

中沢 正隆

徳田 正満

M. Nakazawa

M. Tokuda

日本電信電話公社

茨城電気通信研究所

Ibaraki Electrical Communication Laboratory, N.T.T.

1. まえがき

光ファイバを伝送路とする光通信の広範囲な実用化につれ、光ファイバケーブルの障害点探索及び損失特性の測定が重要な課題となってきた。光ファイバの障害点探索は、一般に光パルスを入射し、その後方散乱波形の時間変化を解析するOTDR法(Optical Time Domain Reflectometry)によって行なわれる¹⁾。この方法は、いわば、一次元のレーザレーダであり、ファイバの長手方向の特性を非破壊で評価できる特徴がある。また、障害点の探索ばかりでなく、光損失および接続損失の測定に有用である。

今までに、多モード光ファイバ用OTDRについてはほぼ研究実用化が終了し、現在、単一モード光ファイバ用OTDRについで盛んに研究されている。単一モードファイバのOTDRの難しい点としては、散乱信号のパワーレベルが多モードファイバに比べて10~15dB程低下することがある。

今回、後方散乱法のダイナミックレンジを拡大するために、従来用いられてきたビームスプリッタ及び偏・検光子の代りに超音波光偏向器を用いた方式を提案する。また、その測定結果について報告する。

2. 単一モードファイバのOTDR実験

実験ブロック図を図1に示す。Nd³⁺:YAGレーザ(波長1.32 μ m)からの直線偏光Qスイッチ光パルスは、光減衰器及びTeO₂超音波光偏向器を経て単一モードファイバに入射する。光ファイバからの後方散乱光は、偏向器により偏向されてGe-APDに入る。Qスイッチドライバに加えられた電気信号は、同時にパルスコントローラに導かれる。ここでは、入力電気パルスに対して任意の時間遅延でかつ任意のパルス幅のパルスを出力できる。この出力を偏向器のドライバに

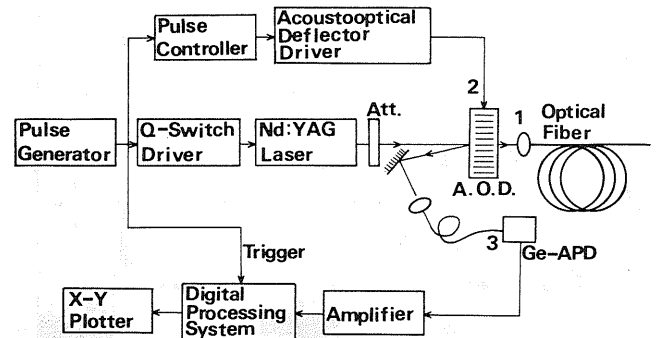


図1 実験ブロック図

印加しパルス幅に応じて偏向器を動作させる。その様子を図2に示す。この場合、超音波偏向器がONのとき後方散乱光を検出するように構成した。この系では、光ファイバ入射端でのフレネル反射光が光偏向器を再び通過した直後に偏向器を動作させることにより、フレネル反射を殆んど取り除くことができる。超音波光偏向器をOTDRの方向性結合器として用いる利点として、(1)光のマスク機能により、長尺光ファイバの遠端付近の微弱な散乱光を充分増幅できる。(2)ランダム偏光の光の場合、方解石型の方向性結合器に比べて挿入損失が3dB以上少ない。(3)TeO₂偏向器の場合、偏光依存性が比較的少ないため単一モードファイバの障害点探索や損失測定が正確にできる。Ge-APDの出力は増幅された後

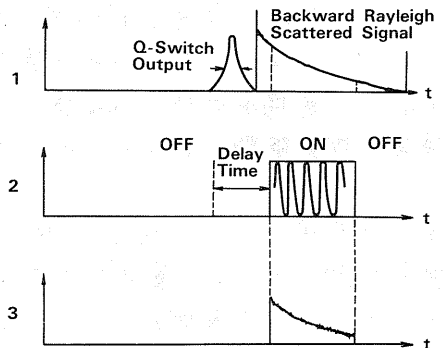


図2 OTDRのTime chart

平均化処理を施され対数変換される。変換後の信号の傾きから光ファイバの損失、不連続箇所から障害点、接続点の評価ができる。

測定結果を図3に示す。図3(a)は対数変換を行う前の後方散乱信号であり、図中の鋭いスパイク状パルスは、40km地点でのフレネル反射を示す。超音波偏向器は光パルスがファイバに入射後約240μs遅れて動作させ、光ファイバ長にして24km以後の信号を観測している。図の傾きから得られる被測定ファイバの光損失は0.64dB/kmであり、障害点探索距離は43kmである。

探索距離をさらに拡大する方法として、ノーマルモード(Q-sw OFF)発振の第1パルスを用いる方法を提案する。この方法により、Q-sw ON時の光パルス幅200nsに対して約700nsの光パルスを取り出すことができた。また、光パルスの出力安定度は±10%以内であった。このパルスを用いたOTDR結果を図4に示す。図より、光損失の値はQ-sw法と一致しており、障害点探索距離は約48kmに達している。

半導体レーザを用いるOTDRは、YAGレーザ形に比べて探索距離は劣るが、装置の小形可搬性では優れている。この半導体レーザOTDRにも同時に超音波光偏向器が適用でき、現在、その実用化を進めている。

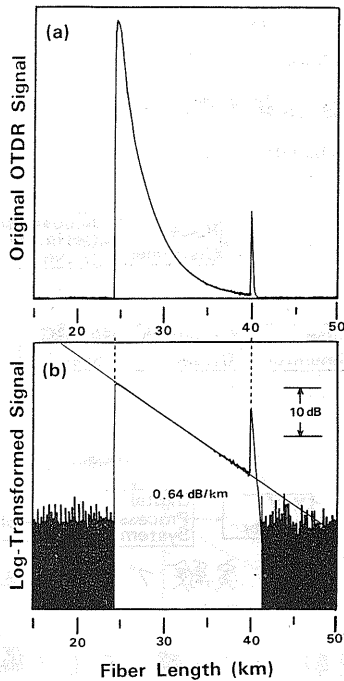


図3 Q-sw法 OTDR信号

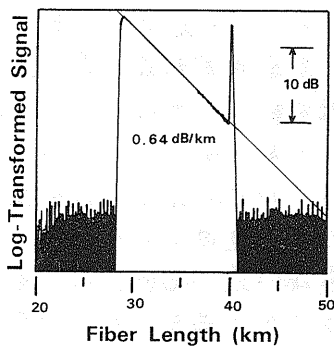


図4 ノーマルモード法 OTDR信号

3. OTDRの受信S/N比と探索限界

光ファイバ中に入射した光パルスからの散乱信号が再び入射点に戻ってAPDで受信されたときのS/N比は、信号電力に対する雑音電力(ショット雑音と熱雑音との和)の比によって与えられる。S/N余裕が0dB即ちNEP(Noise Equivalent Power)を前提とし、雑音指数5dB、負荷抵抗5kΩ、帯域1MHz、平均回数1000回、量子効率70%、波長1.32μmとしたときの単一モード光ファイバからの受信S/N比を図5に示す。

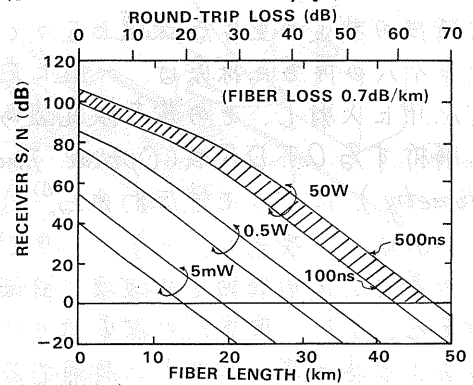


図5 後方散乱信号のS/N比

尚、通常のGe-APDでは、 I_{a} は0.0μA~0.1μAの範囲に入るので最適増倍率Mは10付近に存在する。そのためM=10とした。パラメータは、入力パワーと光パルス幅をとった。図によると、我々の実験条件(入力パワー30~50W)では、S/N比が0dBとなるファイバ長は、45km前後にあることがわかり、実験結果とよく一致する。通常の単一モードファイバの1.32μm付近での損失は、0.45~0.5dB/kmであるから破断点探索距離は60~70kmに達することがわかる。

4. まとめ

超音波光偏向器を方向性結合器として用いるOTDR方式を提案し、1.32μm YAGレーザを光源として単一モード光ファイバの障害点探索を行った。その結果、0.64dB/kmの光ファイバにおいて約48kmの障害点探索が可能であることを示した。本研究を進めるに当たり有益な助言を頂いた内田光線路研究室長に感謝致します。また、日頃御指導頂く、福富部長、小島統裕役にお礼申し上げます。

参考文献

(1) M.K. Barnowski and S.M. Jensen, Appl. Opt., 15 P.2112(1976)