

リターン・ロスとは？



フルーク・ネットワークス “ケーブリング・クロニクル” ブログより転載・翻訳

2023年2月14日 / 一般, 101シリーズ, インストールとテスト

<https://www.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles/return-loss>

はじめに

リターン・ロスとは、信号源から注入された信号パワーと、信号源に向かって戻る、あるいは反射される信号パワーとの比率です。これは、送信信号に干渉し、測定される[挿入損失](#)（ケーブル・リンクを伝わる際に信号が失う電力量）の増加の原因となるため、ツイスト・ペア・ケーブルと光ファイバー・ケーブルの両方のシステムにおいて、重要なパフォーマンス・パラメータとなっています。

より多くのパワーが信号源に反射されると、ケーブルの遠端で利用できるパワーが減少します。光ファイバー・システムによっては、リターン・ロスがトランシーバーのレーザー光源を損傷させることさえあります。

リターン・ロスの計算式

リターン・ロスは、入力（または入射）パワーと反射パワーを次の式で比較し、デシベル（dB）単位で計算されます。

$$\text{リターン・ロス} = 10 \times \log \left(\frac{\text{入射パワー}}{\text{反射パワー}} \right) \text{ (+ dB 単位)}$$

結果は常に正の数であり、数値が大きいほど良好です。値が正で表されることは、TIA と ISO の両方の規格で要求されていることですが、混乱を招くこともあります（詳しくは「[正であるか負であるか?](#)」の記事でご確認ください）。もし、信号源の入力パワーが全く反射されなかったら、リターン・ロスは無限大になると考えてください。一般に、リターン・ロスの値が大きければ大きいほど、伝送される信号の歪みは少なくなります。

リターン・ロスと反射率

反射率は、基本的にリターン・ロスの逆数です。戻ってくる量に対する注入された信号の量の比較ではなく、注入された量に対する戻ってくる信号の量の比較です。反射率も dB で表しますが、この式のように負の数になります。

$$\text{反射率} = 10 \times \log \left(\frac{\text{反射パワー}}{\text{入射パワー}} \right) \text{ (- dB 単位)}$$

この数値が小さいほど反射率が良いことになります。数値が高い方が良いか低い方が良いかは、リターン・ロス、反射率ともに 0 から遠い方が良いと覚えておくと良いでしょう。リターン・ロスは光ファイバー・リンク全体のテストに使用されますが、反射率は個々のイベント、すなわち接続ポイントに使用されることに注意してください（詳しくは「[リターン・ロスと反射率の違い](#)」の記事でご確認ください）。

光ファイバーにおけるリターン・ロス

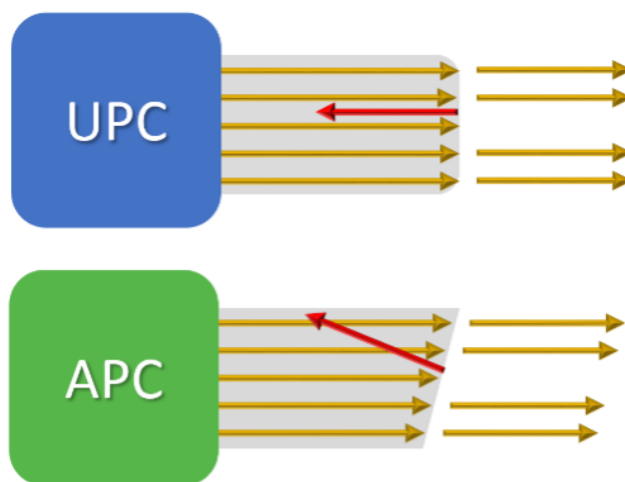
光ファイバー配線システムのリターン・ロスは、メタル配線よりもはるかに小さくなっています。これが、光ファイバーがより長い距離をサポートする理由の 1 つです。例えば、典型的な光ファイバーの損失量は 20 dB から 75 dB の間で、アプリケーションや被試験光ファイバーのタイプ、波長、パルス幅、後方散乱係数によって異なります。これに対し、カテゴリ 6 のメタル製ツイスト・ペア配線のリターン・ロスのリミット値は、250 MHz で 10 dB です。

個々の接続点にも反射率の値があり、これは光時間領域反射率計 (OTDR) を使って測定することができます。しかし、ほとんどのメーカーは、コンポーネントの反射率をリターン・ロスで表示しています。つまり値が正の数で表されていることを意味します。反射率は負の数であり、数値が低いほど、リンクの全体的なリターン・ロスおよび挿入損失が改善されることを覚えておいてください。優れたマルチモード光ファイバー・コネクタは、反射率が -35 dB 以下 (または 35 dB 以上のリターン・ロス) であり、優れたシングルモード・コネクタは、反射率が -50 dB 以下であることがわかります。良好な融着接続は、一般的にもっと低くなり、これらの値は、ほとんどのフィールド・テスターで測定することができません。

光ファイバー・システムにおけるリターン・ロスの原因

光ファイバー・システムの反射損失は、主に接続点 (すなわち、コネクタとスプライス) でのフレネル反射が原因です。コネクタ端面の汚れは、最も一般的な原因であり、リターン・ロスを 20 dB 以上劣化させます。リターン・ロスは、端面の研磨不良、コネクタの嵌合不良 (エアギャップやコアのずれ)、光ファイバーの亀裂、光ファイバー端の開放、製造工程での光ファイバー・コアに混入した不純物によっても生じることがあります。曲げ半径や引っ張り張力の要件を超えるような設置応力の結果として発生する可能性のある光ファイバーのマイクロ・バンドやマクロ・バンドも、リターン・ロスに影響を与える可能性があります。

コネクタの端面の角度もリターン・ロスに影響を与えることがあります。UPC (ultra physical contact) コネクタの端面はわずかに丸みを帯びており、APC (angled physical contact) の端面は 8 度傾いています。



UPC コネクタと APC コネクタの端面形状

2 つの UPC コネクタが嵌合すると、反射光は光ファイバー・コアを通して光源に向かってまっすぐに戻ります。しかし、APC コネクタの端面が傾斜しているため、反射光の多くが光ファイバー・コアを取り囲むクラッドに入射し、吸収されます。優れた UPC シングルモード・コネクタの値は -50 dB 以下ですが、APC シングルモード・コネクタは通常 -60 dB 以下です。したがって、APC 接続は、反射の影響を受けやすい光ファイバー・アプリケーションによく導入されます（詳しくは「[APC 光ファイバー・コネクティブティの詳細](#)」の記事でご確認ください）。

リターン・ロスの要件

前述したように、優れたリターン・ロス性能は、優れた挿入損失性能の良い指標でもあります。これは、光ファイバー・アプリケーションを確実にサポートするために必要な主要パラメータであり、光ファイバー減衰（「減衰」は「損失」または「Tier 1」と呼ばれることもあります）の認証試験に必要なパラメータでもあります。リターン・ロス性能が低いと、最終的に光ファイバー・リンクの挿入損失が不合格となり、認証テストに合格できなくなります。

さらに、反射の影響を受けやすいアプリケーションでは、接続点の数やリターン・ロスの値によって、最大挿入損失の要件が低下する場合があります。これは、DR (Data Center Reach) や FR (Fiber Reach) の添え字の付く新しい短距離シングルモード・アプリケーションで使用される、低コスト、低電力のトランシーバーにおいて生じる可能性があります。その結果、IEEE 規格は、これらのアプリケーションの接続点の反射率を、チャンネル内の嵌合ペアの数に基づいて規定しています。したがって、嵌合するペアの数を減らすか、チャンネルの挿入損失の最大許容値を減らすことが必要となることがあります（詳しくは、「[短距離シングルモードにおける挿入損失の要件](#)」の記事でご確認ください）。

光ファイバー・システムのリターン・ロスをテストするためのツール

フルーク・ネットワークスの [CertiFiber® Pro](#) のような光損失テスト・セット (OLTS) によって、リンクおよびチャンネルの不確かさの少ない減衰量試験が実施できますが、光ファイバー・システムのリターン・ロスのフィールド試験には、光源に反射する光の量を測定できる [OTDR](#) が必要です。これは、減衰量試験に加え、拡張試験（「Tier 2」と呼ばれることもある）の実施を指定するプロジェクトで必要となります。

OTDR は、高出力の光パルスを送信し、これらの光パルスが反射イベント（接続、破損、亀裂、スプライス、極端な曲げ、または光ファイバーの遠端）に遭遇すると、反射して戻ってくるため、その反射トレースを記録し、特性評価を行います。リンクのリターン・ロスは、すべてのイベントから反射された光パワーの合計とリンクの後方散乱の合計パワーを計算することによって測定されます。OTDR は、個々のイベントの反射率の値や位置情報も提供するため、短距離シングルモード光ファイバーなど、接続点での反射率を明確に知る必要があるアプリケーションやトラブルシューティングに最適です。

さらに OTDR の使用は、代替試験方法とみなされることに留意することが重要です。OTDR で達成される全減衰測定は、リンクが活線状態になったときに発生する全損失を必ずしも反映しないため、OLTS に代わるものではありません（詳しくは「[完全な試験戦略として OLTS と OTDR の両方を使用する方法](#)」の記事でご確認ください）。

光ファイバーのリターン・ロス試験手順

OTDR によるリターン・ロスのテストでは、ローンチ・コードとテイル・コードを使用する必要があり、これにより最初と最後のコネクタの反射率を測定し、全体のリターン・ロスの測定に含めることができます。また、ローンチ・コードとテイル・コードの長さは、補正によって測定から除外する必要があります。[OptiFiber® Pro](#) のような OTDR は、光ファイバーのタイプとリミット値を選択し、ローンチ補償を設定するだけで、簡単にセットアップできます。

OTDR を使用する場合、特定のコネクタやスプライスの反射率はテスト方向に依存するため、テストは双方向で行われます。接続された 2 本の光ファイバーが同じタイプであっても、光ファイバーにはわずかな違いがあり、後方散乱係数が異なるため、接続後は、接続前よりも多くの光が反射される可能性があります。

OTDR は、反射光と後方散乱光をトレース画面にプロットし、光ファイバー・リンクの特性をグラフィカルに表示します。経験豊富な OTDR ユーザーは、通常、ローンチ・コード、コネクタ、メカニカル・スプライス、融着接続、光ファイバーの誤接続、リンクの終端などの反射イベントの違いを識別することができます。しかし、誰もがトレース解析の専門家であるわけではありません。OptiFiber Pro は、トレースを自動的に解釈し、コネクタ、スプライス、および異常の位置と反射率を示す「イベント・マップ」を提供する高度なロジックを備えています（OTDR を含む光ファイバーのトラブルシューティングの詳細については、「[光ファイバー・トラブルシューティング](#)」のホワイトペーパーをご覧ください）。



イベント・マップと OptiFiber Pro ツールによる OTDR トレース結果の例

メタル配線のリターン・ロス

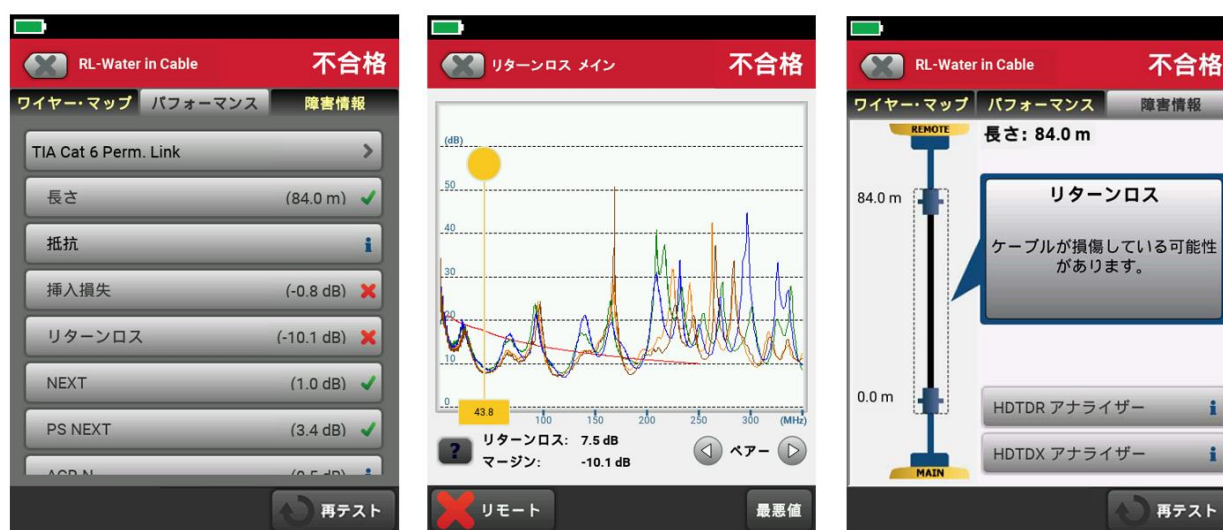
反射損失量は、メタル線ツイスト・ペア配線システムのパフォーマンス・パラメータでもあります。メタル配線でのリターン・ロスは、信号の周波数によって変化することが光ファイバー配線との大きな違いで、基本的にノイズ測定とみなされるため、周波数が高くなると悪化します。例えば、100 MHz で指定されたカテゴリ 5e の最大許容リターン・ロスは約 16 dB ですが、500 MHz で指定されたカテゴリ 6A はわずか 8 dB です。数字が大きければ大きいほど、リターン・ロスが優れていることを忘れないでください。メタル線ケーブルの場合、リターン・ロスが大きすぎると、クロストークが増加し、信号が歪み、ビットエラー率が高くなる可能性があります。

メタル配線システムにおけるリターン・ロスの原因

メタル配線リンクにおけるリターン・ロスは、部材間で発生するインピーダンスのミスマッチや、ケーブルの長さに沿ったわずかなインピーダンスの変化により発生します。そのため、接続部材メーカーはプラグとジャックのインピーダンスが一致するように設計し、ケーブル・メーカーは製造プロセス全体の均一性を測定・管理するように努めています。リターン・ロスは、ケーブルのよじれや損傷、あるいは終端部の不必要なペアの撚り戻しなど、終端処理の不具合によっても発生することがあります。メタル・ケーブルのリターン・ロスのもう一つの原因として考えられるのは、ケーブル内の水です。

メタル配線システムのリターン・ロスのテスト方法

リターン・ロスは周波数によって変化するため、特定のアプリケーションの全周波数帯域でテストされます。例えば、カテゴリ 5e の場合、1 MHz から 100 MHz の範囲でテストされます。カテゴリ 6A では、1 MHz から 500 MHz の範囲でテストされます。フルーク・ネットワークスの [DSX CableAnalyzer™ シリーズ](#) のテスターは、テストするアプリケーションに基づいて、各ペアを各周波数で自動的にテストし、以下に示すように、全周波数にわたって結果をプロットします。



DSX CableAnalyzer で表示されるメタル・ケーブルのテスト結果の例：リターン・ロス不良（左）、リターン・ロスの周波数プロット（中央）、リターン・ロス不良の原因を診断する「障害情報」画面（右）

リターン・ロスが 1 つの周波数ポイントで発生し、他の周波数がすべて余裕を持ってリミット値を超えている場合、一般的にケーブルに問題があることが示唆されます。一般に、4 ペアすべてに障害が発生する場合（特に低周波数）、低品質のケーブルまたはケーブル内に浸潤した水が原因である可能性があります。リターン・ロス障害の周波数プロットを読み解くには、かなりの専門知識が必要ですが、DSX CableAnalyzer の「障害情報」表示機能には、その専門知識による解析機能が組み込まれています（詳しくは「[メタル配線システムのリターン・ロスの測定とテスト方法](#)」ビデオ（英語）でご確認ください）。

優れたリターン・ロス試験機の条件とは？

光ファイバーまたはメタル線のいずれをテストする場合でも、優れたリターン・ロス試験機の鍵は正確さです。

光ファイバー認証試験には、マルチモードおよびシングルモードの光ファイバー・リンクを複数の波長で、業界標準またはカスタム試験のリミット値で試験できるテスターと OTDR 試験に対応したテスターが必要です。さらに、テスターを簡単に設定し、反射イベントの位置を示すグラフィカルなマップを使用して OTDR トレースを自動的に解釈する機能は、トラブルシューティングの円滑化に大きく貢献します。モジュール式の Versiv™ ケーブル認証ファミリー製品である OptiFiber Pro は、面倒で複雑な機能を排除し、企業および OSP 環境の両方で、ネットワークエンジニアやケーブル敷設業者に効率的な操作性を提供する高確度の OTDR です。OptiFiber Pro は、クラウド・ベースの LinkWare™ Live による試験結果管理機能をサポートしており、新たなアプリケーションをサポートすることになっても最新のファームウェアで簡単に更新でき、24 時間 365 日の技術サポート（英語）による包括的な保護プランでバックアップされています。

メタル線の認証試験には、技術的に認定されたラボによって独自に認証され、試験対象ケーブルの TIA および IEC 確度要件を満たしているテスターを選択することが重要です。たとえば、TIA カテゴリー 6A / IEC クラス EA テスターでは、Level IIIe の確度が要求されます。最大限の柔軟性と高確度の測定を保証するためには、TIA レベル 2G または IEC レベル VI の確度を持つテスターを選択します。テスターは、すべてのカテゴリーのケーブルと最新のアプリケーション性能を認証する能力を持つ必要があります。また、リターン・ロスを含む、ケーブルの 4 対の全パラメータの結果を表示する必要があります（エイリアン・クロストークは規格の一部ですので、それを測定するテスターを所有していることは、いざそれが必要とされる場合に、極めて貴重になるということも覚えておく必要があります）。最後に、診断機能を備えたテスターは、リターン・ロスの原因を解決するために必要な時間を短縮することができます。DSX CableAnalyzer シリーズのメタル線認証テスターは、これらの要件をすべて満たしており、Versiv プラットフォームの一部として OptiFiber Pro と同様に [LinkWare Live](#) をサポートし、ファームウェアを簡単に更新でき、フルーク・ネットワークスの包括的保護によってサポートされています。

作業チームが光ファイバーとメタル線の両方を扱う場合、同じユーザー・インターフェースで両方のタイプのテストを実行できるテスターを使用すれば学習時間とミスの可能性の両方を大幅に削減できます。メタル線と光ファイバーの試験結果をサポートするレポートおよびアーカイブ用ソフトウェアは、さらに時間を節約します。Versiv は、メタル配線認証、OLTS および OTDR テスト（さらに端面検査）用の単一ユーザー・インターフェースを備えていますので、これらの時間削減ニーズも満たしてくれます。Versiv では、4 つのテスト・タイプすべてを 1 つのプロジェクトの一部として指定できるため、誤ってテストがスキップされることがありません。また、レポート作成については、LinkWare が PC 版とクラウド・ベース版の両方でこれらすべてのテストのための単一プラットフォームを提供します。

学習を続ける

- [OptiFiber による反射率および光リターン・ロス \(ORL\) の測定と試験](#)
- [光ファイバー認証: 必要なのは損失、長さ \(場合によっては反射率\) のみです。](#)
- [短距離シングルモードは、レーダーに反射率を表示します。](#)
- [正と負の混同](#)
- [コネクタ損失、リターン・ロス、反射率 - “高さと低さ” について](#)

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



[DSX-8000 CableAnalyzer](#) は、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 I/II 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

[CertiFiber® Pro](#) は、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、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



[OptiFiber® Pro OTDR](#) は、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

[FI-7000 FiberInspector™ Pro](#) は、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 テクトロニクス & フルーク

〒108-6106
東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 6F
TEL 03-4577-3972 FAX 03-6714-3118
Web サイト: <https://jp.flukenetworks.com>
©2023 Fluke Networks Inc. All rights reserved.
Printed in Japan 4/2023 7004304