

ギガビット時代の LAN配線設計ノウハウ 光ファイバ配線のコツ

大森 匡 | フジクラテレコム 情報ネットワーク部係長

中川 三紀夫 | フジクラ LAN 技術部課長補佐

[3]

LANの高速化に伴い、光ファイバ配線の需要が高まっています。例えばギガビット・イーサネットを導入する場合は、光ファイバでの配線が前提になります。今回は、光ファイバの配線ノウハウを説明します。
 (☞マークの用語は欄外で解説)

光ファイバはノイズに強く、高速かつ長距離の伝送が可能です。企業内LANのバックボーンなどでは、光ファイバ配線の需要が高まっています。光ファイバを使った配線はUTP (unshielded twisted pair) ケーブルの配線とは違った、光ファイバならではのノウハウがあります。今回は、企業内LANで光ファイバを配線する際の注意点を解説します。

ノイズに強く長距離伝送向け

光ファイバは、光信号を伝送します。その材料により石英系とプラスチック系 (POF : plas-

tic optical fiber) に大別することができます。現状では、LANで使う光ファイバのほとんどが石英系ファイバのため、本稿では石英系ファイバのみを扱います。

光ファイバを使うLANは規格ごとに仕様が決められています (表1)。イーサネットでは、10Mビット/秒 (10BASE-FL)、100Mビット/秒 (100BASE-FX)、1Gビット/秒 (1000BASE-LX/SX) の規格があり、FDDIやATM (非同期転送モード) でも高速伝送に光ファイバを使います。

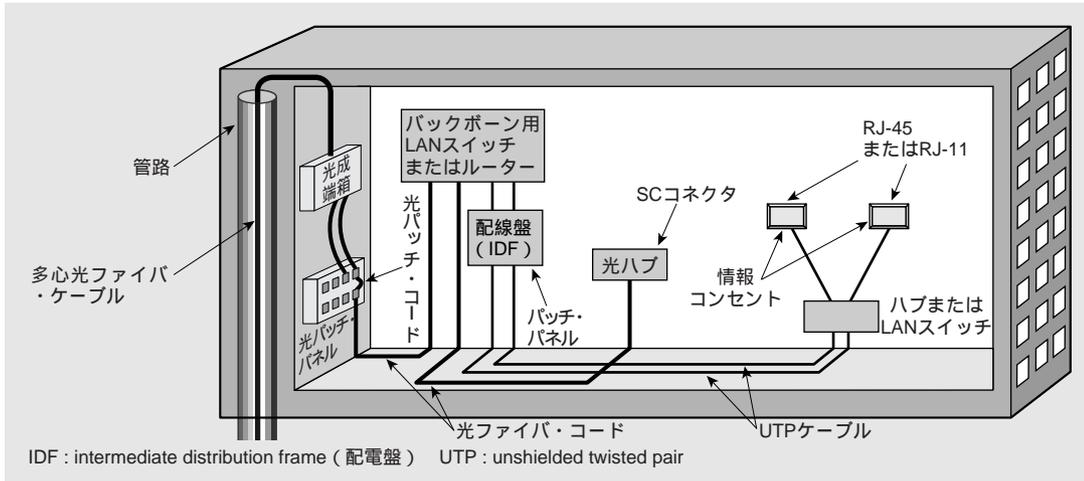
光ファイバの特徴は、低損失、広帯域の伝送が可能なこと。UTPケーブルより長距離かつ高速の伝送が可能です。10BASE-FL、100BASE-FXは、全2重モードで最大2kmの通信が可能です。

さらに、光ファイバは外部から電磁波の影響を受けないのでノイズに強く、工場などにある電力機器の近くに配線する場合には光ファイバが適しています。伝送品質や信頼性の高さから、オフィス・ビルの幹線部の配線にも使われています。

表1 光ファイバを使うネットワークの主なLAN規格

規格名	伝送速度	ケーブルの種類	最大ケーブル長
10BASE-FL	10Mビット/秒	マルチモード・ファイバ	2km
100BASE-FX	100Mビット/秒	マルチモード・ファイバ	2km
1000BASE-LX	1Gビット/秒	シングルモード・ファイバ	5km
		マルチモード・ファイバ	550m
1000BASE-SX	1Gビット/秒	マルチモード・ファイバ	550m
FDDI	100Mビット/秒	シングルモード・ファイバ	40km
		マルチモード・ファイバ	2km
ATM-LAN	25M ~ 2.4Gビット/秒	シングルモード・ファイバ	使うインタフェース種別によって異なる
		マルチモード・ファイバ	

図1 企業ビル内の構成 他フロアからの光ケーブルは、いったん光成端箱へ収容してから光パッチ・パネルを経由してそれぞれの端末やLANスイッチ、光ハブなどに接続する。光パッチ・パネルを使えば、機器の追加や配線のレイアウトが変わった場合に容易に接続できる。光パッチ・パネルと光成端箱が一体になったものもある。



テンション・メンバ

抗張力体。光ファイバ・コード、光ファイバ・ケーブルにかかる張力を吸収する。光ファイバの心線はガラスなので、張力がかかると破損しやすい。

コア

光ファイバ心線の中心にあり、実際に光信号が通る部分。コアの周囲にあるクラッドよりも光の屈折率が高く、コア内の光を全反射させて進ませる

コアの大きさに違う光ファイバの伝送距離

企業ネットワークの光配線システムの主な構成要素は、光ファイバ・ケーブル、光成端箱、光パッチ・パネル、光パッチ・コードです(図1)。

LAN配線で使う光ファイバ・コードは、光ファイバの心線(後述)をテンション・メンバ(抗張力体)で保護し、さらにその周囲を樹脂製の外被で包んだ構造になっています(写真1)。外被の種類によって屋内用と屋外用に分かれます。

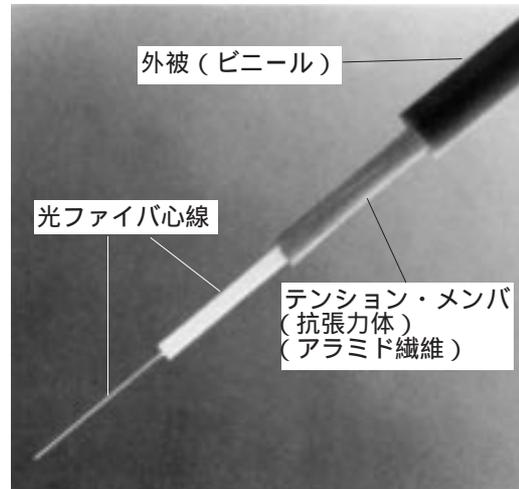
図2(p.196)は光ファイバ心線の構造です。コアとクラッド、被覆で構成されています。光ファイバの一端から入った光は、コアとクラッドの境界で反射して伝わっていきます。

光の伝搬の形態は、コア径の大きさによって違いがあります。コア径が波長に対して小さい場合は、光の伝搬経路(モード)は一つだけ(シングルモード)ですが、コア径が大きくなると複数のモード(マルチモード)が存在します。

マルチモード・ファイバは、コア径が50 μ m

(マイクロ・メートル)と62.5 μ mのファイバが使われています。国内では一般的に50 μ mのファイバが使われていますが、米国では62.5 μ mが普及しています。50 μ mのファイバの方が伝送帯域幅が広いので、新しくファイバを敷設する場合には、将来のことも考えて50 μ mのファイバを使うべきでしょう。

写真1 光ファイバ・コード 光ファイバ・コードは、光ファイバ心線に抗張力体(アラミド繊維)で覆い、さらにその回りをビニールの外被で覆ったもの。張力保護や、コネクタ取り付けのための役割を持つ。



グレーデッド・インデックス型

コア内の屈折率に勾配を持たせた光ファイバ。コアに入射した光が直線で伝搬（ステップ・インデックス型）するのではなく、ゆるやかな曲線で伝搬する。光信号の到着時間が一様化するので、波形のなまりを抑えることができる。

マルチモード・ファイバ用のLAN機器は、光学系の精度がそれほど要求されないため、比較的安価に製造できます。そのため、LAN配線でも多く使われています。マルチモードは光の経路が複数あるため、それぞれの光の伝搬時間に差ができます。その結果、出射信号のパルス幅がなまる（広がる）ので長距離伝送には向きません（図3）。現在LANに使うマルチモード・ファイバは、「グレーデッド・インデックス型」と呼ばれるものがほとんどで、波形のなまりをある程度抑えることができます。

シングルモード・ファイバは光の経路が一つ

なので、長距離を伝送しても光の遅延時間差がなく、ビル間通信などの比較的高速かつ長距離の伝送に向いています。

10BASE-FLと100BASE-FXの伝送距離は、マルチモード・ファイバを使って最大2kmです。シングルモード・ファイバを使うことにより、2km以上の通信を可能にするLAN機器もあります。これは、送信用に大出力のレーザー・ダイオードを用い、受信用に高感度のデバイスを使って、数十kmを中継なしで伝送します。大規模な工場など通信距離が2kmでは足りない場合や、広域ネットワークに利用します。これらの製品は光のインタフェースがイーサネットと異なるため、10BASE-FL、100BASE-FXの機器と接続することはできません。10BASE-T、100BASE-TX経由で既存のイーサネットLANに接続します。

光ファイバの伝送帯域と伝送距離の関係は、伝送周波数と距離の積「MHz・km」で表すことができます。シングルモード・ファイバでは、理論上無限の帯域を伝送できますが、マルチモード・ファイバの伝送帯域は数百MHz・km程度になります。

図2 光ファイバの心線の構造 光ファイバの心線は、コア、クラッド、被覆の三つで構成されている。実際に光が通るのはコアであり、その周囲はクラッドで覆われる。コアとクラッドは、石英ガラスやプラスチックでできており、屈折率の違いを利用してコア内の光を反射・伝搬させる。

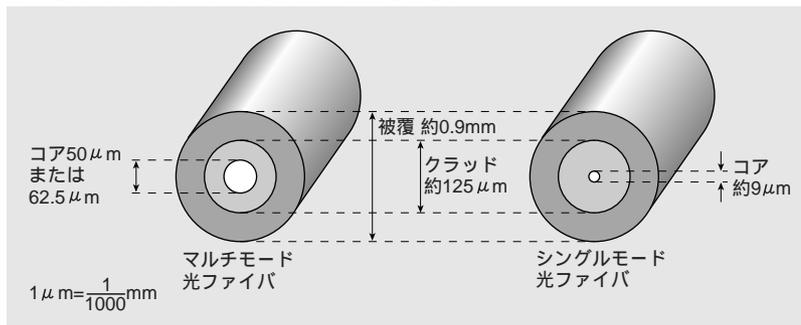
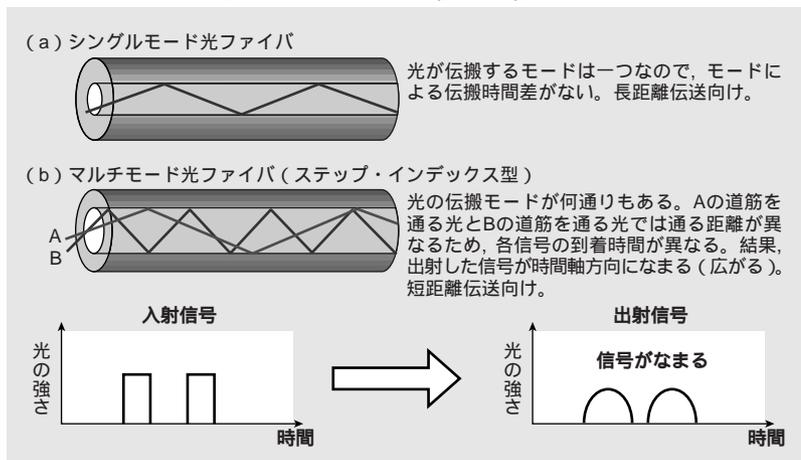


図3 マルチモード光ファイバとシングルモード光ファイバ マルチモード・ファイバとシングルモード・ファイバは、コアの直径が異なるので、光の通る道筋（モード）に違いがある。マルチモードは光が伝搬するモードが複数あるので、経路の違いによって伝搬時間差が生じ、出射パルスがなまる（広がる）。長距離伝送には向かない。



光成端箱と光パッチ・パネルで配線収納

光成端箱は、ビル内幹線からの多心光ケーブルを收容し、それぞれの光ファイバ・コードをフロアへ配線するための箱です（図4）。光ケーブルの末端とコネクタ付き光ファイバ・コード末端の融着接続部を保護し、光ファイバの余りを收容します。光パッチ・パネルのコネクタ同士は、光パッチ・コードで接続します。

光成端箱を選ぶ場合には、バックボーンや各フロアに配線する光ファイバの数や、使うコネクタの種類に注意する必要があります。ケーブル条数（ケーブルの合計本数）、成端心数

(心線の合計数), 光ファイバ・コードの本数, 光アダプタの種類・数(光パッチ・パネルと一体型の場合), 取り付け方法(ラック・マウント型, 壁取り付け型)などの要素を頭に入れて選ぶことが重要です。

光成端箱を設置した場合, 光ケーブルの末端すべてにコネクタを取り付けておいた方が良いでしょう。予備心があれば, 融着工事をしなくても, 機器の追加などに迅速に対応することができます。

UTPケーブルを使った場合の配線同様, LANのレイアウト変更に対応するには, 光パッチ・パネルが有効です。光成端箱から出る光ファイバ・コードを光パッチ・パネルで中継しておけば, 機器の追加や配線のレイアウトが変わった場合に容易に接続できます。光パッチ・パネルは, 光成端箱と一体となったものもあります。

また, 光ファイバ容易に増設する方法として「空気圧送方式」に対応したケーブルをあらかじめ敷設しておく方法があります。

敷設時は, 水分・張力・圧力などに注意

光ケーブル敷設時には, 気を付けなければならない点があります(p.198の図5)。それは, 曲率半径(曲げ), 水分, 圧力などです。光ケーブルはLANの幹線部に使うことが多いので, 障害が起きた場合にはネットワーク全体に与える影響は大きくなります。

光ファイバ敷設時にまず注意しなければならないのは, 光ケーブルの曲率半径です。一般に光ケーブルは, 配線時にはケーブル直径の20倍, 固定時には10倍以上の曲率半径を維持しなければなりません。これは, ケーブル外被に力がかかって劣化し, そこから水分が入るのを防ぐためです。わずかでも光ファイバ内に水分

図4 光成端箱の構成 光成端箱は, ビル内の幹線から来る光ケーブルを収容し, それぞれのフロアへ光ファイバ・コードを配線するための箱。融着接続部を保護し, ファイバの余りを収納する。

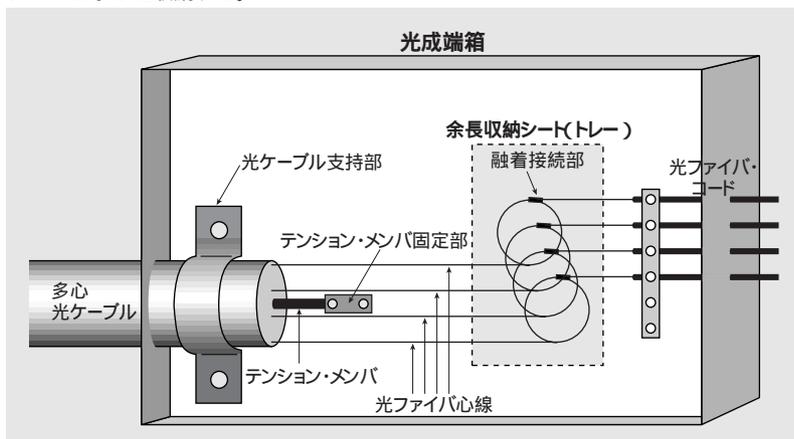


写真2 光成端箱



が入ると伝送損失が急激に増大するため, ケーブル内に水分が入らないように注意しなければいけません。上述の曲率半径を守れば, 曲げによる光ファイバの伝送損失増加や断線のおそれはありません。

光ファイバは, UTPケーブルに比べて破断までの伸びが小さいため, 注意が必要です。とはいえ, 光ケーブルにはケーブルを支えるテンション・メンバが入っているので, 光ファイバ自

MHz・km

光ファイバの伝送帯域と距離の関係を示す単位。伝送周波数と距離の積で表す。伝送距離が長くなると, 伝送できる周波数は低くなる。逆に, 伝送距離が短くなれば, 高い周波数までを伝送することができる。

融着接続

光ファイバ同士を溶接する方法。自動的に位置合わせや接続損失の推定などをする「融着接続器」を使う。光ファイバのコア同士を接続するため高い精度が必要であり、熟練した作業者が接続するのが望ましい。

空気圧送方式

あらかじめプラスチック製のパイプの入ったケーブルを敷設し、圧縮空気によって光ファイバを配線する方法。パイプの一端から圧縮空気を送り込み、空気の流れを利用してパイプ内にファイバ・コードを送り込む。

曲率半径

曲げ具合の大きさ。一つの円を考えた場合の半径でその大きさが決まる。

dB (デシベル)

音や光の減衰量を表す単位。減衰前の電力と減衰後の電力の比に常用対数をとったものの10倍。

体には大きな張力がかからないようになっていきます。敷設時に無理に引っ張るようなことがない限り問題になることはないでしょう。

さらに、光ファイバは外部からの圧力を受けると、その部分で微少な曲げが発生して伝送損失が増加します。UTPなどの銅ケーブルではこのような現象はないので、光ファイバの工事に慣れていない工事業者の場合、ケーブル固定などの工事で、許容値以上の圧力をかけて工事していないかを注意する必要があります。

もし心線を折ってしまった場合には、折った心線の取り扱いに注意してください。光ファイバは細いガラスなので、手などに刺さりやすいからです。一度刺さってしまうと透明なため見つけにくく、抜くのが大変です。

また、光ファイバ自体は絶縁体ですがケーブルの外被やテンション・メンバには金属が使われています。屋外に配線する場合には、雷などにより電圧が誘起され、接続する機器などに被害が及ぶ場合があるので、必ずケーブルを接地してアースを取るべきでしょう。

コネクタ接続に注意し、損失を抑える

光ファイバ配線では、コネクタ接続が重要です。適切な接続やメンテナンスをしないと伝送品質が劣化する原因となります。

コネクタの接続では、主として光ファイバのコアのずれによる損失が発生します。コアのずれはコネクタの加工精度によって決まるので、コネクタには信頼性の高いものを選びなくてはなりません。通常、コネクタ接続1カ所につき、 ≈ 1 dB (デシベル) 程度の伝送損失を見込んでおく必要があります。以前は精度の高い加工をしたい場合、工事現場で光ファイバにコネクタを接続するのは不可能とされてきましたが、最近では工事現場でも精度の高い接続ができる製品があります。

構内配線に使う光ファイバのコネクタにはSC, ST, FC, MICなどがあります(写真3)。LAN機器にはSC, STコネクタが多く使われています。MICはFDDI以外ではあまり使われることはありません。コネクタの種類が多いので、ビル内の配線工事では、光成端箱から光パッチ

図5 光ファイバ敷設時の注意点 フロア内に光ファイバを敷設する場合は、ケーブルの曲率半径、外からの圧力(側圧)、無理な引き延ばし(張力)、融着接続、コネクタ接続、接地などの点で注意が必要である。

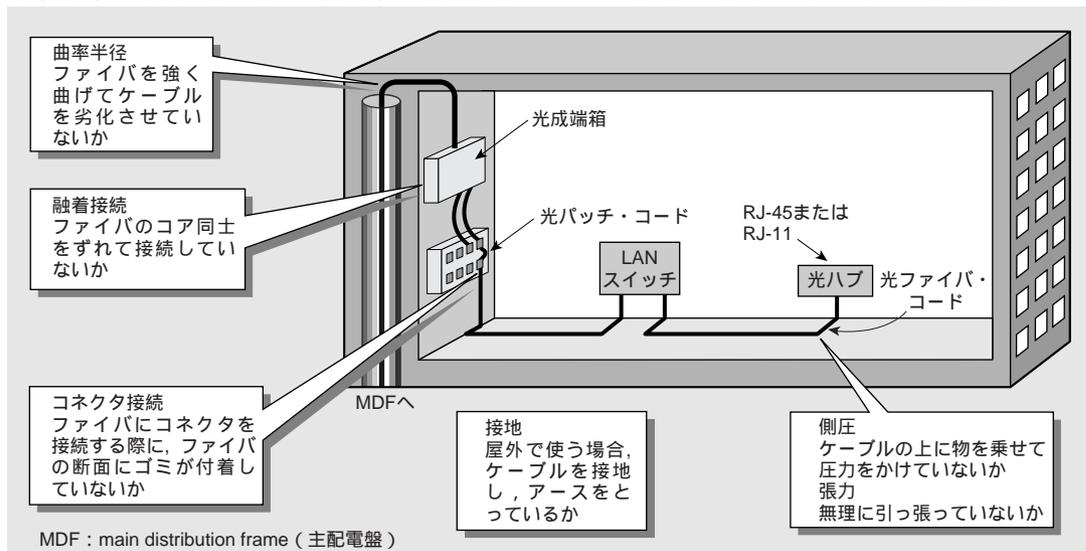
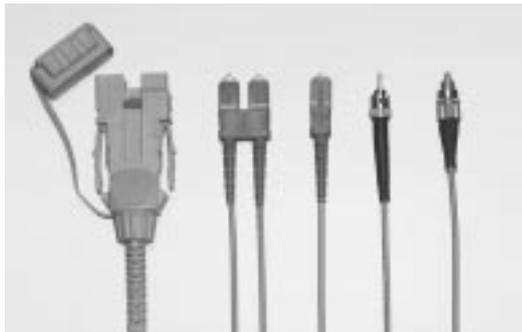


写真3 光コネクタ 左から、MICコネクタ、SCコネクタ (2心)、SCコネクタ (1心)、STコネクタ、FCコネクタ



パネルまでのコネクタの型を統一しておくべきです。増設工事の場合には、既存のものと同じコネクタを使うのが原則です。

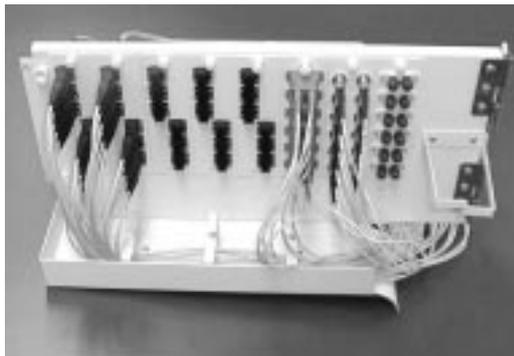
光コネクタの先端には小さな穴があり、ここから光が入り出します。この部分にごみや汚れが付着すると伝送損失が大きくなったり、光が通らないことがあります。このような時は、光コネクタを掃除すれば問題が解決することがあります。掃除には無水アルコールとごみの出ない紙を使うのが原則です。水分を含んだり不純物が混じっている溶剤を使うと逆にコネクタを汚して、伝送損失を増やしてしまいます。また、ティッシュ・ペーパーなどで汚れをふき取ると、コネクタに繊維や微細なごみを付けてしまうことがあります。

配線後に光の伝送状態を確認する

配線後には、光信号が適切に伝送しているかを確認する必要があります。光ファイバ配線後の試験は、UTPケーブルを使った配線の時に比べて検査項目が少なく、比較的簡単に試験することができます。

光ファイバが破断していないことを簡単に調べるには、懐中電灯の光をファイバに通して確認します。赤い光を使うと見やすく、容易に確認できます。ただし、ネットワーク運用中に光

写真4 光パッチ・パネル



を目視することは絶対に避けてください。LAN機器に使われている光デバイスからは高いエネルギー密度の赤外線が出ており、光が目の中に入ると網膜を傷めてしまいます。

光の強度を測定するには、「光パワー・メーター」を使います。ファイバの一方から光を入力し、他方で光の強度を測定して、損失が仕様値以下であることを確認します。ケーブルごとに波長を変えて測定します。

施工業者はケーブルの仕様とユーザーが使う接続機器を確認して、光源の波長、コネクタを使用して測定します。ケーブルがダブル・ウインドウであるのに、使用する機器の波長しか測定しなかったということがないように、施工前に測定内容を確認した方がよいでしょう。

光配線に何らかの問題がある場合には、「光TDR (OTDR : optical time-domain reflectometry)」を使って調査をします。光TDRは、光ファイバにパルス状の光を入射し、反射したエネルギーを検出することにより、線路全体の減衰やコネクタ部分、融着箇所、配線全体の長さなどを確認できます。

光TDRは高価で、パワー・メーターに比べて取り扱いに高い技術が必要です。パワー・メーターでの検証でエラーがあった場合のトラブル・シューティングで使います。 **C**

ダブル・ウインドウ

長波長と短波長の両方の波長に対応している光ファイバ。