

# 技 術 資 料

技 資 第138号B

## 光ファイバケーブルQ&A

2022年4月

一般社団法人日本電線工業会  
通信ケーブル専門委員会

## まえがき

近年、世界的に進行しつつある IT 革命の流れの中で、高度情報通信ネットワーク社会の主要ツールであるインターネットの利用者数は急増し、光ファイバケーブルの需要は飛躍的に増加してきた。また、低損失、広帯域、細径、軽量、長距離、高速性といったその特長から、公衆通信用途のみならず、CATV、LAN、データセンタ並びに一般産業分野にまで用途が拡大している。

光ファイバケーブルの選定やその取り扱いに関するものは、各社の発行する技術資料や専門誌に発表されているが、総合的にこれらの内容について整理した資料が必要ではないかと考えられる。本書は、実際に光ファイバ及びケーブルを製造する側が、ユーザーの立場にたって、光ファイバケーブルに関する疑問について Q & A 形式で分かり易くまとめたものである。

なお、掲載内容は、通信ケーブル専門委員会 光ケーブル小委員会の審議を経てまとめたものである。本書が、光ファイバケーブルに関係する方々の多少とも参考となれば幸いである。

## 目 次

区分	内容	ページ	
全 般	【Q1】 メタル通信ケーブルと比べて光ファイバケーブルは、どのような特徴があるのですか？	4	
	【Q2】 最大何心の光ファイバケーブルが、あるのですか？	5	
	【Q3】 光信号と電気信号は、どのようにつながるのですか？	6	
	【Q4】 コヒーレント光とは、どんな伝送のことですか？	7	
	【Q5】 光ケーブルのリサイクルの実態はどうなっていますか？	8	
	【Q6】 光ケーブルの環境に対する取り組みはどうなっていますか？	9	
光 フ ァ イ バ	基 礎	【Q7】 SM 光ファイバと GI 光ファイバの違いは、何ですか？	10
		【Q8】 SM 光ファイバのコア径とモードフィールド径の違いは、何ですか？	11
		【Q9】 NA とは、何ですか？	12
		【Q10】 分散とは、何ですか？	13
		【Q11】 伝送帯域とは、何ですか？	14
		【Q12】 GI 光ファイバの距離における帯域計算は、どのようになりますか？	15
		【Q13】 カットオフ波長(遮断波長)とは、何ですか？	16
	種 類	【Q14】 NZDSF とは、どのような光ファイバですか？	17
		【Q15】 バンダファイバとは、どのような光ファイバですか？	18
		【Q16】 小径曲げに対応可能な光ファイバとはどのようなものですか？	19
	使 用 方 法	【Q17】 GI 光ファイバで 50/125 と 62.5/125 の 2 種類があるようですが、これはどのように使い分けるのですか？	20
		【Q18】 LAN 用には、なぜマルチモード光ファイバが使用されるのですか。価格的には、シングルモード光ファイバの方が安いとおもいますが？	21
		【Q19】 GI 光ケーブル（光ファイバ）で伝送帯域の規格が何種類かありますが、どのように使い分けするのですか？	22
		【Q20】 マルチモード GI 光ファイバ用の LD 光源はありますか。それは一般的に使用されているのですか？	23
		【Q21】 一般の SM 光ファイバ（1 310 nm ゼロ分散型）を 1 550 nm の波長で使用しても大丈夫ですか？	24
		【Q22】 WDM ではいくつかの波長を束ねて送信するそうですが、SM 光ファイバは1つのモードしか送信できないのではないのですか？	25

区分	内容		ページ
光ファイバケーブル	基礎	【Q23】 光ファイバケーブルの伝送損失の実力値は、いくつですか？	26
		【Q24】 光ファイバケーブルに、なぜテンションメンバが入っているのですか？	27
	種類	【Q25】 架空ケーブルには、どのような種類がありますか？	28
		【Q26】 直埋用ケーブルには、どのような種類がありますか？	29
		【Q27】 WB ケーブルとは、どのようなケーブルですか？	30
		【Q28】 海底用光ファイバケーブルとは、どのような構造になっているのでしょうか。また、そのケーブルに使用する光ファイバは、特殊なものなのでしょうか？	31
	施工	【Q29】 光ファイバの接続は、どのように行えば良いのですか？	32
		【Q30】 光ファイバ心線の接続は、なぜ難しいのですか？	33
		【Q31】 異種光ファイバの接続特性は、どのようになりますか。融着接続は、できますか？	34
		【Q32】 光ファイバケーブルの布設時に、どのようなことに注意すれば良いのでしょうか？	35
		【Q33】 布設張力は、どのように計算すれば良いのですか？	36
		【Q34】 光ファイバコード及びケーブルの最大側圧荷重は、どのくらいですか？	37
		【Q35】 光ファイバケーブルの使用温度範囲及び保存温度範囲は？また、 $-50^{\circ}\text{C}$ で使用可能ですか。(使用できない場合)どのような問題がありますか。使用可能なケーブルはありますか？	38
		【Q36】 光ファイバケーブルで、誘導対策が必要となることがありますか？	39
		【Q37】 光ファイバの損失測定は、どのように行えば良いのですか？	40
	信頼性	【Q38】 OTDR 法で接続損失測定時に利得（上向きの段差）が発生することがあるのは、なぜですか？	43
		【Q39】 光ファイバケーブルの寿命は、何年ですか。その評価方法は、どのような方法ですか？	44
		【Q40】 光ファイバ心線、コード、ケーブルは、湿度の高い場所での使用や水に浸かった場合でも問題ないのでしょうか？	45
		【Q41】 光ファイバ心線、コード、ケーブルはどのくらい曲げても問題ないのですか。布設作業時に、瞬間的なら許容曲げ径を下回る小さな曲げが加わっても大丈夫なのですか。また、曲げに強い光ファイバケーブルはありますか？	46

**Q1) メタル通信ケーブルと比べて光ファイバケーブルは、どのような特徴があるのですか？**

**A1)** 石英系光ファイバは、伝送損失が小さく伝送帯域が広いので、中継無しで遠くまで大容量の情報を同時に伝送できます。また、一本の光ファイバは、髪の毛ほどに細く軽いので、多数の光ファイバをケーブル内に収容でき、多心のケーブルにおいても細くて軽く可とう性に優れています。

更に、外部からの漏話や誘導の影響を受けないので、同時に伝送できる情報量も安定し、また、電力会社、鉄道分野の重要回線にも適しています。

欠点としては、石英系光ファイバは材質がガラスなので極端に曲げてしまうと折れてしまう、光ファイバどうしの接続には、専用の接続機器やコネクタの取り付けが必要となります。

光ファイバケーブルの特徴	
①低損失である。	⇒ 伝送距離が長い。 ・無中継：100 km以上 (メタル通信ケーブル → 数km)
②広帯域である。	⇒ 高速データ伝送が可能。 ・最大速度：～400 Gbps, WDMで数Tbps ・ブロードバンド：～10 Gbps (メタル通信ケーブル → ～数十Mbps)
③細径・軽量である。	⇒ 可とう性に優れ、ケーブル布設が容易。 ・外径，質量 (1 000心)：約3 cm, 1 kg/m以下 (メタル通信ケーブル (1 000対) → 約7 cm/約8 kg/m)
④漏話ノイズレス・無誘導である。	⇒ 外部からのノイズを受けないので伝送速度が安定。 高誘導対策 (重遮へい外装) 不要なので経済的。
⑤省資源	⇒ 光ファイバの主成分は石英 (SiO <sub>2</sub> ) のため、 地球上どこにでもある資源です。 (メタルは銅を使用)

**Q2) 最大何心の光ファイバケーブルが、あるのですか？**

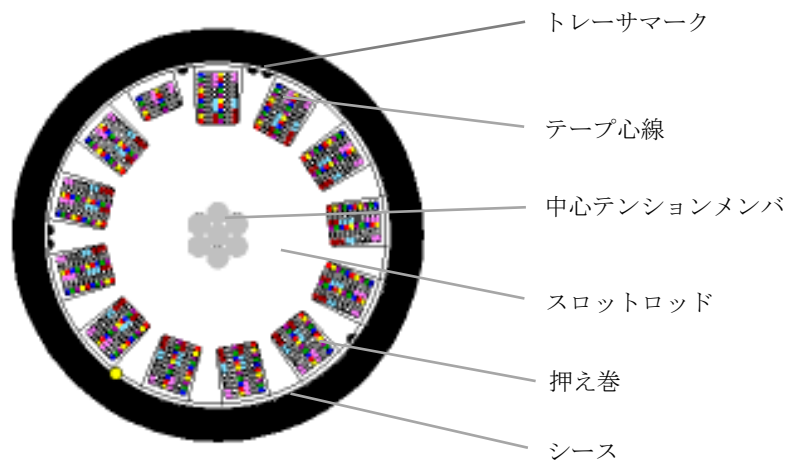
**A2)** 現在では最大1 000心までの光ファイバケーブルが、標準的に使用されています。

ただし、フィールドにおいては2 000心若しくはこれを超える超多心ケーブルの実績があります。

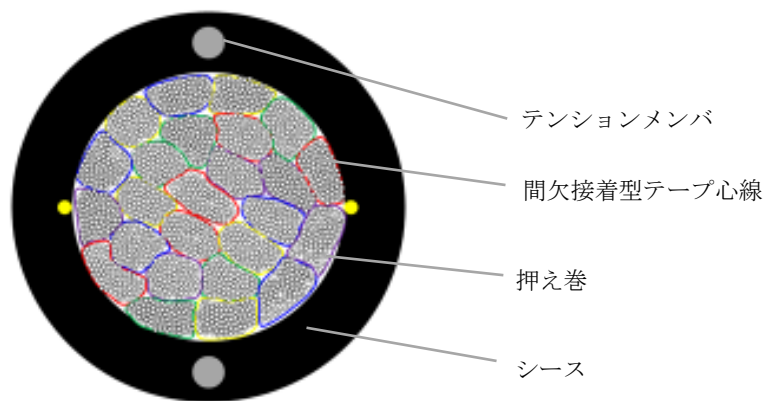
ケーブル構造としては従来より存在する光ファイバテープ心線をスロットに高密度で収納するタイプ、さらに最近ではスロットを使用せず間欠接着型テープ心線を採用することにより、細径、軽量化した多心光ファイバケーブルを実現しています。

1 000心クラスの多心光ファイバケーブルは、主に電気通信事業者の加入者局から最初に布設される地下配線用のケーブルとして使用され、ユーザー端末に近づくにつれ順次心数の少ないケーブルに接続されていきます。

また、超多心ケーブルは主に大規模データセンター等で使用されています。



**図1-1 000心ケーブルの一例**



**図2-2 000心スロットレスケーブルの一例**

Q3) 光信号と電気信号は、どのようにつながるのですか？

A3) 光信号と電気信号は、電気信号を光信号に変換する装置、及び光信号を電気信号に変換する装置を接続箇所で使用することにより接続することが可能となります。

電気信号を光信号に変換する装置には、主に半導体レーザ（LD）や発光ダイオード（LED）のような発光素子を使用して電気信号を光信号に変換し、光ファイバに信号を送出しています。

また、光信号を電気信号に変換する装置には、主にフォトダイオード（PD）やアバランシェフォトダイオード（APD）のような受光素子を使用して、光ファイバを伝送されてきた光信号を電気信号に変換しています。

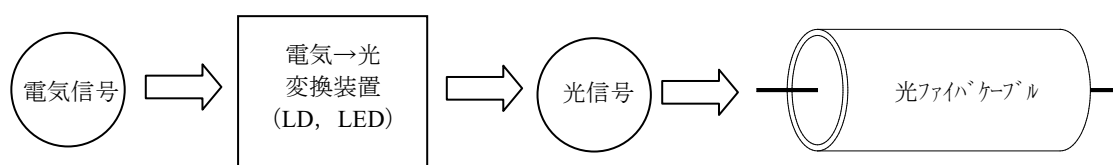


図3－電気信号から光信号への変換例



図4－光信号から電気信号への変換例

**Q4) コヒーレント光とは、どんな伝送のことですか？**

**A4)** コヒーレントというのはコヒーレンスの形容詞で、コヒーレンスは「可干渉性」あるいは単に「干渉性」と訳され、本来は結合力の強さ、密着性といったことを表しています。コヒーレントな光とはレーザーのような正弦波のただ一つの波を持つ光で代表されます。

コヒーレント光の伝送は、光の強弱によって信号を伝送するのではなく、光の位相や周波数の変化によって信号を伝送するものです。この方式は従来の光ファイバ伝送方式（強度変調－直接検波方式）に比べて一桁以上受信感度が良くなり、その分だけ伝送距離を伸ばすことや、伝送容量を大きくすることができます。

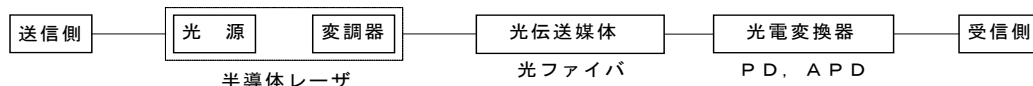
コヒーレント光伝送方式の主な構成要素は、発振周波数が極めて安定な光源と位相変調器、周波数変調器、真円単一モードファイバあるいは単一偏波ファイバ、ヘテロダインもしくはホモダイン受信系（光受信の復調方式）です。

ホモダイン方式・・・光から変調された信号をベースバンドに落として復調する方式。

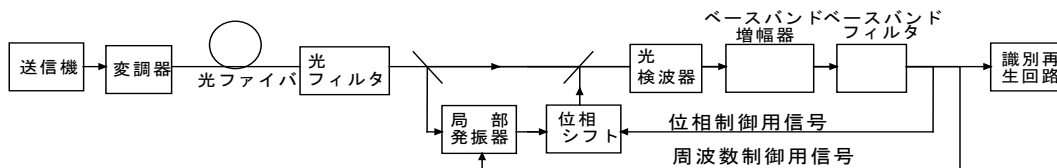
ヘテロダイン方式・・・光を一度、適当な中間周波数を持つ電気信号に変換し、中間周波数の信号を復調して情報を取り出す方式。

コヒーレント光伝送方式の特徴は、高いヘテロダイン利得あるいはホモダイン利得により信号光ショット雑音限界の光検出が可能であることや、周波数フィルタ効果により雑音となる不要光を取り除くことが可能なことです。

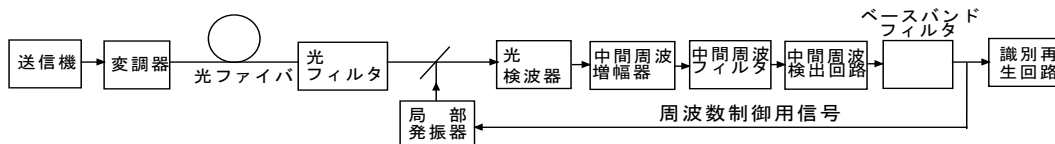
コヒーレント光伝送方式が開発されている背景には、インターネットに代表される将来のマルチメディアネットワーク実現にむけて、幹線系ネットワークの更なる大容量化の要求があります。



**図 5－従来の光ファイバ伝送方式の構成**



**(a) 光ホモダイン検波方式**



**(b) 光ヘテロダイン検波方式**

**図 6－コヒーレント光伝送方式の基本構成**



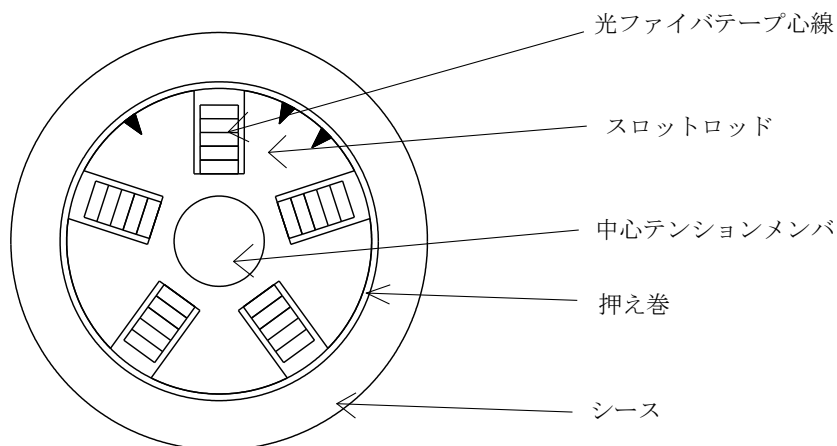
**Q5) 光ケーブルのリサイクルの実態はどうなっていますか？**

**A5)** 光ケーブルはメタルケーブルの銅にあたるような資源価値を有する材料に乏しい事、また構造が多岐に渡り解体・分別が困難な構造のものがある事から、結果としてリサイクルにはコスト高で採算性に乏しいという課題があります。

現状、一部の光ケーブルは撤去・排出されたケーブルを回収し解体・分別の後、光ファイバ心線はセメント材料等に、スロットはプラスチック製品やスロット原料に、テンションメンバは金属製品に、押え巻はサーマルリサイクルに、また外被ポリエチレンはクローズドリサイクル等に、各構成部材について保有する設備や費用等を考慮しながら方式を選択してリサイクルが行われています。

これ以外の光ケーブルについては、リサイクルされずに産業廃棄物として処分されているものが大半を占めていると考えられますが、予め設計段階でリサイクル性（解体容易性や材料の統一性等）を考慮する事、解体・分別技術の検討を実施する事などでリサイクルに向け前進していくものと考えられます。

代表的な光ケーブル構造としてはテープスロット型光ケーブルが挙げられます。ケーブル構造例と各構成材料についてのリサイクル適用例は以下のとおりです。



**図7ー光ケーブル構造例**

**表1ー光ケーブルのリサイクル適用例**

構造	構成材料例	リサイクル例
光ファイバ心線	石英、UV樹脂	セメント材料等
スロットロッド	ポリエチレン	プラスチック製品、スロット原料
中心テンションメンバ	鋼線	金属製品
押え巻	不織布	熱源（サーマルリサイクル）
シース	ポリエチレン	シース原料（クローズドリサイクル）

## Q6) 光ケーブルの環境に対する取り組みはどうなっていますか？

A6) 光ケーブルの環境に対する取り組みは、リサイクル、リデュース、及びリユースの観点から行われています。

リサイクルの観点では再使用しても性能・信頼性の低下しない構成材料の選定、低コストで効率的に解体・分別する方法の確立、有害物質使用の抑制による処理負担の低減が挙げられます。

光ケーブルの構成材料は設備の対応状況や費用対効果を考慮して、マテリアルリサイクルとするかサーマルリサイクルとするか選択されていますが、構造が多岐に渡り複雑であるため解体・分別が難しい状況です。今後は、解体・回収設備の整備とともに解体作業性の良好な材料・構造の選定を意識した光ケーブルの設計が重要となっていきます。

光ケーブル中の環境負荷物質は、主に PVC 中の鉛、着色材中の六価クロムが挙げられますが、最近ではこれらを使用せずに特性を満たす事も可能となっているほか、PVC 代替材料を使用したハロゲンフリー化もすすめられています。

リデュースの観点からは、環境資源の節約として梱包の簡素化、ケーブル使用材料の削減が行われています。一般に光ケーブルは木製ドラムに巻かれて出荷されますが、従来はドラム外周に小割板を打ち付けて保護することが多かったのに対し、最近では保護シートを巻くかあるいは全く保護を施さない状態での納入も実施されています。これらは資材の節約と同時に廃棄物量の削減という観点からも環境に配慮しています。この他にも、例えば 40 心ケーブルは従来 100 心用のスロットロッドを使用していたものを 40 心専用のスロットロッドで製品化する事により、外径で約 20 %、質量で約 30 %の削減を達成しています。

リユースに関しては、光ファイバは側圧や引張などの歪に影響を受けて伝送損失が増加するため、当初の仕様を満たすリユースを行うことはほぼ不可能ですが、木製ドラムについてはリユースが進んでいます。従来、木製ドラムは新品が用いられていましたが、最近ではドラムを回収し適切な修理等を施したうえで再利用を図っています。現時点での木製ドラムの再利用率は 70 %程度であり、今後更に再利用率を高めていくために、各ユーザーに対して環境保護の観点から理解を得ながら進めています。



写真 1



写真 2

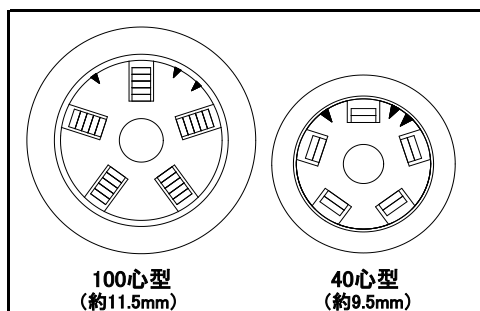


図 8—保護シートによる簡易梱包例

再利用ドラムの例

100 心型と 40 心型の比較

Q7) SM 光ファイバと GI 光ファイバの違いは、何ですか？

A7) SM光ファイバとGI光ファイバでは、主に伝搬モード数とコアの大きさが異なります。

SMはシングルモード (Single Mode) の略で、SM光ファイバとは、一つのモードのみを伝搬する光ファイバのことです。一方、GIはグレーデッドインデックス (Graded Index) の略で、GI光ファイバとは、多数のモードを伝搬するマルチモード (MM=Multi Mode) 光ファイバの一種で、マルチモード光ファイバ特有のモード分散 (複数の伝搬モードが存在するために起こる伝搬時間のずれによる信号の歪み) を改善した光ファイバです。現在使用されているマルチモード光ファイバのほとんどは、GI光ファイバです。

SM光ファイバとGI光ファイバでは、光が伝搬するコアと呼ばれる部分の大きさが大きく異なり、SM光ファイバのコア (SMの場合モードフィールドとして表す) 径がおおよそ9~10 $\mu\text{m}$ であるのに対し、GI光ファイバのコアは50 $\mu\text{m}$ や62.5 $\mu\text{m}$ です。このため、光の伝搬モード数や伝送特性に違いが生じます。

SM光ファイバは分散がほとんど無く信号の減衰が少ないことから長距離・大容量伝送が可能であるため、主に公衆回線やバックボーン配線等に使用されています。GI光ファイバはSM光ファイバと比較してコア径が大きいことから、光源との接続が比較的容易です。一方、分散値が大きいことから伝送帯域の制限を受け、主にLAN配線などの中距離・中容量通信に使用されています。

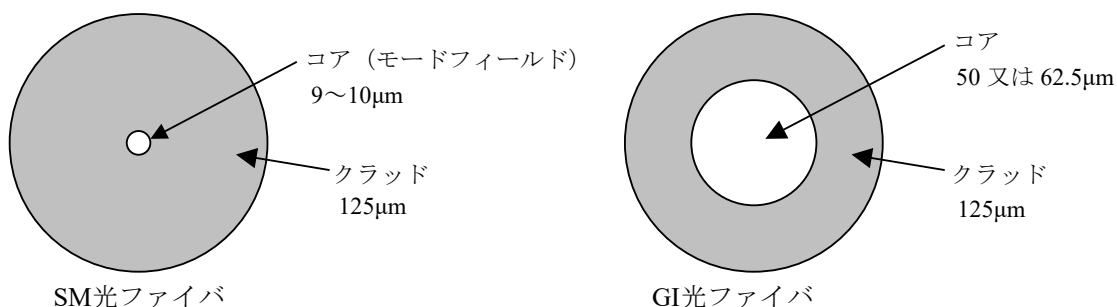


図9-SM, GI光ファイバの構造

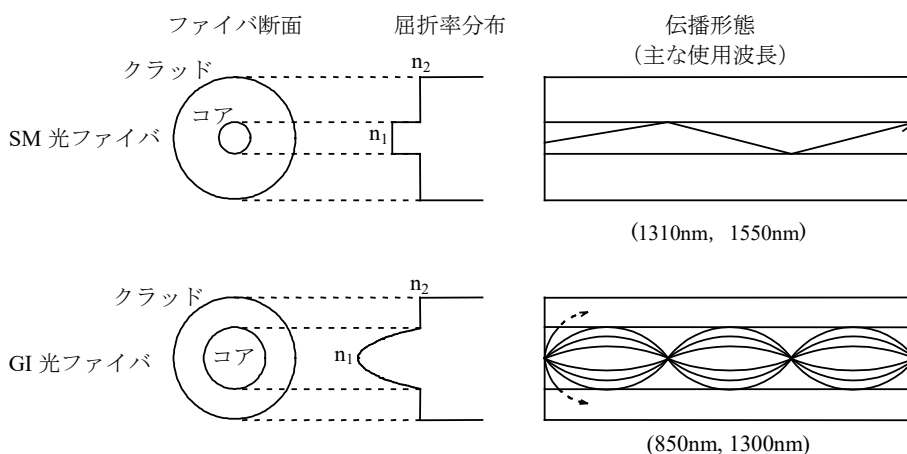


図10-SM, GI光ファイバの伝搬形態

Q8) SMファイバのコア径とモードフィールド径の違いは、何ですか？

A8) コア径とは、光ファイバのコアの屈折率  $n_1$  と、コアを取り囲んでいるクラッドの屈折率  $n_2$  により物理的に定義される領域のことをいい、定量的には、次の式で示される屈折率  $n_3$  で囲まれる光ファイバの断面部分の直径をいいます（光パワーの大部分が閉じ込められて伝送される光ファイバの中心部分）。

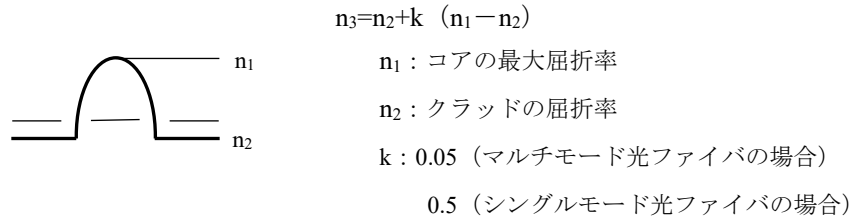


図 11—コア径

これに対し、モードフィールド径は、実際に光ファイバに光を入射したときの伝搬モードの強度分布の広がりを示します。

シングルモード光ファイバでは、コア径が小さく、しかも比屈折率差が小さいため光学的手法ではコアとクラッドの境界部分を明確に識別することが困難であり、また、製法により屈折率分布が多用に異なっているため有効なパラメータとはいえないことより、実用的な光エネルギー分布から読み取ったモードフィールド径が用いられます。

一般に、モードフィールド径とは、図 12 に示すように光ファイバの径方向の光強度分布が最大値（通常はコアの中心部分に相当）に対して  $1/e$  ( $e$  は自然対数の底：2.72・・・) になるところの直径のことです。

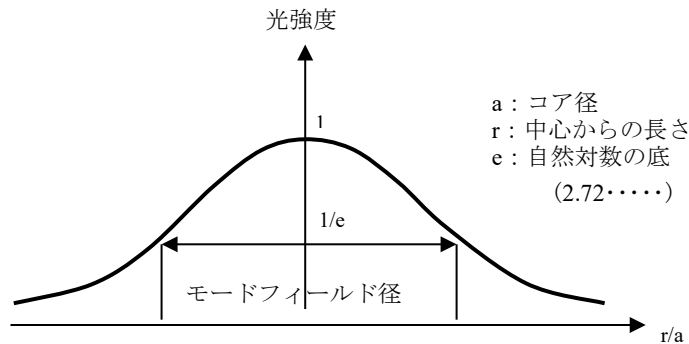


図 12—モードフィールド径

Q9) NAとは、何ですか？

A9) NAとは、開口数（Numerical Aperture）の意味でマルチモード光ファイバの受光能力を表すパラメータのことです。

コアに入射した光は、コアとクラッドの界面で反射しながら、コア内をジグザグ状に伝搬します。ただし、コア内に入射した光の全てが伝搬するのではなく、**図 13**に示すコアとクラッドの界面における全反射臨界角  $\varphi_c$  で決まる入射角  $\theta_c$  より小さい角度で入射した光のみがコア内に閉じ込められて伝搬し、 $\theta_c$  より大きい角度で入射した光は界面でその一部が透過して外部へ漏洩します。

$$NA = \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

NA が大きい ( $\theta_c$  : 大) ほど、光源からの光のパワーを受け入れやすい光ファイバとなります。

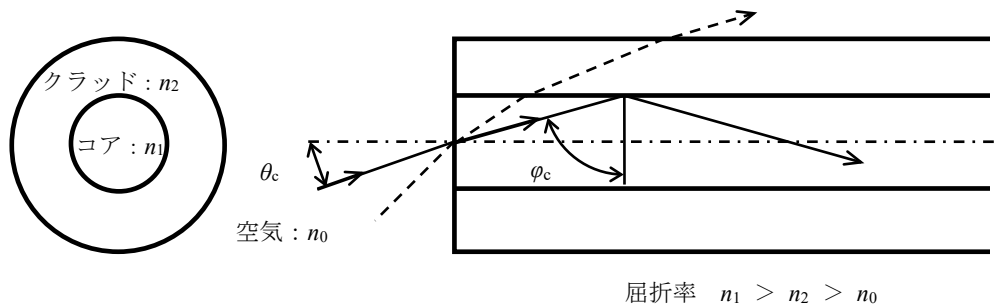


図 13—光ファイバの基本構造と光の伝搬

発光ダイオードの光を光ファイバに効率よく結合する一つの方法は、**図 14**に示すように、発光領域の径をコア径より十分小さく、発光ダイオードの照度を高くすることです。

このようにすると発光領域の虚像はコア径程度に拡大され、光はコアに対して小さな角度で入射するので結合効率が向上します。

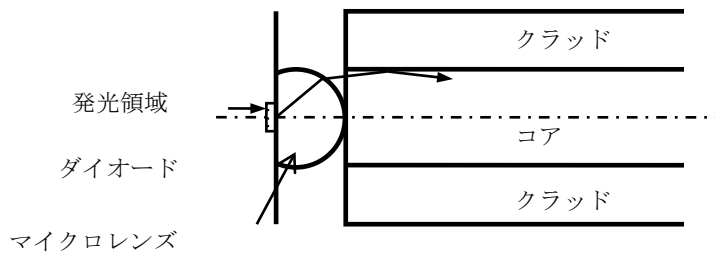


図 14—発光ダイオードと光ファイバの結合

## Q10) 分散とは、何ですか？

A10) 光ファイバに光パルスを入射させた時、出射された光パルスは入射された光パルスに比べ、パルス幅が時間的に広がります。このような波形が時間的に広がる現象を、分散と呼んでいます。

分散は発生要因別にモード分散、材料分散、構造分散の三つに大別でき（材料分散と構造分散は合せて波長分散と呼んでいます）、一般に  $\text{モード分散} \gg \text{材料分散} > \text{構造分散}$  の関係が成り立ちます。

マルチモード光ファイバではモード分散が支配的で、伝送帯域はほとんどモード分散によって制限され、波長分散はその影響が僅かです。

シングルモード光ファイバではモード分散はなく材料分散と構造分散が主要因のため、極めて広帯域です。

### 1) モード分散

モード分散は、マルチモード光ファイバにおいて、光パルスが伝搬速度の異なるいくつかのモードに分れて伝搬するためモードによって出射端への到達時間が違うことによって生じるものです。

### 2) 材料分散

材料分散は、光ファイバ材料のガラスの屈折率が伝搬する光の波長によって異なる値をとり、光の速度は屈折率に依存することにより生じます（波長が長くなるほど屈折率は小さくなり速度は大きくなります）。

光パルスは僅かに異なる波長の集まりであり、波長によって伝搬速度が異なるため、入射パルスは出射端で到達時間差が生じ、波形に広がりが生じることとなります。

### 3) 構造分散

構造分散は、光ファイバの構造により決まります。

光ファイバは、コアとクラッドの屈折率差が小さいので境界面での全反射現象は、光がクラッド部分へ一部しみ出すように全反射が起こります。このしみ出しの割合は波長によって異なるため、光の伝搬経路長は波長によって違ってきます（波長が長くなるほどしみ出しの割合が大きくなり、伝搬経路は長くなります）。

したがって、波長に広がりを持つ光パルスが入射すると、波長による伝搬経路長の違いから、到達時間に差が生じ、波形が広がってしまいます。

Q11) 伝送帯域とは、何ですか？

A11) 伝送帯域とは、光ファイバが1秒間に送れる情報量の尺度になります。

マルチモード光ファイバでは、**図 15** のように複数の伝搬モードが存在するために光ファイバに入射された光信号は、出射端で時間的な広がりを生じます。この現象を分散と呼びます。

デジタル伝送では、時間の区切りごとの光パルスの有無によって情報を伝送しますが、分散によって光パルスが広がると光パルスの有無が判断できなくなり、正確な情報が伝送できなくなります。

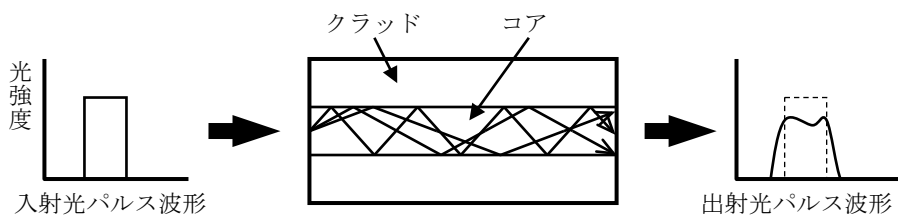


図 15—光ファイバにおける分散

光ファイバの伝送帯域は、次のように決められます。

**図 16** のように、光の強度を正弦波状に変化させた光を光ファイバ内に入射させたとき、出射端では時間的な広がりが生じ、強度は  $A_i$  から  $A_o$  へ減衰します。この減衰の度合いは、正弦波の周波数が高いほど大きくなります。

入射された光強度の振幅が、出射端で半分に減衰する (-3 dB) 周波数を単位長さに換算した数値が、その光ファイバの伝送帯域 (MHz·km) となります。

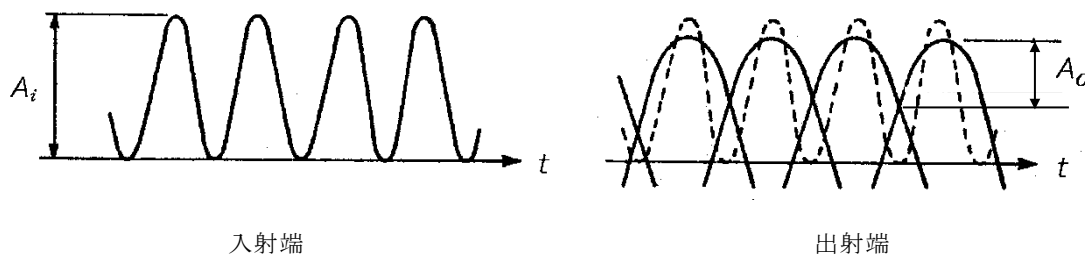


図 16—光強度の減衰

Q12) GI光ファイバの距離における帯域計算は、どのようになりますか？

A12) 距離における帯域計算とは、実際に使用する条長で光ファイバケーブルが通信機器等の通信速度に対応するスペックを有しているかを確認する目的や、短尺品の製品検査時に伝送帯域の規格値を求める目的で計算を行います。

現在使用している一般的な計算方法としては、下記のとおりです。

$$f_c = f_{c\ell} \times L^\gamma$$

$f_c$  : 単位ケーブル長 (1 km) における伝送帯域 [MHz・km]

$f_{c\ell}$  : ケーブル長 (L) における伝送帯域 [MHz]

L : 被測定光ファイバ長 [km]

$\gamma$  : 距離係数

但し、測定長での伝送帯域の測定限界は 1 GHz である。

距離係数は次の値とする。

$$L \geq 1 \text{ km} \quad \gamma = 1.0$$

$$0.4 < L < 1 \text{ km} \quad \gamma = 0.5$$

$$0.4 \text{ km 以下の短尺品} \quad f_c = f_{c\ell} \times 0.4^{0.5}$$

試験方法については、**JIS C 6824** (マルチモード光ファイバ帯域試験方法) によって試験します。

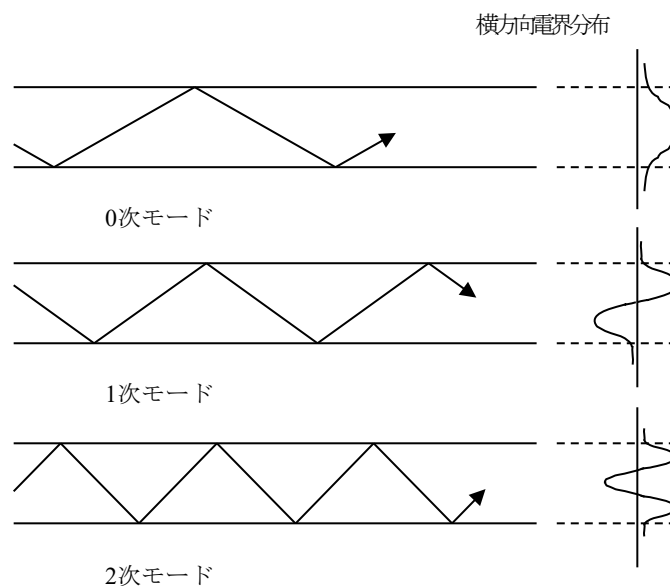


**Q13) カットオフ波長（遮断波長）とは、何ですか？**

**A13)** カットオフ波長（遮断波長）とは、光ファイバ内を一つのモードのみ伝搬できる最短の波長をいいます。

光ファイバ（コア）内を伝搬する光は、様々な角度でコアとクラッドの界面で反射しながら進みます。反射した光どうしが干渉する際に、お互いの位相が一致する波は強め合いずっと伝搬することができますが、一致しなければ弱め合い次第に消えてなくなります。消えないで伝搬していく波を伝搬モードと呼び、**図17**のように波の山が一つのモードを0次モード、山谷が一つのモードを1次モード、以下同様に2次、3次モードとなります。

光の波長を長くすると、モードのコアとクラッドの界面にあたる角度は大きくなります。波長はどんどん長くするとそのうち1次モードの入射角は臨界角よりも大きくなり、0次モードのみ伝搬できることとなります。このようにカットオフ波長とは、1次モードが無くなり0次モードのシングルモードとなる境目の波長をいい、シングルモード光ファイバ特有の仕様項目の一つに挙げられています。



**図 17—伝搬モードの横方向電界の分布**

Q14) NZDSF とは、どのような光ファイバですか？

A14) NZDSFとは「ノンゼロ分散シフトファイバ」(Non-Zero Dispersion Shifted Fiber) の略で、波長1 550 nmで分散値がゼロとならない分散シフト光ファイバです。

図18に示すとおり一般的なSM光ファイバ (SMF) は、1 310 nm付近で波長分散がゼロになります。しかし、SMFは、石英系光ファイバの伝送損失が最低となる1 550 nmでは分散が大きくなるため、大容量伝送には適しません。このため、大容量にて、かつ、SMFの波長1 310 nmよりも長距離伝送を実現するのに1 550 nm帯へ零分散波長をシフトさせた分散シフトファイバ (DSF) が使用されています。ところが波長多重伝送 (WDM) においては、波長分散が小さいと光ファイバの非線形効果により、光信号同士が相互作用しクロストーク<sup>1)</sup>が発生しやすくなるという問題があります。そこで、DSFの零分散波長を敢えて波長1 550 nm帯の外にずらしたNZDSFがWDMシステム用に実用化されています。

零分散波長をずらすことは、従来のDSFをベースに、ファイバの屈折率分布に工夫を凝らし、構造分散を変化させて実現しています。図18はNZDSFの屈折率分布形状の例です。

注<sup>1)</sup> クロストーク：異なる複数の波長の信号が伝達過程にて相互に影響しあうこと。信号波形の悪化、ノイズの発生等を引き起こす原因になります。

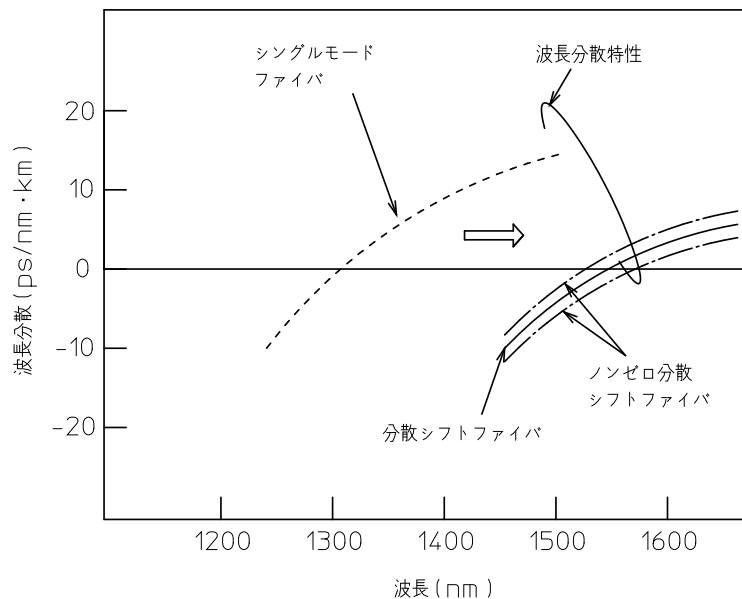


図 18—各種シングルモード光ファイバの波長特性

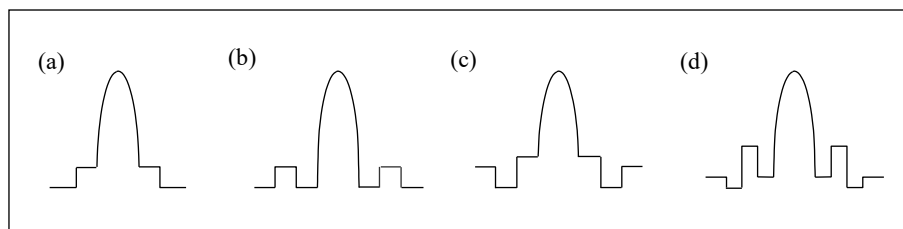


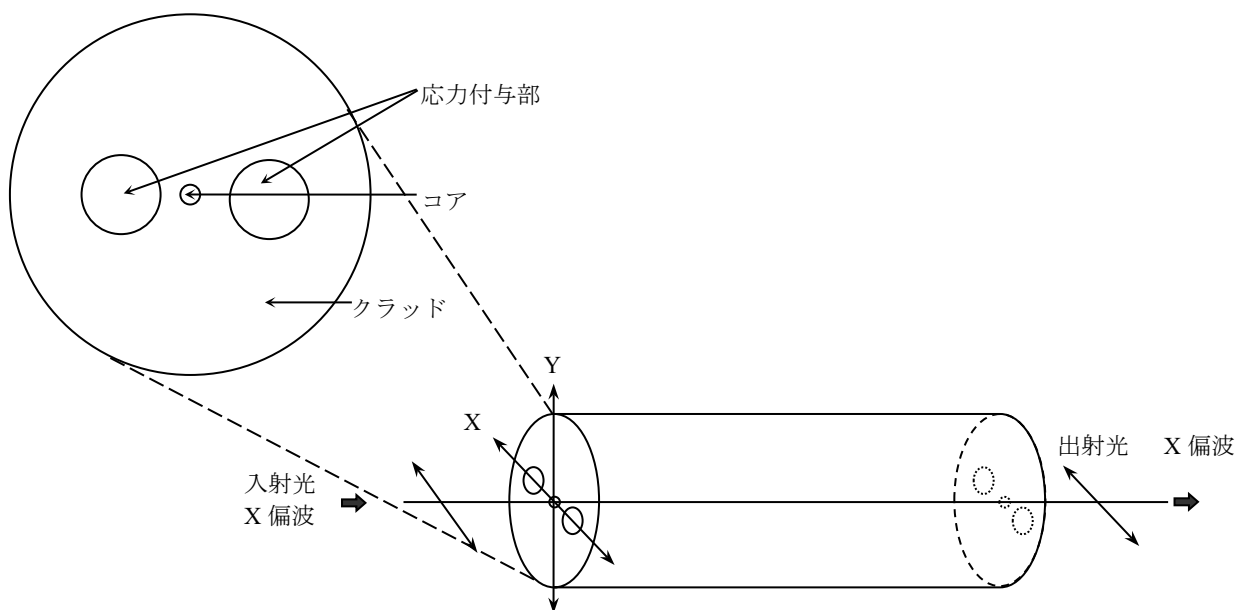
図 19—NZDSF の屈折率分布形状

**Q15) パンダファイバとは、どのような光ファイバですか？**

**A15)** パンダファイバ（PANDA：Polarization-maintaining AND Absorption-reducing）は、偏波保持光ファイバの通称であり、光ファイバのコアの両側に円い2つの応力付与部を有したものです。

通常のシングルモード光ファイバ並びにマルチモード光ファイバでは、光伝送において、レーザ光の持つ偏波状態が絶えず変化してしまいます。定偏波光ファイバは、コアのX軸に応力付与部を設け、応力を加えることにより、X軸方向とY軸方向の屈折率に差を持たせる構造となっています。これにより、偏波保持光ファイバに入射した光は、偏波面を保持したまま伝送されます。

情報伝送の長距離大容量化は、ますます加速の度合いを強めており、偏波保持光ファイバは、大出力、超波長多重用レーザ光源との結合用光部品として、近年のマルチメディア時代到来に向けて不可欠なものとなっています。また、偏波保持光ファイバは、光の位相や偏光を情報として利用する電界測定、光ファイバジャイロ等の各種測定器・センサの分野でも使用されています。



**図 20—偏波保持の概念図**

Q16) 小径曲げに対応可能な光ファイバとはどのようなものですか？

A16) 光ファイバの許容曲げ半径は、損失増加及び破断確率を考慮して規定しています。一般的な光ファイバの許容曲げ半径は 30 mm ですが、最近ではアクセス用としてより小さな曲げ径で使用可能な光ファイバの需要が高まっています。これらの用途に対応するには、小径曲げにより生じる損失を低減させること及び小径曲げでの破断確率を一定以下とすることが必要となります。

最近では、一般的な光ファイバの規格内でモードフィールド径を見直して曲げ損失を低減したものが広く製品化されています。さらに、今後有望な技術動向として、コア周囲の屈折率を下げトレンチ部を設けた“トレンチ型”光ファイバやコアの周囲に空孔部を設けた“ホールアシスト型”光ファイバが注目されています。また、小径曲げにおいて破断確率を低減させるために、スクリーニングレベルを上げる等の対応がされています。

小径曲げに適応した光ファイバ仕様については ITU-T G.657 にて勧告されており、従来よりも小さな曲げ径での損失が規定されています。

表 2-ITU-T 勧告の抜粋

		G.657A1	G.657A2	G.657B2	G.657B3	G.652B
モードフィールド径		8.6~9.5 $\mu\text{m}$		8.6~9.5 $\mu\text{m}$		8.6~9.5 $\mu\text{m}$
クラッド径		125 $\mu\text{m}$		125 $\mu\text{m}$		125 $\mu\text{m}$
曲げ損失 (1.55 $\mu\text{m}$ )	30 $\phi$ × 10 回	0.25 dB 以下	0.03 dB 以下	0.03 dB 以下	—	—
	20 $\phi$ × 1 回	0.75 dB 以下	0.1 dB 以下	0.1 dB 以下	0.03 dB 以下	—
	15 $\phi$ × 1 回	—	0.5 dB 以下	0.5 dB 以下	0.08 dB 以下	—
	10 $\phi$ × 1 回	—	—	—	0.15 dB 以下	—
曲げ損失 (1.625 $\mu\text{m}$ )	60 $\phi$ × 100 回	—	—	—	—	0.1 dB 以下
	30 $\phi$ × 10 回	1.0 dB 以下	0.1 dB 以下	0.1 dB 以下	—	—
	20 $\phi$ × 1 回	1.5 dB 以下	0.2 dB 以下	0.2 dB 以下	0.1 dB 以下	—
	15 $\phi$ × 1 回	—	1.0 dB 以下	1.0 dB 以下	0.25 dB 以下	—
	10 $\phi$ × 1 回	—	—	—	0.45 dB 以下	—

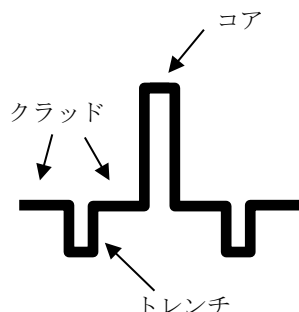


図 21-トレンチ型の屈折率分布例

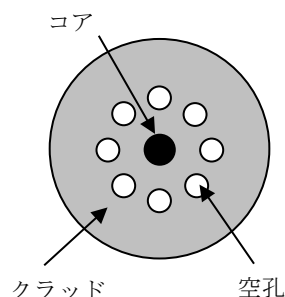


図 22-ホールアシスト型光ファイバ構造例

Q17) GI 光ファイバで 50/125 と 62.5/125 の 2 種類があるようですが、これはどのように使い分けるのですか？

A17) 50/125 はコア径 50 μm で日本、また、62.5/125 はコア径 62.5 μm で、北米で仕様化されたクラッド径 125 μm の GI 光ファイバであり、50/125 は日本、62.5/125 は北米で広く使用されています。

現在では、日本でも 62.5/125 はよく使用され両タイプとも国際規格及び JIS 等で規格化されています。

GI 光ファイバを用いてシステム構築する場合、両タイプのファイバが使用可能な機器、装置があります。62.5/125 の方は 50/125 に対しコア径が大きく多くの光パワーを受け入れやすいですが、伝送損失が大きく伝送帯域が小さいため、最大伝送距離が短くなる場合があります。光ファイバタイプにより違いが出てくる場合があります。

また、光ファイバどうしの接続の際、50/125 に 62.5/125 を接続するような、異なるタイプの光ファイバを連結接続すると、著しく光信号が劣化し、接続が不安定になる危険性があります。

GI 光ファイバを布設する場合は、使用する機器、装置の指定ファイバ、又は光ファイバタイプによる最大伝送距離を確認して布設して下さい。

表 3—一般的な特性例

項目	波長	光ファイバタイプ	
		50/125	62.5/125
伝送損失	850 nm	3.0 dB/km	3.5 dB/km
	1 300 nm	1.0 dB/km	1.5 dB/km
伝送帯域	850 nm	400 MHz·km	160 MHz·km
	1 300 nm	500 MHz·km	500 MHz·km
NA		0.2	0.275

**Q18)** LAN用には、なぜマルチモード光ファイバが使用されるのですか。価格的には、シングルモード光ファイバの方が安いと思いますが？

**A18)** ケーブルのみを考えると、確かにマルチモード光ファイバ（マルチモード GI 光ファイバ）よりシングルモード光ファイバ（SM 光ファイバ）の方が安価に入手することが可能です。

LAN とは Local Area Network の略で、企業内のコンピュータやサーバをネットワークで結ぶことであるため、伝送距離としては短中距離のレベルです。

ネットワークで結ぶためには、ケーブル以外に周辺の機器装置が必要となります。機器装置の価格を考えた場合、一般的にはマルチモード光ファイバに使用するものより、シングルモード光ファイバに使用するものの方が高価となります。

伝送距離が短中距離の LAN の場合、トータルコストを考えると、ケーブルコストを抑えるより機器装置のコストを抑えた方がメリットがあるため、機器装置の安価であるマルチモード光ファイバが主に使用されています。

Q19) GI光ファイバケーブル（光ファイバ）で伝送帯域の規格が何種類ありますが、どのように使い分けするのですか？

A19) マルチモード GI 光ファイバケーブル（光ファイバ）（以下、GI 光ファイバケーブル（光ファイバ）という。）に必要な伝送帯域は使用するネットワークの種類、波長、ケーブルの伝送距離により必要な伝送帯域が決められています。LAN 配線に使用するケーブルの伝送帯域規格は IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.：米国電気電子技術者協会）で規定されています。代表として IEEE802.3z ギガビットイーサネットの伝送帯域規格を表 4 に、IEEE802.3ae 10 ギガビットイーサネットの伝送帯域規格を表 5 に示します。

表 4—IEEE802.3z ギガビットイーサネットの伝送帯域規格

アプリケーション	波長 (nm)	GI 光ファイバ のコア径 (μm)	伝送帯域 (MHz・km)	最大伝送距離 (m)
1 000 BASE-SX	850	50	400	500
			500	550
		62.5	160	220
			200	275
1 000 BASE-LX	1 300	50	400, 500	550
		62.5	500	550

表 5—IEEE802.3ae 10 ギガビットイーサネットの伝送帯域規格

アプリケーション	波長 (nm)	GI 光ファイバ のコア径 (μm)	伝送帯域 (MHz・km)	最大伝送距離 (m)
10 GBASE-SR	850	50	500	82
			1 500	300
			3 500	400

このように、各ネットワークの規格では使用する光ファイバケーブルに必要な性能が規定されており、これはネットワークの種類によって異なります。特に GI 光ファイバケーブルでは伝送帯域性能によって最大伝送距離が変化するため、伝送距離が長い場合は伝送帯域もそれに合ったものを使用する必要があります。

Q20) マルチモードGI光ファイバ用のLD光源はありますか。それは一般的に使用されているのですか？

A20) LD 光源に SM 用, GI 用の区別は無く, LD 光源は SM 光ファイバにも GI 光ファイバにも使用されています。LD 光源では, 2 つ以上の元素で構成される化合物半導体を用いることで, 図 23 のように赤外から可視域にわたる波長が得られます。LD 光源を選定する場合には, 使用波長を確認した上で選ぶ必要があります。

表 6—半導体材料比較

使用波長	1 300 nm, 1 550 nm 帯	850nm 帯
半導体材料	InGaAsP	GaAlAs

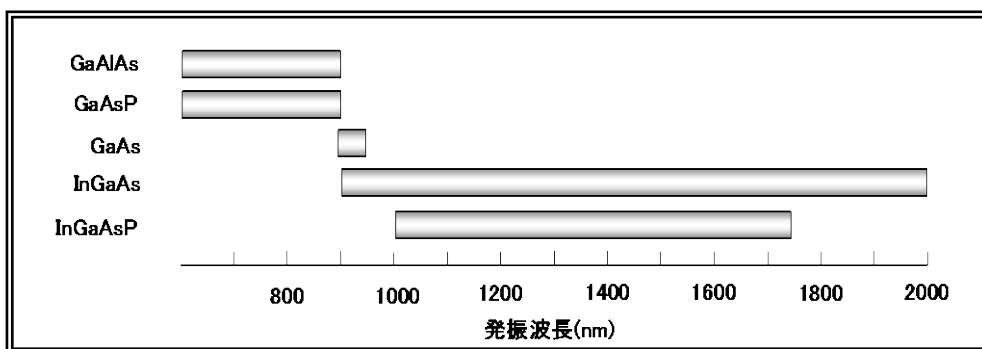


図 23—半導体レーザの材料と発振波長

また, 光通信に使用される発光素子には, LD の他に LED があり, それぞれ一般的に使用されています。参考までに各発光素子の特徴及び適応範囲を, 表 7 に示します。

表 7—各発光素子の比較

	LED	LD
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 電流—光出力特性が直線性をもつためアナログ変調に適している。</li> <li>(2) LD に比較し, 現時点では低価格であり, 信頼性も優れている。</li> <li>(3) 応答速度が遅く高速伝送には不向きである。</li> <li>(4) 光出力が-10 dBm 程度で LD に比べて小出力である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 光出力が数 dBm 以上であり, 高出力な発光が可能である。</li> <li>(2) 応答速度が速いため, 高速伝送にむいている。</li> <li>(3) 発光スペクトル幅が小さいため (数 nm 程度), 材料分散, 構造分散の影響が少なく広い帯域の伝送が可能である。</li> </ul>
適応範囲	比較的短距離 (10 km 程度以下) 低速 (~数十 Mb/s 以下)	高速, 広帯域, 長距離



Q21) 一般のSM光ファイバ（1310nmゼロ分散型）を1550nmの波長で使用しても大丈夫ですか？

A21) SM光ファイバ（SMF）で、波長1550nmは一般的に使用されていますが、システム全体に由来よりも、更に、注意を払い使用して頂く必要があります。

理由としては、SM光ファイバは波長1310nmで分散がゼロとなり、更に、曲げや側圧等による損失変動にもある程度強くなるように製造されているからです。その光ファイバを波長1550nmで使用する場合は、分散が大きくなり（図24参照）光パルスの波形に時間的な広がりが生じ、システムによっては伝送情報量が減少してしまいます。更に、モードフィールド径が大きくなり、曲げや側圧等による損失変動が大きくなる等の問題が生じます。

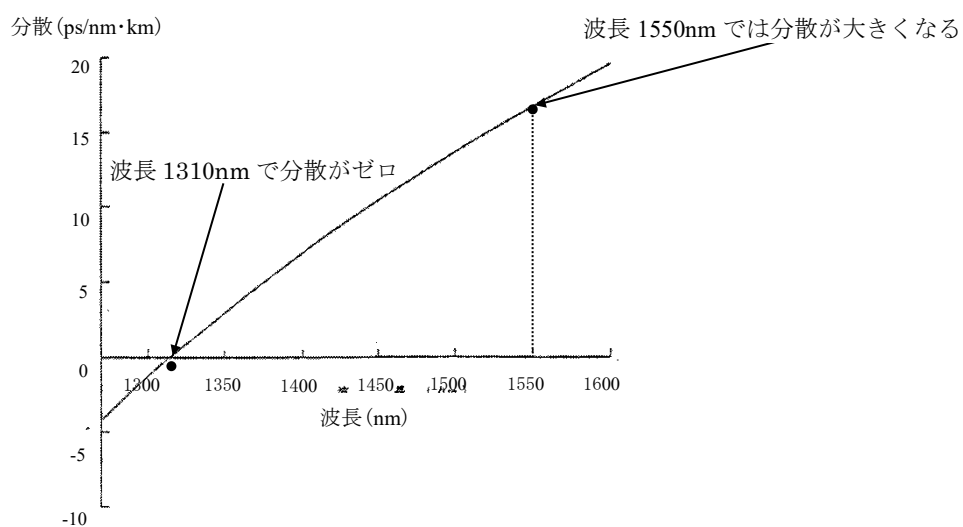


図 24—SM 光ファイバの分散特性

Q22) WDMではいくつもの波長を束ねて送信するそうですが、SM光ファイバは1つのモードしか送信できないのではないですか？

A22) 波長分割多重 (WDM : Wavelength Division Multiplexing) は、伝送密度によっていくつかに区分されており、16波以上を多重する DWDM (Dense WDM)、8波程度を多重する CWDM (Coarse WDM)、4波程度を多重する WWDM (Wide WDM) 等があります。SM 光ファイバは、波長間隔 : 20 nm 程度である CWDM 及び WWDM に使用されています。SM 光ファイバでは、1つの波長に対して1つのモードで伝送されます。図 25 のように複数の波長を利用して伝送を行う WDM では、個々の波長に対してモードが1つ存在することになります。このとき個々のモードは波長が異なるため、お互い干渉することなく片方向及び双方向の伝送が可能になります。なお、使用する SM 光ファイバは、使用できる波長領域を拡大させるため OH 基による 1380 nm 付近での損失ピーク (製造のプロセスで光ファイバ中に残存した水分が OH 基という結合状態となり、1383 nm の波長を中心とする光の吸収現象が起こることによる損失) を抑えたものが、主に使用されています。

その他、波長間隔が 1nm 以下である DWDM では、光信号同士が相互作用しクロストークが発生しやすくなるという問題があるため、NZDSF 光ファイバが使用されています。

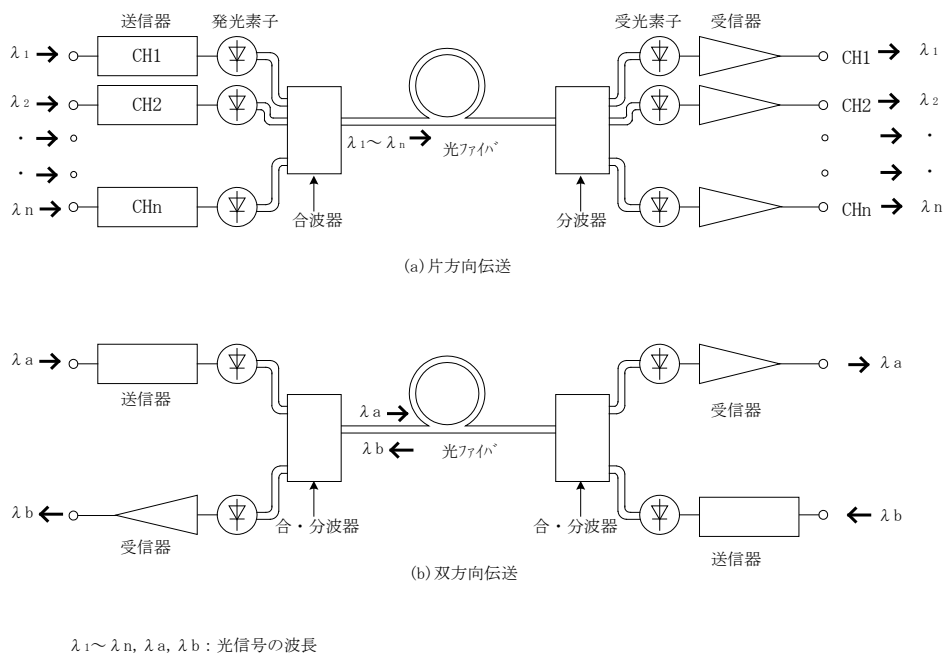


図 25—波長分割多重伝送の基本構成

Q23) 光ファイバケーブルの伝送損失の実力値は、いくつですか？

A23) 光ファイバケーブルの伝送損失の実力値は、通常ケーブルに内蔵されている光ファイバの伝送損失とほぼ同等と考えることができます。これは、各ケーブルメーカーで次のような設計思想に基づき設計、製造を行っているためです。

- ①光ファイバの持つ特性を極力損なわずにケーブル化する。
- ②布設及び布設後の使用環境において特性を保証する。

ここでは、一般的によく使用されている石英系 SM 型光ファイバの伝送損失の一例を紹介します。しかしながら、ケーブルの伝送損失は、そのケーブルの種類、構造、布設環境、使用波長により変化する場合があるため、それぞれのケーブルにおける実力値については、各ケーブルメーカーにお問い合わせください。

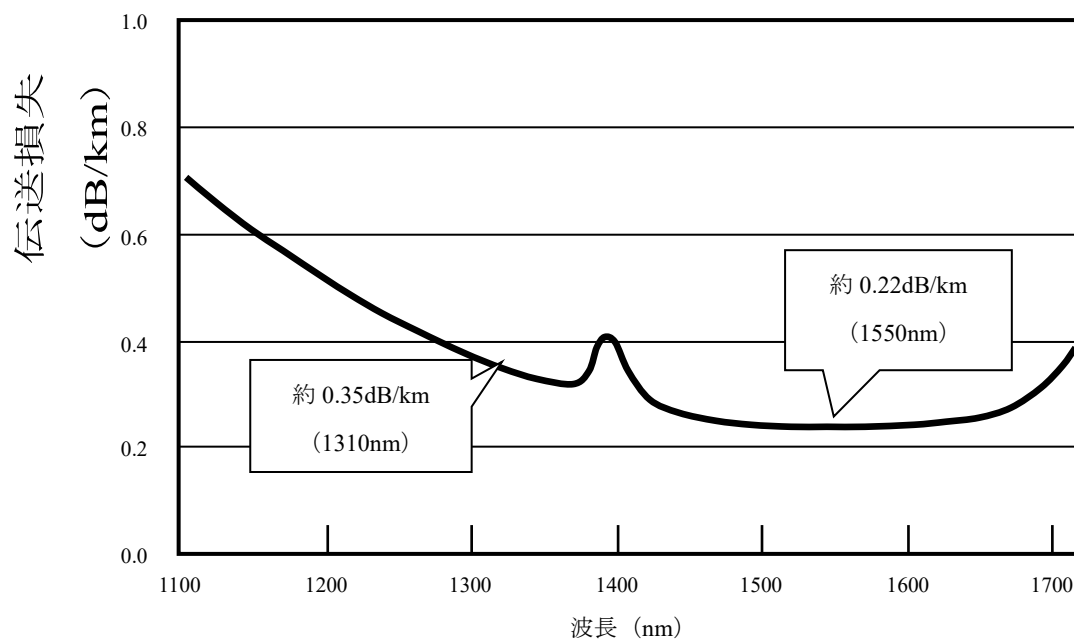


図 26—石英系 SM 型光ファイバの波長—伝送損失の一例

**Q24) 光ファイバケーブルに、なぜテンションメンバが入っているのですか？**

**A24)** 光ファイバケーブルは通常の場合、ケーブル内にテンションメンバを設ける構造を採用しています。これは、ケーブル製造時、布設時、及び布設後にケーブルに加えられる張力や温度伸縮力をテンションメンバに負担させ、光ファイバに歪応力がかからないような構造とするためです。

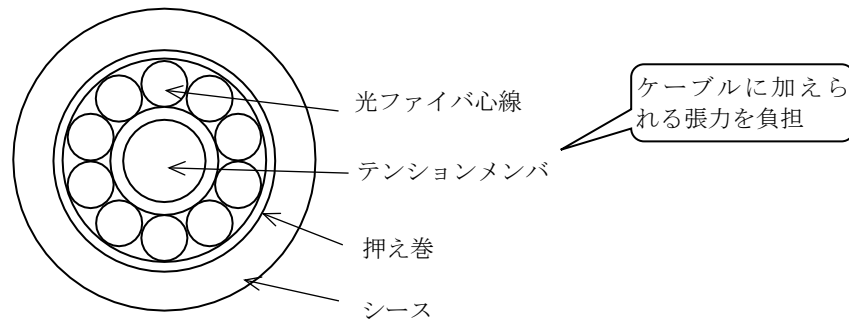
メタル通信ケーブルは、導体が金属であるため、それ自身が抗張力体となり、温度変動による伸縮や機械的に加えられる応力に耐え得る構造となっています。

また、銅は延性に優れた物質であるため、過大な張力に対しては導体の永久伸びが発生し応力を緩和する方向に働き、破断に至ることはまずありません。

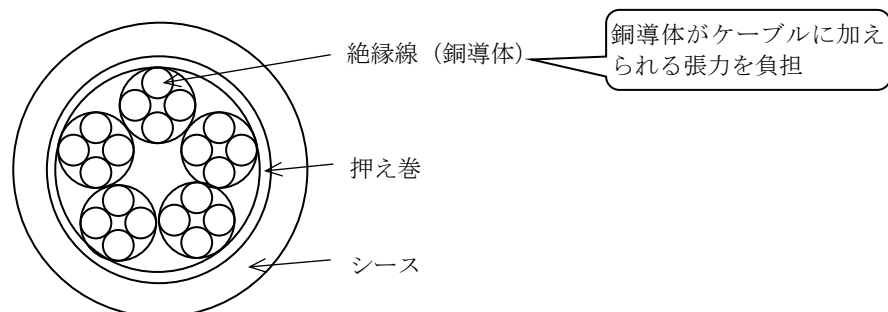
一方、光ファイバの材料である石英ガラスは単位面積当たりの強度は銅よりも大きい数値を示しますが、光ファイバの外径が非常に細く、ケーブル内の占有断面積が小さいためケーブルの抗張力体としての役割を果たしません。

また、光ファイバに荷重が加わった状態で長時間経過すると光ファイバの強度が低下し破断に至ります（静疲労）。したがって、光ファイバをケーブルにして使用する際には、光ファイバの強度及び静疲労の性質から、過度の張力が瞬時・長期に加わらないようにしなければなりません。

一般的に光ファイバケーブルのテンションメンバには、ヤング率の高い鋼線、FRP、アラミド繊維などからなる抗張力体が用いられています。



**図 27—光ファイバケーブル構造例**



**図 28—メタル通信ケーブル構造例**

Q25) 架空ケーブルには、どのような種類がありますか？

A25) 架空に布設される光ファイバケーブル構造としては、自己支持型ケーブルや一般的な丸型ケーブルが使用されています。自己支持型ケーブルは、吊線とケーブルが予め一体化されたケーブルで、だるま型、窓あきだるま型、ラッシング型、プレハンガ型などの種類があります。

また、一般的な丸型ケーブルを架空に延線する場合は、予め布設された吊線に丸型ケーブルを吊架しますが、この工法としては、ハンガ掛け、ラッシングワイヤ巻付けなどの方法が使用されています。

〈自己支持型ケーブル構造例〉

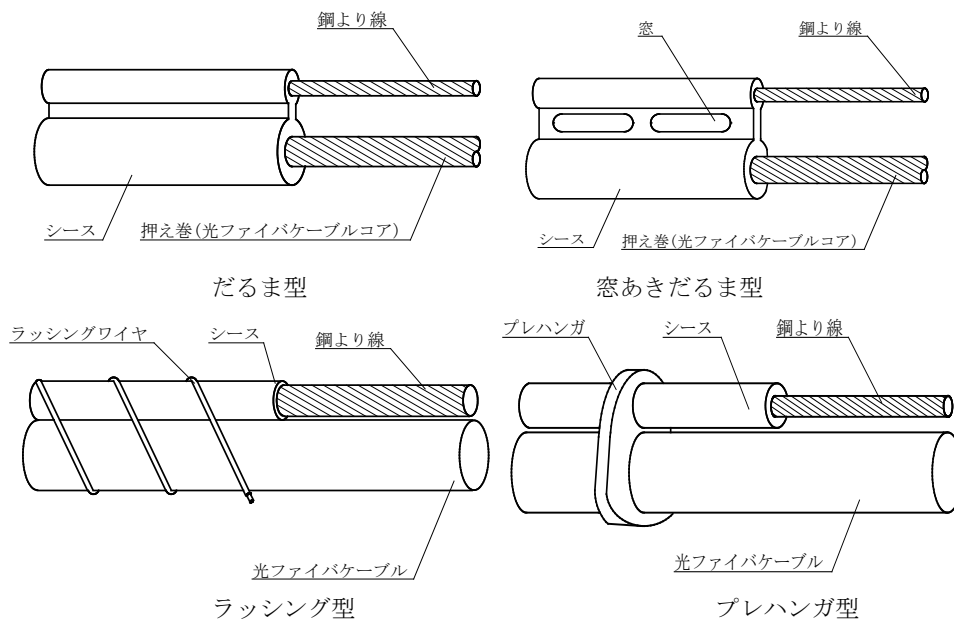


図 29－自己支持型ケーブル構造図

〈丸型ケーブル吊架方法例〉

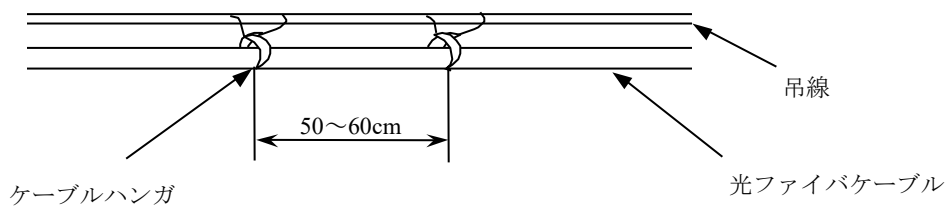


図 30－ハンガ掛け布設例

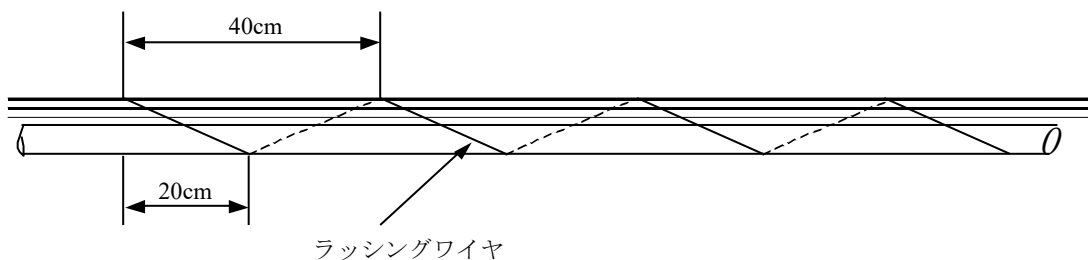


図 31－ラッシングワイヤ巻付け布設例

Q26) 直埋用ケーブルには、どのような種類がありますか？

A26) 土を掘った溝の中にケーブルを布設し、土をかぶせるケーブル布設方法を直埋（ジカマイ：直接埋設の略）法と呼びます。

直埋用ケーブルは、ネズミ、もぐら、蟻（アリ）等の生物、水分等の影響を受けやすいので腐食が進みやすく、また、埋設後の土木工事によって誤って傷付けられることもあるので通常のケーブル外被の外側に主として金属によるがい装を設け、丈夫な構造となっています。

直埋用としては、波付鋼管がい装、鉄線がい装、鋼帯がい装ケーブルが使用されます。図 32～34 に各々のケーブル構造を示します。（参照 1）

（参照 1）技術資料 技資第 133 号 C「光ファイバケーブルの選び方と使用法」3.3.2 項参照。

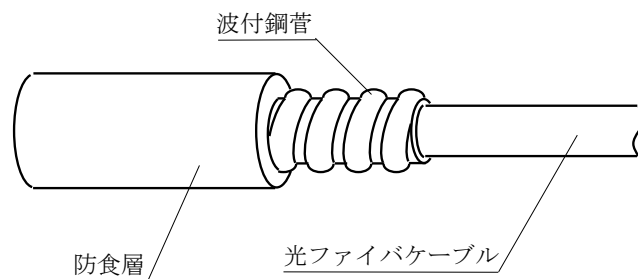


図 32—波付鋼管がい装ケーブル

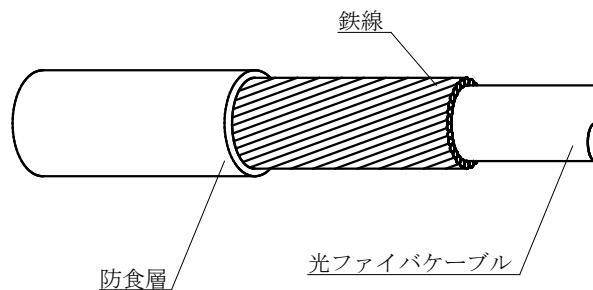


図 33—鉄線がい装ケーブル

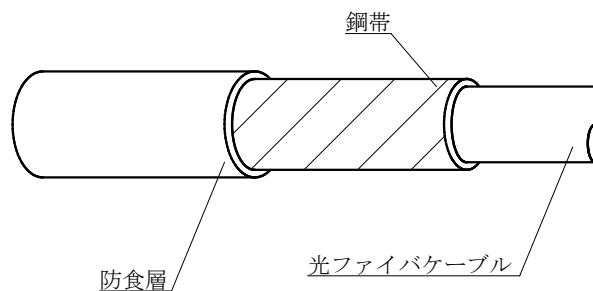


図 34—鋼帯がい装ケーブル

Q27) WBケーブルとは、どのようなケーブルですか？

A27) WB（Water Blocking）ケーブルは、ケーブル内への水の浸入並びに長手方向への水走りを最小限に留めるケーブルです。

WB ケーブルは、ケーブル内に吸水ポリマーテープで押し巻した構造をしています。これが、シースの損傷した際に、水の浸入をブロックする働きをします。吸水ポリマーテープに使用されている吸水ポリマーは、自重の数百～千倍の水を吸収します。ケーブル内部に浸水すると吸水性ポリマーは、吸水、膨潤しながらゲル化して、ケーブル内の隙間を充填し、止水します。

WB ケーブルは、ガス保守ケーブルと比較して、構造がシンプルで、布設後の保守が容易な特長を持っています。他に止水構造には、ジェリー充填タイプがあります。

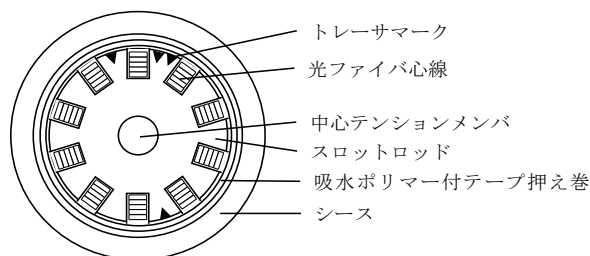


図 35—吸水ポリマーテープタイプの例

Q28) 海底用光ファイバケーブルとは、どのような構造になっているのでしょうか。また、そのケーブルに使用する光ファイバは、特殊なものなのでしょうか？

A28) 海底用光ファイバケーブルの特徴として

- ① 布設時及び引き揚げ時のケーブル張力や水圧に耐えうる構造であること
- ② 高水圧下でも浸水防止が可能なこと
- ③ 布設距離が長距離であること
- ④ ケーブル補修並びに張替えが非常に困難なため高い信頼性が要求されることなどの特性を満たす必要があります。基本的な構造の一例として、中心テンションメンバの周りに光ファイバ心線をより合わせ、UV樹脂にて被覆し（光ファイバユニット）、その上層に耐圧層として3分割鉄個片で保護し、外周に鋼線、銅パイプ、シースを施す構造になっています。なお、ケーブル内部には浸水防止のためコンパウンドを充填します。

更に、浅海域では潮流による磨耗や船舶からの錨の投下、漁船の底引き網等の外力によりケーブルが損傷する恐れがあり、機械強度を高めるためにケーブルシース上に1重又は2重がい装を施します。

海底用光ファイバケーブルに使用する光ファイバは、長期信頼性を有する必要があるため、陸上用光ファイバよりプルーフレベルの高い光ファイバを使用します。

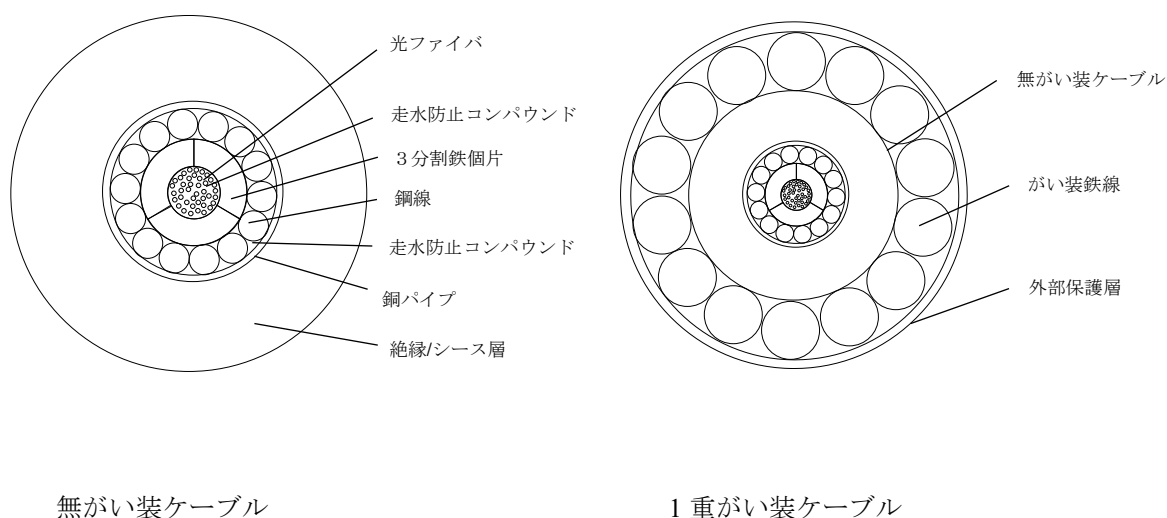


図 36—海底用光ファイバケーブルの例



Q29) 光ファイバの接続は、どのように行なえば良いのですか？

A29) 光ファイバの接続方法には、着脱が不可能な永久接続と着脱が可能なコネクタ接続があります。また、永久接続には大きく分類して融着接続、メカニカルスプライスがあります。表 8 に光ファイバの接続方法を示します。

表 8－光ファイバの接続方法

分類	特徴	接続方法の概要	接続損失*
融着接続	低損失で安定した接続が可能	光ファイバを突き合わせてその先端を加熱溶解し、融着させて永久的に接続する方法。	約 0.1 dB
メカニカルスプライス	小型軽量の工具を用いて無電源での接続が可能	メカニカルスプライス部品中の位置決めガイド基板に沿って光ファイバを挿入し、突き合わせて押え部材にて固定し永久的に接続する方法。	約 0.2 dB
コネクタ接続	容易に着脱可能	光ファイバの先端にあらかじめ取り付けられた光ファイバコネクタを使用して光ファイバどうしを接続する方法。 代表的なコネクタとしては、SC コネクタ、LC コネクタなどがある。	約 0.5 dB

\* 接続損失は参考値

光ファイバの接続は、光が伝送される両側の光ファイバコア軸をできる限り一直線上で密着させ、光学的にあたかも連続しているかのようにすることが理想です。このため銅心線の接続と異なり光ファイバの接続は、光ファイバコアどうしの突き合わせ接続となります。

光ファイバの接続部に要求される条件を、次に示します。

- (i) 接続損失が低い。
- (ii) 接続部の反射が少ない。
- (iii) 長期安定性に優れている。
- (iv) 小形・軽量である。
- (v) 接続作業が簡単である。
- (vi) 低価格である。

**Q30) 光ファイバ心線の接続は、なぜ難しいのですか？**

**A30)** メタル通信ケーブルを接続する場合は、導体を接触させれば接続できます。しかし、光ファイバは、光信号をコアの中に閉じ込めて伝搬していますので、光ファイバを接続する場合は、接続される2本の光ファイバのコアどうしを正確に一致させる必要があります。特にSM光ファイバは、コア径が約10 $\mu\text{m}$ と小さいため、軸ずれなどの要因により、接続損失は大きくなってしまいます。

このため、光ファイバの融着接続には、専用の接続機が必要で、これを使用することにより比較的容易に接続作業を行うことが可能となっています。

表9に接続損失を発生させる主な要因を示します。

**表9—接続損失発生原因**

要因	概略図
軸ずれ	
折れ曲り	
端面傾斜	
間隙及びフレネル反射 <sup>a)</sup>	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 20px;"> <p>n1 : コアの屈折率 n2 : クラッドの屈折率 n3 : 空気などの屈折率</p> </div>
コア径の違い	
比屈折率差の違い	
<p><b>注<sup>a)</sup></b> フレネル反射：光ファイバ間にコアの屈折率と異なる屈折率を有する物質（空気など）が存在する場合、その境界面において光が反射すること。</p>	

Q31) 異種光ファイバの接続特性は、どのようになりますか。融着接続は、できますか？

A31) 接続損失の一般的要因には、コアの軸ずれ、軸傾斜、折れ曲り、端面傾斜、間隙及びフレネル反射、コア径の違い、比屈折率差の違い等があります。ここで、異種光ファイバ接続において、接続損失要因はコア径違い、屈折率違いが考えられます。主な光ファイバとして挙げられる SMF, DSF, 50/125GI, 62.5/125GI の各々は、各々全てコア径及びコア屈折率が異なります。

融着接続を含め、異種光ファイバの物理的な接続は可能です。ただし、コア径の違いやコア屈折率の違いにより、接続損失過大や接続損失方向性の問題、反射の問題が生じる可能性があります。

一般にコア径の大きな光ファイバから小さい光ファイバへ光を入射する場合、接続損失は大きくなり、コア径の差が大きいほど、それは極端なものとなります。これが接続損失に方向性を持つ原因となります。また、コア屈折率の違いにより接続損失は大きくなります。更に、その屈折率の違いから接続部において反射が生じる場合があります。特にコネクタ接続ではその現象が生じやすくなります。

異種光ファイバでは接続部での問題のほか、分散等の問題も発生します。

異種光ファイバの接続は上述の現象を含めた種々の問題が生じるため、メーカーでは保証しておりません。

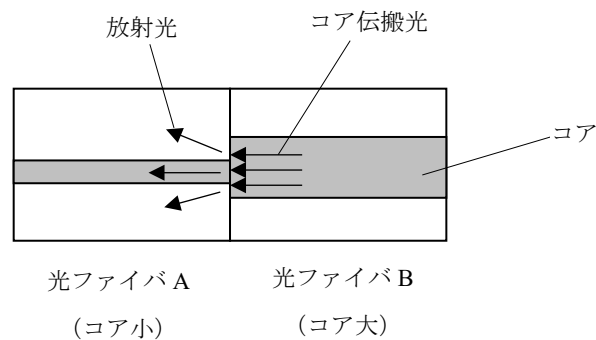


図 37—コア径の異なる光ファイバの接続損失概略

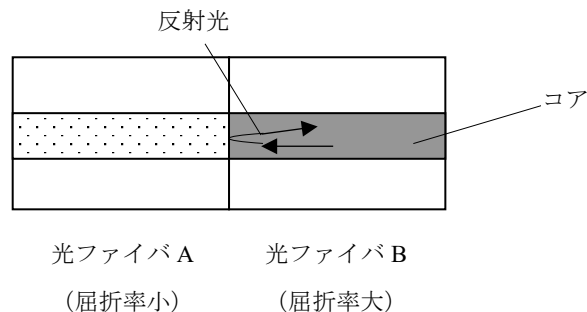


図 38—屈折率の異なる光ファイバの反射概略

**Q32) 光ファイバケーブルの布設時に、どのようなことに注意すれば良いのでしょうか？**

**A32)** 光ファイバケーブルは、通常のメタル通信ケーブルと同様に取り扱うことができます。

ただし、光ファイバは強い力で引っ張ると断線したり、曲げ半径が小さくなると損失増加することから、光ファイバケーブルでは許容張力及び許容曲げ半径が規定されており、必ず規定値を守らなければなりません。

主な注意点は下記のとおりです。

- ・ 布設張力はケーブルの許容張力を超えないこと
- ・ テンションメンバを引っ張ること
- ・ ケーブルの許容曲げ半径を確保すること
- ・ ケーブルの捻回<sup>2)</sup>、キンク等を避けること
- ・ ケーブルに大きな側圧が加わらないよう考慮すること

上記注意点は、メタル通信ケーブルにおいても守らなければならないものですが、この注意点を守ることにより、信頼性の高い光ファイバケーブルの布設が実現できます。

**注<sup>2)</sup>** 布設時は、撚り返し金物や捻回防止器などを使用して捻回を抑制します。

架空布設の場合は、2号金車、4号金車、ハンガーローラー等で布設しますが、ハンガーローラーを使用する際は、その構造上捻回が発生しやすく、特に影響の出やすい長尺布設（300 m 以上）においては、十分な注意が必要です。

Q33) 布設張力は、どのように計算すればよいのですか？

A33) 光ファイバケーブルを布設するときの張力は、ケーブル質量、布設ルート等により一般に以下の式で求められます。

1) 直線部の布設

光ファイバケーブルを傾斜  $\theta_1$  の直線ルートに先端引きで布設する場合、ケーブル先端の張力  $T_2$  は、ケーブルと管路との摩擦力や自重から、次式で求められます。

$$T_2 = 9.8W \cdot L (\sin\theta_1 + \mu\cos\theta_1) + T_1$$

$T_1$  : 直線部に入る前のバックテンション (N)

$T_2$  : 直線部通過後の張力 (N)

$W$  : 1km 当たりのケーブル質量 (kg/km)

$L$  : 布設長 (km)

$\mu$  : ケーブルと管路間の摩擦係数 (通常 0.5)

$\theta_1$  : ルートの傾斜角度 (上り坂ではプラス, 下り坂ではマイナス)

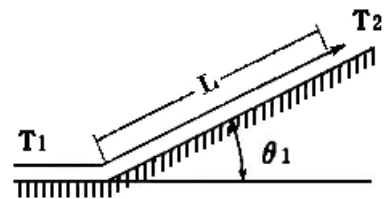


図 39 直線部の布設ルート (例)

特殊な場合として、

水平布設 ( $\theta_1 = 0$  度) では  $T_2 = 9.8\mu WL + T_1$

垂直布設 ( $\theta_1 = 90$  度) では  $T_2 = 9.8WL + T_1$

2) 水平曲線部の布設

光ファイバケーブルが図 40 のように矢印の方向へ布設される時、曲線部の張力  $T_1$  と  $T_2$  は、下式の関係となります。

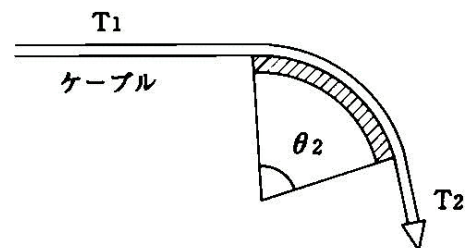


図 40 水平曲線部の布設ルート (例)

$$T_2 = K \cdot T_1 \text{ [ただし } K = \exp(0.0175\mu\theta_2)\text{]}$$

$T_1$  : 曲線部に入る前のバックテンション (N)

$T_2$  : 曲線部通過後の張力 (N)

$\theta_2$  : 屈曲角度 (度)

$K$  を表 10 に示します。

例として  $\mu = 0.5$ ,  $\theta_2 = 90$  度の時、 $K$  は 2.19 となります。

また滑車を使用する場合は  $\mu = 0$  となり、 $K$  は 1 となります。

表 10 屈曲角度と K

$\theta_2$ (度)	滑車 $\mu = 0$	屈曲工具 $\mu = 0.5$
0	1.0	1.00
15	1.0	1.14
30	1.0	1.30
45	1.0	1.48
60	1.0	1.69
75	1.0	1.93
90	1.0	2.19
105	1.0	2.50
120	1.0	2.85
135	1.0	3.25
150	1.0	3.70

Q34) 光ファイバコード及びケーブルの最大側圧荷重は、どのくらいですか？

A34) 一般的に光ファイバケーブルでは、布設工事の際に作業者がケーブルを誤って踏んでしまった場合や布設環境を考慮して、ケーブル毎に設定しています。(参照 2)

光ファイバコードについてもコードの外径，心数によって変わってきますが，JIS C 6830 では単心光ファイバコードにおいて，5 N/mm×1 分間の荷重に対して，シースにひび及び光ファイバに断線がないことが規定されています。

何れの場合も構造並びに使用条件により，許容される最大側圧荷重は変わってきますので，各電線メーカーにご相談下さい。

(参照 2) 技資第 133 号 C「光ファイバケーブルの選び方と使用法」の 3 項及び 5.3 項。

(参考資料)

- ・ JIS C 6830 光ファイバコード
- ・ JIS C 6839 屋内用テープ形光ファイバコード
- ・ JIS C 6850 光ファイバケーブル通則
- ・ JIS C 6870-1-21 光ファイバケーブル—第 1-21 部：光ファイバケーブル特性試験方法—機械特性試験方法

**Q35) 光ファイバケーブルの使用温度範囲及び保存温度範囲は？**

また、-50℃で使用可能ですか。(使用できない場合)どのような問題がありますか。使用可能なケーブルはありますか？

**A35) 光ファイバケーブルの使用温度範囲及び保存温度範囲は、各ケーブル構造で異なります。一般的な屋外用光ファイバケーブルの場合-20℃～+60℃間の温度範囲、屋内用光ファイバケーブルの場合-10℃～+40℃間の温度範囲で特性を満足するように設計されていますので-50℃での使用は、保証範囲外です。**

光ファイバは、製造、布設、環境変化等による外力からの保護、長期信頼性の確保や識別・取り扱い性の向上を目的に各種材料で被覆保護されケーブル化されています。-50℃で使用した場合、ケーブル構成材料の線膨張係数の違いにより光ファイバに曲がりが発生し、光損失の増加を起こす可能性があります。また、ケーブル構成材料によっては、亀裂が生じる等の問題が発生する場合があります。

使用温度範囲を超えてご使用される光ファイバケーブルにつきましては、各電線メーカーにご相談下さい。

**Q36)** 光ファイバケーブルで、誘導対策が必要となることがありますか？

**A36)** 光ファイバ心線自身は絶縁物（ガラス素線及びプラスチック被覆）で構成されているため、電磁誘導の影響はありませんが、光ファイバケーブル構成材料に金属（テンションメンバや導体）が使用されている場合、誘導（電磁、静電）が生じる可能性があります。

例えば、高圧電線が近接する場合、テンションメンバに鋼線を使用している光ファイバケーブルではテンションメンバに誘導電流が発生します。テンションメンバの他、光ファイバケーブルの中には、介在対及びアルミシースなど金属導体を使用することがあり、これらについて誘導防止対策が必要となる場合があります。

具体的な防止策としては、FRP等をテンションメンバとしたノンメタリックケーブルの使用や、ルート変更及び金属管路への収納などの方法があります。



**Q37) 光ファイバの損失測定は、どのように行えば良いのですか？**

**A37)** 光ファイバの損失測定には、カットバック法、挿入損失法及び OTDR 法があります。

カットバック法及び挿入損失法は光ファイバの損失を直接測定する透過法であり、OTDR 法は後方散乱光から光ファイバの損失を求めるものです。

何れも **JIS** 及び **IEC** 規格に方法が規定されています。

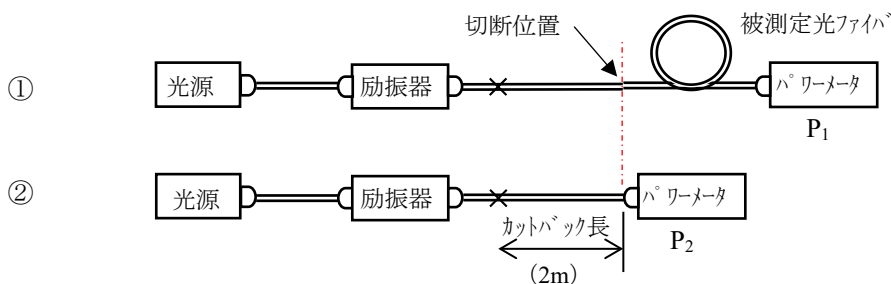
- a) **カットバック法**：精度の高い測定が可能ですが、ファイバの切断を必要とします。
  - b) **挿入損失法**：精度は劣りますが、非破壊測定であり、現場での試験に有効です。
  - c) **OTDR 法**：精度は劣りますが、非破壊測定であり、現場での試験に有効です。また、障害点検出、接続損失、線路損失なども測定可能であり、保守目的にも適用できます。
- 以下にそれぞれの概略手順を示します。

**a) カットバック法**

- ①被測定光ファイバからの出射パワーをパワーメータで測定します。(P<sub>1</sub> [dBm])
- ②次に励振状態を固定しておき、被測定光ファイバをカットバック長（通常、入射位置より 2 m）で切断し、その出射パワーを測定し、被測定光ファイバの入射パワーとします。(P<sub>2</sub> [dBm])
- ③ここで P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> の値により、次式にて伝送損失 α が求められます。

$$\alpha = \frac{P_1 - P_2}{L} \text{ [dB/km]}$$

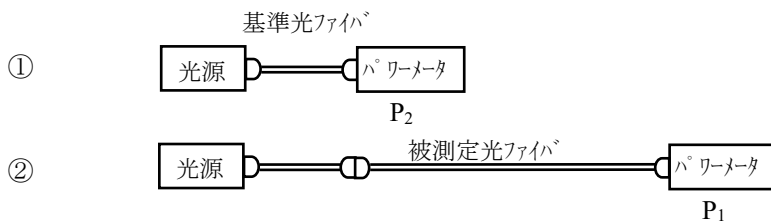
ただし、L は光ファイバ長を示します。



**図 41—カットバック法**

**b) 挿入損失法**

- ①基準光ファイバをパワーメータに接続し、光パワーP<sub>2</sub>を測定します。この時、基準光ファイバは被測定光ファイバと同種類とし、またその損失を無視できるように短くします。
- ②被測定光ファイバを基準光ファイバとパワーメータに接続し、光パワーP<sub>1</sub>を測定します。
- ③a)同様に伝送損失を求めます。



**図 42—挿入損失法**

**c) OTDR 法**

OTDR 法は前述 2 方法とは異なり、後方散乱光（光入射端へ戻ってきた光パワー）を伝播時間の関数として計測するもので、光ファイバ長手方向の区間損失の観測が可能な方法です。しかしながら、後方散乱光は光ファイバコアの微細な屈折率の不均一性の影響を受け易く、光入射方向により測定値が異なる場合

があります。図 43 に測定系の原理図、図 44 に測定波形表示例を示します。

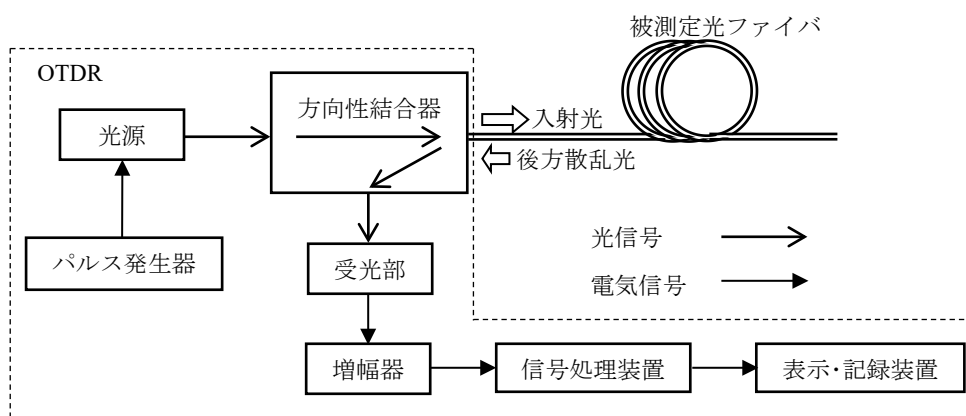


図 43—測定系原理図

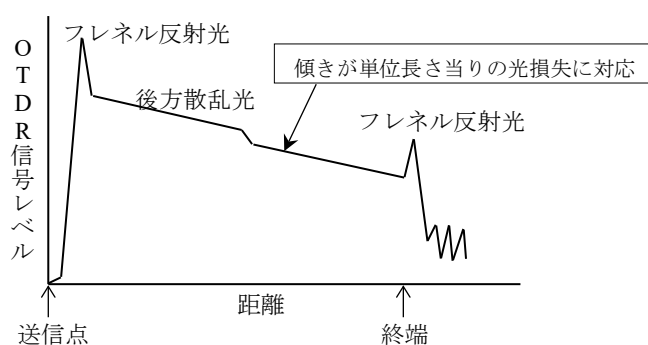


図 44—測定波形表示例

実際の測定では被測定光ファイバを直接又はダミーファイバを介して計器に接続し、計器の操作マニュアルに従い測定します。

なお、光ファイバコアの大きさや微細な屈折率の不均一性からくる測定値の光入射方向依存性を小さくするために、両端から測定し平均化することが必要な場合もあります。

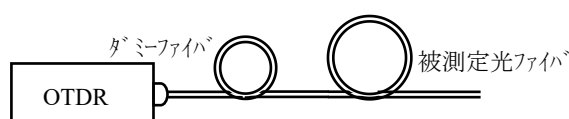


図 45—OTDR 法（ダミーファイバ接続の例）

また、光ファイバ長と群屈折率、伝搬時間には以下の関係がある事より、OTDR 法を用いた光ファイバ測定により距離を測定することができます。

$$2L = C/n \times t$$

L：距離（光ファイバ長）、C：真空中の光速、n：群屈折率、t：時間

群屈折率とは、真空中の光の伝搬速度と光ファイバ内の伝搬速度の比を表し、距離を正確に測定するためには光ファイバの群屈折率の値を適切に設定する必要があります。

測定時に設定する群屈折率の値については、各電線メーカーにご確認下さい。

Q38) OTDR 法で接続損失測定時に利得（上向きの段差）が発生することがあるのは、なぜですか？

A38) 光ファイバに光を入射した場合には、光の入射パワーに比例した大きさの後方散乱光が入射端に戻ってきます。この後方散乱光の大きさは、コアとクラッドの微細な比屈折率差の違いにより異なります。

したがって、光ファイバを接続する場合は、比屈折率差等が異なる光ファイバを接続することになります。よって、軸ずれやコア径違い等による接続損失の他に、これらの特性の違いによる影響が現れます。

後方散乱係数の異なる No.1（後方散乱係数：小）と No.2（後方散乱係数：大）の光ファイバを接続した場合、接続損失が 0 dB としても、**図 46** のように測定方向で異なる波形が得られます。

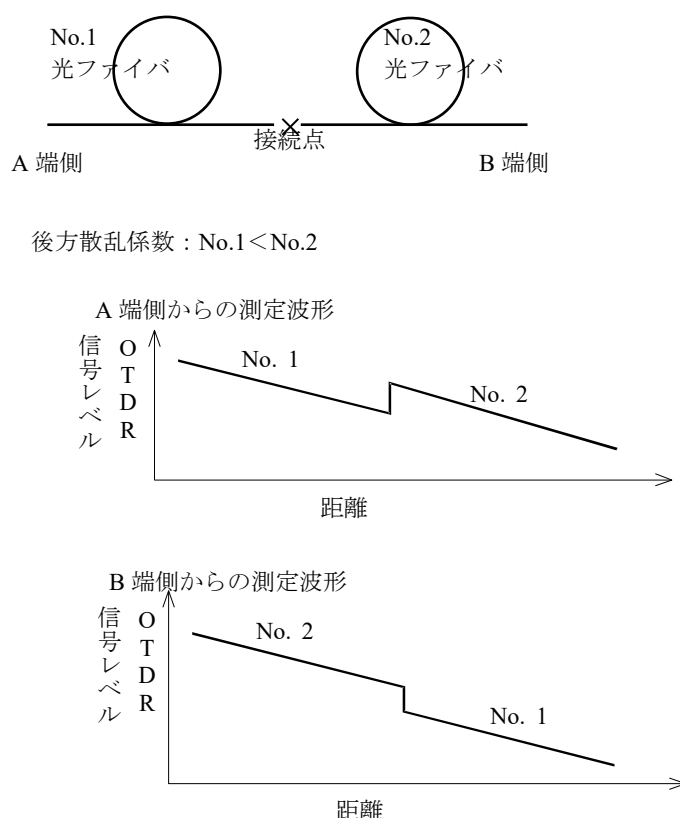


図 46—光ファイバ接続点の後方散乱波形

A 端側からの測定波形では、No.1 光ファイバの後方散乱光が直線的に減少し、接続点において各光ファイバの後方散乱光の大きさの差が、見かけ上、利得（上向きの段差）として現れます。

B 端側からの測定波形では、No.2 光ファイバの後方散乱光が直線的に減少し、接続点において各光ファイバの後方散乱光の大きさの差が、見かけ上、損失（下向きの段差）として現れます。

実際の接続損失を求めるには、両方向から測定し、得られた各接続損失を平均することで求められます。

Q39) 光ファイバケーブルの寿命は、何年ですか。その評価方法は、どのような方法ですか？

A39) 光ファイバケーブルの寿命は、一般の電線・ケーブルと同様に絶縁・シース材料の劣化特性及び光ファイバの寿命を考慮し、20年程度を基準として設計されていますが、使用状態における寿命は、その布設環境や使用状況により大きく変化します。

光ファイバの寿命は、光ファイバが脆性材料であるため、光ファイバ製造時の微細傷の大きさとケーブル製造工程や布設時の張力、曲げ並びに布設後の残留応力に依存します。

そこで、光ファイバケーブルの寿命を確保するためにスクリーニング試験といって、ケーブル使用時に加わる応力より高い応力で、光ファイバの低強度部分をあらかじめ故意に破断させて除去することで光ファイバの最低強度を保証しています。

実際には、スクリーニング強度として0.5～1.5%（陸上用光ファイバ）の試験を行っており、この結果、一般的な布設環境を考慮して20年で破断確率 $1.0 \times 10^{-5}/\text{km}$ を設計寿命としています。

$$F = 1 - \exp \left[ -N \cdot L \left[ \left\{ 1 + \left( \frac{\sigma_s}{\sigma_p} \right)^n \cdot \frac{t_s}{t_p} \div (1 + C) \right\}^{\frac{m}{n-2}} - 1 \right] \right]$$

$$C = K \frac{B}{\sigma_p^2 \cdot t}$$

- F : 光ファイバの破断確率  
N : スクリーニング試験における単位長当たりの破断回数  
L : ファイバ長  
 $\sigma_s, t_s$  : 使用環境下の応力、寿命保証時間  
 $\sigma_p, t_p$  : スクリーニング試験の応力、時間  
m : ワイブル分布定数  
K : 疲労係数  
n, B : クラック成長パラメータ

スクリーニング試験レベルと破断確率の関係式（例）

**Q40)** 光ファイバ心線，コード，ケーブルは，湿度の高い場所での使用や水に浸かった場合でも問題ないのでしょうか？

**A40)** 石英系の光ファイバは，水分により強度劣化が生じることが知られています。

光ファイバ心線，コード，ケーブルが高湿度下に置かれた場合や水に浸かった場合，その外被（シース）構造や温度条件等により光ファイバ心線への水分到達度は異なり，その影響は一概に言えません。

通常使用において，一時的に高湿度となった場合や浸水した場合には，光ファイバ心線への影響は小さいものと予想されます。しかし，長期間に及んだ場合，心線及びコード等の耐透湿性・耐水性が十分でない被覆構造では強度劣化が生じ，光ファイバ破断寿命の短縮となります。また，ケーブルにおいても耐透湿性・耐水性が十分でない外被（シース）構造<sup>3)</sup>でも同様です。

更に，上述は水圧がケーブルに影響しないことが前提であり，高水圧条件下では耐側圧性を有するケーブル構造であるか否かも併せて考慮する必要があります。**(参照 3)**

**(参照 3)** 技資第 133 号 C「光ファイバケーブルの選び方と使用法」の 4 項。

**Q41)** 光ファイバ心線、コード、ケーブルはどのくらい曲げても問題ないのですか。布設作業時に瞬間的な許容曲げ径を下回る小さな曲げが加わっても大丈夫なのですか。また、曲げに強い光ファイバケーブルはありますか？

**A41)** 光ファイバ心線、コード、ケーブルの許容曲げ半径は、ケーブル布設時等におけるケーブル屈曲に際しての光ファイバの損失増加及びケーブルの寿命劣化等を考慮して規定しています。

特に光ファイバについては、許容曲げ半径を下回る小さな曲げ径が加わると曲げによる損失増加や光ファイバの破断寿命が短くなる等の問題が発生する可能性があります。

**表 11** に一般的な光ファイバ、コード、ケーブルの許容曲げ半径を示します。

なお、最新動向として小さな曲げ半径に対応可能な光ファイバケーブル等の製造も可能ですので、特殊要求等については、各電線メーカーにご相談下さい。

**表 11—光ファイバの許容曲げ半径（参照 4）**

分類	接続及び支持する場合の曲げ半径	布設中の曲げ半径
光ファイバ心線、光コード	30 mm 以上	
鋼線テンションメンバの光ファイバケーブル	光ファイバケーブル外径の 10 倍以上	光ファイバケーブル外径の 20 倍以上
FRP テンションメンバの光ファイバケーブル	光ファイバケーブル外径の 10 倍以上、FRP 外径の 100 倍以上のどちらか大きい方とする。	光ファイバケーブル外径の 20 倍以上、FRP 外径の 100 倍以上のどちらか大きい方とする。

光ファイバケーブル構造によっては、上記値と異なることがあるので、特殊ケーブルについては、メーカーの仕様書をご参照下さい。

**（参照 4）** 技資第 133 号 C 「光ファイバケーブルの選び方と使用法」の 6.2 項。

## 改正履歴

### 1 2009年の改正

#### 1) 2009年の改正の経緯

近年における廃棄物の削減や環境資源の保護の観点より、光ファイバケーブルにおける重要な課題として3R（リサイクル、リデュース、リユース）への取り組みが行われている。

また、新しい技術として宅内等のアクセス用途での取り扱い性を考慮し、従来よりも小さな径で曲げて使用できる光ファイバが開発されている。

これらの地球環境保全の動きへの対応、施工性を重視した新しい光ファイバの開発について、その取り組みを紹介する事を目的とし本技術資料を改版した。

#### 2) 2009年の主な改正点

①改正にあたり資料番号を「138号」から「138号A」とした。

②以下の3つのQ&Aを追加した。

【Q5】光ケーブルのリサイクルの実態はどうなっていますか？

【Q6】光ケーブルの環境に対する取り組みはどうなっていますか？

【Q17】小径曲げに対応可能な光ファイバとはどのようなものですか？

### 2 2022年の改正

#### 1) 2022年の改正の経緯

前回の改定より12年が経過し、さらに長距離伝送、高速化が進んでおりデータセンターなどが多く設立されている。今回全項目の内容を確認し他規格の改定に伴う修正や追加・削除すべき項目の修正を行った。

#### 2) 2022年の主な改正点

①改正にあたり資料番号を「138号A」から「138号B」とした。

②【Q1】表②最大速度「10～40 G」から「～400 G」へ修正

ブロードバンド「～100 Mbps」から「～10 Gbps」へ修正

表⑤省資源を追加

【Q2】フィールドにおいては2000心若しくはこれを超える超多心ケーブルの実績がある事を追加。

図2を追加

【Q16】旧Q16:「ギガビットイーサネットに対応する光ファイバは、どの種類の光ファイバですか？」を削除し、新【Q19】に統合。表5を追加した。

【Q16】表2を最新版に改定

【Q37】OTDR法を用いた光ファイバの損失測定における、群屈折率についての質問が多く見られることから、群屈折率の定義および群屈折率を用いた距離の測定について追記した



## 付録

### 光ケーブル小委員会

	氏名	所属
(主査)	細川 健一	株式会社フジクラ
(委員)	永井 傑朗	昭和電線ケーブルシステム株式会社
	小澤 俊明	古河電気工業株式会社
	長田 尚理	住友電気工業株式会社
	中川 隆俊	岡野電線株式会社
	樋口 英彦	北日本電線株式会社
	斉藤 澄夫	平河ヒューテック株式会社
	渡邊 一光	西日本電線株式会社
	岡部 圭寿	住友電工オプティフロンティア株式会社
(事務局)	下川 淳一	一般社団法人日本電線工業会



©一般社団法人日本電線工業会 2022

技術資料 技資第 138 号 B  
光ファイバケーブルQ&A

委員会 光ケーブル小委員会  
初 版 2005 年 11 月発行  
改正 A 2009 年 1 月発行  
改正 B 2022 年 4 月発行  
発行者 一般社団法人日本電線工業会 技術部  
〒104-0045  
東京都中央区築地 1-12-22 コンワビル 2F  
TEL 03-3542-6035  
FAX 03-3542-6037

複写禁止