

# 光ファイバケーブル

## Optical Fiber Cables

光ファイバ伝送方式の実用化が各方面で急速に進行しつつある。これは光ファイバが、絶縁性、低損失、広帯域、細心、軽量など数多くのメリットをもつためであることが大きな理由ではあるが、高品質な光ファイバの量産化技術及び光ファイバケーブルの布設、接続などの周辺技術が十分に実用に供せられるまでになってきたためである。

光ファイバの製造技術の一つであるスート堆積法は $1.3\mu\text{m}$ 帯で伝送損失 $0.5\text{dB/km}$ 、伝送帯域 $800\text{MHz}\cdot\text{km}$ のグレーデッドインデックス形光ファイバの量産化を可能とした。また、光ファイバ接続部の加熱モールド補強法は、作業に熟練を必要とせず、かつ信頼性の高い接続工法である。

本論文ではスート堆積法の要点、この製法による光ファイバの諸特性及び光ファイバケーブルの布設、接続技術について述べる。また、光ファイバケーブルの応用例についても紹介する。

御子柴晃一\* *Kouichi Mikoshiba*  
 高山啓一\*\* *Keiichi Takayama*  
 菅沼庸雄\*\*\* *Tsuneo Suganuma*

### 1 緒言

光ファイバ伝送方式は、その絶縁性、耐雑音性に優れていることにより昭和50年初頭から電力会社で現地実証実験が行なわれ、実用化に向けての第一歩が踏み出された<sup>1)</sup>。その後、光ファイバの製造技術、電気・光変換器及び光・電気変換器に代表される光関連機器、光ファイバケーブルの布設、接続技術などの周辺技術の開発が急速に進展して実用に供せられるようになり、光伝送システムは様々な分野での情報伝送に積極的に導入、実用化されつつある。

本報告では、高品質な光ファイバの量産を可能にしたスート堆積法<sup>2)</sup>(以下、ST法と略す。)の要点、ST法によるグレーデッドインデックス形(以下、GI形と略す。)光ファイバの諸特性及び光ファイバケーブルの布設、接続技術、特に光ファイバ接続部の加熱モールド補強法について解説し、更にST法光ファイバケーブルの応用例についても述べる。

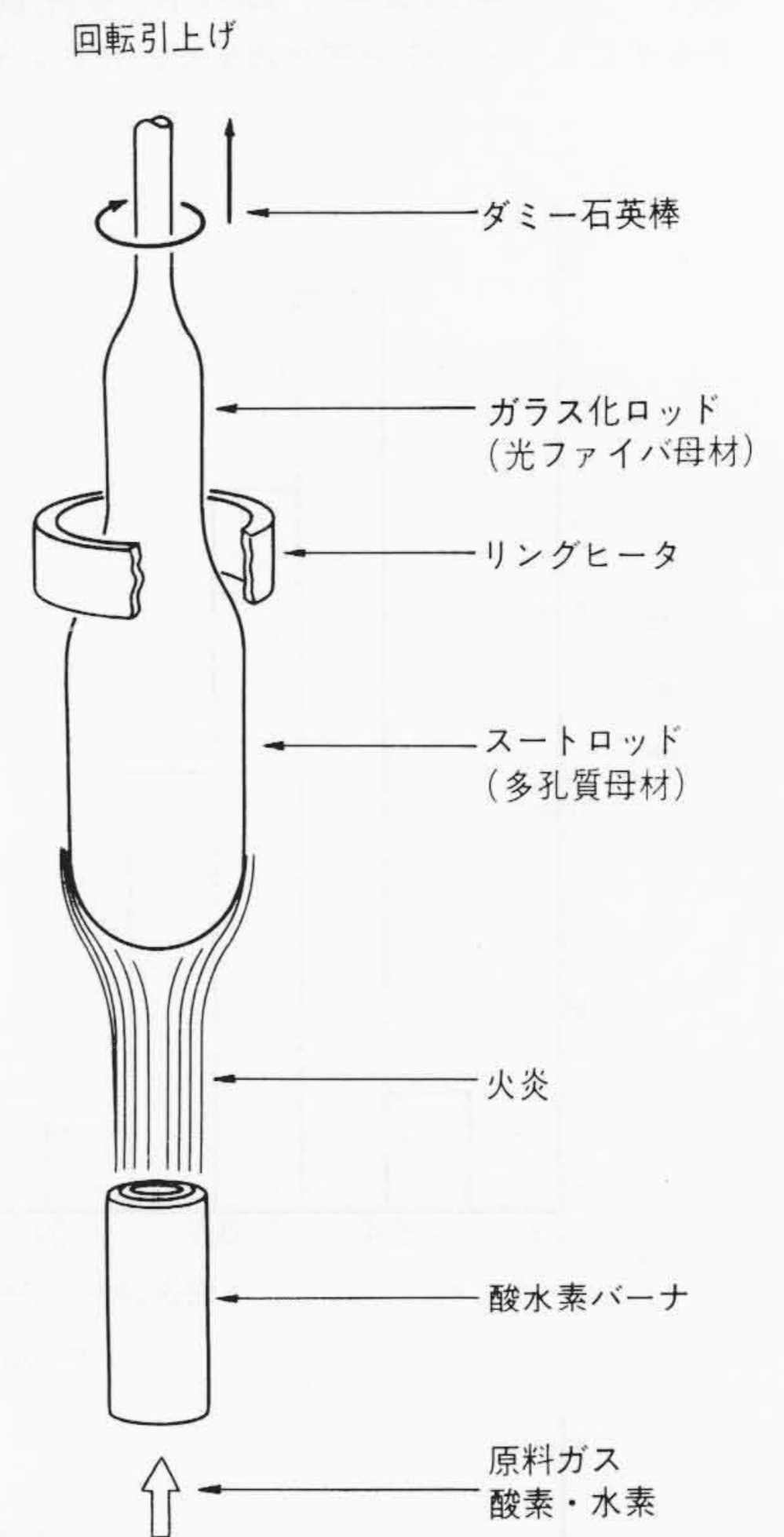
### 2 光ファイバの製法と特性

#### 2.1 ST法による光ファイバ母材の製法

ST法はVAD(Vapour-phase Axial Deposition)法などと同じように、気相軸付法の一つであり、石英ファイバの母材を効率よく製作する方法である。図1にST法を模式的に示す。すなわち、垂直に設置された同心管のバーナから出る酸水素火炎中に、主原料の $\text{SiCl}_4$ (四塩化ケイ素)と屈折率制御用のドーパントとなる $\text{GeCl}_4$ (四塩化ゲルマニウム)や $\text{POCl}_3$ (オキシ塩化リン)などを送り込んで、火炎加水分解反応を起こさせる。この火炎中に生ずるドーパントを含んだ $\text{SiO}_2$ (二酸化ケイ素)は純白の微粉末(すす状であり、スートと呼ぶ。)であり、火炎上部に置かれたダミー石英棒の先端に付着し堆積を開始する。ダミー棒が回転しながら引き上げられるに従ってスートは軸方向に成長し、多孔質母材(スートロッド)を形成する。次に、スートロッドは電気炉中に導入され、脱水酸基処理及び焼結、透明ガラス化されて光ファイバ母材となる。

ST法は、GI形光ファイバを製造する場合、光ファイバの代表的な製法の一つであるMCVD(Modified Chemical Va-

図1 ST法(スート堆積法)模式図  
 スートは回転引き上げられながら軸方向に成長する。次に電気炉中で加熱、ガラス化され、光ファイバ母材となる。



pour Deposition)法に比べると広帯域化、すなわち光ファイバの屈折率分布を最適化するところに難しさがある。これを解決するためにスート形成条件、特にスート生成温度及び多孔質母材形状などの精密制御を行なっている。一方、伝送損失の低減化のためには焼結時の脱水酸基処理条件、及びガラス化温度の最適化と安定化を図っている。スートロッドの堆積状況を図2に示す。

\* 日立電線株式会社日高工場 工学博士 \*\* 日立電線株式会社日高工場 \*\*\* 日立製作所中央研究所 工学博士

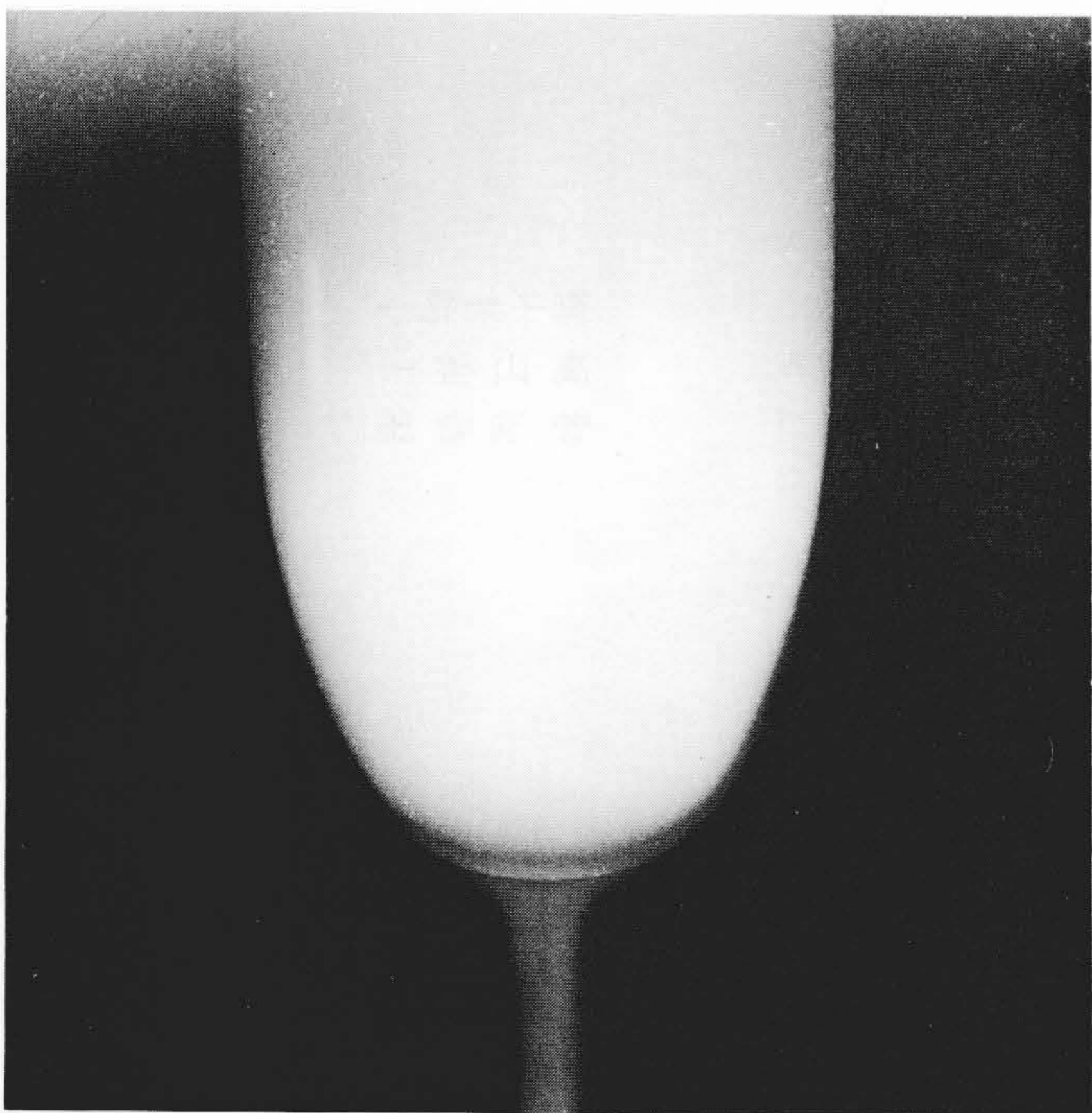


図2 堆積中のスートロッド(多孔質母材) 反応温度, スートの形状などにより屈折率分布が定まり, 光ファイバの伝送帯域が決定する。

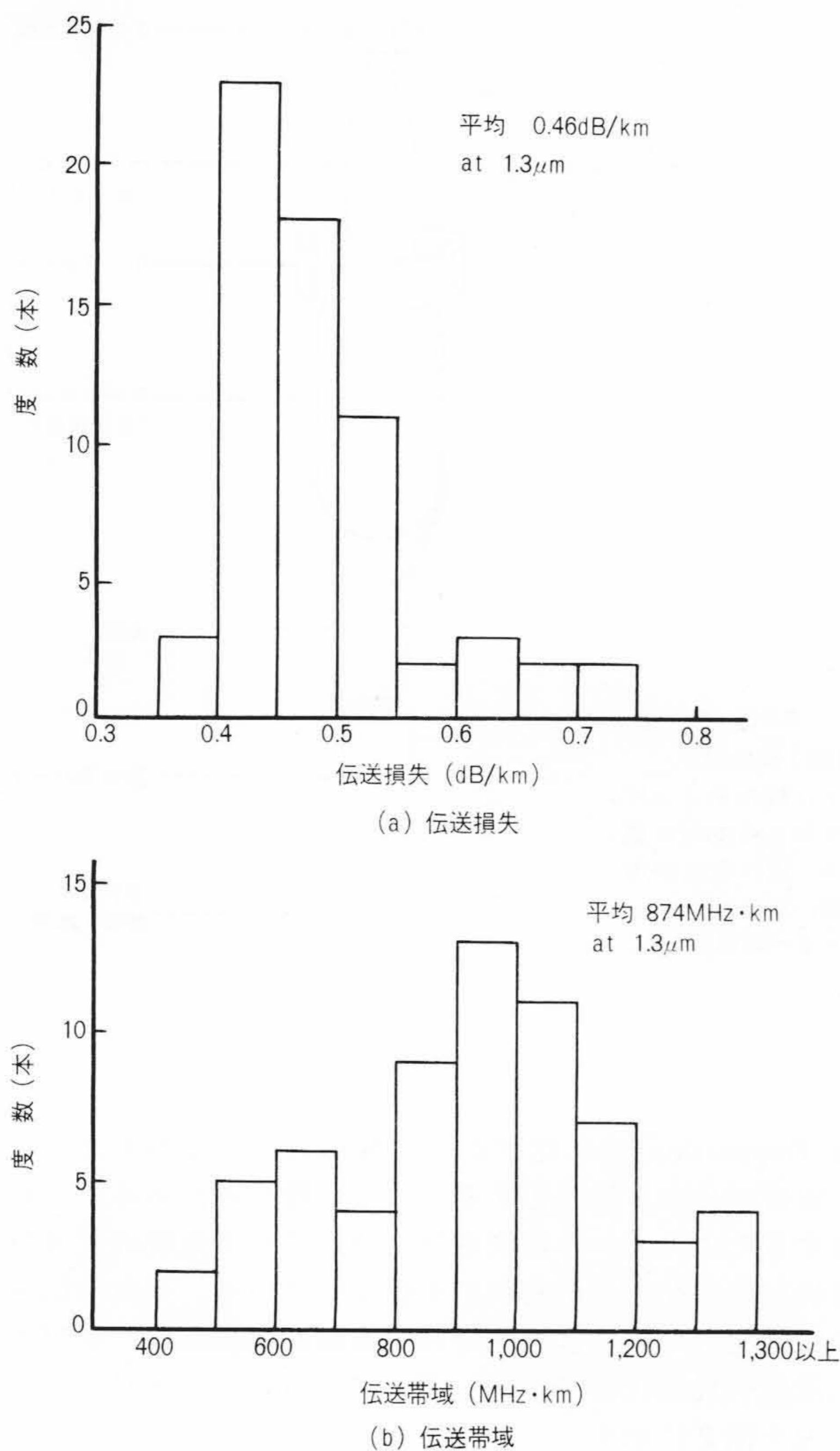


図3 ST法による光ファイバの伝送特性 コア外径50 $\mu$ m, クラッド外径125 $\mu$ mのGI形(グレーデッドインデックス形)光ファイバの波長1.3 $\mu$ mでの伝送損失, 及び伝送帯域を度数分布で示す。

## 2.2 ST法によるGI形光ファイバの諸特性

ST法により製造されたコア外径50 $\mu$ m, クラッド外径125 $\mu$ m (以下, 50/125 $\mu$ mと略す。)のGI光ファイバ約250kmの1.3 $\mu$ m帯での伝送損失, 及び伝送帯域を図3に示す。また, 伝送損失の波長特性例を図4に示す。いずれの特性もVAD法あるいはMCVD法により製造された光ファイバと同等の良好なものである。

光ファイバは以上の伝送特性とともに耐応力特性, 引張り強度などの機械的特性が重要である。このため, 光ファイバは図5に示すように, 石英クラッドとナイロン被覆の間に一次被覆及び緩衝層を設けた3層補強構造を採用することによって耐応力特性, 低温特性などを向上している。

また, 図6に50/125 $\mu$ mGI形光ファイバ(ナイロン被覆外径0.9mm)の破断強度分布例を示す。累積破断確率が50%となる破断強度は6kg以上であり, ケーブリング及びケーブル布設に十分な強度である。

## 3 光ファイバケーブルの応用例

### 3.1 長距離無中継伝送用光ファイバケーブル

GI形光ファイバの長波長帯での低損失, 広帯域な特性により32Mビット/秒のPCM信号の25km以上の無中継伝送を可能にした。これに使用される50/125 $\mu$ mGI形光ファイバケーブルの1.3 $\mu$ m帯での伝送損失は平均0.7dB/km以下, 伝送帯域は平均800MHz·km以上である。なお, この光ファイバを6心単位のユニットタイプとすることにより24心, 48心などの多心光ファイバケーブルも構成できる。図7に多心ケーブルの例を示す。

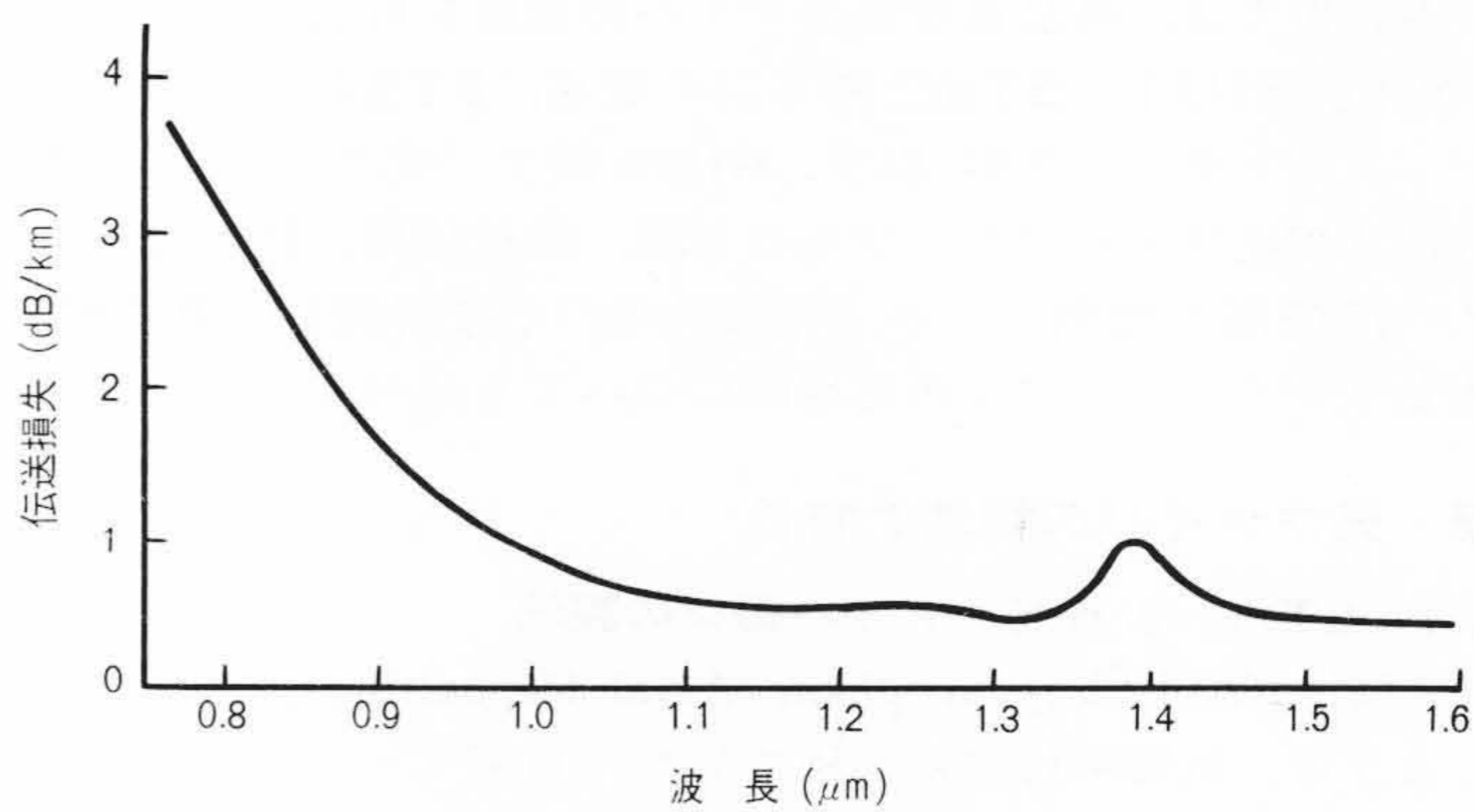


図4 光ファイバの伝送損失-波長特性 1.39 $\mu$ mでのOH吸収ピーク値も1dB/kmであり, 十分な脱水酸基処理が行なわれていることを示している。

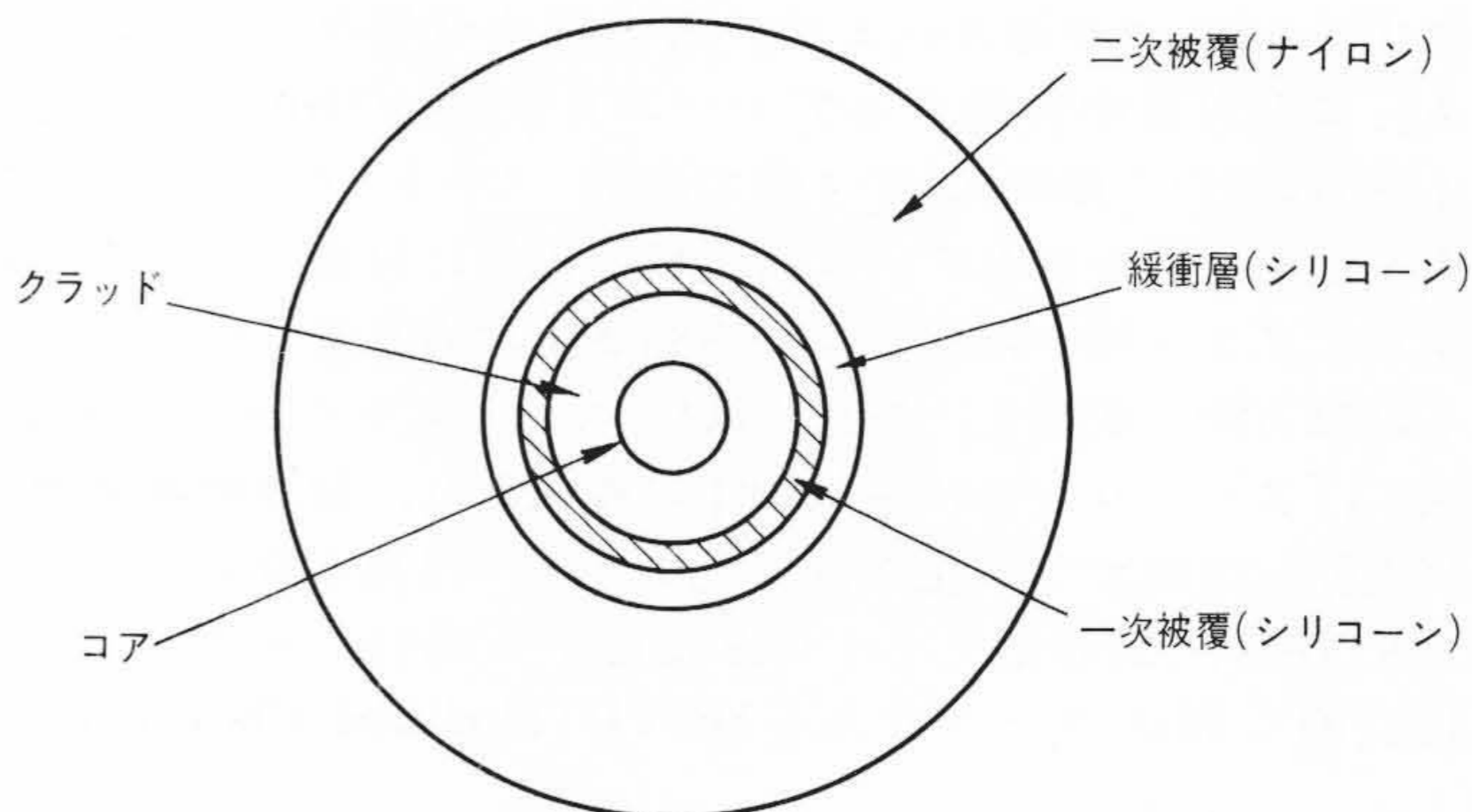


図5 光ファイバの補強構造 シリコーン緩衝層をもつ3層構造を採用することにより, 耐応力特性, 低温特性などを向上している。

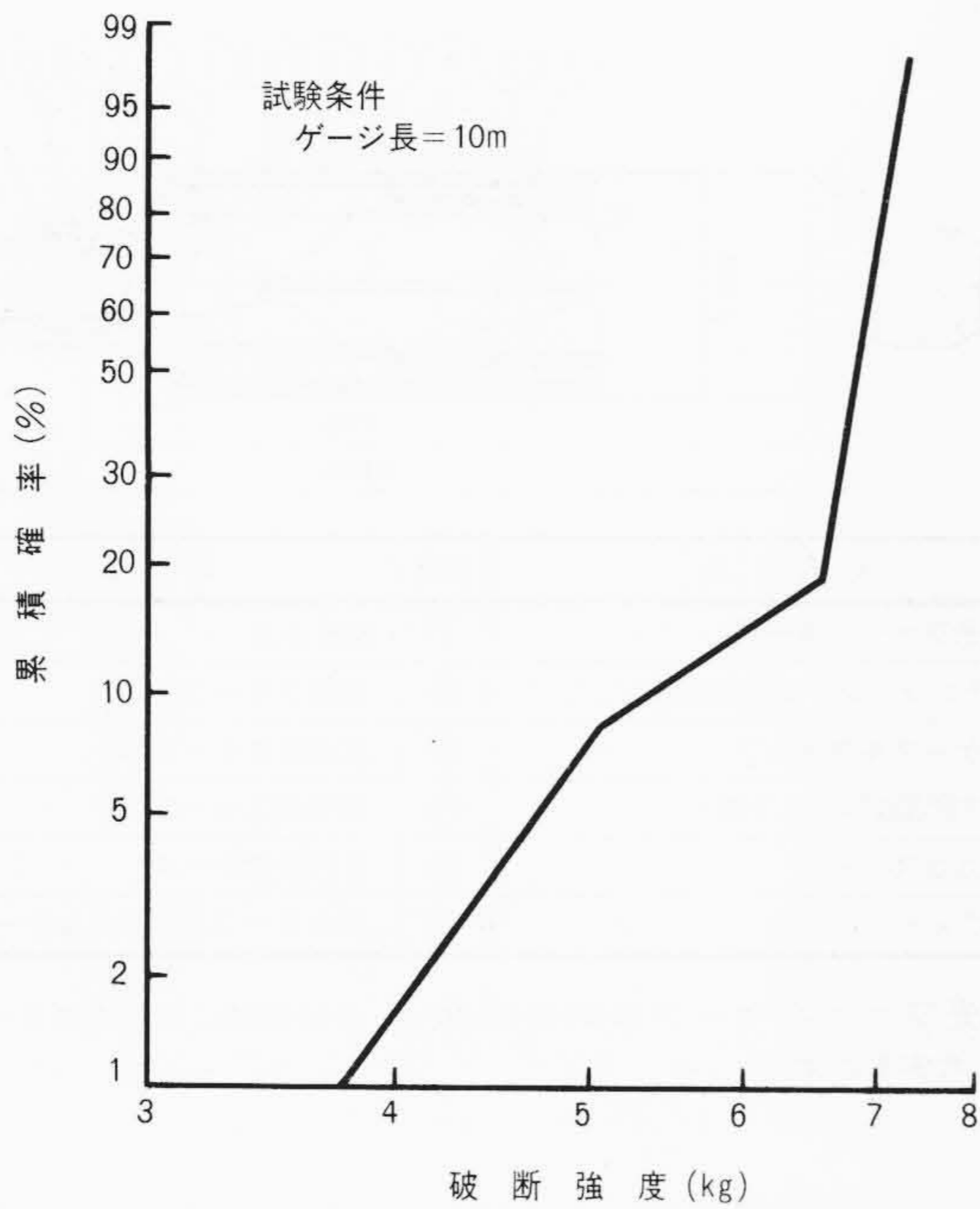


図6 光ファイバ破断強度の確率分布 累積破断確率が50%となる破断強度は、6 kg以上である。

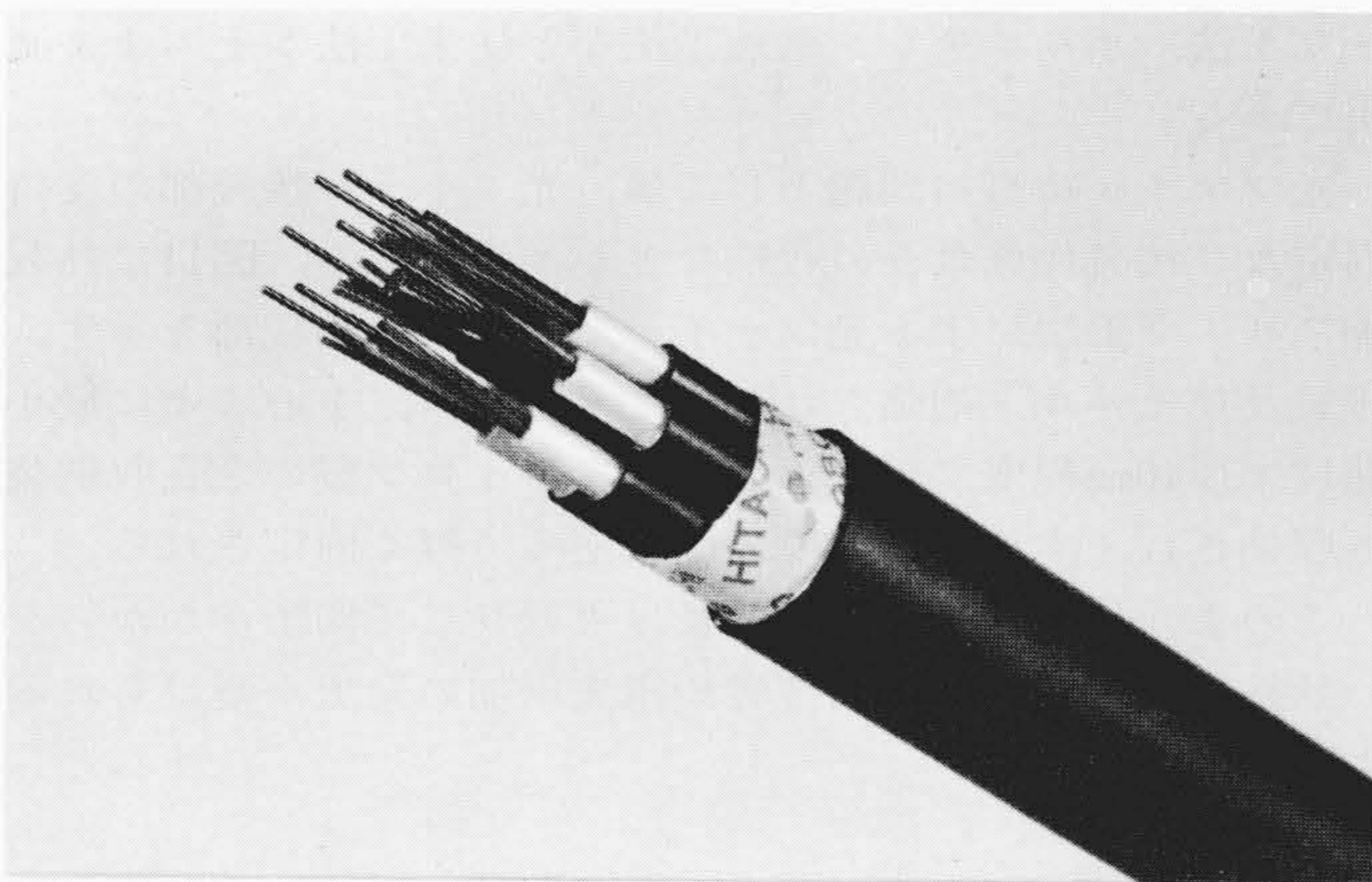


図7 多心光ファイバケーブル 光ファイバを6心単位のユニットタイプとした多心光ファイバケーブルを示す。

### 3.2 FRP被覆光ファイバケーブル

FRP(Fiber Reinforced Plastic)被覆光ファイバは、光ファイバのナイロン被覆を熱硬化性樹脂によりガラス繊維を固化したFRPに置き換えることによって、ナイロン被覆光ファイバに比べて引張り強度を10倍以上、また耐応力特性、耐熱性を大幅に向上させたものである。

FRP被覆光ファイバは、電力会社の配電柱に添架する架空光ファイバケーブルなどに適用が開始されているが、今後優れた機械的特性を生かして移動用の分野など、新しい分野での適用が期待されている。

### 3.3 光ファイバ複合架空地線

電力会社では、架空送電線の上部に架線されている架空地線に、光ファイバを組み込んだ光ファイバ複合架空地線(以下、OPGWと略す。)の実用化を開始している。図8にOPGWの構造例を示す。

これは、光ファイバの絶縁性、耐雑音性、細心、軽量といった数多くの特徴と架空送電線システムのもつ高い信頼性と

を組み合わせ、広域にわたり安定度の高い通信網を構築しようとするものである。なお、送電線の定格によって差はあるが、接地電流によって生ずる温度上昇が短時間ながら300℃以上に達するので、光ファイバの被覆はこれに耐えられる耐熱性を備えている<sup>3)</sup>。

### 3.4 光ファイバ・電力複合ケーブル

従来、電力線とメタリック通信線は通信回線の品質維持の点から別ケーブルにするのが一般的であるが、光ファイバは電磁誘導を受けないことから、電力線と複合化して使用される例が多くなっている。

特に、海底ケーブルでは、10km以上の長さを1条長で布設することが可能であるので、複合化することによってケーブル(伝送路)費用、布設費用などの大幅な低減が可能である。図9に光ファイバ・電力複合海底ケーブルの構造例を示す<sup>4)</sup>。

## 4 光ファイバケーブルの布設・接続技術

### 4.1 光ファイバケーブルの布設技術

光ファイバケーブルは、従来のメタリックケーブルと比べて細径、軽量な特徴をもっているので長尺布設が可能である。光ファイバの強度は、長手方向に分布している光ファイバのきずの大きさによって支配され、このような部分に布設途中で瞬間的に過度の力がかかると、光ファイバが断線する可能性もある。このため、光ファイバケーブルは伸びが少なく強度の大きいテンションメンバで張力を負担し、ケーブル全体

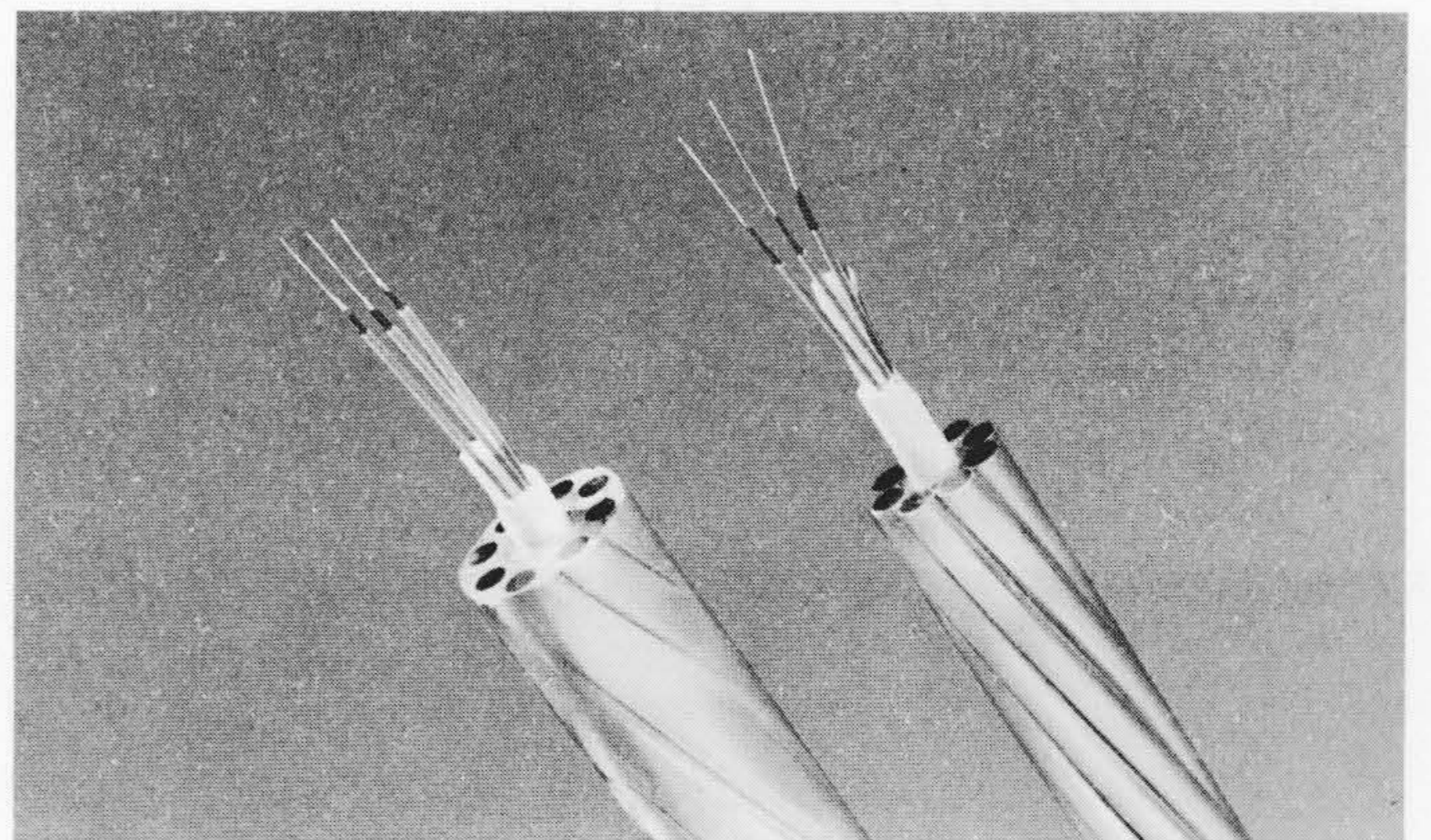


図8 光ファイバ複合架空地線 光ファイバの絶縁性、耐雑音性、細心、軽量などの特徴を生かし、架空地線に組み込んだものである。

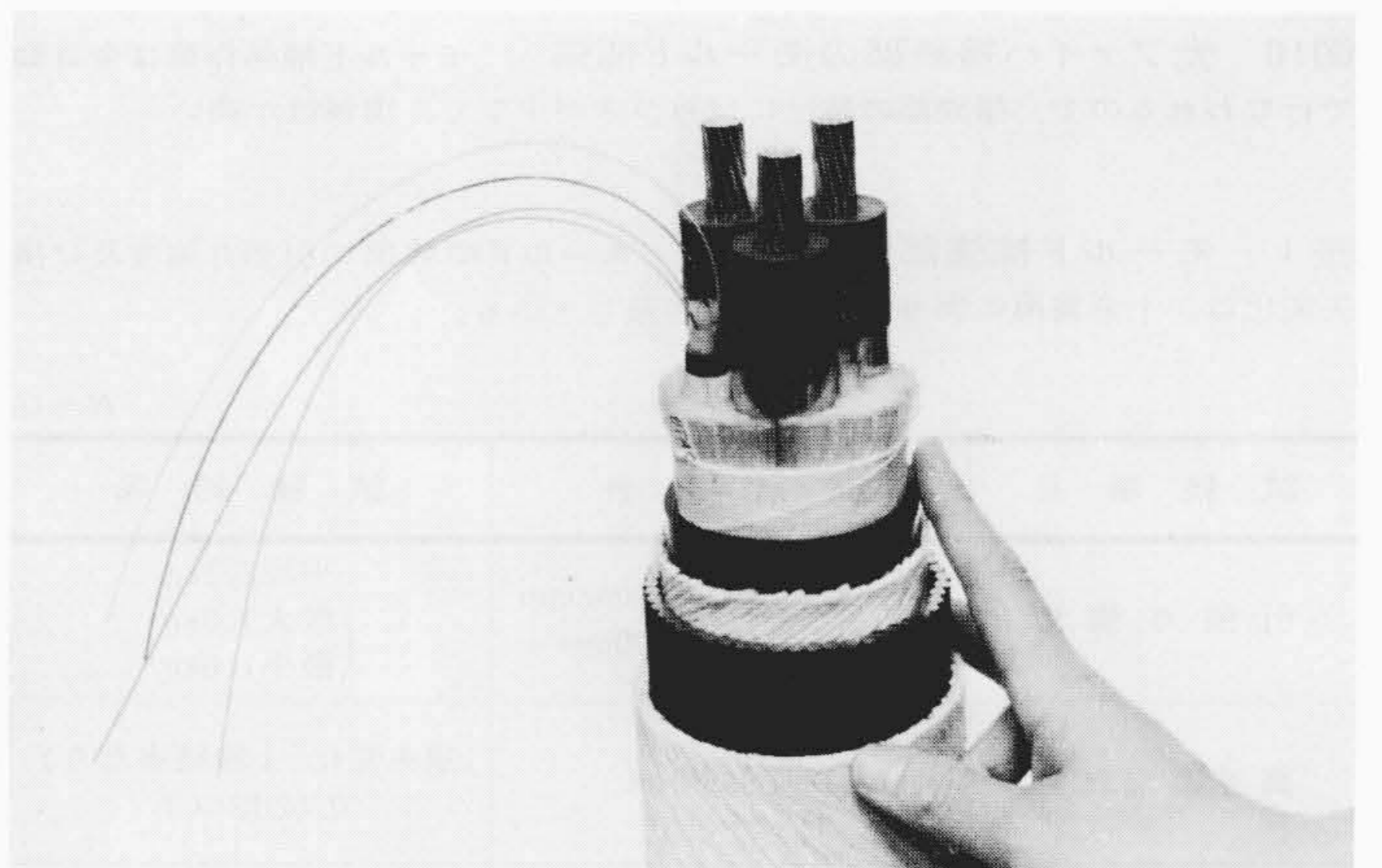


図9 光ファイバ・電力複合海底ケーブル 光ファイバは電磁誘導を受けないことから、電力線との複合化が可能である。

の伸びを光ファイバの破断伸び以下に抑え断線を防止する構造をとっている。

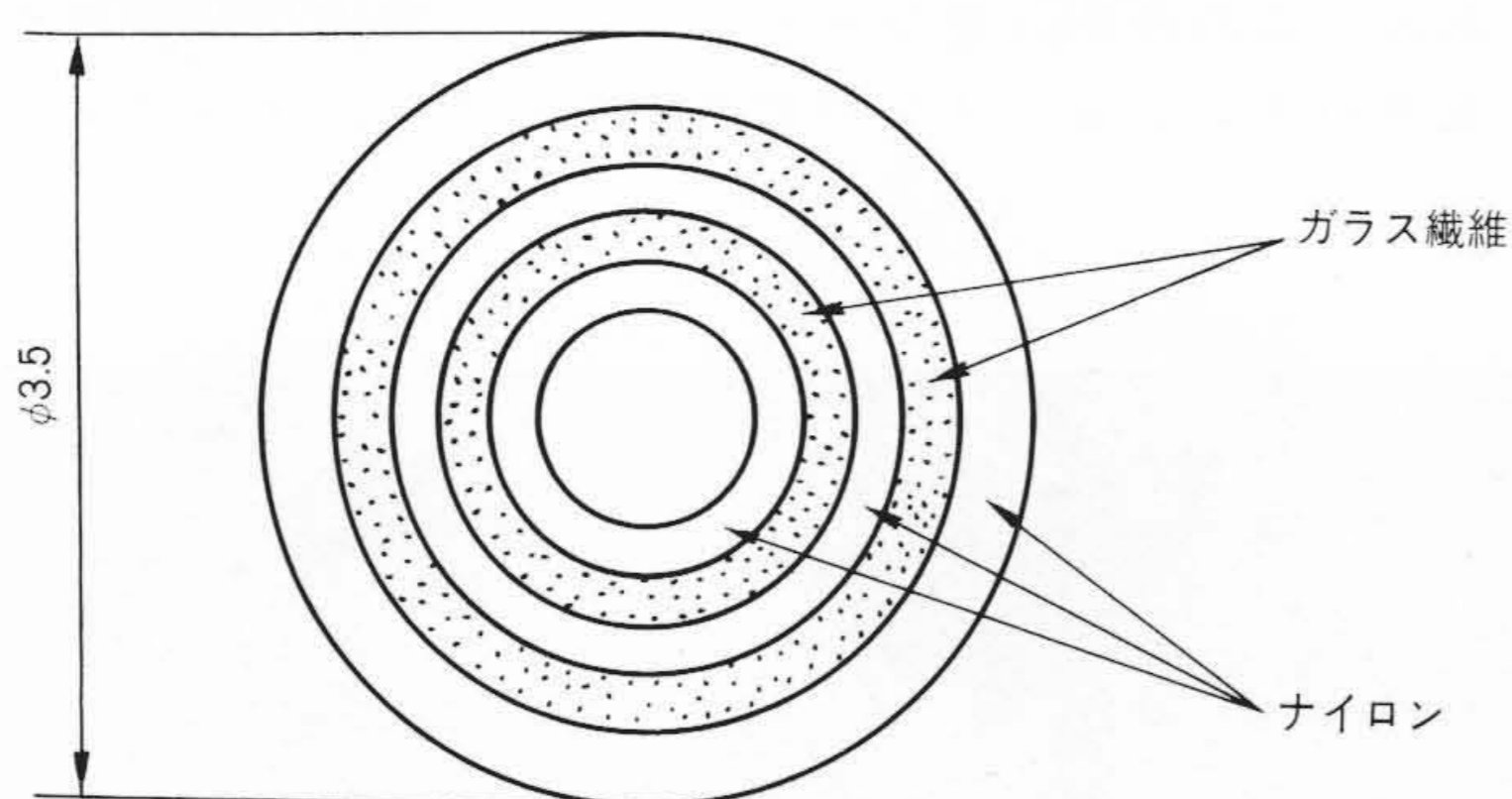
このような光ファイバケーブルの布設は、基本的には従来のメタリックケーブルと同じ工法で行なえる。

#### 4.2 光ファイバケーブルの接続技術

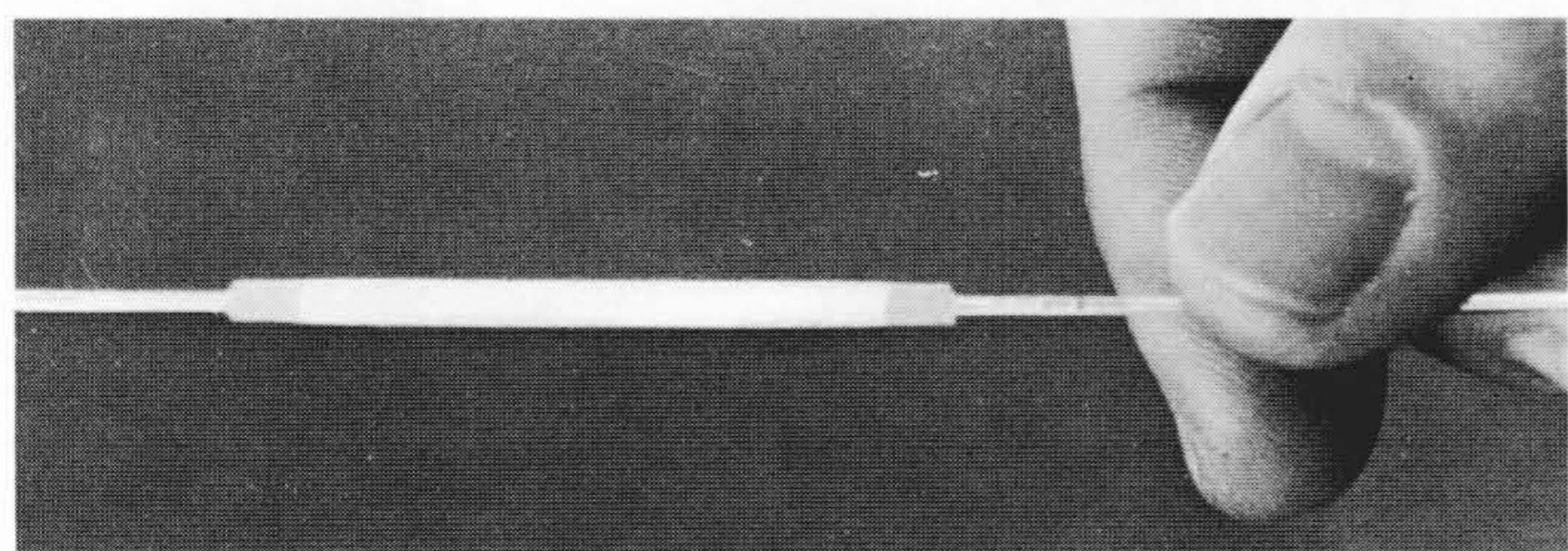
##### 4.2.1 光ファイバの接続

光ファイバ自体の接続には、現在、予加熱融着法が多く採用されている。この融着接続法は光ファイバの被覆を除去して行なわれるため、接続後は接続部に補強を施す必要がある。この補強法として、ナイロンとガラス繊維の複合チューブを加熱モールドする方法を開発、実用化している。図10に、モールド補強用複合チューブ及びモールド補強された接続部を示す。なお、融着接続作業中に被覆が除去された石英ファイバにきずが発生し強度が低下する可能性もあるので、補強前にスクリーニング試験を行ない、これに合格した接続部について補強を行なうことにしている。このモールド補強法の特長として下記が挙げられる。

- (1) 補強部の熱膨脹係数及び機械的特性は、ナイロンとガラス繊維の合成された特性となり、光ファイバ本体の特性に近くなる。
- (2) 補強作業は全自動で行なわれるので、熟練を必要としない。
- (3) 接続部の特性にばらつきが少なく、信頼性が高い。



(a) モールド補強用複合チューブ



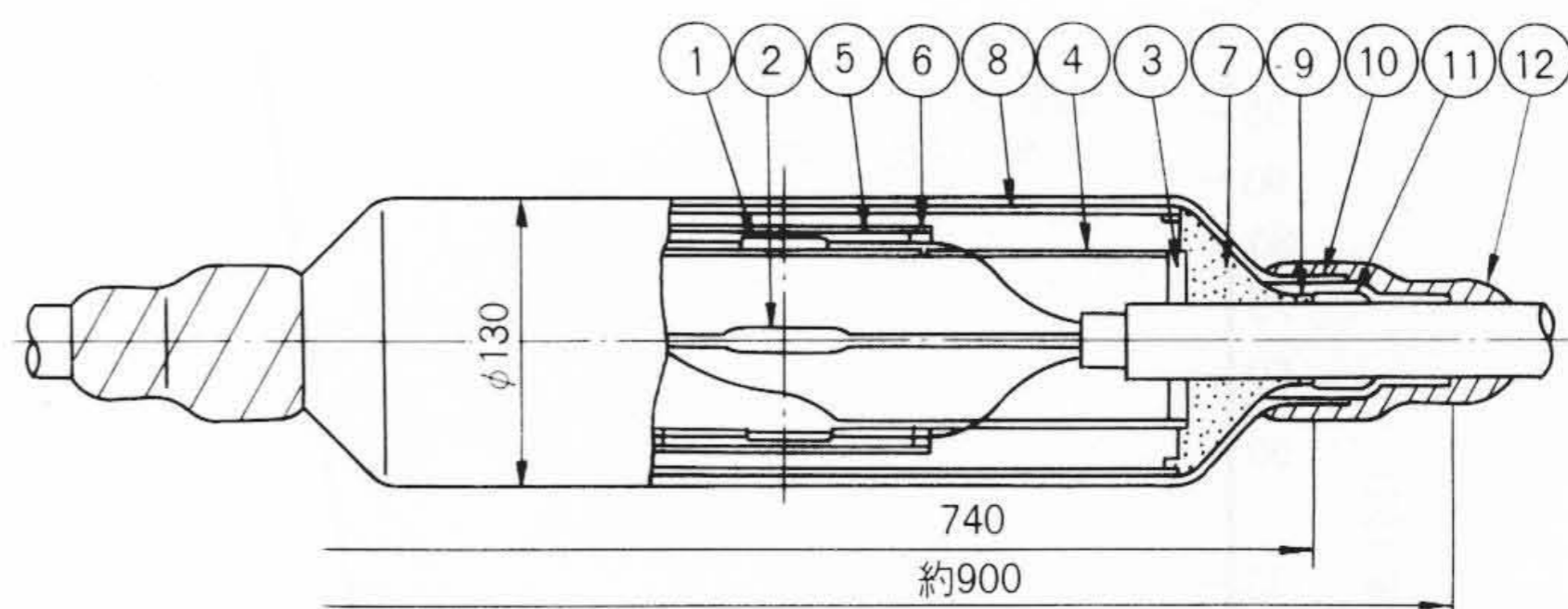
(b) モールド補強接続部

図10 光ファイバ接続部のモールド補強 モールド補強作業は全自動で行なわれるので、接続部の特性にばらつきが少なく、信頼性が高い。

表1 モールド補強部の信頼性 モールド補強部の引張り強度及び損失変化は、十分実用に供せられることを示している。

試験項目	試験条件	試験結果
引張り強度	引張り速度：5mm/min 標点長さ：200mm	平均2.3kg (最大3.0kg) 最小1.6kg
高温高湿試験	温度：60℃ 湿度：95%RH 時間：20日間	損失変化(1接続当たり) 0.02dB以下
熱衝撃試験	温度：-30～90℃ 時間：100サイクル	損失変化(1接続当たり) 0.02dB以下

N=15



項番	名称	項番	名称
①	光ファイバ接続部	⑦	保護金具
②	テンションメンバ接続部	⑧	保護スリーブ
③	ケーブルクランプ	⑨	熱収縮スリーブ(A)
④	内部固定筒(二つ割)	⑩	熱収縮スリーブ(B)
⑤	ガラステープ	⑪	自己融着テープ
⑥	ファイバガイド	⑫	防水テープ及びビニルテープ

図11 光ファイバケーブルの接続部 外被接続に熱収縮スリーブ工法を採用した例を示す。

接続部の信頼性データの一部を表1に示す。なお、補強作業による接続部の損失増加は0.01dB以下である<sup>5),6)</sup>。

##### 4.2.2 光ファイバケーブルの接続

光ファイバケーブルの外被接続は、基本的には熱収縮スリーブ工法、ポリエチレン融着工法など従来工法がそのまま適用できる。

光ファイバ特有の問題としては、光ファイバ接続部の支持固定及び接続作業余長の収納などが挙げられる。図11に熱収縮スリーブ工法による光ファイバケーブルの接続部を示す。接続及びモールド補強された光ファイバは、1心ごとに最小曲げ半径40mm程度に緩く束取りしてナイロン製の余長収納袋へ収納され、内部固定筒の表面に沿って軽く固定される。

このように光ファイバの余長は束取りして側圧がかからない状態で固定され、静的疲労や損失増加の発生が避けられるように処理される。

## 5 結 言

ST法光ファイバが、他の製法による光ファイバと同等の特性をもつこと、及びST法光ファイバケーブルの各方面での応用例について報告した。

更に、光ファイバ融着接続部のナイロンとガラス繊維の複合チューブによるモールド補強法の実用性、高信頼性について述べるとともに、光ファイバケーブルの布設、接続技術にも論及した。

## 参考文献

- 1) 久保田, 外: 電力系統制御用光ファイバケーブルの開発, 日立評論, 59, 3, 223~228(昭52-3)
- 2) 大橋, 外: スート堆積法による光ファイバの量産化, 日立電線, 2, 29~32(昭57-12)
- 3) 藍沢, 外: 光ファイバ複合架空地線のアーキ・短絡試験, 昭57電子通信学会総合全国大会予稿, 1816(昭57-3)
- 4) 百瀬, 外: アブダビ石油株式会社向け光・電力複合海底ケーブル, 日立評論, 64, 9, 689~694(昭57-9)
- 5) 大西, 外: 光ファイバケーブル及びデバイス, 日立評論, 63, 3, 167~172(昭56-3)
- 6) 下堀, 外: モールド補強接続部の信頼性, 昭57電子通信学会総合全国大会予稿, 1935(昭57-3)