



## 光ファイバとその応用—VI

# 光ファイバ関連技術(1)—光ケーブルとファイバ接続技術

増田 裕一・小笠原一郎・大阪 啓司

住友電気工業(株)横浜研究所 〒244 横浜市栄区田谷町 1

(1989年12月4日受理)

## Optical Fiber and Its Applications—VI

# Optical Fiber Technology (1)—Optical Fiber Cable and Fiber Splicing Technology

Yuichi MASUDA, Ichiro OGASAHARA and Keiji OSAKA

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

### 1. はじめに

本号では、最初に光ファイバケーブルの設計思想および構造について説明し、次に光ファイバの融着接続技術を、最近開発された多心テープ心線の一括接続技術を中心紹介する。なお、コネクタによるファイバ接続技術については次号で解説する予定である。

### 2. 光ファイバケーブル

光ファイバを用いて伝送路を構成するためには光ファイバを集合した光ファイバケーブル（以後光ケーブル）が必要となる。光ケーブルに要求されることは、光ファイバの特徴である細径・軽量・低損失を生かした構造であることと、布設時および布設後20年以上の長期間にわたって安定した伝送特性を維持することである。さらに、布設および布設後の外力に対して十分な強度をもっていること、布設・接続・保守が容易で扱いやすい構造であること等があげられる。本稿ではこれらのこと考慮した光ケーブルの設計および構造について説明する。なお、光ファイバの材料は種々開発されているが、本稿では公衆通信用として使用実績が最も多く、高品質・高信頼性の石英系光ファイバについて説明する。

#### 2.1 光ケーブルの設計

##### 2.1.1 光ファイバの強度設計

光ケーブルの構成材料は個々に経時的に安定なものが厳選されている。このため典型的な脆性破壊を起こす材料である石英系光ファイバの破断による通信途絶が光ケーブルの信頼性上とくに問題と考えられる。光ファイバには製造時の張力、残留応力、布設時の張力、残留応力、布設後の曲げによる歪、温度変化による歪等各種の応力が加わっていることと、光ファイバの表面あるいは内部に確率的に傷（欠陥）が存在していることのため、光ファイバの破断確率をゼロにすることはできない。しかし、光ファイバ製造時に光ファイバ全長に一定張力を一定時間負荷し、とくに大きな傷については故意に破断を起こさせることにより、破断しなかった光ファイバの破断確立をきわめて小さくし信頼性を向上させることが可能である。これがスクリーニング試験による光ファイバの強度保証方法である<sup>1-3)</sup>。

スクリーニング試験による歪を $\sigma_p$ 、印加時間を $t_p$ とすると、このスクリーニング試験を通過した時間 $t_{sl}$ までの破断確率 $F_s$ は次式のようになる。

$$F_s = 1 - \exp \left[ -L \cdot N_p \cdot \left\{ \left( 1 - \left( \frac{\sigma_{sl}}{\sigma_p} \right)^n \cdot \frac{t_{sl}}{t_p} \right)^{m/(n+1)} - 1 \right\} \right] \quad (1)$$

ここで $L$ はファイバ長、 $N_p$ はスクリーニング試験時の単位長さ当たりの破断回数（0.1～0.01 回/km）、 $n$ は光ファイバの疲労係数（20～25）で静的疲労試験で求ま

る。 $m$ は光ファイバの初期強度分布を表すパラメータ(1~10)でスクリーニング条件をかえて $N_p$ を測定することから求められる。 $\sigma_{sl}$ は使用中の光ファイバに加わる等価負荷歪であり、ケーブルの使用状況により異なる。(1)式を用いることによりスクリーニング条件( $\sigma_s$ ,  $t_s$ ), 破断確率( $F_s$ )および寿命( $t_{sl}$ )を決めることが可能である。また逆に、使用時の等価負荷歪、使用期間、許容破断確率を決めることにより、光ファイバに必要なスクリーニング条件を決めることが可能である。ただし、スクリーニング条件をきびしくすることは、光ファイバの歩留り(光ケーブル製造上必要な長さを得る率)を悪化させ価格を押し上げることになるため、十分に検討する必要がある。陸上用ケーブルでは、 $\sigma_s=0.5\%$ ,  $t_p=1\text{ s}$ のスクリーニング条件が一般的である。この場合、光ケーブルの等価負荷歪を0.15~0.17%程度とすることで、20年後の破断確率を $10^{-5}\text{ 回/km}$ 以下とすることができる。これは、従来の同軸ケーブルと比較して約1/1000の破断確率である。参考として(1)式の計算例を図1に示す。

このように光ケーブルは、長期信頼性を維持するため

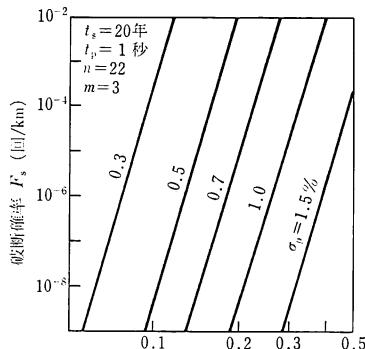


図1 光ファイバに加わる負荷歪と破断率の関係

に使用中(製造、布設の歪も含む)の等価負荷歪を0.15~0.17%より小さくする必要がある。このため、光ケーブルの構成要素には高ヤング率・低線膨張係数をもつテンションメンバ(TMと称する)が含まれている。TMとしては鋼線、鋼撚線、FRP等が一般的である。TMサイズは、光ケーブルに加わる伸びが最も大きくなる布設時の光ファイバ心線の伸びが0.2%以下となるものを選定する。この場合、安全係数として2をとることが多い。その他種々光ケーブルに発生する歪要因を表1に示す。現在実用化されている光ケーブルは、これら各種要因を考慮して設計されており、実用上十分な長期信頼性を有している。

海底ケーブルにおいても光ファイバ強度の信頼性の考え方方は上記陸上用ケーブルと同じであるが、光ファイバ断線時の社会的影響および修理の大変さを考慮してさらに信頼性を高めている<sup>4,5)</sup>。海底ケーブルの布設張力、故障時の修理張力を考慮して光ファイバ心線のスクリーニング条件は1~2%であり、さらに、ケーブル内に予備回線が収納されている。

### 2.1.2 伝送特性の長期安定性

光ケーブル伝送特性の長期安定性を保証するには、第1に光ケーブルを構成する材料が物理的にも化学的にも長期的に安定であること、第2に光ケーブル構成材から水素が発生しないことが要求される。前者は、当然のことでも十分に吟味された材料が使われている。後者についても十分検討されており、前号でも説明されているように水素が発生した場合の現象としては、

- (1) 水素雰囲気中で水素分子がガラス中に拡散し、分子吸収として1.08~1.24 μmに光損失増を発生させる。図2に一例を示す。波長1.24 μmで約5 dB/kmの損失増がみられる。
- (2) ガラス内に拡散した水素分子の一部はガラス材料のSi, GeおよびPとその構造欠陥の部分で

表1 各種要因による光ファイバひずみ

ひずみ要因	地下ケーブル			架空ケーブル		
	ひずみ(%)	$L/L_0$	$t/t_s$	ひずみ(%)	$L/L_0$	$t/t_s$
製造時残留	0.05	1	1	0.05	1	1
布設、架渉	0.20	1	$5 \times 10^{-5}$	0.06	1	$5 \times 10^{-5}$
布設・架渉残留	0.01	1	1	0	1	1
曲げ	0.07	1/100	1	0.03	1/20	1
クリープ	0.03	1/10	1	—	—	—
風圧	—	—	—	0.06	1	1/10
温度変化	0.03	1	1/2	0.05	1	1/2

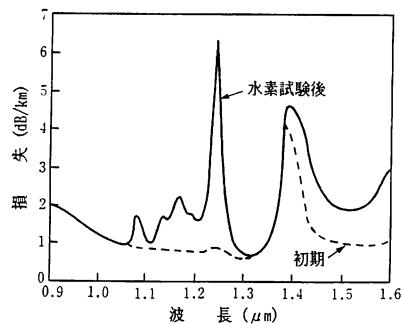


図 2 水素分子による光ケーブルの損失増加特性

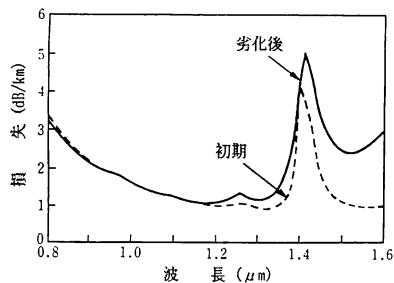


図 3 OH 基による損失増加特性

化学結合し、OH 基として残留し OH 基による吸収損失を発生させる。図 3 に波形を示す。

波長  $1.4 \mu\text{m}$  の損失増がみられる。

これらの対策としては、第 1 に光ケーブル中の水素発生を防ぐ、第 2 に OH 基の生成を防ぐためガラスの欠陥をなくす、第 3 に水素分子の光ファイバへの拡散を防

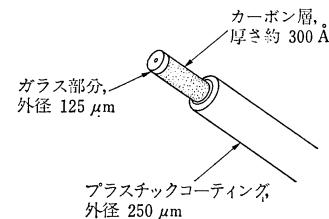


図 4 ハーメチックコート光ファイバ

ぐことが考えられる。第 1、2 については十分に検討されており、現在では 20 年後においても水素による損失増は実用上問題のないレベルであることが推定されている<sup>8)</sup>。第 3 については、図 4 に示すような光ファイバ表面に水素分子の透過しにくいカーボン層を積層させたハーメチックファイバを開発中である<sup>9-11)</sup>。ハーメチックファイバは水素分子ばかりでなく水の分子も透過しにくいため、光ファイバの疲労係数  $n$  が 100 以上である。このようにハーメチックファイバは、強度面、耐  $\text{H}_2$  面ですぐれた特性をもっているため、光ファイバの使用制限を大幅に緩和させうることが期待されている。

### 2.1.3 その他の要求特性

光ケーブル構造を決めるその他の要因としては、ケーブルの使用環境およびケーブル保守方式があげられる。光ケーブルの使用環境としては、直接地下に埋設するか、管路内に収納か、架空か構内か等があり、さらに難燃性の要求、電磁誘導の問題もあり、これらによってケーブルの外被構造を決める必要がある。代表的な外被構造を表 2 に示す。日本では、屋外の管路用光ケーブル

表 2 光ケーブル外被構造の種類

呼称	外被構造	外被構造の特長
PVC シース	PVC を被覆	○可撓性がよい。難燃化しやすい。 ○透湿性大きく屋外敷設には不適。
PE シース	PE を被覆	○電気特性がよい。PVC より透湿性小さい。 ○温度伸縮大きい。燃えやすい。
LAP シース	アルミニウム + PE	○透湿性非常に小さい。温度伸縮少ない。 ○機械的強度も上記のものより優れる。
WA シース	鉄線を巻く	○他のシース構造を強化する目的で使う。 ○引張強度大、重量も大。
CM シース	薄い鉄パイプにひだをつけて被覆	○ケーブルを直接埋設する場合など使う。 ○機械強度大。防鼠、銃弾対策としても使う。
TA シース	薄い鉄テープを巻き付ける	○機械強度を上げる。 ○引張張力は向上しない。
その他	上記を組み合せたもの	

として銅ケーブルでも実績の多い LAP シース、屋内用としては難燃性の面から PVC シース（または難燃 PE シース）が主流である。また電磁誘導対策としては、抗張力体を FRP とした金属を使わないノンメタリックケーブルを使用している。

光ケーブル保守方式は、現在、主として NTT で採用されているケーブル内に乾燥空気を送り込んでその圧力変化を監視し異常を検知するガス保守方式と、海外で主流の光ファイバケーブル内に高粘度・高稠度の防水コンパウンドを充填した防水型ケーブルを用いて、外被に異常が生じた場合でも水の浸入を防ぎ、浸入長を最小限に止めることにより障害を防止するメンテナンスフリー方式がある。ガス保守は、光ケーブル内にガス流通用の空隙が必要であること、長距離の監視に不向きであること等の問題がある。メンテナンスフリー方式は、防水コンパウンドを充填した防水型光ケーブルを用いているため、接続、測定の作業性が悪いこと、光ファイバ自体に異常が発生するまで検知できないという問題がある。これらの対策として、吸水膨潤材料を用いた防水型光ケーブルと OTDR（光パルス試験器）を組み合わせて直接光ファイバを監視する光監視システムが開発されている。

## 2.2 光ケーブルの構造

昭和 50 年代後半の導入初期における光ファイバ心線は、従来の銅心線とハンドリングの差を小さくして現場に混乱なくスムーズに導入したいとの狙いから、光ファイバにシリコン 2 層とナイロン被覆を施した 0.9 mm のサイズのものが導入された。これに対して、光ファイバ心線の低コスト化、光ファイバの高密度実装の要求および 0.25 mm の国際標準化等が要因となって、現在光ファイバ心線は、紫外線硬化樹脂（UV 樹脂と称す）で被覆された 0.25 mm 心線が主流となっている。0.25 mm 心線は、このままでは機械的に弱いため、次項で説明するテープ心線、ルースチューブ心線等の形で使用されることが多い。また 0.9 mm 心線は作業性にすぐれているため、加入者近傍の光ファイバ心線として現在も使用されている。

### 2.2.1 中継・加入用光ケーブル

電話局間の伝送路として使用されるケーブルを中継ケーブル、電話局から電話加入者宅までの伝送路として使用されるケーブルを加入者ケーブルと称する。電話局近傍では多心の光ケーブルが必要であり、加入者の末端機器近傍では数心の光ケーブルが必要であること、さらに各種環境に応じた光ケーブルが必要とされるため、ケーブルメニューは非常に多彩となる。本項ではこれらの光ケーブルについて説明する。

日本で使用されている代表的なケーブル構造を図 5 に示す<sup>12,13)</sup>。図 5 はテープスロット型光ケーブルで 100 心、1000 心光ケーブルの例である。光ファイバ心線は外径 250 μm で UV 樹脂が使用され、また着色されて心線識別を容易にした構造となっている。

100 心ケーブルは、光ファイバ線を 4 本並べた 4 心テープを用いており、1000 心ケーブルでは 8 心テープが使用される（テープ構造は図 6 参照）。このケーブル構造は、光ファイバの高密度収納に非常にすぐれるとともに、ケーブル途中での中間分岐、多心一括接続が可能であることから、将来の光加入者増大、需要変動に対応できるすぐれたケーブル構造である。

図 7 に 1.5 μm 分散シフトファイバを収納したノンメタリック光ケーブルを示す<sup>13)</sup>。このケーブルは誘導対策用ケーブルであり、ガス保守に必要な銅介在を収納でき

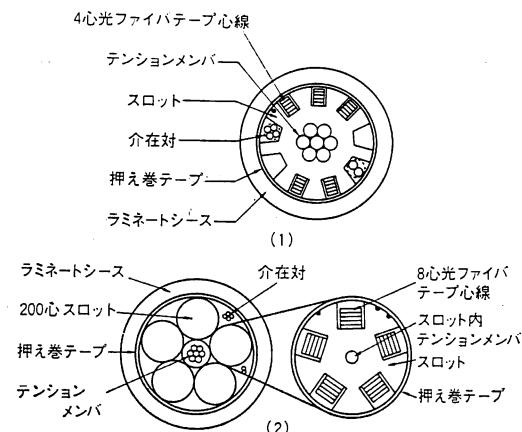


図 5 加入者系 SM 型光ファイバケーブルの構造図

(1) 100 心ケーブル（外径 18 mm）、(2) 1000 心ケーブル（外径 40 mm）

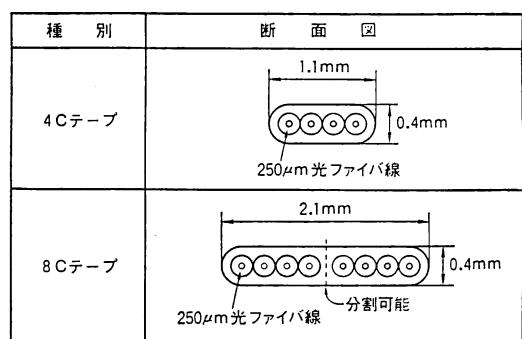


図 6 光ファイバテープ心線の断面図

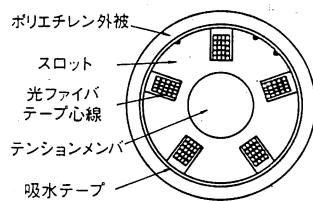


図 7 1.55  $\mu\text{m}$  帯 SM 型 IF ケーブルの構造  
100 心ケーブル (外径 17 mm)

ないため、メンテナンスフリー方式となっている。光ケーブルに防水機能をもたせるため、押え巻テープに吸水膨潤性テープが使用され、ケーブル内に水が浸入しても吸水膨潤テープが膨張しケーブル内の空隙をふさぎ、水走りを防止するとともにそれ以上の水の浸透を防ぐ構造となっている。このような吸水膨潤材を用いた光ケーブルは日本で開発された構造で、防水コンパウンドを用いないことから接続・測定作業性はガス保守用ケーブルと同等という特徴がある。

図 5, 7 ケーブルの各種特性を表 3, 温度特性を図 8, 9 に示す。各ケーブルとも良好な特性を有している。

屋内で使用されるその他の光ケーブルの例を表 4 に示す。構内フラット光ケーブルは、通常アンダーカーペットケーブルと呼ばれ、室内のカーペット下配線用であ

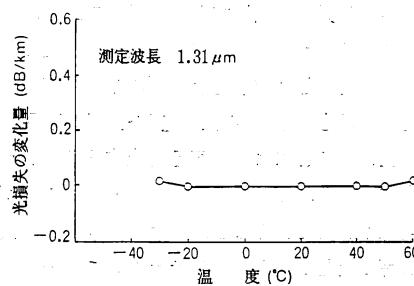


図 8 加入者系 SM 型光ファイバケーブルの温度特性

表 3 機械特性

項目	方 法	条 件		評価結果
		項目	加入者 SM ケーブル	
引張試験	➡➡➡ (端末はエポキシバテで固定)	ケーブル長 張 力	8 m 0 kg → 1500 kg → 0 kg	8 m 0 kg → 400 kg → 0 kg
屈曲試験	图示 (U 形)	屈 曲 半 径 回 数 角 度 $D$ : ケーブル外径	10D 10回 180° $D$ : ケーブル外径	10D 10回 180° $D$ : ケーブル外径
圧壊試験	图示 (上下圧迫)	荷 重 幅	200 kg 100 mm	200 kg 100 mm
長尺しごき試験	图示 (マンホール引通し工具 (600R, 90°) によるしごき)	ケーブル長 張 力 しごき回数	100 m 8 心～100 心 ケーブル 1 km 自重 160 心～1000 心 800 kg 4 回	100 m ケーブル 1 km 自重 4 回
捻回試験	图示 (1 m 高さ)	荷 重 角 度 回 数	100 kg ± 90° 1 回	100 kg ± 90° 1 回
衝撃圧壊試験	图示 (W 形)	荷 重 高 さ 回 数	1 kg 1 m 1 回	1 kg 1 m 1 回

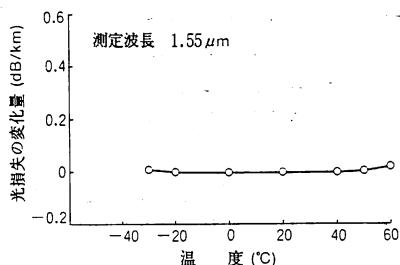


図 9 1.55  $\mu\text{m}$  帯 SM 型 IF 光ファイバケーブルの温度特性

る。光屋外線は、加入者宅に光ファイバに引き込むケーブルであり、光屋内線は、屋内配線用ケーブルでこれらの中のケーブルは作業性の面から 0.9 mm 心線、難燃性の面から PVC 外被が用いられている。

図 10 には SZ スロット型光ケーブルを示す。このケーブルは 2 心テープを溝内に収納し、溝を 1/2 集合ビッチごとに反転する SZ スロット構造になっている。こ

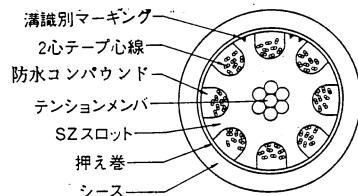


図 10 SZ スロット型光ケーブル構造  
128 心型 (外径 21 mm)

れは、ケーブル中間部における分岐作業を容易にすることを目的としている。また本ケーブルは、ケーブル保守の簡略化を目的に、ケーブル内に防水コンパウンドを充填したメンテナンスフリーケーブルとしている。

最近、光ファイバの空気圧送による新しい光配線システムとして ABF システム (エアプロンファイバシステム) が検討されている<sup>15)</sup>。ABF システムは圧縮空気によってチューブ内に空気流を生じさせ、その粘性によって光ファイバユニットをチューブ内に圧送する布設工

表 4 加入者光ファイバケーブル構造

ケーブル種別	心数	ユニット構造およびケーブル構造	外径
構内フラット光ファイバケーブル	1, 2心		厚さ 幅 1.6×8
光屋内線	1, 2心		厚さ 幅 3×4.5
光屋外線	1, 2心		ケーブル本体 厚さ 幅 3×4.5 支持線 3.0 mmφ

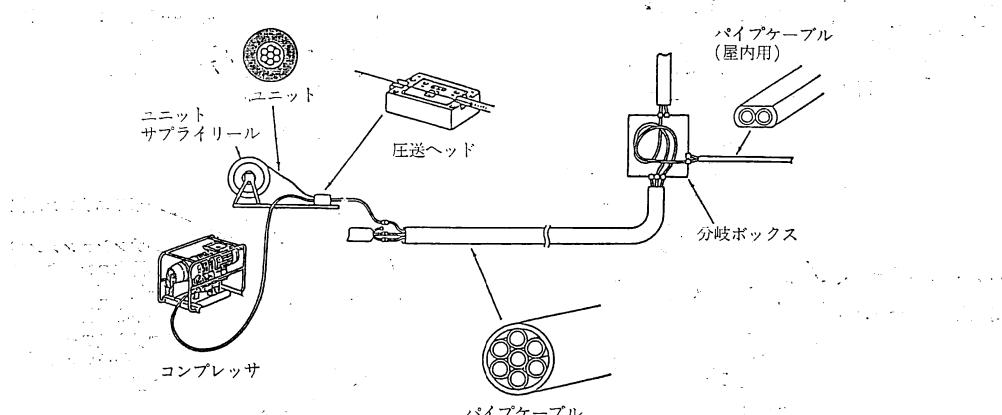


図 11 ABF システム

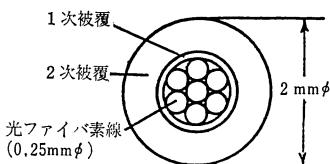


図 12 光ファイバユニット断面図

法である。図 11 に ABF システムの概略図、図 12 に光ユニット断面図を示す。この ABF システムは、次の特徴がある。

- ① 将来光ファイバが必要になると予想される区間にチューブ（パイプケーブル）をあらかじめ布設しておけば、必要なときに光ユニットを圧送することができ、光ファイバの先行布設をさけることができ初期投資を抑制することができる。
- ② 空気流による圧送のため、光ユニットにほとんど張力がかからない。
- ③ チューブ接続後光ユニットを一連長で圧送できるため分岐部等の持続数を低減することができる。

これらの特徴のため、ABF システムはビル内配線にとくに適していると考えられている。銅ケーブルの張替え等にチューブと銅ケーブルの複合ケーブルを布設することで将来の光ケーブル需要に備えることができるという大きな利点がある。

### 2.2.2 海外の光ケーブル

次に海外の代表的な光ケーブルについて説明する<sup>1)</sup>。

図 13 は米国 AT & T の 144 心リボンケーブルである。12 心テープ（0.25 mm 心線を 12 本並べ、接着剤付ポリエチレンテープでサンドイッチした構造）を 12 枚

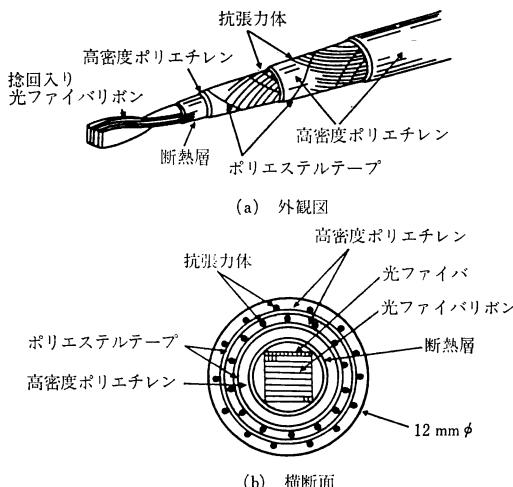


図 13 ATT で開発された光ケーブルの構造例

積層させ、ケーブル中央に配置して多層パイプで保護し、TM を外部に埋め込んだ構造である。AT & T では、リボンケーブルと同様の外被構造で、0.25 mm 心線を束ねたユニットを収納したケーブルも実用化されている。

図 14 に仏 CNET で開発された V 溝型スロットケーブルを示す。1 溝に 1 心収納しているため、高密度性に多少問題がある。図 15 には、ヨーロッパおよび米国でおもに使われているルースチューブケーブルを示す。0.25 mm 心線をプラスチックチューブ内に 1~12 心収納してルースチューブ心線とし、これを中心部材のまわ

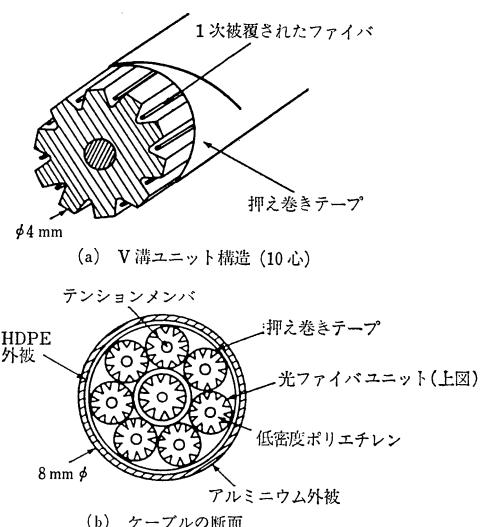


図 14 CNET で開発された光ケーブルの構造例

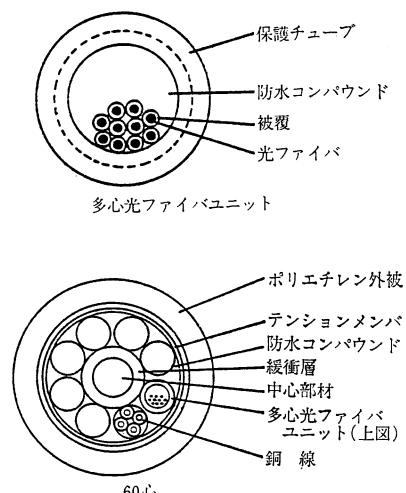


図 15 ルースチューブケーブル

りに集合してケーブル化する。

これら海外の光ケーブルは、光ファイバー心線をケーブル内でたるませて、光ケーブルに加わる伸び歪が直接光ファイバに加わらないようにしている。このため、多少高密度性に問題がある。また、海外のほとんどの光ケーブル内には防水コンパウンドが充填された防水型ケーブルでありメンテナンスフリー方式となっている。

### 2.2.3 海底光ケーブル

海底光ケーブルには 2.1 節で述べた要求特性のほかに、

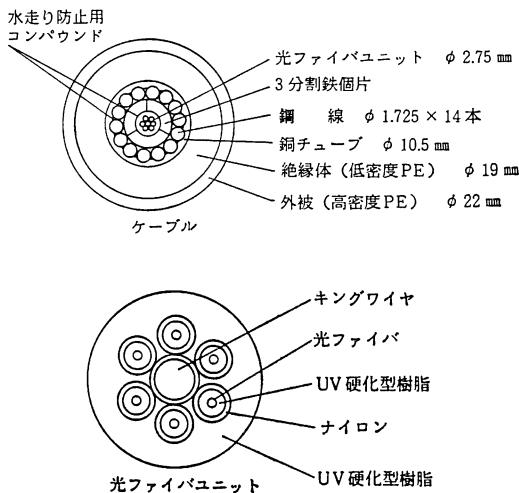


図 16 海底光ケーブル (KDD タイプ) およびユニットの構造

光ファイバユニット周辺には水走り防止用としてウレタン系コンパウンドを塗布。鋼線間にも水走り防止用としてコンパウンドを充填。

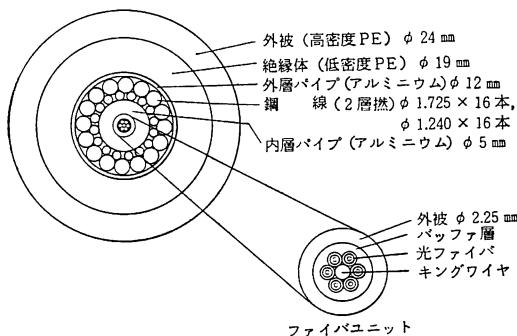


図 17 海底光ケーブル (NTT タイプ) およびユニットの構造

光ファイバユニット周辺には水走り防止用としてコンパウンドを塗布。鋼線間にも水走り防止用としてコンパウンドを充填。

- ① 障害修理時の大きな張力に耐えること
- ② ケーブル繰出し時の側圧および深海における高水圧に耐えること
- ③ ケーブルに亀裂が入っても走水を防止できること等があげられる。これらの要求特性を考慮した海底光ケーブルとして図 16, 17 の構造が実用化されている<sup>4,5)</sup>。

図 16 は、中心のキングワイヤの回りに光ファイバ心線をらせんに集合して UV 樹脂で固定した充実型光ファイバユニットで、これは側圧、水圧に対して非常に強い構造である。耐圧層である鉄 3 分割個片は撲らずに縦添とし、その周囲に鋼線が撲られている。この構造は、鋼線が 1 層であること、金属殻が小さいため、曲げ剛性が小さくハンドリング性のよい特徴がある。

図 17 の構造でも充実型ユニットを採用している。内側耐圧層を C 型アルミチューブの突合せ、外側パイプはアルミテープの溶接チューブとし、鋼線 2 層撲とした構造である。耐圧層をアルミとしたことで、重量をおさえたモジュラスの高いケーブルを実現している。

## 3. 光ファイバ融着接続技術

現在実用化されている光ファイバ接続技術のうち、代表的な方法である融着接続法について述べる。光ファイバを長距離伝送路に用いる利点は、いうまでもなくその伝送損失の低さにあり、接続にあたっても、接続損失の低減に留意しなくてはならない。ここでは、最近確立された多心テープ心線の一括接続技術を中心に述べる。

### 3.1 接続損失の発生要因

(1) ファイバパラメータに起因するもの、(2) 接続技術に起因するもの、の二つに分類される(表 5)。いずれの要因にしても、重要な技術は、光ファイバの高精度の端面加工(切断)および光ファイバコアの高精度の軸合せ技術にある。

表 5 光ファイバ接続損失の要因

(1) パラメータに起因	(2) 接続技術に起因
① コア径の差	① 軸ずれ
② 屈折率の差	② 端面角度
③ 屈折率分布の差	③ 端面の欠け、リップ
④ コアの非円	④ 端面間のギャップ
⑤ コアの外径に対する偏心	⑤ 予加熱時間
⑥ 外径の差	⑥ 本放電時間
⑦ 外径の非円	⑦ 放電パワー(電流値)
	⑧ 放電時押込み量
	⑨ 放電時引戻し量

従来、コア径が  $10 \mu\text{m}$  以下と小さいシングルモード(SM)型光ファイバの接続は、コア調心することにより、平均  $0.1 \text{ dB}$  以下の接続損失が達成されている。仮に  $0.1 \text{ dB}$  とすると、光パワーの減衰量は約  $0.3\%$  ときわめて小さい値である。単心光ファイバ心線の接続にはコア調心のための技術として、光パワーモニター法、ローカル光注入/検出法、コア直視法<sup>16)</sup>等が開発されてきた。しかし、近年の光ファイバ製造技術の進展(とくにコア偏心量の低減化)により、SM型多心光ファイバの一括接続が低損失で実現可能となった。つまり、コア偏心量が小さいため、多心光ファイバ心線でも各心ごとにコア調心せず、V溝による外径調心のみで接続できるわけである。

コア偏心量以外のパラメータ(モードフィールド径、外径等)の寄与度はさほど大きくないことが数値演算により指摘されており<sup>17)</sup>、むしろ、光ファイバ端面形状および軸ずれの影響のほうが現実的には大きい。これらの影響は、SM型光ファイバのなかでも、よりコア径の小さい分散シフト-SM型光ファイバでは、さらに切実なものとなるが、この場合でもフィールドで4心一括で平均接続損失は  $0.10 \text{ dB}$  であり、単心でコア調心した結果の平均  $0.09 \text{ dB}$  と大差ない<sup>18)</sup>との報告がある。

### 3.2 各要素技術の現状

以下、作業工程順に、要素技術について説明する。

#### 3.2.1 被覆除去

被覆材(紫外線硬化型高分子樹脂)に刃物で傷をつければ抜き取る技術である。従来の機械的な除去方法では、多心テープ心線で  $2 \text{ kg}$  以上の除去力が必要なため作業性が悪かった。そこで約  $100^\circ\text{C}$  に加熱しながら除去することで  $1 \text{ kg}$  程度で可能な工具が開発された<sup>19)</sup>。通常さらにアルコール等の溶剤に浸したガーゼ等の布で光ファイバ表面の微細なゴミを拭き取る。

#### 3.2.2 切断

光ファイバの端面を光軸に直角な鏡面を形成する技術である。このために、超硬合金の刃で初期傷を付け、曲げまたは引張り応力を加えて破断する、いわゆる応力破断法が用いられる。多心一括融着では、端面角度とともに切断不揃い量の小さいことが重要であり、操作の簡便な卓上型ツールが開発されている。本工具では円形の刃で傷つけた後、先端にゴムライニングした切断ヘッドで曲げることにより、容易に鏡面切断が実現できる。切断のシーケンスを図18に、SM 8心テープ心線の切断特性を図19に示す<sup>20)</sup>。

端面角度・切断不揃い量は、接続損失に対して正の相

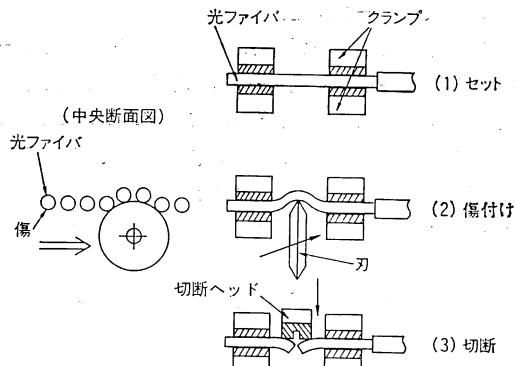
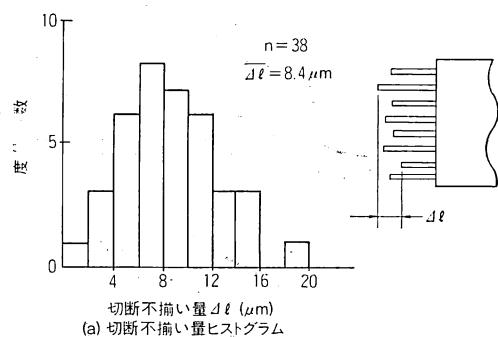


図 18 切断手順(模式図)



(a) 切断不揃い量ヒストグラム

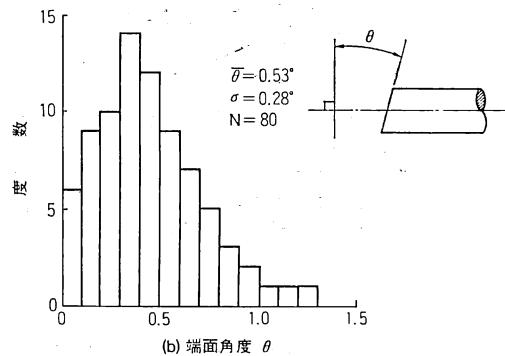


図 19 切断特性(SM 8心テープ心線)

関があり、これらが大きすぎると、溶融部分のコアが屈曲して接続損失が大きくなりすぎるため、良好でない切断を排除する必要がある。この機能は、後述のように、最新鋭の融着機に搭載されている。

#### 3.2.3 融着接続

加熱により光ファイバ端部を溶融し接続する技術である。熱源には高周波アーク放電を利用するものが一般的で、放電電流・時間を制御し最適条件を設定する。多心一括融着(図20)では、表面張力による調心効果を利用するため、放電時間が10秒以上と長いことが特徴で

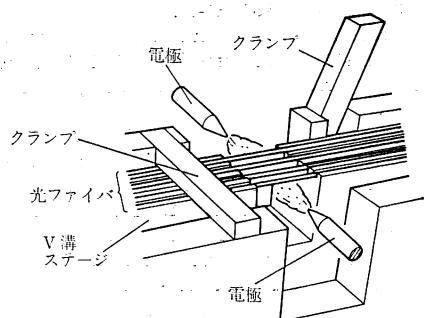


図 20 多心ファイバの一括融着

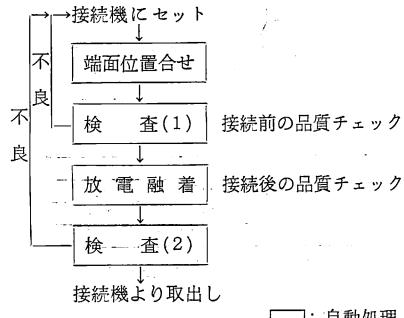


図 22 光ファイバ接続工程

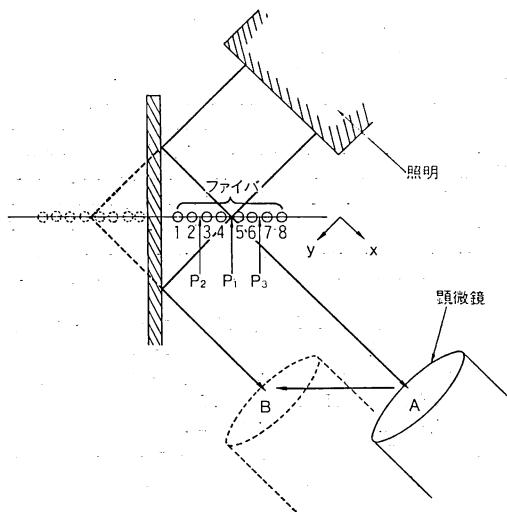


図 21 SM 8 心テープ心線の2方向一括観察系

ある。電極には、温度耐久性に優れたタンクスチタン系の金属が使用される。端面位置の設定、放電時の押込み量の設定等は、図21に示すようなミラーを用いた直交2方向からの観察系および内蔵する画像処理回路により、自動処理され、接続品質の安定化が達成されている。とくに接続前の光ファイバ端部の品質（軸ずれ、端面角度等）の良否判定、接続後の品質判定（推定接続損失の表示等）の機能が盛り込まれ、作業者のスキルに依存していた旧来の接続技術より格段の向上が図られている。接続機の工程のフローを図22に示す。心数により所要時間が異なるが、8心で約2分必要である。同一のSM 8心光ファイバ心線の接続損失ヒストグラムを図23に示す<sup>5)</sup>。このときの実測値と推定値の分布の例を図24に示すが、推定誤差は±0.1 dBの範囲に収まっている。

### 3.2.4 補 強

融着接続後は、まだ光ファイバが露出したままであり、熱収縮チューブを用いた二重構造の補強材で補強する。加熱器は、融着接続機本体に組み込まれており、低

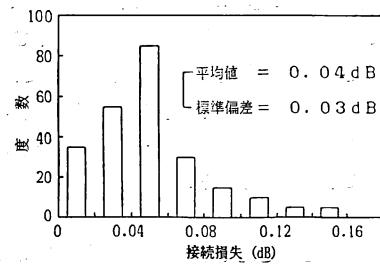


図 23 SM 8 心接続損失分布

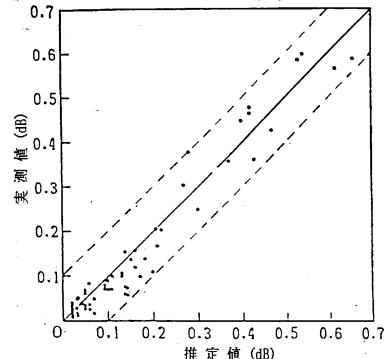


図 24 接続損失の実測値と推定値の相関

強度部を排除するためのスクリーニング機能をもっている。このため、作業者は、接続部に補強材を移動させ、加熱器のクランプにセットした後、「加熱」ボタンを押すだけで良い。まずスクリーニング機能が働き、そこで断線が生じなければそのまま加熱収縮が行われ、完全収縮後(2~3分)、取り出し完了する。補強材の断面は図25のようになっており、単心では鋼棒だった抗張力体は、多心ではガラスセラミックスが採用されている<sup>21)</sup>。このため温度特性が向上し、-30~+60°Cでの光損失変動は0.05 dB/心以下と、非常に安定している。また引張り破断強度もSM 8心テープ心線で平均6.6 kg以上と実用上問題ない。

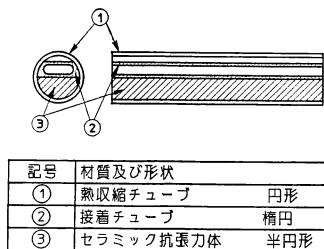


図 25 多心用補強部材

### 3.3 融着接続技術の今後の動向

#### 3.3.1 融着接続機

1台の装置で SM 型/GI 型、および 1 心～8 心を接続できるといった、多機能型の接続機が開発されており、今後、さらに低価格化・高機能化が進むであろう。また、前後の工程を一体化し、全工程を自動処理する全自动融着接続機も報告されており<sup>22)</sup>、接続作業の効率化に寄与することが期待される。

#### 3.3.2 新ファイバ

今回は割愛せざるをえなかったが、従来の SM 型光ファイバ以外に、多様な型式の光ファイバが開発されており、それぞれに応じた融着接続技術が必要とされよう。単一偏波ファイバなど石英系ガラスをベースとする光ファイバの接続は、実現されているが、フッ化物ファイバ等の異種ガラスとなると報告例も少なく、今後の実用化が待たれよう。

## 文 献

- 1) 福富秀雄 (編著) : 光ファイバケーブル (改訂版) (電気通信協会、オーム社, 1986) 第3章, 第4章。
- 2) 満永 豊, 勝山 豊, 小林敬和, 石田之則: “スクリーニング試験による光ファイバ強度保証法”, 電子通信学会論文誌, J 66-B (1983) 829-836.
- 3) 満永 豊, 勝山 豊, 小林敬和, 石田之則: “光ケーブル強度の信頼性設計”, 電子通信学会論文誌, J 66-B (1983) 1051-1058.
- 4) 石原浩志, 河田 修, 吉沢信幸, 大西正敏: “海底光ケーブル”, 研究実用化報告, 34 (1985) 1193-1201.
- 5) 新納康彦, 布川 真, 江尻義廣, 山本 均, 山崎吉彦: “深海用光海底ケーブルの設計と評価結果”, 電子通信学会論文誌, J 68-B (1985) 85-92.
- 6) K. Mochizuki, Y. Namihiira and H. Yamamoto: “Transmission loss increase in optical fibres due to hydrogen permeation,” Electron. Lett., 19 (1983) 743-745.
- 7) N. Uesugi, Y. Murakami, C. Tanaka, Y. Ishida, Y. Mitsunaga, Y. Negishi and N. Uchida: “Infra-red optical loss increase silica fibre in cable filled with water,” Electron. Lett., 19 (1983) 762-764.
- 8) S. Tanaka and M. Honjo: “Long-term reliability of transmission loss in optical fiber cables,” J. Light-wave Technol., 6, 2 (1988) 210-217.
- 9) R. G. Huff, F. V. Dimarcello and A. C. Hart, Jr.: “Amorphous carbon hermetically coated optical fibers,” '88 OFC, paper TUG 2.
- 10) K. E. Lu, M. T. Lee, D. R. Powers and G. S. Glaesman: “Hermetically coated optical fibers,” '88 OFC, paper PD-1.
- 11) N. Yoshizawa, Y. Miyajima, Y. Katsuyama: “A one-hundred-fiber submarine cable composed of hermetically coated fiber ribbons inserted into slots,” Int. Wire and Cable Symp. (1989) pp. 603-610.
- 12) M. Kawase, T. Fuchigami, T. Haibara, S. Nagasawa, S. Takashima: “Loop-network configuration for subscriber loops and single-mode optical fiber ribbon cable technologies suitable for mid-span access,” Int. Wire and Cable Symp. (1988) pp. 141-149.
- 13) 松尾敏伸, ほか: “NTT 向 SM 型光ファイバケーブルの開発”, 住友電気, No. 135 (1989) 16-20.
- 14) 新倉耕治, ほか: “SZ スロット型光ケーブルの開発”, 住友電気, No. 135 (1989) 11-15.
- 15) 寺沢良明, ほか: “ABF (エアプロンファイバ) ケーブルの特性”, 電子情報通信学会, OCS 89-10 (1989) 61-66.
- 16) K. Osaka, et al.: “Analysis of mass fusion splice loss for optical fiber ribbons,” Int. Wire and Cable Symp. (1989) pp. 205-211.
- 17) K. Uema, et al.: “Commercial introduction of 1.55  $\mu\text{m}$  dispersion-shifted fiber submarine cable,” Int. Wire and Cable Symp. (1988) pp. 315-320.
- 18) 浜田眞弘, ほか: “テープファイバ用加熱式被覆除去工具の開発”, 昭和 63 年度信学会秋季全国大会, B-354.
- 19) 大阪啓司, ほか: “多心光ファイバ用高精度カッターの開発”, 昭和 63 年度信学会春季全国大会, B-620.
- 20) 浜田眞弘, ほか: “SM 8 心融着接続機の開発,” '89 信学会春季全国大会, B-678.
- 21) 柳 公, ほか: “SM 多心一括融着接続部の補強方法”, 昭和 63 年度信学会春季全国大会, B-619.
- 22) 大阪啓司, ほか: “光ファイバ全自动融着接続装置の開発”, 昭和 63 年度信学会春季全国大会, B-623.