

新しい光ファイバケーブルと接続技術

New Optical Fiber Cables and Related Splicing, Jointing Techniques

高度情報通信網の構築に代表されるように、光ファイバの適用領域は日ごとに拡大されてきている。それに伴い、光ファイバ、ケーブル、接続技術に対し、いっそうの高度化、経済化、使いやすさへの要求が高まってきた。

これらの要求に応じて、(1)長距離伝送に適した1.55 μm 帯用シングルモード光ファイバ、(2)細径・軽量化を図った心線およびケーブル構造、(3)長尺布設、保守費の低減に適した新しいケーブル構造、(4)接続作業性に優れた各種接続技術(融着・コネクタ・多心V溝接続)およびクロージャを製品化した。

この結果、中継間隔の長距離化および布設・接続作業の省力化に役立つことができた。

佐藤東史* Harufumi Satō
上田 茂* Shigeru Ueda
新井 修* Osamu Arai
門井孝之** Takayuki Kadoi

1 緒 言

消費者ニーズの高度化・多様化といった社会環境の変化により、各企業は最新の情報をタイムリーに入手するため、電話だけでなくデータ、ファクシミリ、画像などを伝送する高度情報通信網の構築を活発に行い始めている。光ファイバケーブルおよび接続技術は、それらを支えるキーテクノロジーの一つであり、ニーズに合った開発が必要である。

日立電線株式会社では、昭和48年から光ファイバケーブルおよび接続技術の開発に着手し、これまでニーズにこたえた各種製品を実用化してきた。

本稿では、最近の光ファイバ、光ファイバケーブル、接続技術に対するニーズおよび新しく開発した製品について述べる。

2 光ファイバケーブルおよび接続技術へのニーズ

2.1 光ファイバ

光伝送システムでの伝送速度は、当初6 Mビット/秒、32 Mビット/秒から始まり、現在では波長1.3 μm を用いた1.6 Gビット/秒が実現しており、画像などの広帯域な情報を多量に伝送できるようになってきた。また、中継間隔も40 km程度まで拡大されてきている¹⁾。しかし、経済性や信頼性のいっそうの追求から、さらに中継間隔を拡大したいという要求が多くなってきた。これを実現するためには、光ファイバの光損失値が最低となる波長1.55 μm 帯で使用する1.55 μm 帯用シングルモードファイバ(以下、1.55 μm SMファイバと略す。)の実用化が必要となる。

2.2 光ファイバケーブル

(1) 通信網の構築が進むにつれ、通信ケーブルが輻輳(ふくそう)してきている。このような状況下では、布設管路の有効活用、布設作業性の向上が重要となり、細径・軽量を目的とした高密度実装光ファイバケーブルが必要となる。

(2) ケーブルは現在ガス圧監視による保守を一般的に行っている例が多いが、この保守費を削減する目的から、防水形光ファイバケーブルが見直されてきている。しかも、従来の混和物充てん形の防水ケーブルにみられる接続作業時の煩雑さを改善した新たな構造のケーブルが必要である。

(3) 幹線ルートでは、前述したように中継間隔のいっそうの長距離化が重要なニーズである。この実現のためには、1.55 μm SMファイバの実用化により、光ファイバの損失を小さくすることのほかに長尺布設に適したケーブルを採用し、接続個数を低減することも必要となる。

2.3 接続技術

光ファイバケーブルの場合、接続作業性を向上させた効率のよい接続技術の開発が重要である。具体的には、多心の光ファイバを同時に、しかも短時間に接続できる多心一括接続技術、融着接続器などの特殊装置を用いない接続技術、および組立が容易なクロージャが挙げられる。

3 光ファイバ

3.1 1.55 μm シングルモードファイバ

石英系光ファイバの理論的な最低光損失は波長1.55 μm 帯に

* 日立電線株式会社 日高工場 ** 日立電線株式会社 電線研究所

存在すると言われているが、これまでは光ファイバ中に含まれる不純物の影響により、1.55 μm帯の光損失を安定して低損失にすることが難しかった。しかし、光ファイバのすべての部分を化学反応による合成石英で製造する全合成光ファイバ製造技術の確立によって不純物をppbオーダ以下に低減することができ、1.55 μmの光損失を低損失に安定して製造できるようになってきた²⁾。

ところが、通常の波長1.3 μm帯用SMファイバ(以下、1.3 μm SMファイバと略す。)を波長1.55 μm帯で使用した場合は、側圧や曲げにより光損失が増加しやすくなるため、1.55 μm帯伝送用として最適化を図る必要があった²⁾。

このため光ファイバの構造パラメータや屈折率分布などを見直し、1.3 μm SMファイバを波長1.3 μm帯で使用する場合と同等の耐応力特性を持つ2種類の1.55 μm SMファイバを開発した。一つは、低損失に重点を置いたファイバ(低損失タイプ)であり、他の一つは低損失・低分散^{*1)}の両方に重点を置いたファイバ(低損失・低分散タイプ)である(表1)。同表中のAは通常の1.3 μm SMファイバであり、初期状態では1.55 μmで低損失を示すが、先に述べたように側圧、曲げにより光損失が増加しやすいので、実際に使用することは推奨できない。B, C, D, Eが1.55 μm伝送用SMファイバである。いずれのSMファイバも、1.3 μmのおよそ半分の光損失値を示す。

B, Cの低損失タイプは、Aの1.3 μm SMファイバと同様に屈折率分布が単純であることから、製造性に優れている。また、分散値は16~18 ps/km・nmと若干大きいのが、DFB・LD^{*2),3)}と

の組み合わせによって400 Mビット/秒以上の伝送が十分に可能である。1.55 μm帯だけの伝送の場合は、Cが耐応力特性に優れていることから適している。ところが、既設の線路が1.3 μm SMファイバであり、波長1.3 μm帯と1.55 μm帯の両波伝送の必要がある場合は、Bが適している。

D, Eの低損失・低分散タイプは、屈折率分布が複雑であることから製造が若干難しくなるが、低分散であることから1.6 Gビット/秒以上の伝送が可能であり高速伝送に適している。特にEは、図1に示すように1.5 μmから1.6 μmの広い波長範囲で低分散であることから、将来の波長多重伝送用に適している⁴⁾。

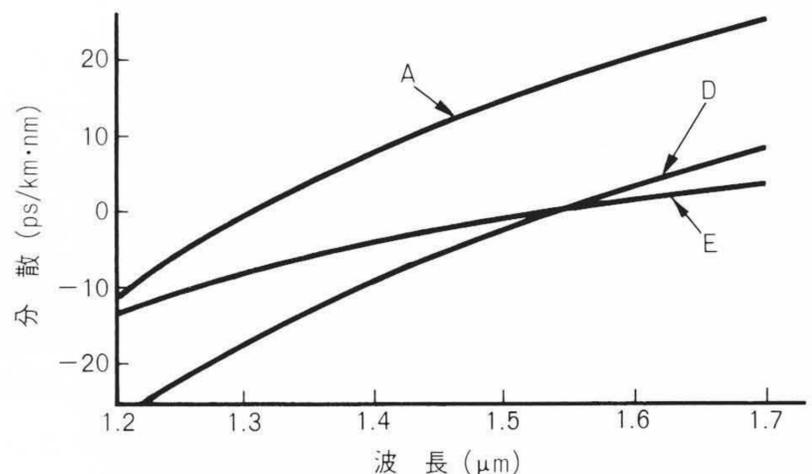


図1 分散特性 Eは1.5~1.6 μmの広い波長領域で低分散を達成している。

表1 各種1.55 μm SMファイバ 1.55 μm SMファイバとして、低損失タイプ(B, C)と低損失・低分散タイプ(D, E)がある。

項目	光ファイバ種類 A: 1.3 μm SMファイバ	低損失タイプ		低損失・低分散タイプ	
		B: 1.3/1.55 μm 両波用SMファイバ	C: 1.55 μm専用 SMファイバ	D: 1.55 μm零分散 SMファイバ	E: 1.55 μm分散フラット SMファイバ
伝送可能波長 (μm)	1.3/(1.55)	1.3/1.55	1.55	1.55	1.5~1.6
特性	光損失(at 1.55 μm) (dB/km)	0.20	0.21	0.21	0.23
	分散値(at 1.55 μm) (ps/km·nm)	17	16	18	±2 (1.5~1.6 μm)
	耐応力特性	△	○	◎	◎
モードフィールド径(μm)	11	10.5	10.5	7.5	6
屈折率分布					
伝送速度	≒400 Mビット/秒	≒400 Mビット/秒	≒400 Mビット/秒	≒1.6 Gビット/秒	≒1.6 Gビット/秒

※1) 分散とは、送信端で光ファイバに入射された光パルスが光ファイバの屈折率分布、材料の波長特性により広がることを言う。分散によって高速・長距離伝送が制限される。

※2) DFB・LD(Distributed Feed Back Laser Diode: DFB形半導体レーザ)は縦単一モードで動作するLDであり、スペクトル半値幅が0.5 nm程度と小さい。

3.2 紫外線硬化樹脂被覆光ファイバ素線

ケーブルに対するニーズの一つである高密度実装を実現するためには、まず素線自体の細径化を図る必要がある。この要求に対し、紫外線硬化樹脂被覆光ファイバ素線(以下、UV(Ultra Violet cured acrylate)コート光ファイバ素線と略す。)を製品化した。

従来の光ファイバの被覆構造は、光ファイバ表面のきずの成長を抑え、かつ不要モードを除去するためのプライマリ層、側圧などに対し、緩衝層の役割をするバッファ層、殻の役割をするジャケット層から成る3層構造であり、外径0.9 mmのものが一般的である。この心線構造は、光ファイバケーブルが本格的に導入されて以来、現在に至るまで用いられており、非常に安定した性能を持つ構造である⁹⁾。

しかし、プライマリ・バッファ層に用いている熱硬化シリコン樹脂とナイロンジャケットの組み合わせでは、細径化に限界があり新たな被覆構造が必要であった。

このため、種々の材料が各方面で検討され最終的に紫外線硬化樹脂が一般的となった。この樹脂は、比較的粘度の高いオリゴマ(ウレタンアクリレートなど)と低粘度のアクリレートモノマ(希釈剤)および光重合開始剤が主成分であり、オリゴマ・モノマの種類、配合比を変化させることにより、物性値、硬化性および被覆作業性を種々変えることができる特徴を持っている。それらの特徴を生かし、細径でかつ被覆作業性に優れたUVコート光ファイバ素線を製品化した(表2)。いずれの被覆構造も従来の心線に比べ大幅に細径となっている。

A, Bはそれぞれ外径0.25 mm, 0.4 mmの素線であり、チューブ内やスペーサの溝内に收容され、ケーブルとして使用される。CはAの素線を横一列に並べ、さらに一括被覆した構造の光ファイバテープ心線(以下、テープ心線と略す。)である。テープ心線は、その形状から多心一括接続に適しており、接続作業性の向上を図るうえでも有効である。

表2 紫外線硬化樹脂被覆光ファイバ素線 A, Bは単心であり, Cは光ファイバテープ心線である。

項目	構造
A(外径0.25 mm)	<p>光ファイバ プライマリ層 セカンダリ層 外径</p>
B(外径0.4 mm)	<p>光ファイバ プライマリ層 セカンダリ層 外径</p>
C(テープ心線)	<p>光ファイバ プライマリ層 セカンダリ層 テープ層 0.4 1.1</p>

4 光ファイバケーブル

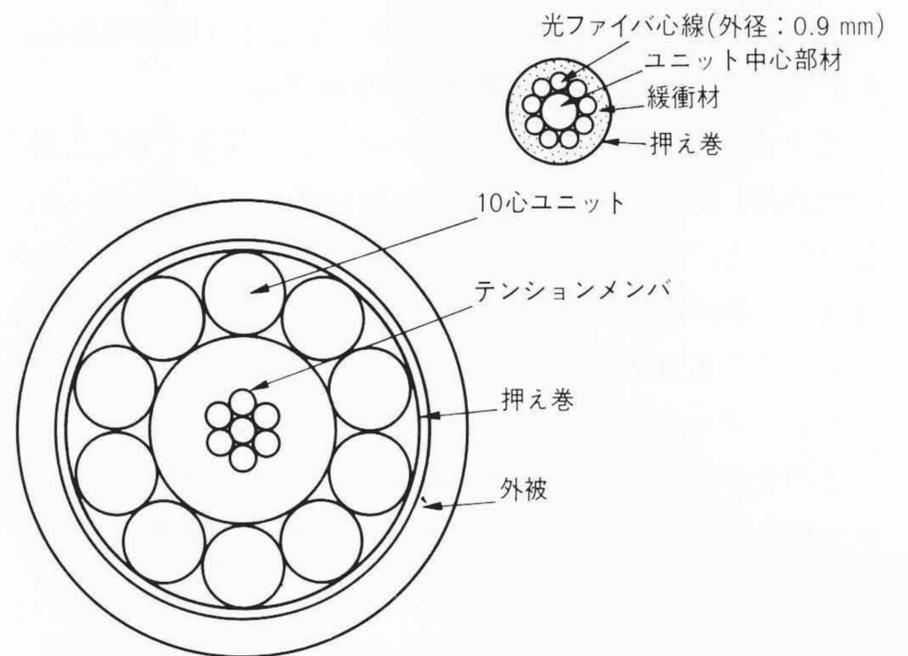
ケーブルとして、(1)管路の有効活用および布設費用の低減の目的から、高密度実装としたテープスペーサ形光ファイバケーブル、(2)保守費低減の目的から、吸水材を用いた防水形光ファイバケーブル、(3)長尺布設を可能にしたルースチューブ形光ファイバケーブルを製品化した。

4.1 テープスペーサ形光ファイバケーブル

テープスペーサ形光ファイバケーブルは、前述したテープ心線複数枚をスペーサ溝内に積層收容し、コンパクトに仕上げた構造である⁹⁾。比較する意味から、100心のユニット形光ファイバケーブルとテープスペーサ形光ファイバケーブルの構造を図2に示す。ユニット形光ファイバケーブルに比べ、外径が $\frac{1}{2}$ 、質量が $\frac{1}{4}$ 以下と高密度実装が達成されている。

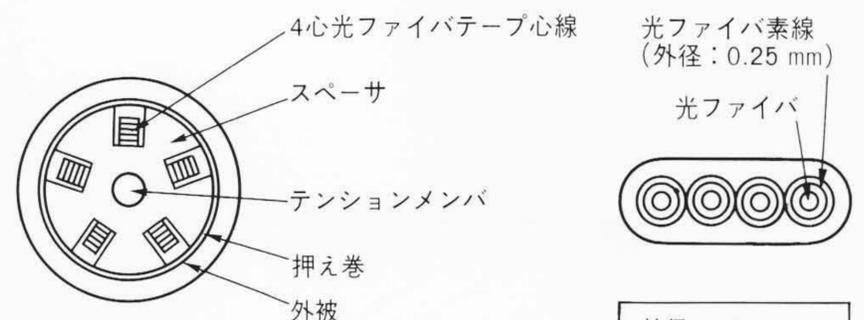
4.2 防水形光ファイバケーブル

防水形光ファイバケーブルとしては、ジェリー状の混和物をケーブル内に充てんした構造がよく知られているが、接続時に混和物をふきとるのに時間がかかり、作業性が悪いという難点があった。このため、押え巻に吸水材を塗布したテ



(a) 100心ユニット形光ファイバケーブル

外径 30 mm
質量 890 kg/km



(b) 100心テープスペーサ形光ファイバケーブル

外径 15 mm
質量 190 kg/km

図2 100心ユニット形光ファイバケーブルと100心テープスペーサ形光ファイバケーブル テープスペーサ形光ファイバケーブルは、ユニット形光ファイバケーブルの外径が $\frac{1}{2}$ 、質量が $\frac{1}{4}$ 以下であり、高密度実装となっている。

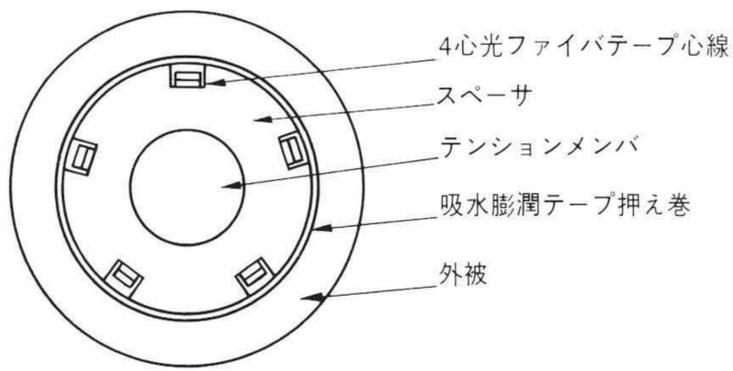


図3 防水形光ファイバケーブル 吸水材を用いたドライタイプの防水形光ファイバケーブルの構造を示す。

プを用いドライタイプとした防水形光ファイバケーブルを製品化した(図3)。このケーブルは、水が浸入すると吸水材が膨潤し短時間のうちにダムを形成し止水することから、従来の混和物充てんケーブルと比べ遜(そん)色のない防水特性を持っている。また浸水していない状態では、吸水材にべとつきはなく、通常のケーブルと同様の接続作業を行うことができる。

したがって、このケーブルを使用することにより、シースに外部きずが生じ水が入った場合でも伝送特性に影響を与えない程度の走水長に抑えることができ、しかも従来のガス圧監視方式に比べ、付属装置を簡便にすることが可能である。

4.3 ルースチューブ形光ファイバケーブル

光ファイバ自体の光損失が年々向上し、現在では0.2 dB/km(波長1.55 μm)程度と理論値に近い値となってきた。したがって、中継間隔のいっそうの長距離化を実現するためには、一条の布設長を長くし、接続数を減らすことが考えられる。この要求に適したケーブルがルースチューブ形光ファイバケーブルである。

このケーブルは、光ファイバ素線を収容したプラスチックチューブをテンションメンバの周囲により合わせた構造をしている(図4)。布設時の張力によってケーブルが伸ばされると、チューブ内の光ファイバ素線が中心のテンションメンバ側に移動することで、光ファイバの伸びを緩和する特徴を持っている。実際に引張張力を加えた場合のケーブル伸びと光ファイバ

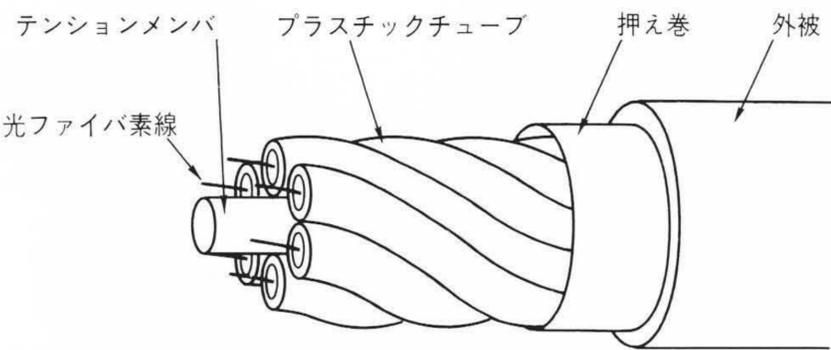


図4 ルースチューブ形光ファイバケーブル 光ファイバ素線を収容したプラスチックチューブを、テンションメンバの周囲により合わせた構造である。

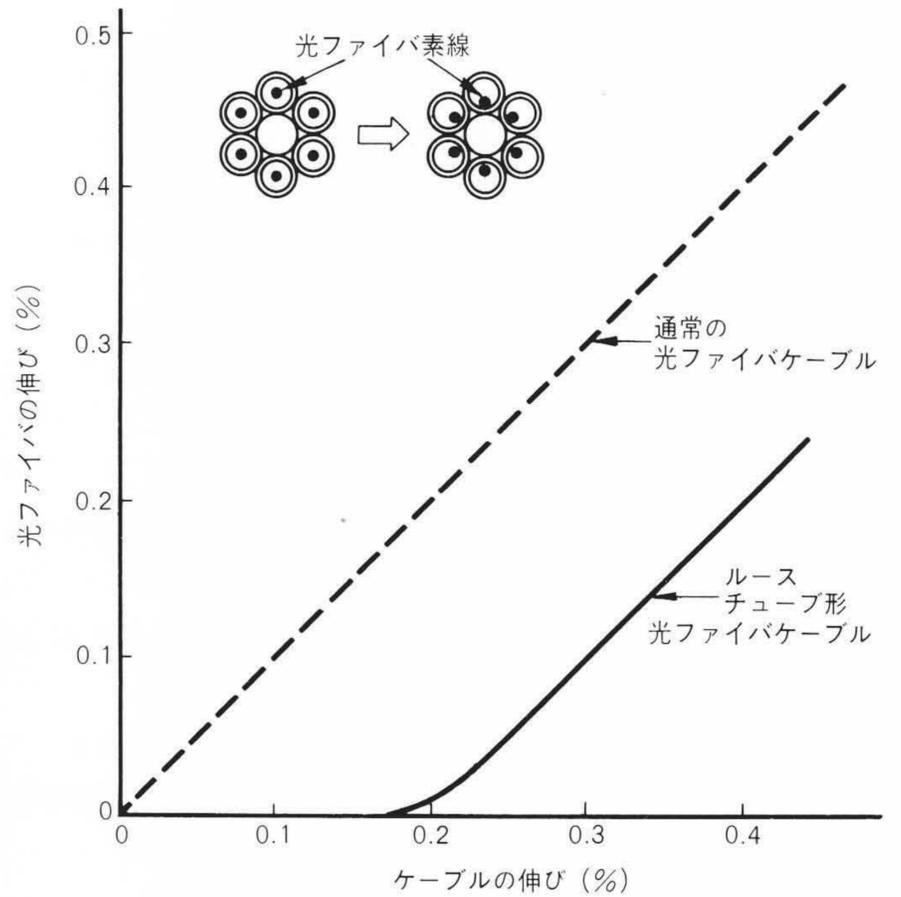


図5 ルースチューブ形光ケーブルのケーブル伸びと光ファイバ伸びの関係 ケーブルに伸びが加わると、チューブ内の光ファイバ素線は内側に寄り、伸びを小さく押えることができる。

イバの伸びの関係を図5に示す。通常的光ファイバケーブルは、光ファイバ素線をタイトに集合していることから、ケーブル伸びと光ファイバの伸びは1対1の関係にあるが、ルースチューブ形光ファイバケーブルは、ある程度の領域まで光ファイバに伸びひずみ加わらないことがわかる。したがって、長尺のケーブルを布設する場合、ケーブルへ大きな張力が加わることが想定されるが、そのような状態でも光ファイバの伸びは小さく抑えることができる特徴を持っている。

5 接続技術

光ファイバ素線どうしおよびケーブルどうしの接続技術として、(1)接続作業の省力化を目的とした多心一括融着・コネクタ接続技術、(2)後分岐を効率よく行うための多心V溝接続技術、(3)分岐接続を想定した解体可能なメカニカルクロージャを製品化した。

5.1 多心一括融着接続

これまでSMファイバの接続は光ファイバのコアを観察しながら調心し接続する、コア調心方式を用いていた。ところが全合成SMファイバ製造技術の確立⁷⁾により、光ファイバ自体の低偏心化が達成され、無調心でSMファイバを接続することが可能となってきた。この技術を利用し、テープ心線は無調心で接続する多心一括接続法が開発された。多心一括接続法の模式図を図6に示す。0.25 mmピッチで加工された高精度V溝によって左右の光ファイバが位置決めされ、無調心でそのまま融着接続される。

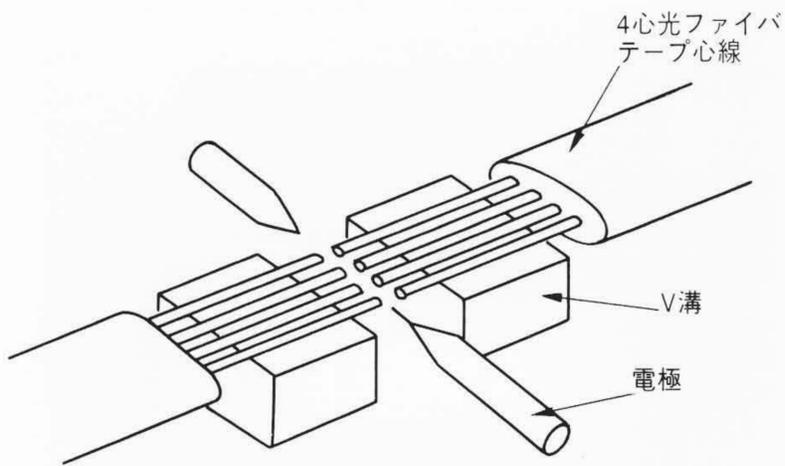


図6 多心一括融着接続模式図 光ファイバは左右にあるV溝によって位置決めされ、調心せずそのまま融着接続される。

実際にSM 4心テープ心線を現地で一括接続したときの接続損失ヒストグラムを図7に示す。接続損失は平均で0.08 dBと従来のコア調心方式とほぼ同等であり、しかも接続時間は半分以下となり、省力化が可能である。

5.2 多心一括コネクタ

将来分岐する可能性のある接続点では、切換を容易にする目的から、あらかじめコネクタ接続としておく方式が考えられる。この要求に対し、多心用で小形なSM 4心光コネクタを製品化した。

このコネクタは、経済性を考慮し超精密射出成形技術を利用したプラスチックからできており、寸法は縦3 mm×横4 mm×長さ8 mmと非常に小形である(図8)。コネクタ内の4心の光ファイバは、0.25 mmピッチで横一列に配置されてお

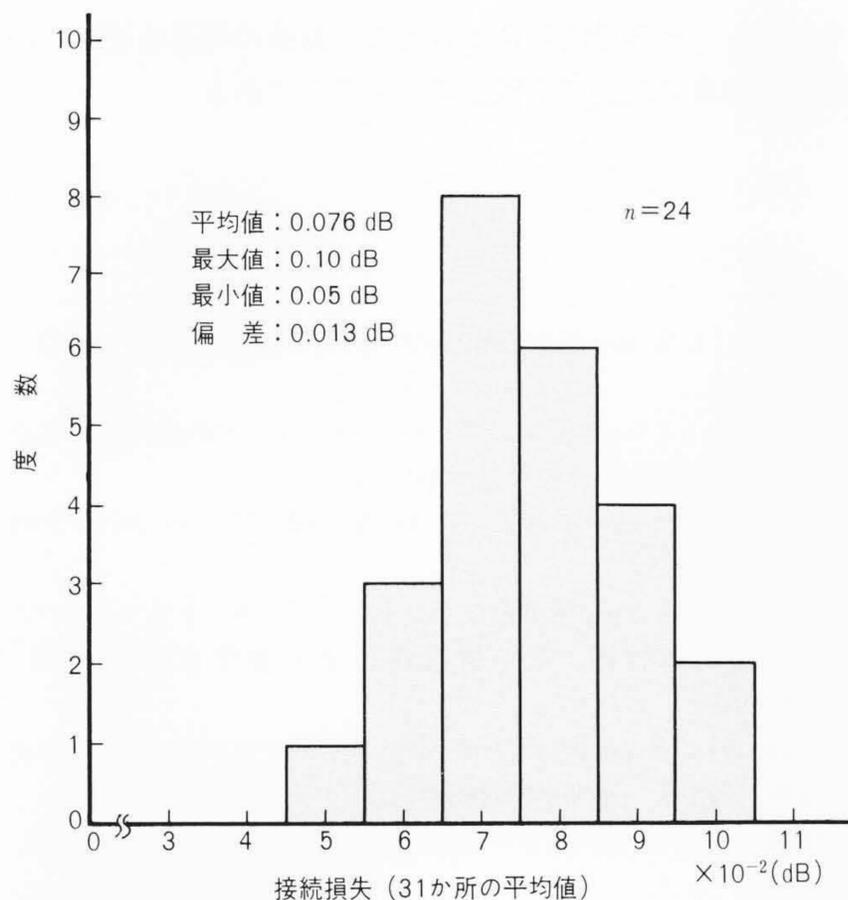


図7 接続損失ヒストグラム(多心一括融着接続) 平均接続損失は0.08 dBと十分な特性を実現している。

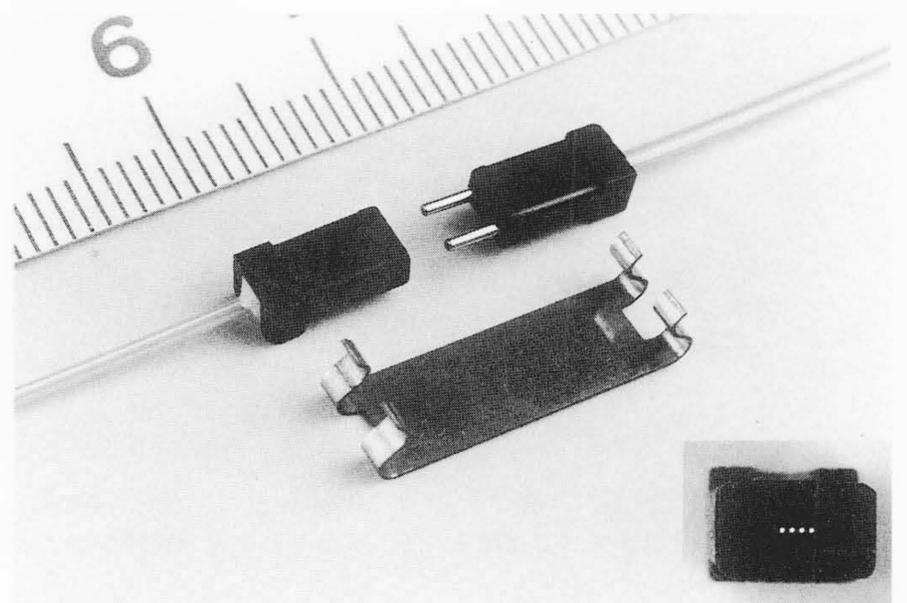


図8 SM 4心小形光コネクタ テープ心線どうしを接続するコネクタであり、両サイドのガイドピンで位置決めする。押圧力はクリップによって付与する。

表3 多心コネクタの特性 接続損失の平均値は0.18 dBと小さく、しかも信頼性も十分な特性を実現している。

項目	試験条件	特性
接続損失	正方向接続	平均: 0.18 dB 最大: 0.5 dB 偏差: 0.11 dB
着脱	100回	変動: ±0.1 dB以内
衝撃落下	高さ1 mから10回落下	変動: ±0.2 dB以内
ヒートサイクル	-30~60°C 100サイクル (1サイクル4時間)	変動: ±0.2 dB以内
高温・高湿	60°C 相対湿度95% 連続10日間	変動: ±0.2 dB以内

り、コネクタ両側の2本のガイドピンを介して嵌(かん)合する構造である。嵌合の際の押圧力はクリップ(板ばね)によって付与する。

このコネクタは、表3に示すように平均0.18 dBと低損失で接続することが可能であり、しかも十分な信頼性を持っている。

5.3 多心V溝接続器

加入系では、新規需要家が発生した場合、既設光ファイバケーブルの途中で分岐する、いわゆる後分岐が配線法上必要となる。これらの要求に対し、光ファイバの接続用余長を短くすることを目的として多心V溝接続器を開発した(図9)。この接続器の特徴は、融着接続器を必要としないことである。テープ心線内の光ファイバは、単結晶シリコンの異方性エッチング技術を応用して加工した高精度のV溝で位置決めされ、突合せ部は紫外線硬化接着剤で固定する方法を採用している。後分岐する場合、接続用の余長の確保が問題となるがこの方法では250 mm程度の余長があれば接続することができ非常に

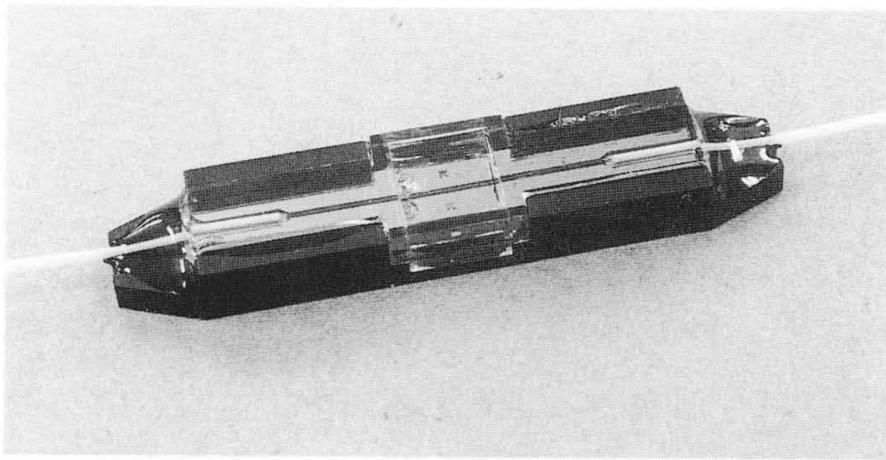
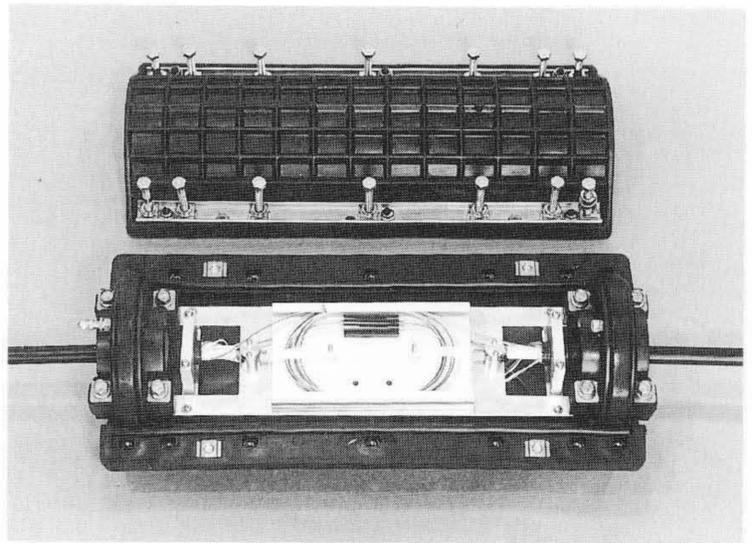


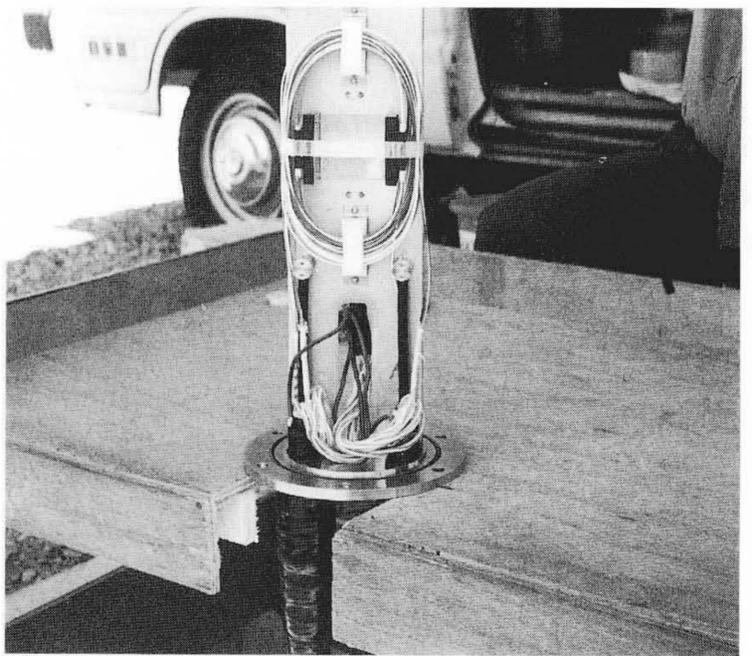
図9 多心V溝接続器 光ファイバは単結晶シリコンからなるV溝によって位置決めされ、突合せ接続される。突合せ部は紫外線硬化接着剤で固定する。

表4 各種光ケーブル接続用クロージャの特徴 メカニカル形とポットヘッド形クロージャの構造および特徴を示す。

項目	A(メカニカル形)	B(ポットヘッド形)
寸法 (mm)	160×210×500 (縦×横×長さ)	φ120×470 (直径×長さ)
質量 (kg)	約9	約9
スリーブ	分割形	分割形
防水処理	シーリングテープ	Oリングと収縮チューブ
光ファイバ余長処理法	トレイ	トレイ
分岐	可	可
光ファイバテープ収納枚数	48	10



(a)



(b)

図10 光ケーブル接続用クロージャ (a)がメカニカル形、(b)がポットヘッド形の心線収容状況を示す。

有効である。また、接続損失も平均0.1 dB以下を実現している。

5.4 クロージャ

後分岐接続を想定し、解体可能な2種類の光ケーブル接続用クロージャを製品化した(表4, 図10)。同表のA, Bはいずれも気密構造となっており、信頼性に優れている。Aは最大48枚のテープ心線が収容可能であり、また分岐接続用に取付けスペースをあらかじめ設けることもできる。Bは最大収容テープ心線数10枚と少心用であるが、縦形構造であることから、ハンドホールなどのスペースが狭い場所の接続に有効である。

6 結 言

光ファイバケーブル接続に対する高度化、経済化、使いやすさの要求に対し中継間隔の長距離化に適した1.55 μm SMファイバ、細径・軽量化を図ったテープスペーサ形光ファイバケーブル、保守の低減に適した防水形ケーブル、長尺布設に適したルースチューブ形ケーブル、接続作業の省力化に適した多心一括融着接続、コネクタ、V溝接続、メカニカルクロージャについて述べた。これらの技術は、高度情報通信網構築のうえで重要な役割を担う技術であると考えられる。

今後ともニーズを的確にとらえた新技術の開発を進め、高度情報化社会の発展に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 林, 外: 1.55 μm帯光伝送方式の導入, 施設40, 10, pp.43~45(1988)
- 2) 徳永, 外: 1.5 μm帯シングルモード光ファイバの諸特性, 日立電線, No.7, pp.13~18(1988)
- 3) 市来, 外: 光伝送用素子, 日立評論, 69, 11, pp.1077~1081(昭62-11)
- 4) 大藪, 外: 1.5 μm帯分散フラットシングルモード光ファイバの低損失化の検討, 電子情報通信学会春季全国大会, C-578(1989)
- 5) 佐藤, 外: 多心GI形光ファイバユニットケーブルの開発, 日立電線, No.5, pp.7~13(1985)
- 6) 佐藤, 外: テープスペーサ形光ファイバケーブル, 日立電線, No.8, pp.1~4(1989)
- 7) 今澤, 外: 全合成シングルモード形光ファイバ, 日立評論, 69, 11, 1089~1092(昭62-11)