



光ファイバによる高速データ通信の 基礎と実際

光データ通信のハードウェア入門

勝山 正男

Masao Katsuyama

● はじめに

光ファイバが各家庭で利用できるFTTH(Fiber To The Home)時代になりつつある今日このごろです。光ファイバはインターネットなどの高速アクセス・データ回線として利用できるだけでなく、各家庭への映像配信などさまざまな応用が可能です。

また光ファイバは、電気を通さない、電磁誘導を受けない、低損失で広帯域であるなどといわれていますが、従来の電話線やCATVなどの同軸ケーブルとはどう違うのでしょうか？

本稿では、光ファイバを中心に光データ通信技術がどう発展しつつあるのかを概説します。

光通信の概要

■ 光ファイバ誕生前史

光を使った情報伝達は古代からありました。映画やテレビなどを見る、焚き火や鏡の反射による連絡方法なども光を使った通信といえなくはないでしょう。

しかし、現在の情報通信のバックボーンを支えている光ファイバによる通信はいつごろから始まったのでしょうか。「光ファイバを使った通信」という概念自体は相当に古く、有名なヒューゴ・ガーンズバックのSF小説中に描かれているといわれていますし、日本でも昭和初期に光ファイバの特許が出願されています。

しかし、その当時は通信用の透明度の良いガラスを製造する技術が発達していませんでした。また、発光・受光素子などの周辺技術も未熟だったので、光通信は夢物語に過ぎなかったのです。

光ファイバ通信方式が飛躍的に発展するのは、米国のコーニング社が伝送損失20 dB/kmの光ファイバを発表した1970年以降で、それはまた半導体レーザ開発の歴史ともいえます。

■ 光ファイバの開発と利用波長の変遷

最近の商用システムに使われている光ファイバは極めて低損失で、かつファイバ1本当たり1 Tbps(毎秒

1テラ・ビットすなわち毎秒1000ギガ・ビット)を超える膨大な伝送容量をもっていますが、最初からそういうものが開発されたわけではありません。

● 0.85 μm 帯の時代

最初の光ファイバは、マルチモード・ファイバ(MMF)の一種で、光を通すコアという部分の屈折率が一定な、ステップ・インデックス型(SI型)と呼ばれる光ファイバでした。屈折率が2乗分布しているグレーデッド・インデックス型(GI型)と呼ばれるマルチモード光ファイバも使われるようになりました。

その当時の光源の波長は0.85 μm 付近でした。その名残で、現在でもこの付近の波長の光源を使うシステムがあります。

● シングルモード・ファイバと1.3 μm 帯の時代

次いで実用化されたのが1.3 μm 付近の波長を使うシステムです。伝送損失で比較すると、0.85 μm 帯の損失が約2.5 dB/kmであるのに比べ、1.3 μm の伝送損失は約0.5 dB/kmと少なく、格段に優れています。伝送帯域はGI型ファイバのほうがSI型ファイバより広く取れます。

1.3 μm 帯を使う欠点は発光素子が比較的高価だったことでした。2番目に実用化された波長帯ということで、1.3 μm 帯を「セカンド・ウィンドウ」と呼ぶことがあります。同様に、後述の1.55 μm 帯を3番目に開発された波長の意味で「サード・ウィンドウ」と呼ぶ場合もあります。

GI型ファイバはマルチモード・ファイバなので、単一モード・ファイバ(SMF)と比較すると、どうしても伝送帯域に限界があります。

1.3 μm 帯用のSMFは、1.31 μm において波長分散がゼロになるという特徴をもっています。光ファイバを使って高速伝送をしようとしても、光ファイバがもつ「分散」という現象により、伝送速度は制限を受けてしまいます。したがって波長分散が1.31 μm でゼロになる光ファイバは非常に魅力的であり、事実、世界で一番多く使用されている光ファイバといえると思います。

● 光ファイバの伝送損失が一番小さい1.55 μm 帯

図1のロス・スペクトル特性を見ていただくとわかるように、光ファイバの伝送損失が一番小さくなるのが実は1.55 μm 帯なのです。以前は1.38 μm のOHイオン（不純物としての水分）による吸収損失の影響を受けて1.55 μm 帯の伝送損失も高かったのですが、この吸収損失を十分に下げることにより1.55 μm 帯が使用可能になりました。最近では、OHイオンによる吸収をほぼゼロにした、極めて広い波長域で使用できる光ファイバも実用化されています。

通常のSMFですと、伝送損失は1.55 μm で最小、波長分散は1.31 μm でゼロということになってしまいます。これを改善したのがゼロ分散波長を1.55 μm にずらした分散シフト・ファイバ(DSF)です。1.55 μm 帯の半導体LD(レーザ・ダイオード)も開発されましたし、高速の変調器も開発されました。これにより1 Gbpsの信号を100 km程度の距離まで伝送することが可能になったのです。

● WDM技術とFOA装置の出現

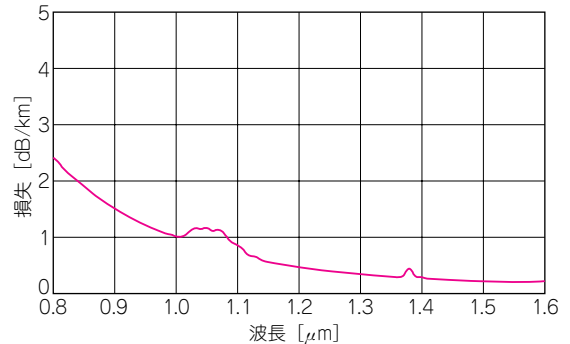
これで開発は一段落し、システムの棲み分けもできて万事めでたしで終わるはずでした。しかし、とんでもない技術が開発されて、通信業界を嵐の渦に巻き込むバブルが発生しました。

バブルの原因は米国通信業界の規制緩和によるもの、というのが一般的な見方なのですが、波長多重技術(WDM)と光ファイバ増幅装置(FOA)の出現が業界の技術開発競争に拍車を掛けたのではないかと思います。

光ファイバの基礎知識

これまでの説明で、かなりの専門用語を使ってみました。最近の通信分野における技術開発ラッシュ

〈図1〉 光ファイバのロス・スペクトル特性(シングルモード・ファイバ)



は疾風怒濤の如く様々な新技術が生まれています。それらについて説明する前に光ファイバ通信に関連する各種の用語や概念について解説しておきましょう。

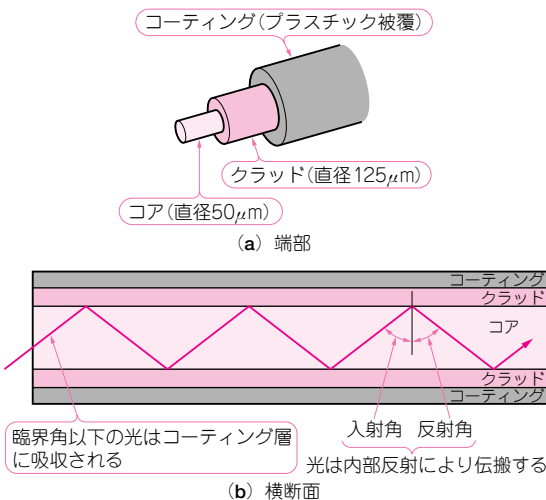
■ 光の性質

光は極めて波長の短い電磁波であることは説明不要でしょう。可視光線と呼ばれているのは、波長が0.38 μm ~ 0.78 μm の光です。通信用途で使われているのは、それより波長が長い赤外線領域の一部の波長です。光ファイバ中を伝送できる波長領域は極めて広いのですが、光源、特に半導体LDとうまくマッチしたのが前述の三つのウィンドウなのです。

1.55 μm 帯の場合には、光ファイバ増幅装置(特にEDFA)の増幅可能波長が偶然にも一致したのがラッキーでした。光の速度はおよそ30万 km/sec(約 $2.998 \times 10^8 \text{ m/sec}$)といわれています。

これは真空中の速度であり、水の中やガラスの中では媒質の屈折率に応じて遅くなります。水中では光の速度より早い粒子が存在します。真空の光の速度より

〈図2〉⁽¹⁾ ステップ・インデックス(SI)型ファイバの構造図



〈図3〉⁽¹⁾ 各種ファイバの光伝播の違い

