



無線高周波信号を効率よく要所へ
集配できる Radio on Fiber を身近にする！

RoFデバイスの基礎と使用の実際

今庄 義弘
Yoshihiro Imajo

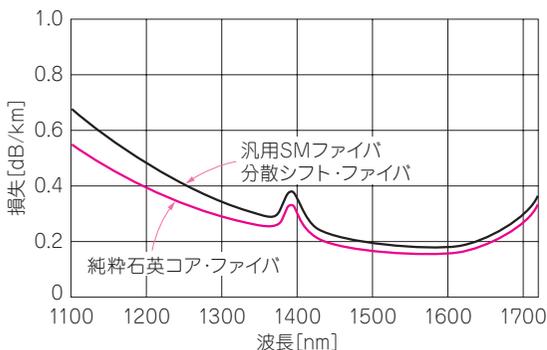
この記事では、RoF技術と呼ばれる光ファイバを使って、高周波信号を効率よく要所に集配する技術の基礎について解説します。また、RoF技術が使われている応用事例について紹介します。

1 RoF技術とは

RoFは“Radio on Fiber”または“Radio over Fiber”の頭文字を取ったもので「ロフ」と発音します。電波(高周波)と光を融合して取り扱おうとするマイクロ波フォトニクスという分野に属します。

Radio on(over)Fiberは、Radio = 無線高周波信号をFiber = 光ファイバに乗せて長距離伝送できる、または、低損失・広帯域な光ファイバの特徴を生かして直接電波が届かない場所へ電波を届ける技術です。

RoFは、光に情報を乗せる変調という見方からするとアナログ光変調であり、インターネット接続など一般的な光通信で使われるデジタル光変調とは異なるものです。A-D/D-A変換技術の進歩でデジタル化全盛の現在に、何ゆえアナログなのかという疑問が起きるかもしれませんが、電波 = 無線高周波信号 = RF信号の伝送という目で見ると非常に優れた方式であることや、アナログだけれど、ちゃんとデジタル信号を送ることができることをこれから説明していきたいとします。



〈図1〉 SMファイバの波長損失特性の例 [資料提供：住友電気工業㈱]

1.1 光ファイバの特徴

先にRoF技術の定義として「RF信号を光ファイバで遠くに送ること」と説明しました。普通、RF信号は同軸ケーブルで送りますが、経済的に伝送できる周波数帯域は数十GHzまでで、伝送損失は周波数とともに大きくなります。伝送損失を減らそうとするとケーブルが太くなり、重くなったり取り回しが難しくなったりします。

一例ですが、私たちの身近な携帯電話の基地局のアンテナと無線機をつなぐ同軸ケーブルは、直径が20～30mmぐらいのものが多く使われています。これが標準的な基地局では3本から9本も使われます。

これに対して石英光ファイバは、広帯域で低損失、細く、軽いという特徴があります。

● 広帯域

RoFでよく使われる石英シングル・モード・ファイバの場合、一番良い条件では、伝送帯域幅はTHzという単位にまで及んでいます。これは直流から数THzの周波数の信号を伝送できるということです。

現在実用的に使える周波数を考えると、事実上無制限の伝送帯域を持っていると考えることができます。

● 低損失

次に低損失という特徴です。石英シングル・モード・ファイバの伝送損失は、1kmあたり0.15～0.5dBです。数字に幅があるのは、図1に示すように光ファイバの中を伝わる光の波長(周波数の逆数)によって損失の値が変わるからです。光通信で使われる代表的な波長は1310nm帯と1550nm帯です。

これに対して、携帯電話基地局の無線機とアンテナをつなぐ同軸ケーブルでは1GHzでの伝送損失が1kmあたり40dB(20Dと呼ばれるケーブルの例)などという光ファイバと比べると非常に大きな値が代表的です。

● 細い

そして細さです。よく通信用光ファイバは髪の毛ほどの細さと例えられますが、石英SMファイバの芯線の直径は125 μ mしかありません。重さは、直径250

μm のUV被覆素線で約0.07 kg/km、外径2 mm程度の被覆コードで4 kg/kmぐらいと軽量です。長さ1 km当たりの重量ですから、非常に軽いということがわかります。これに使用場所や環境に応じたさまざまな補強被覆を行い、ケーブルとして使います。

1.2 RF信号との親和性

図2にRoFを使った無線基地局の構成の一例を示します。E-Oは電気-光変換器(Electrical-Optical Converter)、O-Eは逆に光-電気変換器を意味します。基地局の無線機(無線変復調装置)の高周波コネクタに直接接続され、必要に応じて内部でRF信号の増幅などレベル調整を行ってE-Oに入ります。E-Oで、光にRF信号を乗せるアナログ光変調が行われ、光ファイバで伝送されます。伝送された光信号は、O-Eによって電気信号に戻されますが、このときO-Eから出てくる電気信号は、もとのRF信号そのものであることが重要です。もちろん、一般にはレベルの減少や雑音、ひずみの劣化などがあります。これを必要に応じてアンプなどで増幅や減衰を行い、レベル調整をしてアンテナにつなぐと、同軸ケーブルでは届かない遠くにアンテナを置くことができます。後で、具体的に紹介しますが、放送のように一方方向の伝送でよいものは図の上側だけで構成されます。

携帯電話のように基地局との間で、双方向の電波のやりとりを行うシステムでは、図2の下側のRoF回路を使って、携帯機から基地局への無線信号を伝送します。RoF装置としての切り口は、全体の構成上、ケース・バイ・ケースです。一番簡単な構成では、E-O部、O-E部のみとなりますが、どのような場合でも、外部とのインターフェースは高周波同軸コネクタであって、RF信号を出し入れすることが特徴です。

これは、RoF装置につながる無線機器からみれば、信号の接続に関しては普通の高周波機器と同じこととなります。これを指して「RoFは無線高周波信号との親和性が良い」などといいます。

1.3 光にRF信号を乗せる

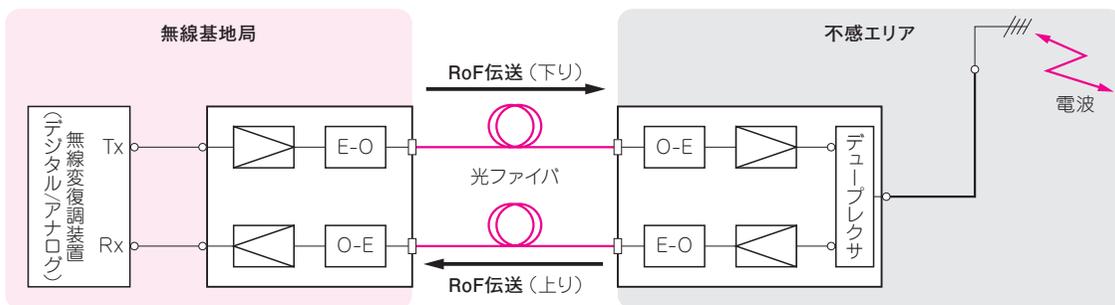
光で情報を伝送するためには、

- 光を発生する光源
- 光を伝える伝送路
- 伝送路で送られた光を検出する受光器

が必要です。これはデジタル光通信でもアナログ光通信でも同じで「光通信の3要素」といいます。光を伝える伝送路が、前項で説明した光ファイバということになります。

● 光源は半導体レーザ・ダイオード(LD)

RoFでは、おもに光源に半導体レーザ・ダイオード



〈図2〉 RoFによる無線基地局の構成例



(a) 全体の外観



(b) LD(レーザ・ダイオード)のクローズアップ

〈写真1〉 光通信LDモジュールFU-650SDF [三菱電機株]