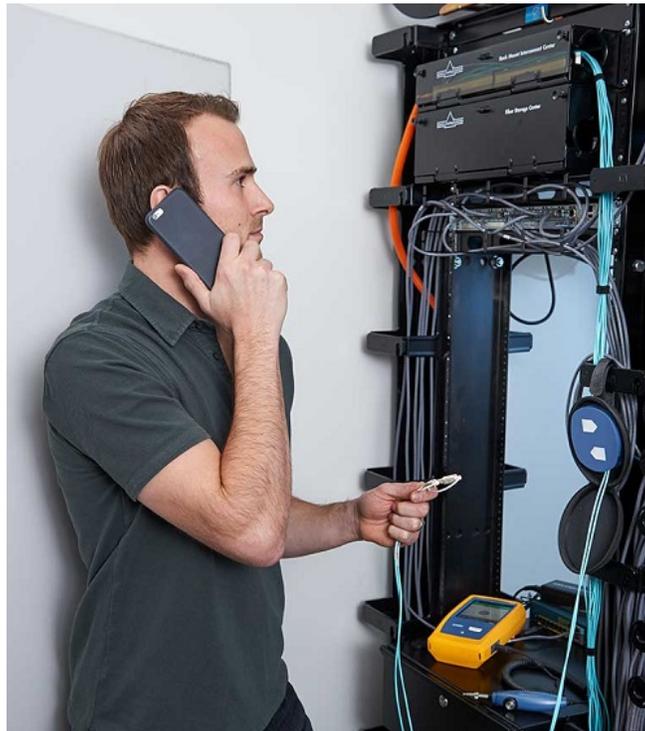


光ファイバーのトラブルシューティング



目次

考えられる原因

ビジュアル・フォルト・ロケーター

光源およびパワー・メーター (LSPM)、光損失測定試験セット (OLTS)

オプティカル・フォルト・ファインダー

光パルス試験器 (OTDR) による高度なトラブルシューティング

ランチ・ケーブル、受信ケーブル、補正

OTDR の結果を理解する

高度な OTDR 設定 - パルス幅

波長

しきい値および平均化

高度なトレース解析

非反射イベント

リアル・タイム・トレース

光ファイバー・ジャンパーのトラブルシューティング

考えられる原因

光ファイバー・リンク内の問題はさまざまな原因で発生します。コネクタの不完全な装着はよく見られる問題ですが、配線の密集したパッチ・パネルでは検出が困難なことがあります。または IEC PAS 61755-3 規格で定義されているパラメータに適合しない不適切な端面形状（研磨の角度、光ファイバーの高さ、曲げ、または頂点のずれなど）といった、コネクタ自体の品質が原因である可能性もあります。

より一般的な原因は、不適切なフィールド成端処理によるエア・ギャップ、高挿入損失、コネクタ端面の傷、欠陥、汚れです。実際、光ファイバー障害の主な原因は汚れです。埃、指紋、その他の油性物質は大きな損失につながるだけでなく、コネクタ端面が永久に損傷することもあります。

問題は、不完全な融着接続、ずれ、または誤った極性によっても発生する可能性があります。ケーブル管理を怠るとコネクタに負担がかかって、ずれの原因となったり、コネクタが正しく装着/嵌合されないこともあります。コネクタまたはアダプタのラッチ部分が摩耗あるいは損傷していることが、原因の場合もあります。リンク自体の内部で光ファイバーのマイクロベンドまたはマクロベンドが発生している可能性や、光ファイバーの一部が破損している可能性もあります。

ケーブル配線システムの全体的な設計が、光ファイバー・リンクの挿入損失や性能問題の原因であることもあります。高品質のコネクタを使用し、汚れもなく適切に成端されていても、チャンネル内のコネクタ数が多すぎると、アプリケーションの損失値が仕様を超える場合があります。マルチモード・ファイバーの距離制限を超えた場合も同様で、モード分散が大きくなります。

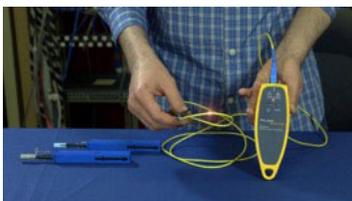
ビジュアル・フォルト・ロケータ

最もシンプルなトラブルシューティング・ツールは、ビジュアル・フォルト・ロケータ (VFL) です。ほぼすべての光ファイバー技術者に使用されているこの安価なツールは、システム内の稼働電子機器で使用される目に見えない赤外線ではなく、人間が簡単に目視できる明るいレーザー光（通常は赤色）を使用します。VFL はリンクの端から端までの導通と極性をテストし、ケーブル、コネクタ、スプライスの破損を検出するのに理想的なツールです。またラック内で成端されたファイバーのもう一端を検出するのにも優れたトレース・ツールです。現場で成端されたコネクタには VFL ウィンドウを備えているものもあり、成端してすぐに VFL をコネクタに接続して、適切に成端されていることを確認できます。VFL から光が漏れ、コネクタの VFL ウィンドウに光が見えた場合は、コネクタ内の 2 つファイバーの端面が正しく嵌合されていません。

フルーク・ネットワークスの VisiFault™ VFL などの VFL では、連続モードと点滅モードを使用できるため、問題を簡単に特定できます。VFL は、シンプルな交換アダプタでさまざまなコネクタ・タイプに対応するため、SC、ST、FC、FJ などの 2.5 mm コネクタや、LC や MU コネクタなどの 1.25 mm コネクタをすべてテストできます。長いバッテリー寿命や、信頼性を維持するための頑丈な全体的構造も重要な考慮事項です。

また VFL を使用して、破損箇所を特定したり、ファイバーのねじれや不完全なスプライスによって引き起こされるマクロベンド損失を検出したりすることができます。VFL の赤い可視光線は非常に明るいため、暗い環境でもファイバー・ジャケッを通して破損やマクロベンドの位置を特定できます。このため VFL を使って、スプライス・エンクロージャ内の不完全なスプライスを特定することもできます。

VFL は他製品と比較して初歩的なトラブルシューティング・ツールと考えられていますが、OTDR と合わせて使用すると効率的にトラブルシューティングを行います。VFL を使うことで、OTDR によって正しく特定することのできない障害（非常に近い場所で同時に発生した複数の障害や、OTDR の「デッドゾーン」内で発生した障害など）を検出できます。特に、リンクの終端近くにあるスプライスオン・ピグテールを使用している場合、不完全なスプライスの特定に役立ちます。



光源およびパワー・メーター (LSPM)、光損失測定試験セット (OLTS)

主に Tier 1 の認証テストや受入テストに使用され、最も正確に損失を測定できるツールです。また、光源・パワー・メーター (LSPM) と光損失測定試験セット (OLTS) は、トラブルシューティングにも使用されます。リンクの損失を技術要件と比較することで、問題の原因が光ファイバー・リンクであるかどうかを判断できます。また、スイッチなどの機器の出力だけでなく、導通や極性を確認するためにも使用できます。

LSPM または OLTS を使用すると、損失がケーブルの 1 本のファイバーで発生しているのか、またはケーブルのすべてのファイバーで発生しているのかを確認できます。ケーブルのすべてのファイバーで損失がある場合、ケーブルが破損しているかねじれている可能性があります。1 本のファイバーで損失がある場合は、不完全なスプライスやコネクタに関連した問題である可能性が高くなります。LSPM または OLTS を使っても、リンク内の特定の損失イベントを特

定検出することはできませんこのため、フォルト・ファインダーと OTDR を使用する必要があります。

オプティカル・フォルト・ファインダー

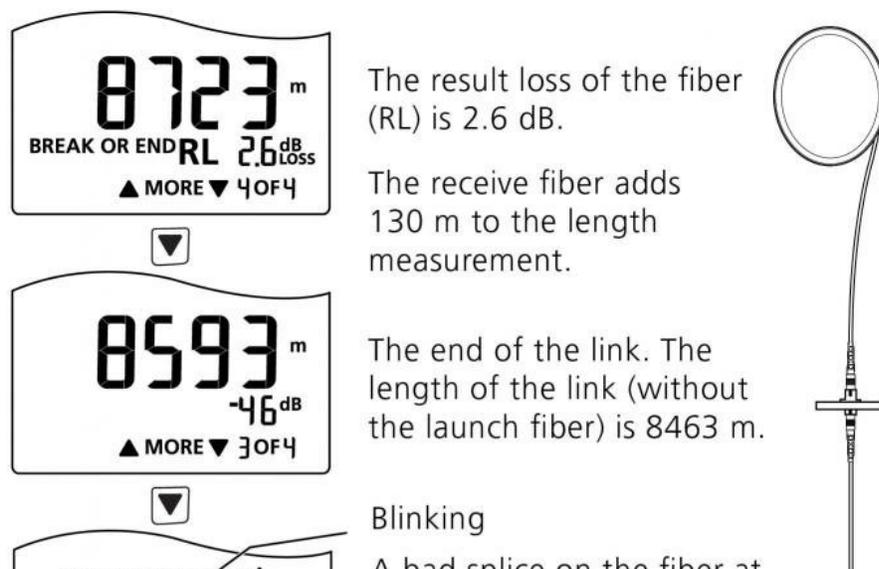
VFL は、露出したファイバーの接続不良や破損を光で示しますが、ケーブル配線が長い場合、見えない場所やアクセスできない場所にケーブルがある場合、またはジャケットがレーザー光を通さない場合はあまり役に立ちません。光パルス試験器 (OTDR) は、ケーブル長全体のグラフィック・データや分析を提供しますが、高価であり、操作に時間とスキルを要します。トラブルシューティングを行う際、オプティカル・フォルト・ファインダーを使うと、VFL と OTDR の欠点を補うことができます。



Optical fault finders such as Fluke Networks' Fiber QuickMap quickly and efficiently measure length and identify high loss events and breaks on multimode up to 1,500 meters (4,921 feet). Very simple to use, this single-ended optical fault finder uses technology similar to an OTDR, sending a laser light pulse through the fiber and measuring the power and timing of light reflected from high loss connections and splices, and from the end of the fiber. 光ファイバー・リンクの損失の大きいスプライスや接続、破損だけでなく、リンクの全長を測定するのにも理想的です。The QuickMap also detects live optical signals before testing.

このツールを使用すると、光ファイバーの長さを素早く測定できるので非常に便利です。たとえば、3 キロメートルの光ファイバーをテストしているときに、ツールが長さを 1.2 km と報告した場合、光ファイバーが破損していることがわかります。また、両側がピンなしの MPO 接続を見つけるのにも非常に便利です。この問題は一般的によく見られ、接続不良を引き起こします。ポート内のピンの有無を安全に確認することが難しいパッチ・パネルでは、この問題の発見は特に困難です。

これらの機器は操作が簡単です。接続部をクリーニングした後、テスターにランチ・ファイバーを取り付けます。ランチ・ファイバーとテール・ファイバーを使用することで、テスターでリンクの近端または終端のインシデントを発見できます。次にテスト (TEST) を押すと数秒後に、光ファイバー・リンクで検出されたインシデントの数が機器に表示されます。インシデントにはコネクタ、スプライス、およびリンクの終端が含まれます。インシデントは、損失または反射率のプログラム可能なリミット値を超えたイベントとして定義されます。各インシデントをスクロールして、個々のインシデントの距離や損失量を表示できます。図 3 の例を参照してください。



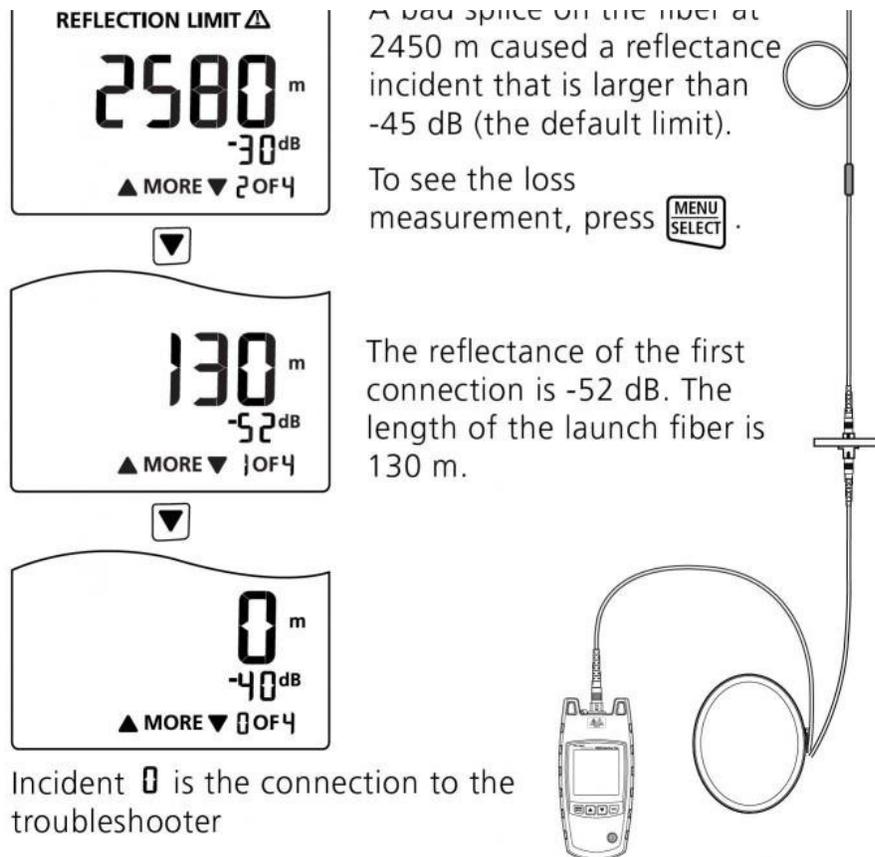


図 3. オプティカル・フォルト・ファインダーは、光ファイバー・リンクで発生した反射インシデントまでの距離を特定します。

光パルス試験器 (OTDR) による高度なトラブルシューティング

VFL またはオプティカル・フォルト・ファインダーを使うと問題を特定することができますが、より詳細な情報が必要な場合があります。光パルス試験器 (OTDR) は、検出した反射光または後方散乱光の量に基づき信号損失を計算します。OTDR はこの技術を使って、光ファイバーの破損、曲げ、スプライス、コネクタ、およびこれらの特定のイベントの損失を測定します。このような詳細な情報を得ることで、光ファイバーの敷設や全体的な施工の質について把握できます。OTDR は、VFL、LSPM/OLTS、オプティカル・フォルト・ファインダーよりも高価で、操作に専門知識を必要としますが、個々のイベントの場所、損失、特性を測定できることから、究極のトラブルシューティング・ツールとされています。

OTDR は電気式時間領域反射測定器の光学式バージョンです。テスト対象の光ファイバーに一連の光パルスを入射し、散乱した光 (レイリー散乱) や、反射し入射側に戻ってくる光を同じ終端から抽出します。戻ってきた散乱光または反射光によって、光ファイバーの特性を判断できます。これは電気式時間領域反射率測定器が、テスト対象ケーブル内のインピーダンスの変化によって発生する反射を測定する方法と同じです。戻ってくるパルスの強度を測定し、時間の関数として積分して、光ファイバー長の関数としてプロットします。

レイリー後方散乱信号の強度低下に基づく損失を推測するには、散乱線またはトレースを使います。OTDR は、レイリー後方散乱を計測するために設計されました。レイリー散乱は、すべての光ファイバー・ケーブルに発生します。光ファイバー・ケーブルのコア部のガラスは、すべての光エネルギーを吸収しません。吸収されなかった光はあらゆる方向に散乱します。光ファイバーに入射された一部の光は反射して OTDR に戻ります。これが後方散乱光です (散乱光とも呼ばれます)。

光ファイバー・ケーブル内を伝わる光が密度の異なる粒子 (空気など) にぶつかると、光の最大 8% が反射して光源側に戻ります。この現象はフレネル反射と呼ばれ、接続部分を示します。コネクタ前後のトレース・ラインを比較することで、コネクタ部の損失および反射率を推測できます。

ランチ・ケーブル、受信ケーブル、補正

散乱して OTDR に戻り測定される光は、テスト・パルスの光のごく一部です。このため、OTDR の受信回路は高感度でなければなりません。OTDR のコネクタは非常に大きな反射を生成するため、OTDR 受信機は飽和状態になります。私たちの目は閃光を見た後、元の状態に回復するまで時間がかかります。同じように、センサーもこの大きな反射の影響から回復するには時間がかかります。時間は距離と同等であるため、OTDR と最初のコネクタ間にランチ・ケーブルを追加することでセンサーに回復する時間を与え、リンク内の最初のコネクタからの反射を検知することができます。光ファイバー長のテストに必要な最大パルス幅をサポートするには、十分な長さのランチ・ファイバーを使用する必要があります。十分な長さ（通常 100 m 以上）のランチ・ファイバーを使用することで、最初のイベントの前後に散乱光が発生するため、最初の接続を測定できます。

光パルスがリンクの最後の接続に達すると光がガラスから空気に移動するため、大きな反射が発生します。この接続の先には光ファイバーはなく、後方散乱も発生しないため、測定値は OTDR センサーのノイズ・フロアにまで低下します。受信ケーブル（テール・ケーブルとも呼ばれます）を使用することで、最終イベントの前後で後方散乱を発生させることができます。これにより技術者は、最後の接続で発生する損失を測定して、テスト結果に含めることができます。

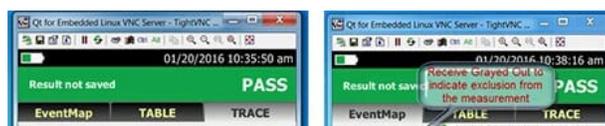


図 4. 最後のコネクタの性能を確認するには、受信（「テール」）ケーブルが必要です。



図 5. ランチ・ファイバーおよび受信ファイバーをケーブル遠端に追加することで、OTDR を使ってリンクの最初と最後の接続の損失を測定することができます。

技術者やテスト結果の承認者は、ランチ・ケーブルと受信ケーブルの測定値がテスト・レポートに含まれることを望んでいません。OTDR を使用すると、ランチ・ケーブルと受信ケーブルを補正（削除）して、テスト対象のリンクの結果のみを報告することができます。



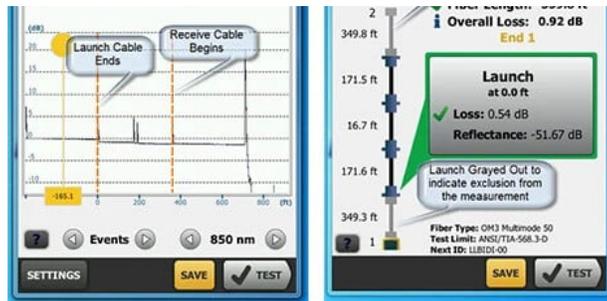


図 6. トレースには、テスト対象のリンクの始まりと終わりの部分のランチ・ファイバーおよび受信ファイバーが含まれます。右側に表示されている EventMap は、ランチ補正によってテスト結果からその影響を取り除きます。

OTDR の結果を理解する

OTDR でトラブルシューティングすると、ケーブルの長さによって、ファイバーの損失がグラフ化されます。OTDR トレースに少し圧倒される方もいますが、波形の上昇や下降はイベントの種類を明らかにし、テスト対象のファイバー・リンクについての物語を語ってくれます。

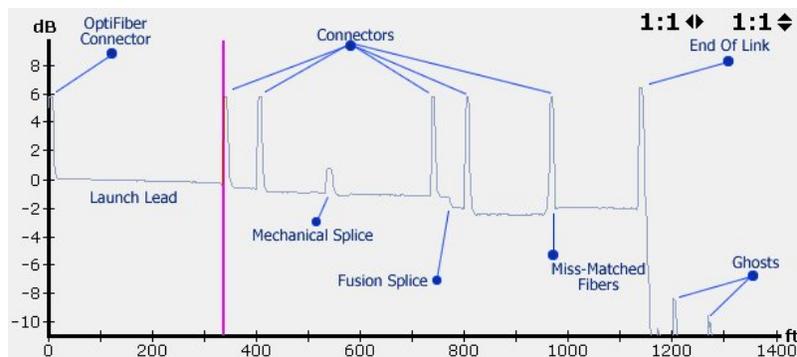


図 7. OTDR トレースの結果。

OTDR を頻繁に使用する技術者はテスター・コネクタ、ランチ・コード、コネクタ、メカニカル・スプライス、融着接続、光ファイバーのずれ、リンクの終端の反射イベントを見分けることができます。また、リンクの最後に表示される急上昇はただのゴーストで、本当のイベントではないことを知っています。

でも、トレース解析の専門家ではないからといって、心配する必要はありません。OptiFiber® Pro は、高度なロジックを用いてトレースを解釈し、EventMap™ によって実際のイベントの特性を表示します。また、問題のあるイベントは赤色のアイコンで強調表示されるため、問題の場所をより迅速に突き止められます。

イベントマップの左下にあるヘルプ・アイコンをタップすれば、問題を解決するための是正措置も提案してくれます。

不確かなイベントが複数あるリンクをトラブルシューティングする場合は、まず最初に OTDR に最も近いイベントを確認することが推奨されます。これらのイベントが確認されると、OTDR を使ってその他のイベントをより正確に検出できます。





図 8. オンスクリーン・ヘルプ付きの EventMap ビュー

最新の OTDR では多くの機能が自動化され、誰でも簡単に専門家のような分析を行うことができます。しかし、光ファイバーをさらに詳細に分析するには、深い専門知識が必要になる場合もあります。次の 2 つのセクションでは、高度な OTDR 設定とトレース分析について説明します。

高度な OTDR 設定 - パルス幅

パルス幅を調節することで、長距離光ファイバーの測定ではなく、光ファイバーの個別のイベントを特定できます。遠くで発生した後方散乱が正確に OTDR に戻るよう、テスターを長時間オンにしてケーブルにパルスを送り込み、パルス幅を長くする必要があります。しかし、パルス幅が長くなれば、OTDR が識別できるイベント間の最小距離（デッドゾーン）も大きくなります。光ファイバー内の光は 1 ナノ秒あたり約 0.2 メートルで移動するため、3 ナノ秒の狭いパルスは、互いからの距離が 0.6 メートル未満の 2 つのイベントを「見る」ことができません。1000 ナノ秒の広いパルスは、2 つのイベントが 200 メートル以上離れている場合にのみ、それらのイベントを見ることができます。

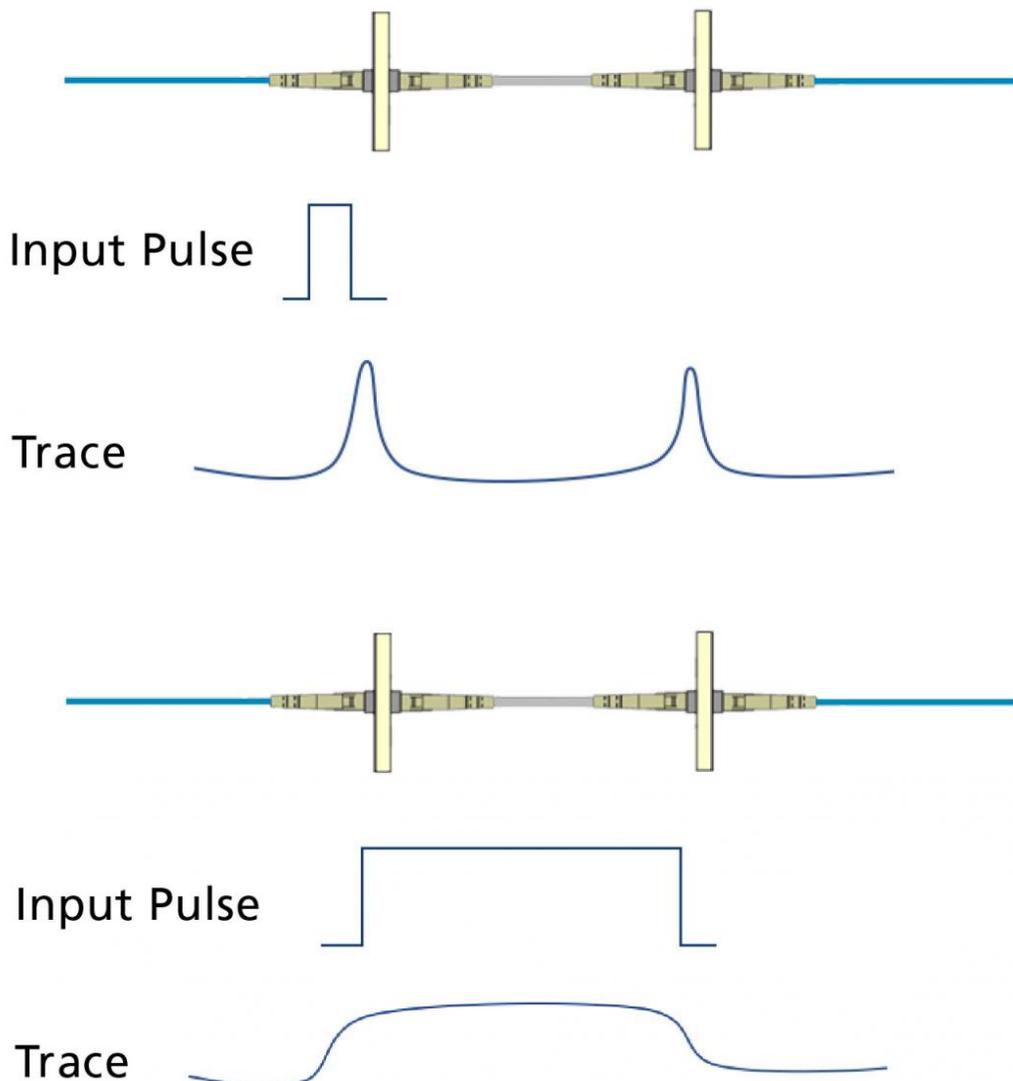


図 9. 狭い入力パルスは、互いの距離が近いイベントを識別できます。

波長

光ファイバーの曲げや亀裂を確実に発見するには、常に複数の波長でテストを実施する必要があります。伝送に短波長帯のみが使用されているアプリケーションにおいても、OTDR でトラブルシューティングする際には、850 nm と 1300 nm (マルチモード)、1300 nm と 1550 nm (シングルモード) の両方でテストすることが推奨されます。通常、長波長帯は低損失ですが、光ファイバーに負荷がかかると、長波長帯も非常に高い損失を示すため、問題の検出が容易になります。波長は「範囲」であるため、その他の波長が使用されている場合でも、上記の波長のみを使って十分に正確なテストを行えます。問題がスプライスオン・ピグテールで発見された場合は、トレース上のイベントがコネクタからピグテールまでの距離で発生することが多いため、VFL を使って問題がピグテール・コネクタではなく光ファイバーの亀裂やねじれであることを判断する必要があります。OptiFiber Pro は、このような状況に便利な VFL を内蔵しています。

しきい値および平均化

またトラブルシューティングによっては、OTDR の設定を手動で調整する必要があります。たとえば、適切に処理されたスプライスが示す損失は 0.1 dB 未満を示します。損失が極めて低いスプライスの場所を特定する必要がある場合、損失しきい値がスプライスの損失より高く設定されていると、OTDR に表示されない可能性があります。フルーク・ネットワークスの OptiFiber Pro の自動設定では損失しきい値は 0.15 dB に設定されているため、それ以上のレベルのイベントしか発見できません。損失しきい値を手動で低く設定することで、非常に損失の低いスプライスを特定できます。

しきい値を小さく設定すると、テスターは多くの測定を行い、長いパルス幅を使用します。このため、テスト時間が増加し、トレースのデッド・ゾーンが広がる可能性があります。損失しきい値を 0.15 dB 未満に設定した場合、光ファイバー構造の不完全性により、OTDR が間違ったイベントを発見する恐れもあります。平均化時間を変更することで、融着接続の検出が容易になります。[Averaging Time (平均化時間)] は、最終トレース作成のために一緒に平均化される計測数を設定します。時間が長くなるとノイズが低減され、非反射接着イベントなどの詳細が明らかになります。長いリンクのトラブルシューティングを行う場合は、光ファイバーの終端までを計測するために OTDR のダイナミック・レンジを大きくする必要があります。これに伴い、パルス幅が長くなり、テスト時間が増加し、デッド・ゾーンも広がります。

高度なトレース解析

トレースは、開始から遠ざかるにつれて少し下向きの傾向線を示しており、これはケーブルの長さの損失による後方散乱の減少を示しています。コネクタは反射に起因する特徴的な「スパイク」を伴ってトレース上に表示され、続いてコネクタに起因する損失 (減衰) を示す傾向線からの低下が示されています。

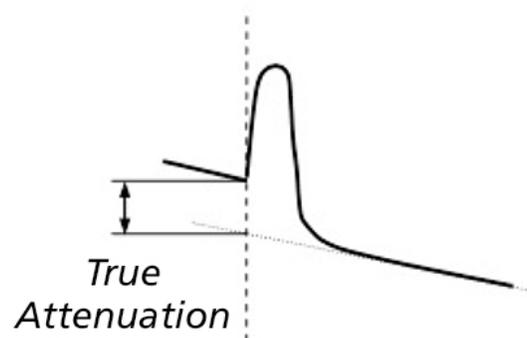


図 10. 傾向線の低下は、コネクタの損失を示します。

非反射イベント

非反射イベントは、コネクタからの「スパイク」を伴わない後方散乱信号の強度低下によって示されます。「隠れた」イベントはその一例で、2つのコネク

ター同士の間隔が非常に近い場合、OTDR のイベント・デッド・ゾーンに入ってしまうことに起因します。

もう一つの例は「ゴースト」です。反射性の高い接続からのリターンによって信号が反射し、接続の間を行ったり来たりすることで発生します。ゴースト・イベントのほとんどは、光ファイバーの終端を超えて反射イベントとして表示されます。ただしトレースに表示されるものもあります。ゴースト・イベントは損失を伴わない反射イベントであることから、特定が可能です。OptiFiber Pro はゴーストを検知してソースを特定するため、原因の修正が容易になります。



図 11. 「ゴースト」は、実際のイベントからの強い反射信号に起因する、存在しないイベントです。

リアル・タイム・トレース

リアル・タイム・トレースは、ファイバーの後方散乱のトレース・ラインを継続的に更新しながら表示します。この機能を使い、スプール上で光ファイバーをテストすることで、出荷による損傷がないことを確認できます。これは光ファイバーを引く、または埋める前に行います。リアル・タイム・トレースは「揺すり」テストにも使用できます。接続のゆるみやコネクタの損傷が疑われる場合、技術者は、コネクタを揺するか、あるいは押し込みながらリアル・タイム・トレースを使用して、接続が回復するか完全に損傷しているかを調べます。

光ファイバー・ジャンパーのトラブルシューティング

光ファイバー・ジャンパーは、すべての光ファイバー・ネットワークに不可欠です。データ・センターで光ファイバー・パッチング・エリアとスイッチを接続する場合や、LAN 環境で fiber-to-the-desk (FTTD) アプリケーションのエンド機器を接続する場合に用いられます。

残念ながら、光ファイバー・ジャンパーは通常、ネットワークで最も脆弱な部分でもあります。他のどの部材よりも頻繁に取り扱われ、操作されるため、損傷を受けやすくなります。また光ファイバー・ジャンパーは多くの場合一般品とみなされており、コンプライアンスに沿っていない知名度の低い販売元から低品質の製品を購入して、費用を節約するエンド・ユーザーもいます。

光ファイバー・ジャンパーを使用しないパーマnent・リンク・テストは、新規の敷設におけるベスト・プラクティスと考えられていますが、その後のチャンネル・テストで問題が特定されることがあります。フルーク・ネットワークスの CertiFiber Pro のような光損失測定試験セット (OLTS) を使うと、個々のジャンパーをトラブルシューティングすることができます。具体的には 1 ジャンパー基準法を使って基準を設定し、アダプターを使ってジャンパーをテスト基準モードに接続します。ジャンパーのもう一方の端はリモート・ユニットに接続されているため、基準ケーブルとジャンパー間の接続の損失のみが測定されます。ジャンパーを逆に設置すると、ジャンパーの反対側の終端のコネクタをテストできます。

フルーク・ネットワークスについて

フルーク・ネットワークスは、優れた認証/トラブルシューティング/インストレーション・ツールを提供する世界大手企業です。当社の製品は、重要なネットワーク・ケーブル配線インフラを設置・保守する技術者を対象にしています。弊社は、信頼性と比類ない能力において高い評価をいただいております。最先端のデータセンターの設置から悪天候のサービス復旧作業に至るまで、すべての作業を効率的に行います。当社の主力製品には、クラウド接続を利用した世界最先端の革新的ケーブル認証ソリューション、LinkWare™ Live が含まれ、これまでに 1400 万件以上の結果がアップロードされています。

1-800-283-5853 (US & Canada)

1-425-446-5500 (米国外)

<http://www.flukenetworks.com>

Descriptions, information, and viability of the information contained in this document are subject to change without notice.

Revised: 2019 年 8 月 27 日 10:08 AM

Literature ID: 7002378

© Fluke Networks 2018