

全合成シングルモード形光ファイバ

Fully Synthesized Single Mode Optical Fibers

光ファイバの適用領域は、特質をそれぞれに生かし拡大の一途にあるが、新たな布設環境・使用条件の中から伝送特性、信頼性などを更に高度なものとする要求がなされている。

このため、従来のコアを合成し、クラッドに天然石英管を用いる製造法に代わり、コア、クラッドとも合成する全合成シングルモード形光ファイバの製造法を実用化した。

この結果、石英管に内在する水酸基・気泡・不純物、更には偏肉などの欠点から本質的に開放され、いっそうの低損失化・高強度化及びコア偏心の低減が実現され、優れた光ファイバを安定に大量生産することが可能になった。

今澤正博* Masahiro Imazawa

福島洋治* Yōji Fukushima

岡野広明** Hiroaki Okano

1 緒言

光ファイバが本格的に導入されてからまだ10年を経ていないが、大容量信号を高速かつ長距離伝送でき、また軽量・無誘導性といった多くの長所から、多彩な分野で広く実用化されるに至っている。その間、品質向上を図るため多くの製造技術の改善を行い成果を得たが、更に全合成シングルモード形(以下、SM形と略す。)石英光ファイバの製造法を開発・実用化した。

すなわち、石英光ファイバ母材(以下、プリフォームと称す。)は、従来、VAD(Vapor-phase Axial Deposition)法により多孔質母材を製造し、これを焼結・透明ガラス化した後、延伸したコアロッドにクラッドとなる天然石英管を熔融被覆する製造法がとられていた。ところが、この石英管に起因する問題が種々あることから、クラッド部のすべてをもVAD法で合成した全合成SM形石英光ファイバを製品化した。その結果、光ファイバのいっそうの低損失化・高強度化・長尺化及びコア偏心の低減が達成された。

本稿では、全合成SM形石英光ファイバ製造技術の概要及び光ファイバの諸特性について述べるとともに、接続技術への効果についても触れる。

2 全合成SM形光ファイバの製造法

従来の光ファイバ製造法は、図1に示すとおり次の工程によっていた。

- (1) VAD法による多孔質母材の形成
- (2) 焼結による脱水酸基処理及び透明ガラス化
- (3) 最適寸法のコアロッドへの延伸
- (4) クラッドとなる石英管を熔融被覆し、プリフォームを形成
- (5) 線引き及び被覆により光ファイバ化

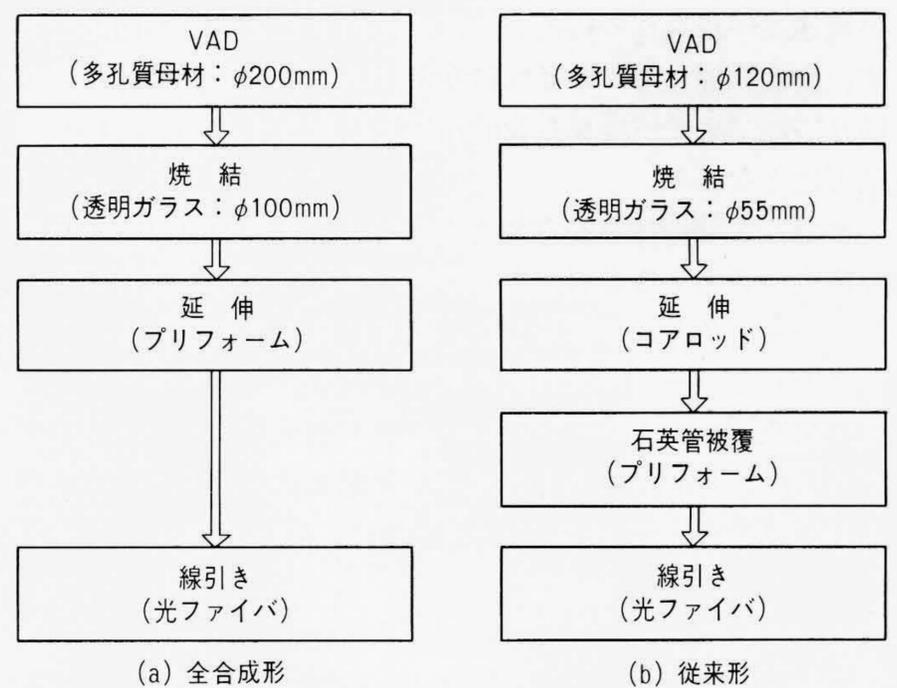


図1 SM形光ファイバの製造法 従来のコアを合成してクラッドとし、石英管を用いる方法に代わり、コア、クラッドのすべてを合成する新製造法が全合成形である。

これら製造技術の著しい進歩により、光ファイバの低損失化・広帯域化が図られ、大容量・高速・長距離伝送が可能となり適用領域が拡大された。

その結果、新たにOPGW(光ファイバ複合架空地線)や光ファイバ海底ケーブルでは、いっそうの低損失化・高強度化・長尺化が、多心光ファイバケーブルでは、接続を容易にするため光ファイバの構造寸法の高精度化が要求された。

ところが、従来の製造法では、比較的小形のVAD装置によるコアロッドに石英管を被覆し、大形のプリフォームを得ることが可能という利点がある反面、石英管が持つ次の問題か

* 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

らこのような新しい要求への十分な対応は困難であった。

- (1) 石英管に含まれる水酸基・金属不純物の影響による損失増
- (2) 石英管内の気泡・不純物による強度の低下
- (3) 石英管の偏肉によるコア偏心
- (4) 石英管サイズによる長尺化の制約

以上から、石英管を用いずにコアと同様にクラッドのすべてをも合成する図1に示す全合成SM形光ファイバの製造法を開発・実用化した。

図2はVAD法を模式的に示したものである。斜めに設置された酸水素バーナ内の同心管にガス化した四塩化ケイ素を送り込み、最下段のコア形成用バーナには更に屈折率制御用のドーパントとして四塩化ゲルマニウムを混合し、酸水素火炎中でいわゆる火炎加水分解反応を起こさせる。この火炎中に生ずる二酸化ケイ素から成る純白の微粉末を出発石英棒の先端に付着・たい(堆)積させて多孔質母材を形成する。

従来形¹⁾では、コア部とその近傍のクラッドの一部だけを合成したが、全合成形では、コア部とクラッド部のすべてを合成によって形成するもので、そのためには装置の大形化に加え、効率よくかつ高速の合成が必要であり、7g/min程度のたい積速度が得られている。それぞれの多孔質母材を図3に示す。全合成形母材の外径は200mmであり、合わせて長尺化を図り、光ファイバ換算長120km以上に相当する大形母材が製造可能となった。

また、大形母材を安定製造するには、大量の原材料ガスを高精度に制御する必要があるため、原材料ガス供給方式としてベーキング方式を導入した。図4に従来方式であるバブリング方式とベーキング方式の原理を示す。バブリング方式では、MFC(マスフローコントローラ)で流量制御したキャリアガス(Ar)を原材料である四塩化ケイ素又は四塩化ゲルマニウム(いずれも常温で液体)中に送り込み、飽和蒸気として原材

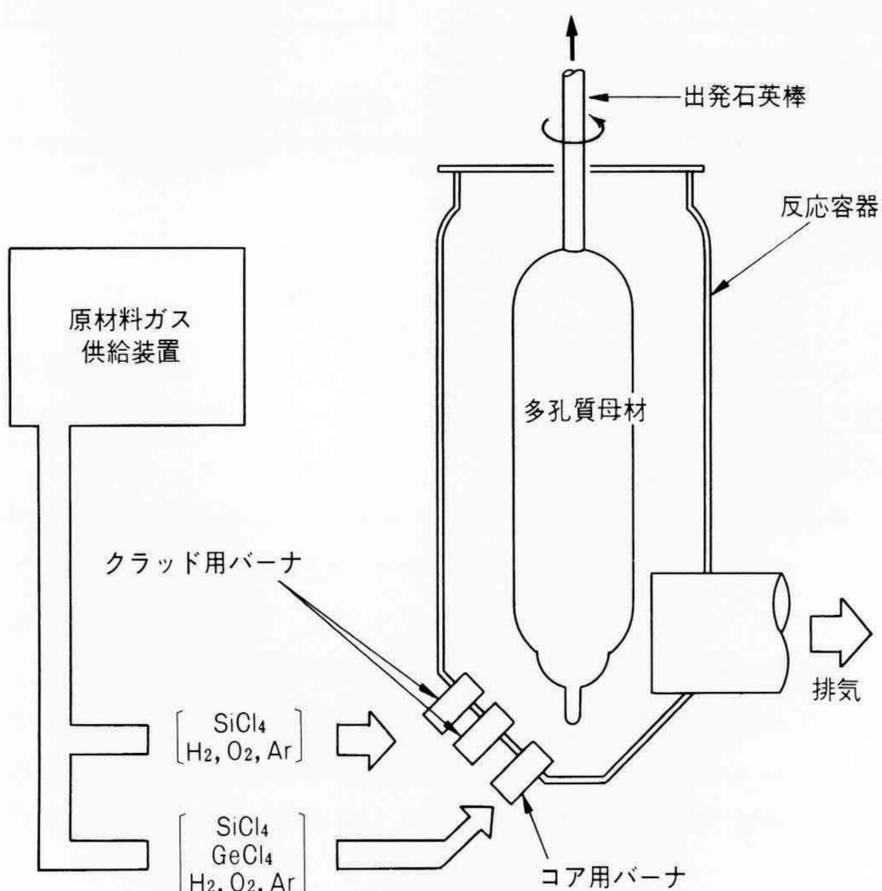


図2 VAD法の模式図 多孔質母材は、回転・引き上げられながら軸方向に成長する。

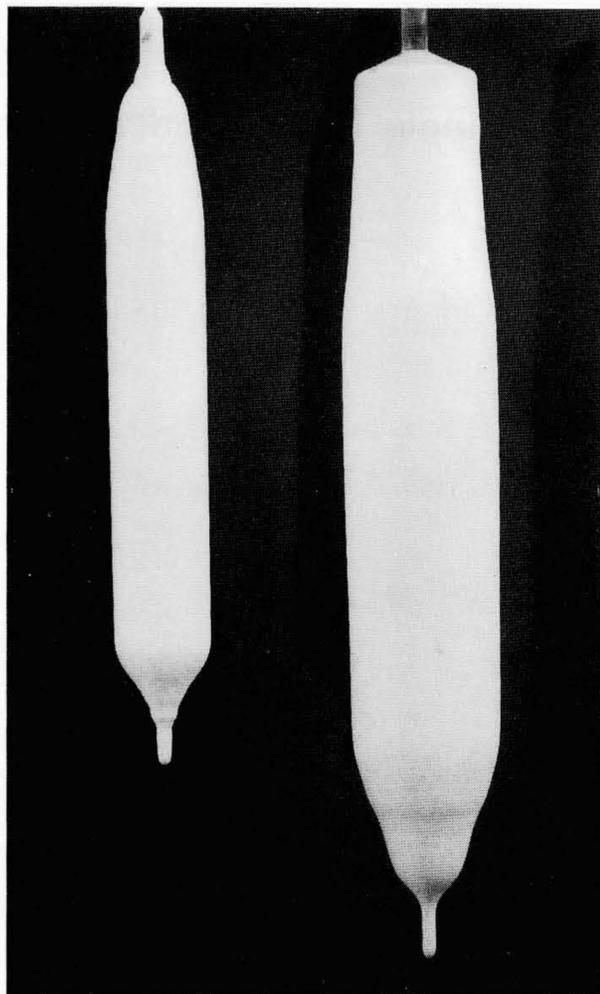


図3 多孔質母材 左が従来形、右が全合成形を示す。

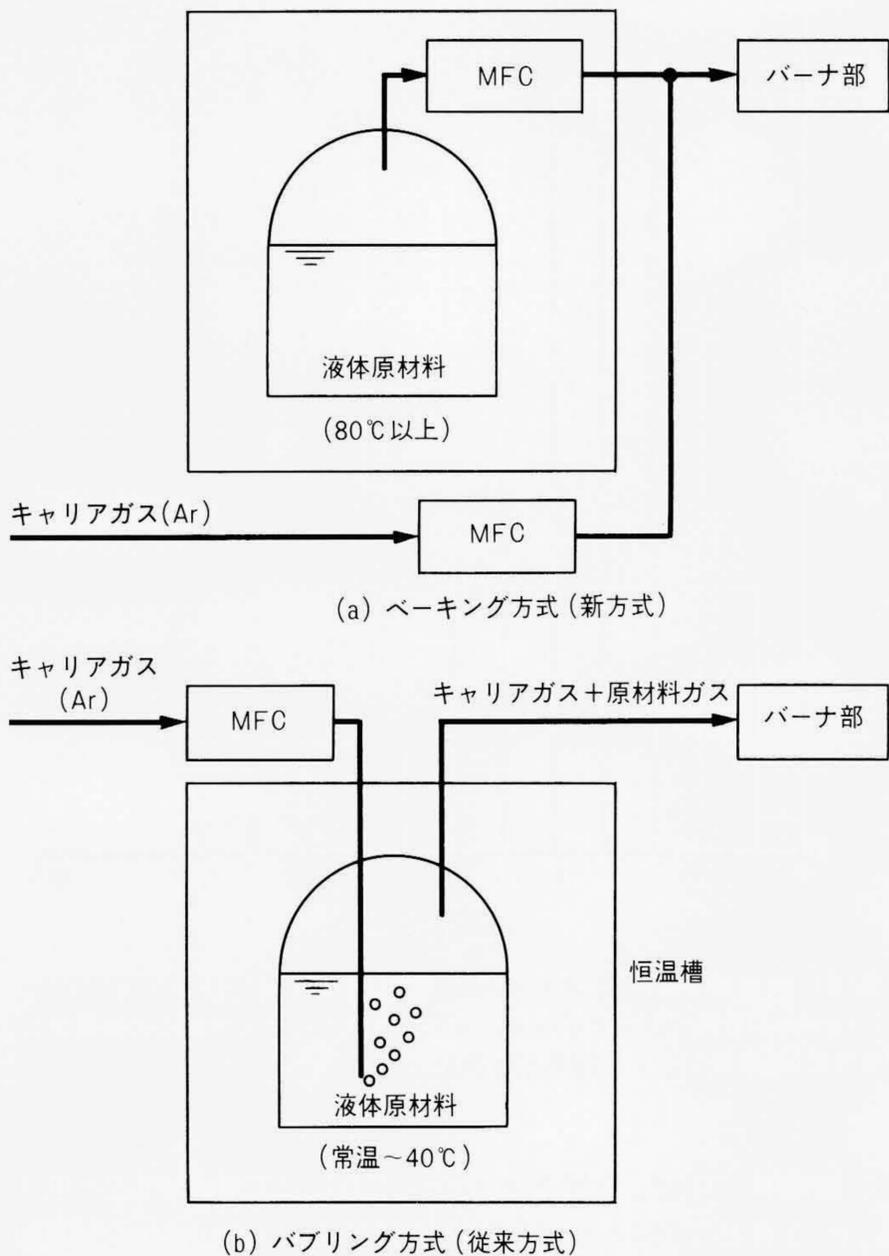
料ガスを取り出しバーナ部に供給する。この方式では、たとえキャリアガス流量を一定に制御しても、液体原材料の温度が変化すると供給される飽和蒸気量が増減しやすいという難点があった。特に、キャリアガス流量を増し大量の飽和蒸気を取り出す場合、大量の気化熱が奪われ液体温度が低下し、長時間安定に原材料ガスを供給することが困難であった。

これに対してベーキング方式では、液体原材料を沸点以上の温度に加熱して気化させ、これをMFCで直接流量制御した後キャリアガスと混合するため、長時間にわたって安定かつ正確な量の原材料ガスを供給することが可能となった。

3 全合成SM形光ファイバの諸特性

量産設備による全合成SM形光ファイバの損失波長特性を図5に示す。ここでは水酸基による1.39μmでの吸収損失について、石英管からの水酸基拡散の影響と多孔質母材の大径化に伴う脱水酸基処理の兼ね合いが問題となったが、焼結工程を最適化することで1.39μmの損失のピークは極めて小さくなり、全合成化の効果が確認された。この光ファイバの1.3μmでの損失分布を図6に示す。従来形による光ファイバの損失に比べ、平均値は0.03~0.05小さい0.349dB/km、偏差は半分以下の0.007dB/kmであり、低損失光ファイバが安定して得られている。

光ファイバの強度はプリフォーム内部の気泡や不純物によって劣化するが、石英管に起因するものがほとんどのため全合成化によって解決され、これらの原因による破断をほぼ皆無にすることができた。その結果、図7に示したとおり、全合成SM形光ファイバの破断強度特性には、低強度部がなく良好な特性が得られた。長尺化に関しては、全合成化することによる高強度化に加え、被覆材料を熱硬化性シリコーン樹脂



注：略語説明 MFC(Mass Flow Controller)

図4 原材料ガス供給方式 従来のバブリング方式では温度変化の影響を受けやすかったが、ベーキング方式では、安定した供給が可能である。

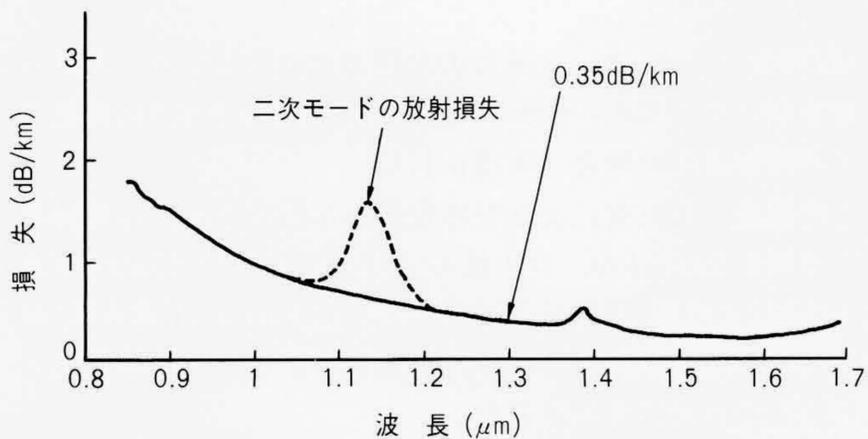


図5 全合成SM形光ファイバの損失波長特性例 1.3 μ mでの損失は0.35dB/kmであり、1.39 μ mの水酸基吸収損失値も0.2dB/kmと小さい。

から紫外線硬化性樹脂とすることでいっそうの高強度化が図られ、プリフォームの大形化とあいまって1条100km以上のSM形光ファイバが得られている。

SM形光ファイバではコア部が非常に細いため、コア(ϕ 10 μ m)/クラッド(ϕ 125 μ m)間の偏心の影響が接続損失に顕著に現れるので、このコア偏心の低減が必要である²⁾。ところが、従来のコアロッドの偏心とそれに石英管を被覆・線引きした

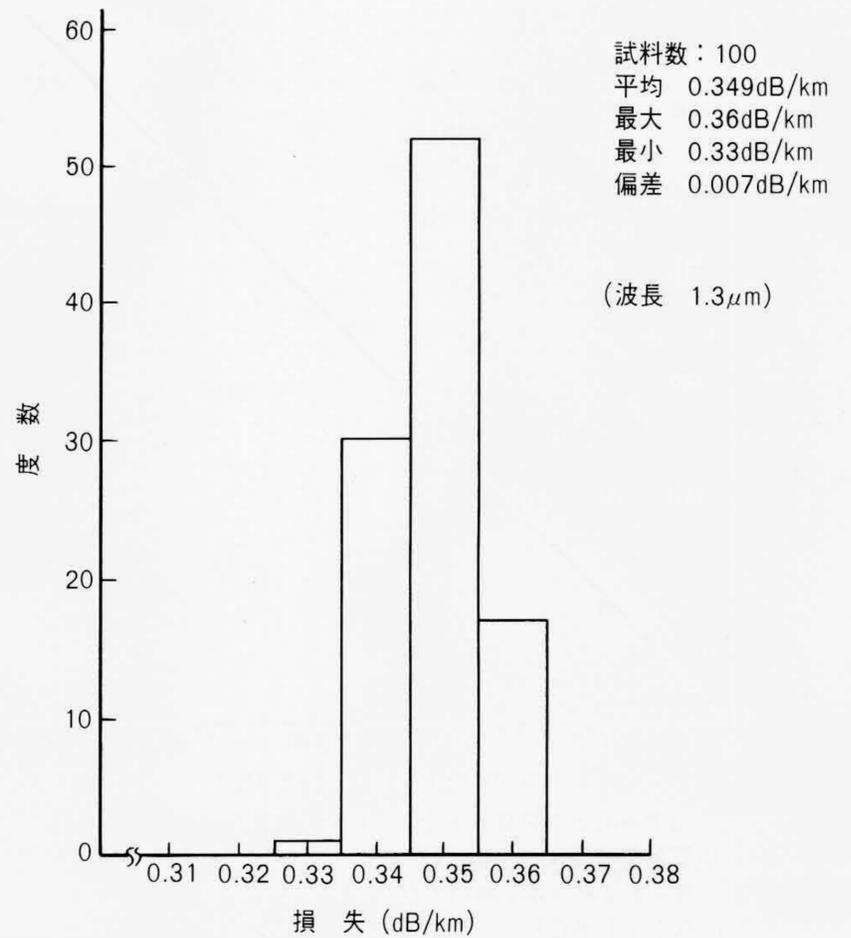


図6 損失分布(1.3 μ m) 全合成により石英管の不純物拡散の影響がなくなり、低損失化が図れた。

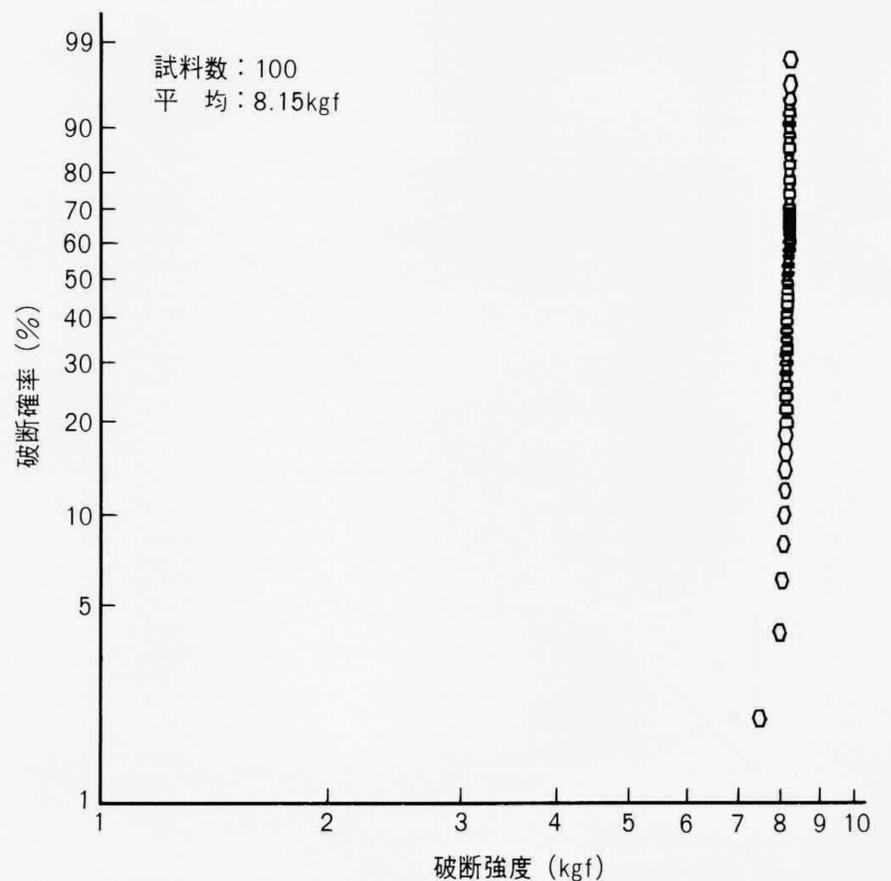


図7 全合成SM形光ファイバ心線の破断強度特性 ケージ長が10m、引張速度が500mm/minである。

SM形光ファイバの偏心の関係は、図8に示すとおり光ファイバの偏心のほうが大きく、石英管に偏心の要因があるものと推察された。一方、図9は全合成によったプリフォームとそれを線引きしたSM形光ファイバの偏心の関係を示したものである。この光ファイバの偏心は、プリフォームの偏心と同等の平均0.37%(0.23 μ m)であり、石英管を使用しない効果が出ていることが分かる。

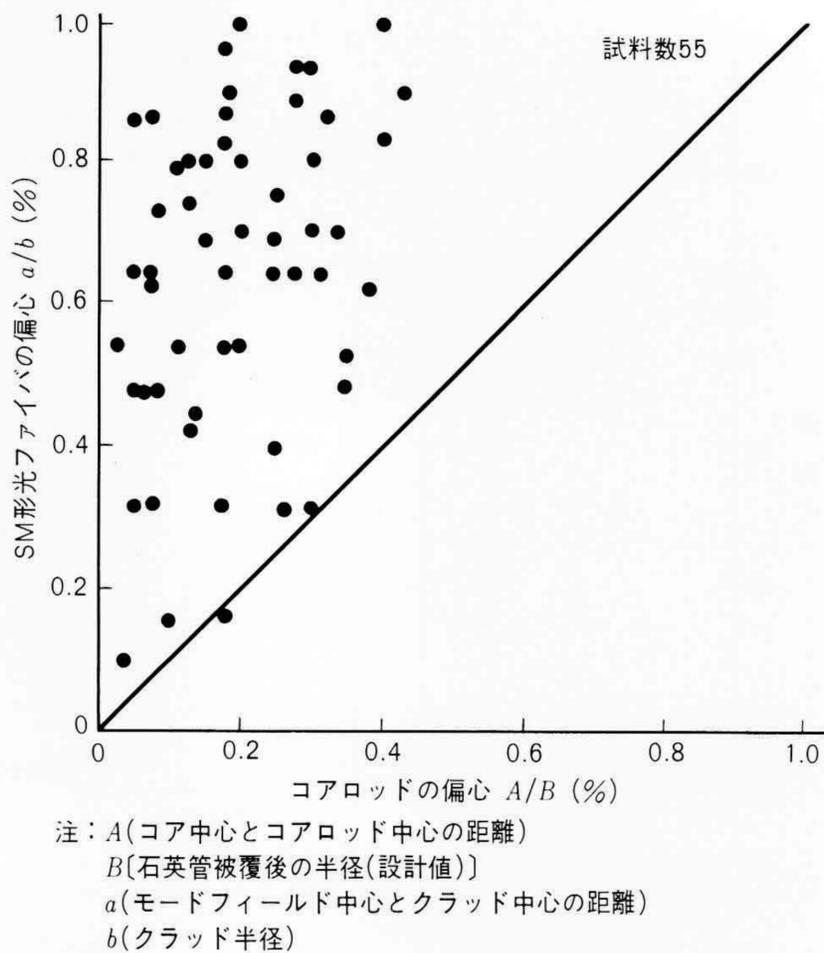


図8 コアロッドの偏心とSM形光ファイバの偏心の関係 SM形光ファイバの偏心(平均0.64%)のほうがコアロッドの偏心に比べ大きくなっている。

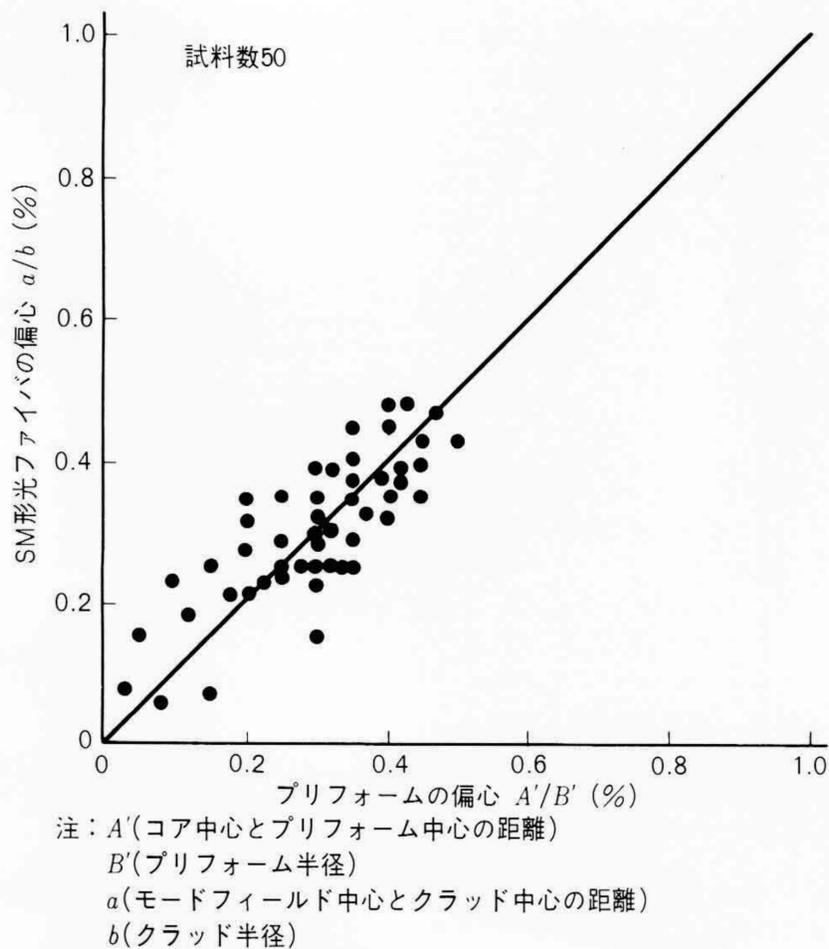


図9 全合成プリフォームの偏心とSM形光ファイバの偏心の関係 SM形光ファイバの偏心(平均0.37%)は、プリフォームの偏心と相関が見られ、かつ石英管を用いる従来光ファイバに比べ小さい。

この結果、SM形光ファイバの融着接続に際し、漏光法³⁾やコア直視法などによるコア軸を調心する接続法から、コア、クラッドとも軸合わせをしない無調心接続法への展開が可能となった。図10にSM形光ファイバを無調心の軸固定(V溝方

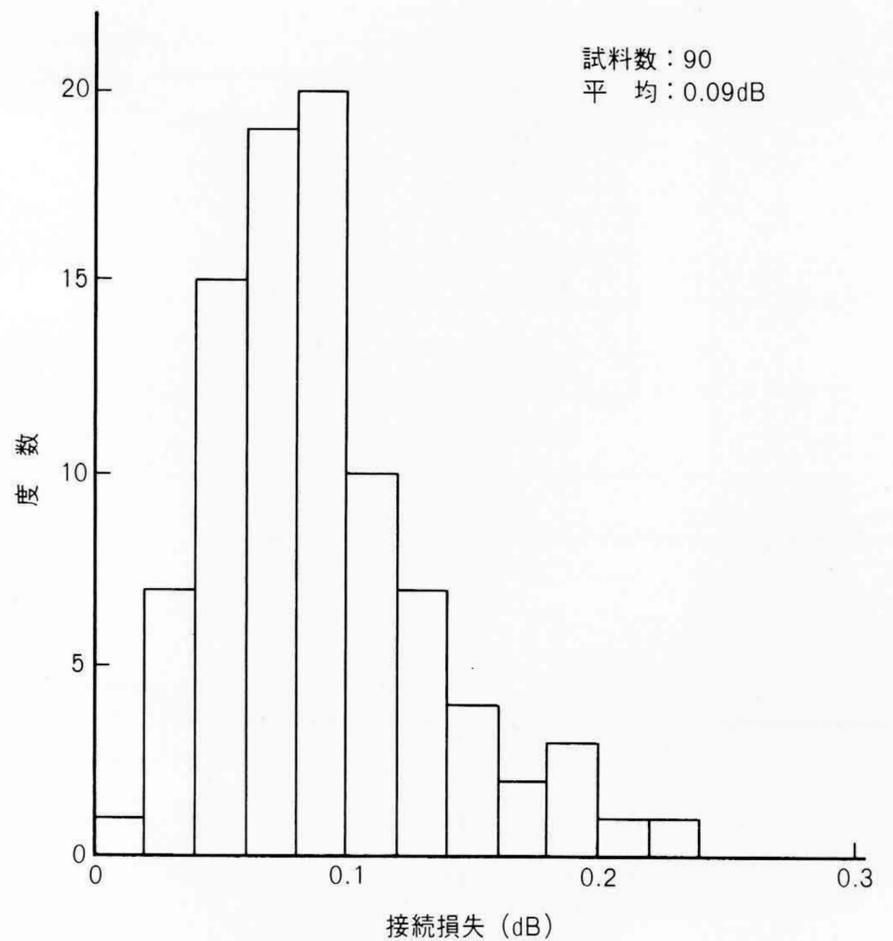


図10 全合成SM形光ファイバの接続損失特性 コア偏心0.2~0.4μmの3種類の光ファイバを、コア、クラッドとも無調心の軸固定(V溝方式)融着機による接続結果を示す。

式)融着機で接続した損失を示す。試料はコア偏心が0.2~0.4 μmの3種類のSM形光ファイバを組み合わせたもので、平均接続損失0.09dBが得られた。このように、偏心が低減されたことによって無調心で低接続損失の可能性が確認された。また、現在開発が進められているSM形テープ心線の接続でも効率的な無調心一括接続が期待できる。

4 結 言

SM形光ファイバのいっそうの品質向上を図るため、天然石英管を用いず、コア、クラッドとも合成する全合成SM形光ファイバの製造法を開発・実用化した。

この結果、石英管による有害要因から開放され、心線時損失：平均0.35dB/km、コア偏心：平均0.37%(0.23μm)が達成された。この偏心の低減により無調心の軸固定(V溝方式)融着機による接続損失：平均0.09dBを得た。また、高強度化・長尺化も合わせて実現された。

今後、この低損失化によって長距離伝送への新たな展開が期待でき、コア偏心の低減に伴い融着接続及びコネクタ接続の容易かつ低損失化への大きな進展が可能となった。

参考文献

- 1) 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, '82/12, No.2
- 2) 詫摩, 外: 単一モード光ファイバの偏心と接続損失の関係, 昭和60年度電子通信学会総合全国大会, 1137(昭60-3)
- 3) 外谷, 外: クラッド漏えい光検知方式によるシングルモードファイバ接続法, 昭和61年度電子通信学会総合全国大会, 2168(昭61-3)