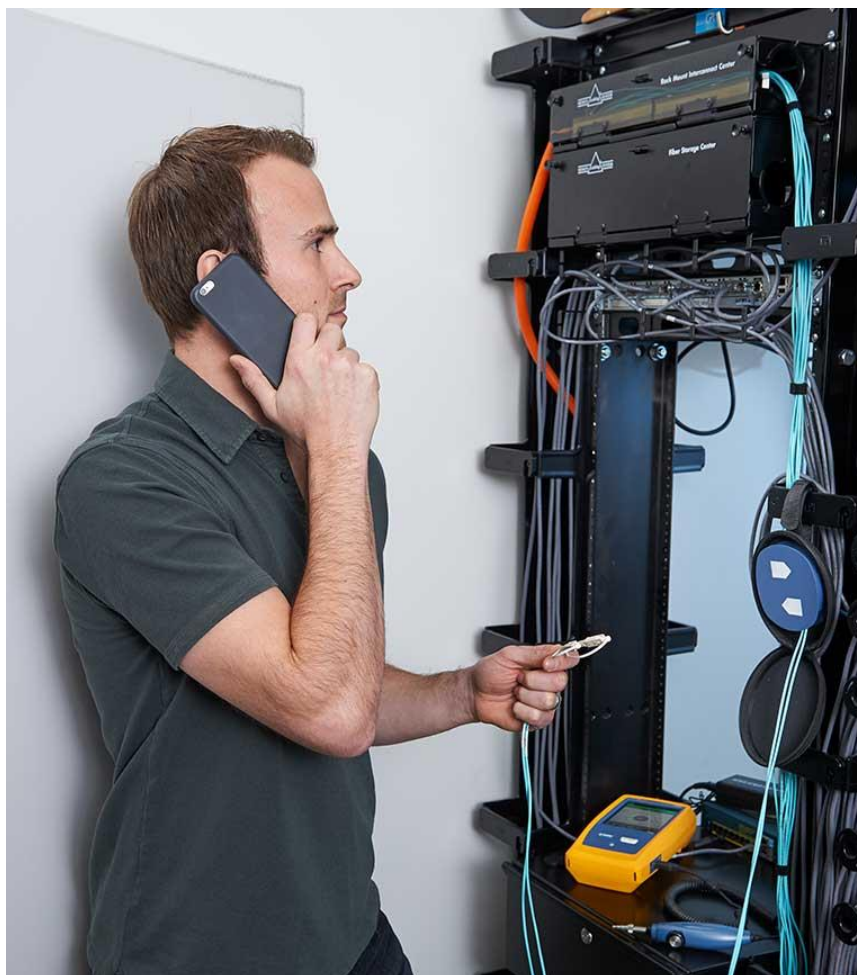


光ファイバーのトラブルシューティング

～～ 光配線システムの障害に対処する適切なトラブルシューティング・ツール ～～



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
- >> OTDR による高度なトラブルシューティング
- >> OTDR の結果を理解する
- >> 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。コネクター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・パネルでは問題の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ー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そ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。

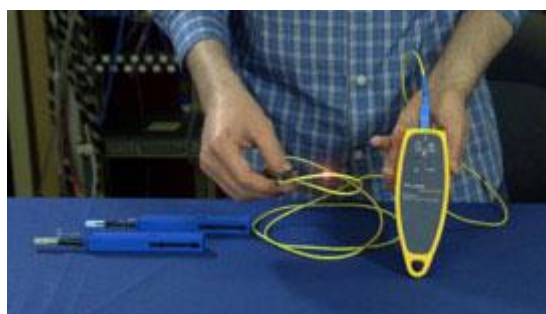
問題は、不完全な融着接続、接続箇所での軸ずれ、または誤った極性によっても発生する可能性があります。ケーブルの配線管理を怠るとコネクタに負荷がかかって、軸ずれの原因となったり、コネクタが正しく装着/嵌合されなかったりすることもあります。コネクタまたはアダプターのラッチ部分が摩耗あるいは損傷していることが、原因の場合もあります。リンク自体の内部で光ファイバーのマイクロベンドまたはマクロベンドが発生している可能性や、光ファイバーの一部が破損している可能性もあります。

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・ロケーター

最もシンプルなトラブルシューティング・ツールは、可視光源（VFL: ビジュアル・フォルト・ロケーター）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、システム内で運用されている電子機器に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遠端側を検出するのに優れたトレース・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 からの光がコネクタの VFL ウィンドウから漏れて見た場合は、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ないことになります。

フルーク・ネットワークスの [VisiFault™ 可視光源](#) - 光ケーブル導通テスターなどの 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ー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。バッテリー寿命の長さや、信頼性を維持するための頑丈な製品全体の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バンド損失を検出したりすることもできます。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・ジャケットを通して破損やマクロバ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・エンクロージャー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えます。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ピグテールの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、光パワー・メーター/光損失測定キット (LSPM) あるいは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。リンクの損失を性能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測定だけでなく、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。そのためには、フォルト・ファインダーと OTDR を使用する必要があります。



LSPM 製品例



OLTS 製品例

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、あるい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・データや解析結果を提示しますが、高価であり、操作に時間とスキルを要します。しかし、トラブルシューティングにオプティカル・フォルト・ファインダーを使うと、VFL と OTDR の両方の欠点を補うことができます。

フルーク・ネットワークスの [Fiber OneShot™ PRO](#) などのオプティカル・フォルト・ファインダーを使うと、素早く効率的に長さを測定し、最長 23,000 m のシングルモードの高損失イベントや破損を特定できます。また、マルチモードについてもフルーク・ネットワークスの [Fiber QuickMap™](#) を使うことで、最長 1,500 m にわたり、同様な機能が利用できます。これらシングル・エンドのオプティカル・フォルト・ファインダーは OTDR と同様の技術を使用しており非常に使いやすいトラブルシューティング・ツールです。光ファイバーにレーザー光パルスを送信し、高損失の接続部やスプライス、および光ファイバーの終端から反射した光の強度とタイミングを測定します。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も理想的です。これらのフォルト・ファインダーは、テスト開始前に現用光の検出にも利用できます。

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 km 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、ピンなしどうしの MPO 接続を見つけるのにも非常に便利です。この問題はよく見られ、接続不良を引き起こす原因ともなります。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、テスターにランチ試験コードを取り付けます。ランチ試験コードとテイル試験コードを使用することで、テスターでリンクの近端または遠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、損失または反射率に関する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。

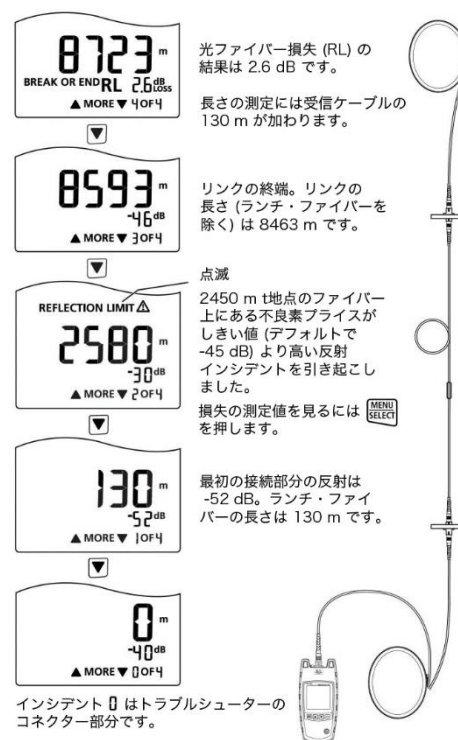


図 3. オプティカル・フォルト・ファインダーは、光ファイバー・リンクで発生した反射インシデントまでの距離を特定します。

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の把握ができます。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 製品例

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、散乱線すなわち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（単に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）に物質にぶつくと、光の最大 8 % が反射して光源側に戻り、そのほかが新たな物質を通過していきます。この現象はフレネル反射と呼ばれ、この反射がある個所が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、コネクタ一部の損失および反射率を推測することができます。

ランチ試験コードと補正

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に対応するには、十分な長さのランチ試験コードを使用する必要があります。通常 100 m 以上のランチ試験コードを使用することで、最初のイベントの前後に散乱光が発生するため、最初の接続点が測定できるようになります。

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。この接続の前には、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（テイル試験コードとも呼ばれます）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、最後の接続点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、受信コードが必要です。



図 5. ランチ試験コード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。

テスト・レポートについては、測定者やテスト結果の受領者が、ランチ試験コード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まない場合には、測定結果からランチ試験コード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もできます。



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いたものを示しています。

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、ケーブルの長さに沿って、ファイバーの損失がグラフ化された OTDR トレースが表示されます。多少、このトレースの解釈に戸惑うかもしれませんが、ここに表示された波形のへこみやスパイク（急峻な立ち上がり）によって、テスト対象のファイバー・リンクで生じているイベントがどのような種類のものなのかが明らかになります。

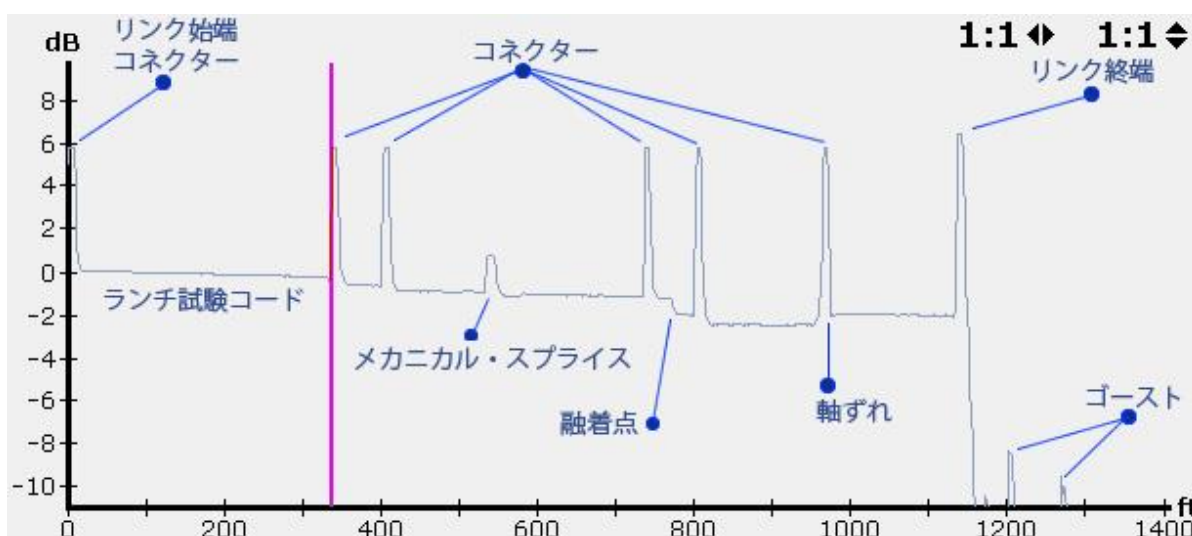


図 7. OTDR トレースの結果

つまり、このトレースにより、テスターのコネクター、ランチ・コード、コネクター、メカニカル・スプライス、融着接続、光ファイバーの軸ずれ、リンクの終端などの反射イベントの種類を見分けることができます。また、リンクの遠端以降に生じている小さなスパイクは実在しないイベントでゴーストと呼ばれるものであることも分かります。

これらのイベントの解析には高度な知識が必要です。しかし、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自動解析し、EventMap™ 機能によってこれらのイベントの素性を明らかにします。さらに、問題のあるイベントを赤色のアイコンで明示するため、問題箇所をこれまで以上に素早く特定することができます。

また、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、OTDR 自身が問題解決のための是正措置も提示してくれます。

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 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、その他のイベントがより正確に検出できるようになります。



図 8. オンスクリーン・ヘルプが利用可能な 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解析を行うことができます。しかし、光ファイバーでのイベントをさらに詳細に解析するには、深い専門知識と洞察力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 設定とトレース解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、測定機能を長距離光ファイバーの測定から光ファイバーの個別イベント特定に適した設定に替えることができます。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 ns あたり約 0.2 m で移動するため、3 ns の狭いパルスは、互いからの距離が 0.6 m 未満の 2 つのイベントを「見る」ことができません。1000 ns の広いパルスは、2 つのイベントが 200 m 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。

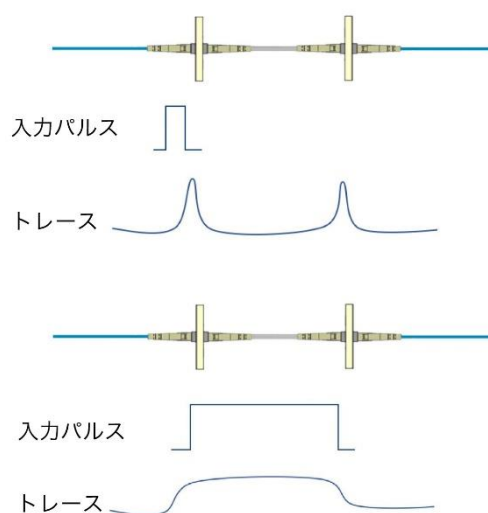


図 9. 幅の狭い入力パルスは、互いの距離が近いイベントを識別できます。

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「幅」があるため、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かどうか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。しかし、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することもできます。

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、幅の広いパルスを使用します。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 が間違っただ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平均化される計測回数を設定します。時間が長くなるとノイズが低減され、非反射融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。

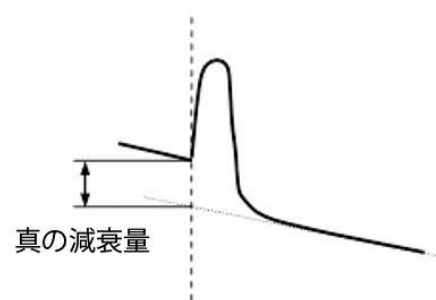


図 10. コネクタの損失を示す傾向線の落差

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 つのコネクタ同士の距離が非常に近いため、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 1 つの例は「ゴースト」です。反射性の高い接続からの戻り信号が反射し、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た先の反射イベントとして表示されます。ただしトレース上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発生元を特定してくれるため、根本原因の特定と是正が容易になります。



図 11. 「ゴースト」は、実在のイベントからの強い反射信号に起因する、実際には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、出荷後の製品に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、脱着操作がなされるため、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、規格に適合し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最適なテスト方法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コードに接続します。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。ジャンパーを逆に接続すると、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災害時の電話サービスの復旧作業に至るまで、すべての作業を効率的に行います。

[DSX-8000 CableAnalyzer™](#) – メタル配線認証手順のステップの時間短縮を加速化します



最も厳しい測定精度要件である TIA の精度レベル 2G に適合する一方、比類のないスピードで Cat 8 および Class VIII のメタル認証試験を効率化します。ProjX 管理システムは、作業の確実な実施を実現し、試験のセットアップからシステムの検収までの作業進捗状況の把握を容易にしてくれます。Versiv プラットフォームは、光ファイバー試験 (OLTS と OTDR の両方) もサポートします。このプラットフォームは、将来の規格 改定へのサポートに備え、容易にアップグレードが可能です。近端漏話、反射およびシールド不良を含む不良原因のグラフィカルな表示を行う Taptive (タップティブ) インターフェースにより不良原因のより素早いトラブルシューティングができます。また LinkWare PC 管理ソフトウェアを使用し、試験結果の解析と専門的なテスト・レポートの作成が可能です。

[CertiFiber® Pro](#) – 光ファイバー認証試験プロセスのすべての段階の作業効率を上げ、加速化します

2 波長、2 本の光ファイバー認証の効率を改善し、試験をわずか 3 秒で実施できます。Taptive (タップティブ) インターフェースにより、セットアップの簡素化、間違いの排除、さらにトラブルシューティングのスピードアップが図れます。基準値設定の自動ガイダンス機能により、確実な基準値設定が可能になり、負の損失結果発生もなくなります。OptiFiber Pro モジュールと組み合わせて、Tier 1 (基本) / Tier 2 (拡張) 試験とレポート作成のすべてを行えます。便利な 4 波長モジュール によって、シングルモードとマルチモードの両方に対応できるばかりでなく、マルチモードの EF 適合性能もサポートします。



[OptiFiber® Pro OTDR](#) – データ・センター/企業向け光パルス試験器



業界初の企業/データ・センターの課題解決向けに一からデザインされた光パルス試験器です。シンプルでこれまでにない効率性、さらにキャンパス、データ・センターおよびストレージ・ネットワークのトラブルシューティングに正に必要な機能群を組み合わせたツールで、現場の技術者を、専門知識を備えた光ファイバー専門技術者に変えてしまいます。すなわち、業界唯一のスマートホン・タイプのユーザー・インターフェースを備えることで光ファイバー試験を新たな高みに導きました。そして、DataCenter OTDR コンフィギュレーションにより、データ・センター試験における不確実性やエラーが排除されます。その極めて短いデッド・ゾーンにより仮想化データ・センターにおける光ファイバー・パッチコード試験も可能にします。

[FI-7000 FiberInspector™ Pro](#) – 光ファイバー・コネクタ端面を 2 秒で自動合否判定

汚れ、へこみ、小片、および傷による問題箇所をグラフィカルに表示します。業界標準規格の IEC 61300-3-35 に基づき判定できるため、端面検査における主観的な判断を削除することができます。



Versiv 製品選択ガイド

[選択ガイドへのリンク](#)

フルーク・ネットワークス
株式会社 TFF フルーク社

〒105-0012
東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 6F
TEL 03-6714-3117 FAX 03-6714-3118
Web サイト: <https://jp.flukenetworks.com>
©2017 Fluke Networks Inc. All rights reserved.
Printed in Japan 9/2018, ver. A20180911