関し製品が満たすべき特性について IEC では規定しているが, 光接続部品のインタフェース条件に関する標準については ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) の L シリーズ (屋外設備) にて勧告化されている。

表 5・5 光ファイバ接続に関する代表的な国際標準

規格大分類		規格番号	タイトル(抜粋)
ITU-T	Lシリーズ (屋外設備)	L.12	Optical fibre splices
		L.36	Single-mode fibre optic connectors
IEC	61753シリーズ (性能標準)	61753-1	General and guidance
		61753-021	Single-mode fibre optic connectors
		61753-022	Fibre optic connectors terminated on multimode fibre
		61753-131	Single-mode mechanical fibre splice
	61754シリーズ (光コネクタかん合標準)	61754-1	General and guidance
		61754-4	Type SC connector family
		61754-5	Type MT connector family
		61754-6	Type MU connector family
		61754-7	Type MPO connector family
		61754-20	Type LC connector family
	61755シリーズ (光学互換標準)	61755-1	General and guidance
		61755-2-1	Single mode non-angled physically contacting fibres
		61755-2-2	Single mode angled physically contacting fibres
		61755-3-1	Cylindrical full zirconia PC ferrule, single mode fibre
			61755-3-2

表 5・6 光ケーブル接続に関する代表的な国際標準

規格大分類		規格番号	タイトル(抜粋)
ITU-T	Lシリーズ (屋外設備)	L.13	Sealed closures for outdoor environments
IEC	61753シリーズ (性能標準)	61753-1	General and guidance
		61753-131	Single-mode mechanical fibre splice

■5群 - 2編 - 5章

5-4 光成端架

(執筆者：寺川邦明，泉田 史) [2015年6月 受領]

5-4-1 概要

2001年からFTTHサービスが提供されるようになった当時，メタリック網を使用した音声サービスの加入契約数は依然として5000万を越えていた。通信ビル内には，メタリック網の所内系設備が相当量あり，FTTHのための所内系設備は，通信ビル内の空スペースを使用する必要があった。そこで，所内系光設備間を，経済性と運用性を確保して配線できる所内光配線マネジメントシステムが開発された。IDM (Integrated Distribution Module) はその基本構成であり，2001年以降，本格導入された〔本編1章1-1参照〕。

光成端架の基本機能は，通信ビルに収容される所外光ファイバとサービスを提供する所内装置を配線・管理することである。種々なサービスを提供するための機能も搭載したIDMは，

- ・ 所内外の光ファイバケーブルを成端し，振り分ける機能，
- ・ 所内光配線を効率的に管理する機能，
- ・ 各種光サービスを提供するために必要な光スプリッタ機能・波長多重機能，
- ・ 所内外の光ファイバ区間を効率よく建設保守する機能

を有しており，光成端架の標準規格であるITU-T L.202/L.50にも準拠している。

本節では，所内光配線マネジメントシステムの開発コンセプト

- ①フロア間をフレキシブルにつなぐ光配線方式
- ②スペースを有効利用するコンパクトな光配線設備
- ③狭隘なスペースでも安全・確実なオペレーション

に基づいて，IDMについて解説する¹⁷⁾。

5-4-2 フロア間をフレキシブルにつなぐ光配線方式

IDMはIDM-AとIDM-Bで構成される。所外光ケーブルはIDM-Aに，OLTなどの伝送装置から配線される所内配線ケーブルはIDM-Bに成端され，IDM-AとIDM-Bは架間ケーブルによって，2点ジャンパ方式で接続されている(図5・22参照)。

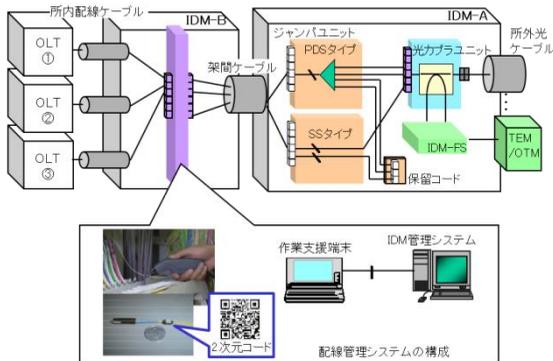


図5・22 IDMを基本構成とする所内光配線マネジメントシステムの構成

IDM-A には、数 100～1 000 心の規模の細径高密度光ファイバケーブル [本編 4 章 4-1-2 及び 4-4-1 参照] が成端され、ある程度の心数規模で先行敷設することで、所外での繰返し工事を避けている。IDM-A に成端された所外光ファイバケーブルの端末は、光カブラユニットに収納され、MT コネクタで接続される [本章 5-1-4 参照]。光カブラユニットの所内側のコネクタは単心の MU コネクタ [本章 5-1-4 参照] であり、最大 4000 心の MU コネクタ (受け側) が並ぶ。これが IDM-A 側のジャンパ面であり、所外光ファイバケーブルの他方の端末と 1 対 1 で接続された光端子が集約されることになる。IDM-A 内には、各種サービスのための光スプリッタ機能・波長多重機能等を有するジャンパユニットが搭載され、実際のジャンパ作業では、MU コネクタ付きジャンパコードを IDM-A 側ジャンパ面にあるカブラユニットの該当する MU コネクタ (受け側) に接続することになる。

IDM-B には、各種サービスを提供する伝送装置からの所内配線ケーブルが成端され、ケーブル端末の MU コネクタが接続盤 (最大 4032 心分) に接続される。この接続盤が、IDM-B 側のジャンパ面となる。架間ケーブルは、この IDM-B のジャンパ面の光コネクタと、IDM-A のジャンパユニットの MU コネクタ (受け側) を繋いでいる。

実際の開通作業では、IDM-A のジャンパ面ではお客様側に配線された所外光ファイバケーブルを選択し、IDM-B では各種サービスを提供する伝送装置を選択する。この 2 点ジャンパ方式により、先行して敷設した所外光ケーブルと、別フロアに設置されている伝送装置を接続でき、迅速なサービス提供が可能となっている。また、このジャンパ機能により、所外設備と所内設備の差を吸収し、所内装置 OLT の収容率向上にも寄与している。

光サービスの需要が少なかった時代は、接続コストを考慮して、光 MDF では 1 点ジャンパ方式を採用していた。迅速な FTTH サービス提供に向けた IDM では、2 点ジャンパ方式を採用し、MU コネクタの経済化と多心ケーブルの先行配線により、コストインパクトを小さく抑えている (表 5・7 参照)。

表 5・7 各光成端架の比較

	光MDF (FTM3版)	FTM (5版)	IDM
最大収容心数	1000	2000	4000
大きさ(単位:mm)	D:600, W:1800, H:1800	D:600, W:1600, H:1800	D:600, W:1600, H:1800
ジャンパ方式	1点ジャンパ	1点ジャンパ	2点ジャンパ
	SC	SC2	MU
使用コネクタ	手でコネクタ挿抜が簡易にできる	高密度化および誤抜去防止のため工具対応	小型化によりメタル加入者をFTTHで収容可能

5-4-3 スペースを有効利用するコンパクトな光配線設備

狭隘なフロアスペースを有効に活用するためには、フロアの任意の空スペースに IDM を配置できる必要があるが、ビルのフロアには耐荷重設計から単位面積当たりの重量制限がある。IDM は従来の FTM (Fiber Termination Module) の 2 倍の光ファイバ心線を実装するので、総重量の軽量化が必要である。IDM 架のフレーム側板にはメッシュ構造や穴を空けることで、軽量化対策を行っている。一方、ビルの上層階と下層階では耐震基準が異なるが、IDM 架はどこかの階のフロアでも設置できるように、IDM 架の耐震強度は、最も厳しい基準である震度階 7 (通信ビル内の装置架の耐震基準は阪神淡路大震災の教訓に基づき見直された) に対応

する必要がある。そこで、IDM架のフレーム板の端末を折り返すなどでフレーム強度を確保し、耐震設計と軽量化の両方を実現している。

IDM-Bは所外光ケーブルと伝送装置の間に位置し、中間架として機能している。例えば、IDM-Aが m 台、伝送装置が n 台とすると、敷設する所内光配線ケーブルの総条数は、直接メッシュ状に配線する場合（1点ジャンパ方式）は $m \times n$ 本であるのに対し、中間架方式の場合（2点ジャンパ方式）は $m+n$ 本になる（図5・23参照）。そのため、 $m > 2$ 、 $n > 2$ の条件で中間架方式の方が所内光ケーブルの総条数が少なくなり、所内におけるケーブル配線の輻輳緩和に貢献している。

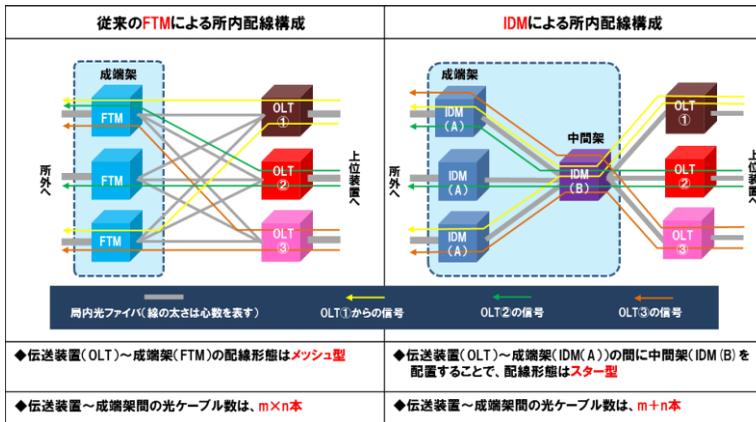


図5・23 FTMとIDMによる所内配線構成比較

IDM架のサイズはFTMと同等（高さ：1800mm、幅：1600mm、奥行き：600mm）である。IDM-Aが収容する心数は、従来のFTMの2倍の4000心、IDM-Bは4032心と、従来の2倍であるので、IDM架に実装される光コードを細径化する必要がある。そこで、光コード外径を1.1mmとすることで断面積を従来の1/2とし2倍の実装密度を実現した。光コードの剛性は断面積が小さくなると弱くなるので、外被材料に熱可塑性エラストマを使用して剛性を確保した。また、IDM架は4棚構成で4000心収容であるので、一つの棚には最大1000心の光コードが配線される。ジャンパ作業をする際は、現用となっている1000心（最大）の中から1心の光コードを安全に抜く必要がある。そこで、光コードの外被には先に述べた熱可塑性エラストマ材料を用いて、滑りやすく、癖が付き難いコード設計としている。更に、環境対策として光コードの外被材料として、燃焼時に有害ガスを発生するPVCをやめ、水平延焼しない難燃ノンハロゲン化も行っている¹⁸⁾。

IDM架内では多くの心数の光コードを扱うため、作業者がジャンパする際に光コードを容易に識別できる必要がある。そこで、光コードは黄色、白、薄緑、ピンクの4色で16心単位に色分けし、心線番号を両面かつ長手方向に周期的に繰り返し印刷することで、心線のどの位置でも何番心線であるか識別可能となっている。光コードの色や心線番号の印字方法は色見本や実サンプルをもとにその視認性を評価して決めている。更に、光コードには識別用の

タグも取り付けられ、確実なジャンパ作業をサポートしている（識別タグについては次項で説明する）。

IDM 内に搭載される光機能部品類はユニット内に機能を統合することで経済化と高密度化を実現している。光ジャンパユニットは、出力側を 1.1 mm 径の光コードとしたジャンパ機能、PDS サービスに依存した 4, 8, 16, 32 分岐数に対応した光スプリッタ機能、心線対照光や OTDR 試験光が所内装置に入らないように遮断するフィルタ機能が統合されたユニットである。光コネクタには 1.25 mm 径フェルールの MU コネクタを採用した。この光ジャンパユニットは、外形をユニット化することで、ジャンパ作業や搭載方法のオペレーションを統一した。また、ユニット内部の光学モジュールをサービスに合わせて追加変更することで多様なサービスに対応可能であり、「フレッツ・テレビ」のような映像系サービスの場合は、波長多重機能を追加している。光カプラユニットは、MU コネクタの 16 連簡易レセプタクルを前面のジャンパ面に採用するとともに、ユニット内部には通信光モニターや所外試験のためのカプラとして 16ch 波長無依存型 PLC を用いて、小型化低コスト化を図っている。PLC 技術による波長依存しないフラットな光学特性は将来的なサービス変更への対応にも貢献している。

5-4-4 狭隘なスペースでも安全・確実なオペレーション

4000 心の光コードが高密度收容されると、ジャンパ作業の際に光コードが定尺長であるため、余った部分がほかの光コードに絡む恐れがあった。そこで、IDM では光コードの余長部分を架の中に底擦りせずに収納できる配置設計として、ジャンパ面の配置は IDM 架の正面左上の 1/4 の領域とし、ジャンパ用の光コードの起点となる光ジャンパユニットの配置は IDM 架の正面右端に一列で横積みにした。光ジャンパユニットの光コード出口には、整列エレメントを配置して、現用コードと保留コードの配線ルートを分離する構造としている。ジャンパする際は、外した光コードを整列エレメントまで一旦引き戻し、既に配線されているジャンパコードの一番外側から再配線するプラグリセット方式により、何度ジャンパ作業を繰り返しても、コードが絡むことがない。

通信ビル内では数 1000 心もの光ファイバが配線及び接続されるため、所内系光配線に関する情報を人手で管理するには限界がある。図 5-22 に示す配線管理システムは、これらの情報を簡単かつ正確に設備データベースへ登録・参照・表示することができる。この配線管理システムは識別タグ (ID タグ)、ID コードリーダ、ハンディターミナルから構成されている。ID タグは、5.6 mm×5.6 mm の大きさであり、高い誤り訂正機能を持ち、360 度高速読み取りが可能な QR コードで 36 文字の情報を格納している。この ID タグは、IDM の各箇所、例えば、所内配線ケーブルやジャンパユニットの光コードのコネクタ部、ジャンパ面の接続端子、IDM 架などに取り付けられているので、ハンディターミナルに接続された ID コードリーダで設備情報を読み取ることで、配線設備情報を簡単に登録・参照が可能となっている。

また、IDM-A には、所外光ファイバを遠隔自動で試験監視する試験機能を有する OTM と心線選択機能を有する IDM-FS を、架内に搭載することが可能であるので、光線路試験システムにより、効率的な光ファイバ網の保守運用も実現できる [本編 6 章 6-2 参照]。

■参考文献

- 1) D. Marcuse, "Loss analysis of optical fiber splice," *Bell Sys. Tech. J.*, vol. 56, pp. 703-718 (1976)
- 2) W. C. Young, "Optical fiber connectors and splices," *Short Course Notes in OFC'91*, San Diego (1991)
- 3) M. Kihara, S. Nagasawa, and T. Tanifuji, "Return loss characteristics of optical fiber connectors," *J. Lightw. Technol.*, vol. 14, pp. 1986-1991 (Sep. 1996)
- 4) A. Yariv, "Introduction to optical electronics," New York: Holt, Rinehart, and Winstone, (1985)
- 5) 福富秀雄, "光ファイバケーブル (改訂版)," 電気通信協会, pp110-126 (1986)
- 6) 宮森誠, 佐藤龍一郎, 上甲和文, 遊佐英明, 本間敏彦, 樫原告司, "新型コア直視型融着機接続 TYPE-71C+," *SEI テクニカルレビュー No.186*, pp51-54 (2015)
- 7) 竹中直, 福井潤二, 鈴木裕司, 為國芳享, 大塚健一郎, "融着接続型現地取付単心コネクタ," 電子情報通信学会総合大会, B-13-2 (2014)
- 8) 大塚健一郎, 福井潤二, 竹中直, 鈴木裕司, "融着接続型現地取付 MPO コネクタ," 電子情報通信学会総合大会, B-13-3 (2014)
- 9) N. Suzuki, Y. Iwahara, M. Saruwatari, and K. Nawata, "Ceramic capillary connector for 1.3 μm single-mode fibers," *Electron. Lett.*, vol.15, no.25, pp.809-811 (1979)
- 10) E. Sugita, R. Nagase, K. Kanayama, and T. Shintaku, "SC-type single-mode optical fiber connectors," *IEEE/OSA J. Lightw. Technol.* 7, pp.1689-1696 (1989)
- 11) R. Nagase, E. Sugita, S. Iwano, K. Kanayama, and Y. Ando, "Design for MU-type single-mode miniature optical connector," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E81-C, No. 3, 1991, pp. 408-415 (1998)
- 12) T. Satake, S. Nagasawa, and R. Arioka, "A new type of a demountable plastic molded single mode multifiber connector," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. LT-4, pp. 1232-1236 (1986)
- 13) S. Nagasawa, Y. Yokoyama, F. Ashiya, and T. Satake, "High-performance single-mode multifiber connector using oblique and direct endface contact between multiple fibers arranged in a plastic ferrule," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.3, no.10, pp.937-939 (1991)
- 14) K. Shibata, K. Hogari, and I. Sankawa, "High-speed MT connector assembly method," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.16, no.7, pp.1682-1684 (2004)
- 15) K. Hogari, R. Nagase, and K. Takamizawa, "Optical connector technologies for optical access networks," *IEICE Trans. Electron.*, Vol. E93-C, No. 7, pp. 1172-1179 (2010)
- 16) T. Nakajima, K. Terakawa, M. Toyonaga, and M. Kama, "Development of optical connector to achieve large-scale optical network construction," in *Proceedings of the 55th IWCS/Focus*, pp. 439-443 (2006)
- 17) 泉田史, "[特別講演] 所内における配線マネジメント技術", 信学技報, OFT2014-30 (2014)
- 18) M. Tachikura, K. Mine, H. Izumita, S. Uruno and M. Nakamura, "Newly developed optical fiber distribution system and cable management in central office," in the *Proc. of IWCS'02*, pp. 98 - 105 (2001)