



テクニカル レポート

## 光ネットワークインストレーションガイド

ネットアップ、Optellent Inc.

2021年5月 | TR-3552

### 概要

本ドキュメントは、お客様の環境でSnapVault®の設計および導入を行うための導入ガイドです。このインストレーション計画ガイドでは、光ファイバテクノロジーの基本的な基本事項、導入に関する考慮事項、および基本的なテストおよびトラブルシューティング手順について説明します。

<<本レポートは機械翻訳による参考訳です。公式な内容はオリジナルである英語版をご確認ください。>>

## 目次

|  |           |
|--|-----------|
| はじめに .....   | 4         |
| <b>SAN ファイバーネットワークの概要 .....</b>                          | <b>4</b>  |
| SAN の一般的な光ファイバネットワークトポロジ .....                           | 4         |
| 光ファイバリンクの一部 .....  | 6         |
| 光ファイバの終端 .....   | 10        |
| FC SFP トランシーバ .....                                      | 11        |
| ファブリック拡張の概要 .....  | 13        |
| <b>ファイバリンク上の伝送およびリンク距離に影響する要因 .....</b>                  | <b>14</b> |
| マルチモード光ファイバのモード分散 .....                                  | 14        |
| シングルモードファイバの分散 .....                                     | 14        |
| 光リンクの背面反射 .....  | 15        |
| ファイバーベンド .....   | 15        |
| <b>MetroCluster インフラストラクチャでの最大ファイバ到達距離の効果的な最大値 .....</b> | <b>15</b> |
| 電力バジェットの制限 .....   | 16        |
| モーダル分散による距離制限 .....                                      | 18        |
| <b>FC インフラのテストと検証 .....</b>                              | <b>18</b> |
| ケーブルシステムテスト .....  | 19        |
| <b>安全、取り扱い、クリーニング手順 .....</b>                            | <b>25</b> |
| レーザーの安全手順 .....  | 25        |
| SFP トランシーバモジュールの使用 .....                                 | 26        |
| 光パッチコード、バルクヘッド、およびレセプタクルの注意と取り扱い .....                   | 27        |
| パッチコードのクリーニング .....                                      | 28        |
| <b>トラブルシューティング .....</b>                                 | <b>30</b> |
| トラブルシューティング用の機器をテストします .....                             | 30        |
| ファイバリンクのトラブルシューティング .....                                | 30        |
| <b>付録 .....</b>  | <b>32</b> |
| 電力バジェット .....  | 32        |
| <b>参考資料 .....</b>  | <b>32</b> |

## 表一覧

|   |    |
|---|----|
| 表 1) マルチモードファイバの種類.....                   | 9  |
| 表 2) 各種コーニングファイバーの FC データレート / 最大リーチ..... | 9  |
| 表 3) 一般的に使用される光コネクタのタイプ.....              | 10 |
| 表 4) ネットアップがサポートする SFP トランシーバ.....        | 12 |
| 表 5) 光ケーブルのパラメーター一覧.....                  | 16 |
| 表 6) マルチモードファイバを使用したマンドレル包装の直径.....       | 20 |
| 表 7) ケーブルシステムテストの概要[4].....               | 24 |

## 図一覧

|  |    |
|--|----|
| 図 1) 論理ネットワークトポロジ .....  | 5  |
| 図 2) 論理メッシュトポロジ .....  | 5  |
| 図 3) 光ファイバリング .....  | 6  |
| 図 4) マルチモードおよびシングルモードのファイバの相対コア / クラッドサイズ .....  | 8  |
| 図 5) LED とマルチモードファイバへのレーザー光の発射。[1].....  | 8  |
| 図 6) SFP トランシーバモジュールの側面と前面 .....   | 12 |
| 図 7) SAN 拡張機能の例 .....  | 13 |
| 図 8) 長距離マルチモードファイバでデータ転送を行う際の ISI の原因となる DMD .....   | 14 |
| 図 9) 光リンク損失の予算に対する主な貢献者の図.....   | 17 |
| 図 10) リンク例.....  | 18 |
| 図 11) Mandrel wrap .....   | 19 |
| 図 12) エンドツーエンド減衰テスト - リファレンス .....   | 21 |
| 図 13) エンドツーエンド減衰テスト - チェック .....   | 22 |
| 図 14) エンドツーエンドの減衰テスト - テスト .....   | 22 |
| 図 15) OTDR トレース .....  | 24 |
| 図 16) SFP トランシーバモジュール用の 3 種類のラッチ装置 (左から右) : (a) マイラータラッチ、<br>(b) アクチュエータボタンラッチ、(c) ベールクラスラッチ ..... | 26 |
| 図 17) トラブルシューティング図 [4] .....   | 31 |

# はじめに

本ドキュメントでは、ストレージエリアネットワーク（SAN）に関連する FC インフラの設置に関する実践的なガイドを提供することを目的としています。このドキュメントには、正常なインストールに必要な背景情報が記載されています。

このインストレーションガイドは、Data ONTAP® の管理、アクティブ/アクティブ構成、MetroCluster に精通し、本番環境への導入を検討しているストレージネットワークの設置技術者、管理者、アーキテクトを対象としています。

## SAN ファイバーネットワークの概要

SAN（ストレージエリアネットワーク）は、高度なストレージシステム用のデータ通信インフラストラクチャを提供します。LANなどの汎用ネットワークではサーバ間の通信が可能ですが、SANでは複数のパスを使用してサーバとストレージシステムを接続します。SANテクノロジには、コスト効率、高度な管理機能、高速なバックアップとリストアを実現する耐障害性に優れたソリューション、ビジネス継続性、データセキュリティなど、多くのメリットがあります。SANは、その機能を最大限に活用するために、汎用ネットワークとは別に設計、保守する必要があります。

SANでは、FCは、クライアントコンピュータとサーバを拡張性の高いデータボリュームに接続するための、業界で唯一の事実上の高速スイッチングシステム標準となっています。FCネットワークは、異機種混在デバイス間の接続を提供し、複数のインターフェイストポロジと、さまざまな転送プロトコル（IP、SCSI、iSCSI）の同時使用をサポートします。

SANでは、1Gbpsと2Gbpsのデータ速度で動作するFCネットワークソリューションが広く導入されており、現在では4Gbpsが一般的になっています。すでに8GbpsのFC（業界で承認された最新規格）がハイエンド環境で使用されています。FC規格では、マルチモードファイバとシングルモードファイバがプライマリメディアタイプとして指定されています。推奨されるファイバタイプは、必要な距離とデータレートによって異なります。主な用途は、レーザーで最適化された50/125 μmのマルチモードファイバなど、850 nmで動作するマルチモードファイバを使用したデータセンターSANです。建物間のリンクにはシングルモードファイバが必要な場合があります。

## SANの一般的な光ファイバネットワークトポロジ

ファイバアプリケーションは、次の論理トポロジをサポートできます。

- 現在のお客様の構内への設置では、ポイントツーポイントの論理トポロジが依然として一般的です。直接通信を必要とする2つのデバイスは、通常はファイバペア（送信用に1つ、受信用に1つ）で直接リンクされます（図1 (A)）。
- 論理スタートポロジ：ポイントツーポイントトポロジリンクの集合です。すべてのリンクには、通信システムを制御する共通のデバイスがあります（図1(b)）。一般的なスター型アプリケーションには、イーサネットなどのスイッチやFCスイッチがあります。
- 論理リングトポロジ：このトポロジでは、各デバイスはリング内の隣接するデバイスに接続されます（図1 (c)）。デバイスは、シングルリングまたはデュアルリング（カウンタローテーション）で接続されています。カウンタ回転リング（最も一般的）を使用すると、2つのリングが反対方向に送信されます。一方のデバイスで障害が発生すると、一方のリングが自動的にもう一方のリングでループバックし、残りのデバイスが正常に機能するようにします。これには、単純なリングで使用されるペアではなく、デバイスごとに2つのファイバペアが必要です。FDDIネットワークでは、通常、バックボーンにはカウンタ回転リングトポロジが、水平には1つのリングが使用されます。
- 論理バストポロジは、データ通信ネットワークによって利用され、IEEE 802.3規格でサポートされています。すべてのデバイスが共通の線を共有しています（図1 (d)）。トラン

スマッシュションは、リングと同様に、一方向ではなく共通の回線上で双方に発生します。

- 論理メッシュトポロジは、ネットワーク内のすべてのデバイスをネットワーク内の他のすべてのデバイスに論理的にリンクします。いずれかのデバイスまたは伝送ポートに障害が発生した場合、データを別のデバイスに再ルーティングできます。この論理トポロジは通常、スイッチとルータのネットワークに実装されます（図 2）。このネットワークでは、各デバイスがトラフィックのルーティングを行い、高い信頼性を提供する必要があります。

図 1) 論理ネットワークトポロジ

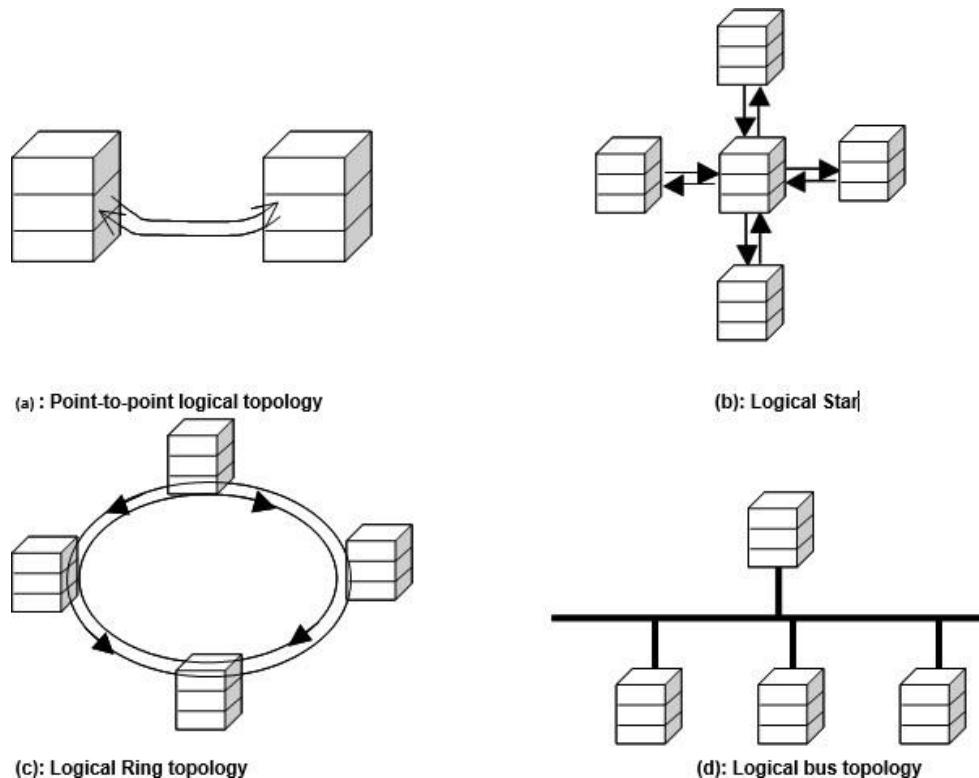
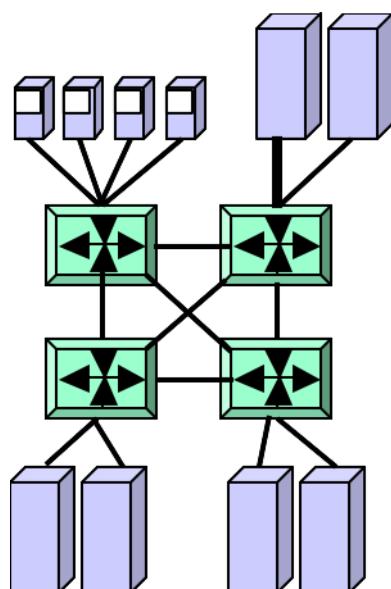


図 2) 論理メッシュトポロジ



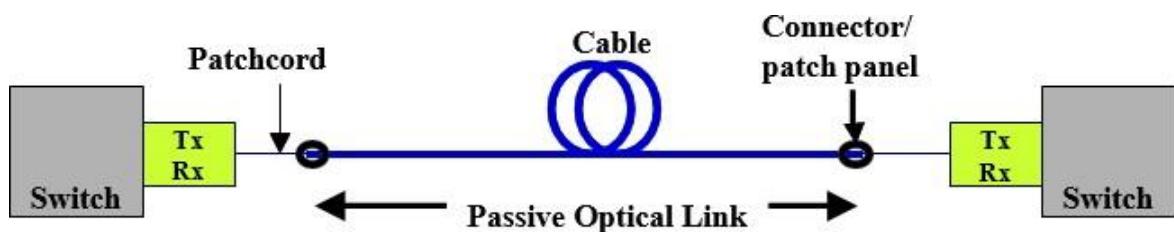
上記の論理トポジはすべて、TIA/EIA-568-B、Commercial Building Telecommunications Cabling Standard で推奨されている物理的なスター配線方式で簡単に実装できます。バスまたはリングトポジを利用したデータネットワークの使用は依然として存在しますが、企業環境の物理的なケーブル配線システムには物理的なスター型ケーブル配線が採用されています。

ワイドエリアネットワーク (WAN) では、冗長ファイバパスを使用して配置された物理リングトポジを見つけるのが一般的です。リング物理トポジの主な利点は、ケーブルが切断された場合のデバイスの耐障害性の向上です。

## 光ファイバリンクの一部

光ファイバリンクのファイバタイプとエンド光トランシーバ (Tx/Rx) の選択要因は、ファイバリンク距離、アプリケーション、およびデータレートの 3 つです。マルチモード光ファイバ (MMF) は、一般に関連光トランシーバがシングルモードシステムより経済的であるため、オンプレミスアプリケーションの主要伝送媒体です。建物とキャンパス間のリンクには通常、シングルモードファイバ (SMF) が必要です。特定のシステム設計を分析すると、適切なファイバタイプと光トランシーバを選択できるようになります。その後、ファイバとシステムの両方の光パラメータを詳細に検討する必要があります (図 3)。

図 3) 光ファイバリンク



シングルモードおよびマルチモードファイバの形状特性とファイバコア構造は大きく異なり、各ファイバタイプには、異なる通信ネットワークアプリケーションに適した異なる光パフォーマンス属性があるためです。MMF コアの直径が SMF の直径の 5 倍を超えており、ロスの少ない接続、ファイバからファイバ、ファイバからトランシーバへの配置の簡素化など、MMF の明らかな利点があります。したがって、MMF はオンプレミスおよび LAN とオンプレミスおよび LAN アプリケーションに最適です。

トランスマッタ は MMF および SMF の特性をよりよく理解するため、光トランシーバで使用されるさまざまなトランスマッタを考慮する必要があります。トランシーバで使用できる光送信機には、主に 4 種類あります。これらの 4 つの主なタイプは、光源として発光ダイオード (LED) またはレーザーを使用し、コスト、光学特性、および性能に大きな違いがあります。LED は、大型の MMF に結合するのに適した、不整合で大きなスポットサイズの光を出力します。LED の広いスペクトル幅では、データレートが 655 Mb/s に制限されています 655 MB/s 以上のシステムでは、レーザーを使用する必要があります。LED ソースの一般的な出力電力は -12 dBm です。レーザーは光の狭い場所を放出し、SMF への効率的な結合を可能にします。また、LED よりもスペクトル波長がはるかに狭いため、より高いデータレートで変調することができます。トランシーバで使用される主なレーザータイプは次の 3 つです。

- **Fabry-Perot (FP)** レーザーはエッジ発光デバイスで、マルチモードスペクトルを示します。これらは、SM ファイバと MM ファイバの両方で 1300/1310nm アプリケーションに一般的に使用されます。
- **分散フィードバック (DFB)** レーザーは、FP レーザーよりも高価で、スペクトルシングルモードであり、SMF よりもリーチパフォーマンスが向上しています。これらのレーザーは 1310nm および 1550nm で使用できます。
- **VCSEL (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser)** は、比較的新しいタイプの半導体レーザーです。半導体表面から光が放射されます。このレーザーの 850nm 版は数年前から製造されており、約 95% のギガビットイーサネットおよび FC アプリケーションに採用されています。VCSEL は、

MMF を使用した短距離構内アプリケーションの送信機として、最大 10 Gbps のデータレートで採用されています。その低消費電力と大規模なアクティブ領域により 'SMF では不適切になります構内アプリケーションで使用されるすべてのタイプの送信元は、直接変調 (DM) です。ソース自体の電源をオンまたはオフにするため、直接変調と呼ばれます。これは、長距離用途で使用される外部変調 (EM) レーザーとは対照的です。DM ソースのコストパフォーマンス比は、ほとんどのオンプレミスアプリケーションに適しています。

光ファイバトランスマッタは、光を発する波長によって特徴があります。公称放射波長は、送信機の中心波長と呼ばれます。850 nm または 1300 nm の中心波長を持つ LED は、長年広く使用されてきましたが、マルチモード光ファイバの伝送仕様は通常、この 2 つの波長で規定されています。シングルモードシステム用のレーザートランスマッタは、1310 nm または 1550 nm の中心波長で動作します。したがって、シングルモードのファイバは、これら 2 つの波長での伝送仕様を伝送します。VCSEL は、マルチモードファイバ上で 850 nm の中心波長で動作します。

レシーバ 光トランシーバのレシーバ側には、光信号を電気信号に変換する光検出器があります。LAN および SAN アプリケーションでは、PIN 光検出器が最も広く使用されています。PIN 光検出器は、シンプルで低コストのデバイスです。長距離 WAN/Metro/Long Haul アプリケーションでは、高い感度のために、Avalanche フォトダイオード (APD) が広く使用されています。レシーバの動作波長は、トランスマッタの動作波長と一致する必要があります。1300 および 1550 nm 動作用に設計されたレシーバは、850 nm での使用には適していません。

**データ・レート** データ・レートは、ビット・エラー・レート (BER) が特定のしきい値を下回っているときに送受信できる、1 秒あたりの最大ビット数です。一般的な BER しきい値は、1012 ビットで 1 エラーです。

**ダイナミックレンジ** ビットエラーは、光検出器に光が強すぎるか少なすぎる場合に発生します。光検出器の応答は、ダイナミックレンジと呼ばれる特定のパワーレベル範囲内でのみ線形です。特定の光検出器の線形応答領域 (ダイナミックレンジ) を超えると、レシーバーが飽和状態になり、ビットエラー率が低下します。レシーバーの光パワーが高すぎる場合は、光減衰器を光ファイバに合わせてレシーバーに配置し、受信した光パワーの量を減らすことができます。

**レシーバ感度** は、特定の BER (10<sub>-12</sub> の BER など) を維持するためにレシーバで必要な最小電力レベルを指定します。通常、1 Gbps イーサネット動作の場合、850 nm で -17 dBm の値が使用されます。

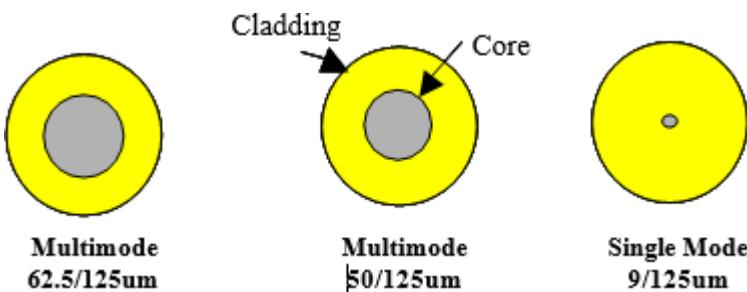
**動作波長** 動作波長は、システム設計におけるもう 1 つの重要なパラメータです。マルチモードファイバは、850 nm および 1300 nm の 2 つの波長ウインドウでの動作に最適化されています。伝送波長の影響を受ける 2 つの主要パラメータは、信号減衰 (または伝播損失) と伝送ノイズです。

従来のマルチモード光ファイバ (62.5/125  $\mu$  m) は、1300nm での帯域幅に合わせて最適化され、850nm での 1300nm での減衰が低減されました。しかし、データレートが着実に増加していることから、マルチモードシステムは減衰が限定され、モード分散によって帯域幅が制限される可能性が低くなっています。850 nm で動作する VCSEL は、レーザー最適化 50/125  $\mu$  m マルチモードファイバの開発を加速しました。これにより、リンク距離を高速データレートで延長しながら、マルチモードファイバに関連するシステムコストを全体的に削減することができます。

これらのファイバでは、マルチモードファイバで、多数のモードまたは光が同時に光ファイバコア (ウェーブガイド) を通して伝送されます。光は、許容される円錐内のいくつかの個別の角度でのみファイバコアに伝播されるため、モードが存在します。MMF はシングルモードファイバに比べてコア直径がはあるかに大きく、SMF よりも光を簡単に結合できます。異なるモードまたは光線の到着時間間の差異はモード分散と呼ばれ、MMF リンクの受信側で信号ノイズを発生させます。マルチモードファイバは、ステップインデックスファイバまたはグレードインデックスファイバとして分類できます。

北米の標準タイプのマルチモード光ファイバは、50/125  $\mu$  m および 62.5/125  $\mu$  m 光ファイバで、TIA/EIA-568-B.3 および IEC 11801 によって認識されます。TIA/EIA 492AAAA と TIA/EIA-492AAAB では、62.5/125  $\mu$  m、50/125  $\mu$  m の機械的、幾何学的、および光学的特性の詳細が記載されています。図4 に、3 種類の光ファイバの断面図を示します。

図 4) マルチモードおよびシングルモードのファイバの相対コア / クラッドサイズ



OM-1 従来型 (FDDI グレード) マルチモードファイバは、LED ベースのトランシーバで広く使用されていました。データレートが MB/秒から Gbps に増加すると、高速 VCSEL ベースのトランシーバと互換性のある LED 最適化からレーザー最適化マルチモードファイバにネットワークが移行されます。レーザー光は、シングルモードファイバとは異なる方法でマルチモードファイバ内に入り、伝播します。LED ソースからの光の直径がファイバコアの直径よりも大きいため、いわゆる「オーバーフィル起動」状態になります (図 5)。一方、レーザー光源からの光ビームの直径は、マルチモードファイバのコアよりも小さく、マルチモードファイバではいくつかのモードしか励起されません (図 5)。レーザーの変調速度が本質的に高速であるため、励起モードが少数であるため、レーザーベースのトランシーバーは、レーザー最適化マルチモードファイバを使用してより高い帯域幅を実現できます。

図 5) LED とマルチモードファイバへのレーザー光の発射。[1]



マルチモードファイバの帯域幅 / 到達パフォーマンスをより定量化するために、複数の測定手法が開発されました。マルチモードファイバの 4 つの主な帯域幅測定手法は次のとおりです。

- オーバーフィル・ローンチ (OFL) : LED などの LED を使用して、LED に最適化されたマルチモードファイバのコアをオーバーフィルします。この測定値は、従来のプロトコルを実行し、LED ソースを使用しているシステムパフォーマンスを良好に示します。
- 制限モード起動 (RML) : レーザー最適化ファイバへの移行に対応するために開発された技術です。この測定の開始条件  $\mu$  は、高速 VCSEL レーザー光源と似ており、マルチモードファイバの中心に 23.5 m のスポットを配置しています。
- 差動モード遅延 (DMD) : このファイバ測定は、マルチモードファイバ内のモードグループの遅延時間を特定します。
- 有効なモーダル帯域幅 (EMD) : これは、既知のラウンチパワーディストリビューションの市販レーザーおよび既知の RML または DMD のファイバを使用したシステムで見られる帯域幅です。

表 1 に、マルチモードファイバの主なタイプをまとめます。

表 1) マルチモードファイバの種類

| MMF タイプ | コア / クラッドの直径 | Standard                           | 説明  |
|---------|--------------|------------------------------------|---|
| OM-1    | 62.5:125     | ドラフト ISO/IEC11801 Edition 2 ファイバ分類 | OFL の最小帯域幅 850nm を 200MHz.km、OFL 帯域幅 1300nm を 500MHz.km として指定します                      |
| OM-2    | 50/125       | ドラフト ISO/IEC11801 Edition 2 ファイバ分類 | OFL の最小帯域幅 850nm を 500MHz.km、OFL 帯域幅 1300nm を 500MHz.km として指定します                      |
| OM-3    | 50/125       | ドラフト ISO/IEC11801 Edition 2 ファイバ分類 | OFL の最小帯域幅 850nm を 1500MHz.km、OFL 帯域幅 1300nm を 500MHz.km、EMB 850nm 2000MHz.km に 指定します |

一部のサプライヤは、OM-1、OM-2、および OM-3 マルチモードファイバの拡張仕様を提供しています。これらの高性能バージョンは、それぞれ「OM-1+」、「OM-2+」、および「OM-3+」と呼ばれます。ISO/IEC 11801 に基づいて標準化されていません。たとえば、Corning の OM-1+、OM-2+、OM-3+ の場合、850nm の光ファイバ帯域幅はそれぞれ 385、850、および 4700 MHz.km です。

ITU-T G.652.D および TIA/EIA-492-CAAB で指定されているように、水ピーク領域で減衰が低いシングルモードファイバは、1310 nm および 1550 nm 領域での動作に設計されていますが、各波長領域でトレードオフがあります。1550 nm での減衰は、一般に 1310 nm での減衰よりも低くなります。ただし、波長分散は 1310 nm よりも 1550 nm のほうがはるかに高くなります。構内用途向けの TIA/EIA-568-B.1、Commercial Building Telecommunications Cabling Standard、および IEC 11801 (Customer Premises の Generic Cabling for Customer Premises) では、1310 nm での運用を目的としているため、分散シフトされていないシングルモードファイバの使用を推奨しています。10 Gbps イーサネット規格では、1310 nm および 1550 nm での動作が規定されています。この場合、分散シフトされていないシングルモードファイバでは、低水ピークを使用します (表 2)。

表 2) 各種コーニングファイバーの FC データレート / 最大リーチ

| タイプ :             | 波長      | データ速度 :  | 最大距離 (m) |
|-------------------|---------|----------|----------|
| OM-1 (62.5/125um) | 850 nm  | 1Gbps    | 300      |
|                   | 850 nm  | 2Gbps    | 150      |
|                   | 850 nm  | 4GB/秒    | 70       |
|                   | 850 nm  | 10GB/秒   | 33       |
| OM-2 (50/125um)   | 850 nm  | 1Gbps    | 500      |
|                   | 850 nm  | 2GBps です | 300      |
|                   | 850 nm  | 4GB/秒    | 150      |
|                   | 850 nm  | 10GB/秒   | 82       |
| OM-3 (50/125um)   | 850 nm  | 1Gbps    | 860      |
|                   | 850 nm  | 2GBps です | 500      |
|                   | 850 nm  | 4GB/秒    | 270      |
|                   | 850 nm  | 10GB/秒   | 82       |
| OM-3+ (50/125um)  | 850 nm  | 1Gbps    | 1130     |
|                   | 850 nm  | 2GBps です | 650      |
|                   | 850 nm  | 4GB/秒    | 350      |
|                   | 850 nm  | 10GB/秒   | 550      |
|                   | 1300 nm | 1Gbps    | 10,000   |

| タイプ：                      | 波長      | データ速度：   | 最大距離 (m) |
|---------------------------|---------|----------|----------|
| OS1 シングルモードファイバ (9/125um) | 1300 nm | 2GBps です | 10,000   |
|                           | 1300 nm | 4GB/秒    | 10,000   |
|                           | 1300 nm | 10GB/秒   | 10,000   |

## 光ファイバの終端

光ファイバの終端には、次の 4 つの基本的な方法があります。

- ピグテール接合
- ケーブルアセンブリを終端処理しました
- フィールド終端
- ハードウェアを終了しました

ネットアップでは、ケーブルの配置は簡単で、さまざまな長さがすぐに使用できるため、機器のジャンパ、ワークエリアのジャンパ、パッチコードには、工場出荷時に終端されたケーブルアセンブリを使用することを推奨しています。工場で終端されたケーブルアセンブリを使用することで、設置に伴う作業と時間を最小限に抑え、製造上の品質を向上させることができます。終端処理されたアセンブリは、すべての長さと、すべてのモダンなコネクタータイプで使用できます。

**光コネクタ** の標準化と信頼性の向上により、光ファイバシステムの利用が向上しています。表 3 に、最も一般的に使用されるコネクタのいくつかを示し、挿入損失、コネクタのパフォーマンスに対する主な考慮事項、および再現性を示します。**LC** コネクタは、**LAN** および **WAN** の多くの用途で急速に選択可能なコネクタとなっている小型フォームファクタ光ファイバコネクタです。**LC** コネクタは、優れた保圧密度とプッシュプル設計を備えており、ラッチ機構により、未挿 / 再充填サイクル中にファイバエンド面の接触による損傷を受けません。**LC** コネクタは、**EIA/TIA-604-10** で **FOCIS 10** (光ファイバコネクタの互換性標準) として標準化されています。

**SC** コネクタは **LC** コネクタの 2 倍のサイズで、**EIA/TIA-604-03** で **FOCIS 3** (光ファイバコネクタの互換性規格) として標準化されています。

表 3) 一般的に使用される光コネクタのタイプ

| コネクタ：           | タイプ：    | 挿入損失                           | 再現性     |
|-----------------|---------|--------------------------------|---------|
| <b>FDDI</b><br> | MMF、SMF | 0.2 / 0.7                      | 0.20 dB |
| <b>LC</b><br>   | MMF、SMF | 0.15 dB (SMF)<br>0.10 dB (MMF) | 0.20 dB |
| <b>SC</b>       | MMF、SMF | 0.20 ~ 0.45 dB                 | 0.10 dB |

| コネクタ：                 | タイプ：    | 挿入損失                           | 再現性     |
|-----------------------|---------|--------------------------------|---------|
|                       |         |                                |         |
| <b>LC デュプレックス</b><br> | MMF、SMF | 0.15 dB (SMF)<br>0.10 dB (MMF) | 0.20 dB |

光ファイバコネクタコアは非常に小さく、小さな粉塵粒子でも部分的または完全に光ファイバのコアを隠すことができます。これを防止するために、光ファイバコネクタは、接続が解除され、接続されるたびにクリーニングする必要があります。また、光ファイバコネクタを使用していないときは、コネクタを覆うことも重要です。ほとんどのコネクターメーカーは、何らかの保護ブートを提供しています。保護されていないコネクタの端は、床にぶつかるなど、衝撃によって損傷することが最もよくあります。

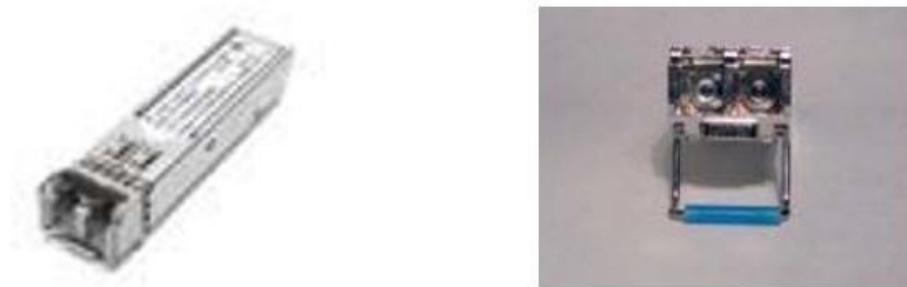
**Field Termination** : LAN で光ファイバケーブルを終端するための最も一般的な方法は、**Field Termination** です。パッチコード、機器コード、クロスコネクトジャンパを除き、ネットワーク全体でフィールド終端を行うことをお勧めします。一般に、データセンターでは、水平アプリケーションやバックボーンアプリケーション用に終端ケーブルを使用して設置を迅速化します。特定のアプリケーションに対して適切な終了を選択する場合は'挿入損失と反射出力の 2 つの仕様を考慮する必要があります挿入損失とは、コネクタを介して一方の光から他方の光に光が送られることによって生じる信号の減衰です。一方、光リターンロス (反射) は、コネクタの合わせから線源またはトランスマッタに反射される光の量です。

キャンパス環境でファイバからファイバへのスプライスを行う場合は、ケーブルを長さを連続して取り付けることで回避できます。これは通常最も経済的で便利な解決策です。ただし、ケーブルプラントのレイアウト、長さ、配線管の輻輳、または建物の入り口に記載されていないケーブルタイプと記載されているケーブルタイプの間での移行の要件により、スプライスが必要になる場合があります。光ファイバの接合方法は、(i) **Fusion** スプライスと (ii) メカニカルスプライスの 2 つの主要カテゴリに分類されます。**Fusion** スプライスは、アライメントしてから電気アーケを使用して、2 本の被覆を取り除いたクリーニング済みの切断されたファイバーをまとめてフェューズします。機械的スプライスは、2 つ以上の光ファイバを配置し、自己完結型アセンブリで約 50 mm の長さで保持する光デバイスです。2 本のファイバの位置合わせは、ファイバの外径に依存しているため、スプライス損失を抑えるためには、光ファイバのコア / クラッド同軸の精度が重要になります。

## FC SFP トランシーバ

光トランシーバは、ネットワークデバイスのマザーボード (スイッチ、ルータなどのデバイス用) と光ファイバまたはシールドなしツイストペアネットワーキングケーブルをインターフェイスします。光トランシーバには、競合するメーカー間のマルチソース契約 (MSA) で指定されたさまざまなフォームファクタがあります。Small Form-Factor Pluggable (SFP) 光トランシーバは、GBIC インターフェイスのあとに設計されています。SFP は GBIC よりもポート密度が高いため、SFP は mini-GBIC とも呼ばれます。SFP は LC コネクタを使用します。図 1 図 6 に SFP モジュールの図を示します。

図 6) SFP トランシーバモジュールの側面と前面



最新の SFP トランシーバは、業界標準の SFF-8724 MSA に準拠した DOM (Digital Optical Monitoring) 機能をサポートしているため、エンドユーザは光出力電力、光入力電力、温度、レーザーバイアス電流、トランシーバ供給電圧など、SFP のリアルタイムパラメータを監視できます。

SFP トランシーバにはさまざまな種類のトランスマッタおよびレシーバが用意されており、ユーザは各リンクに適したトランシーバを選択して、使用可能な光ファイバタイプで必要なリンク到達範囲を提供できます。光 SFP トランシーバは、通常、850nm、1310nm、1550nm、および WDM (CWDM と DWDM) の 4 つのカテゴリで提供されており、FC やギガビットイーサネットなどの複数の通信規格をサポートしています。「銅線」ケーブルインターフェイスでは、SFP トランシーバも使用できます。これにより、主に光ファイバ通信用に設計されたホストデバイスが、シールドされていないツイストペアネットワーキングケーブルを介して通信することができます。市販の SFP トランシーバには、最大 4.25 Gbps (4 x FC) のデータレート機能が搭載されています。

Fabric MetroCluster の設定には、4 種類の Small Form-factor Pluggable (SFP) が関連付けられています。以下にその変更点を示します。

850nm レーザーをベースとした短波長レーザー (SWL) は、短距離伝送用に設計されています。これは最も一般的なメディアのタイプであり、Brocade 200E のデフォルトです。

**長波長レーザー (LWL)** 長波長レーザートランシーバは、1310nm レーザーに基づいています。長距離ネイティブ FC リンクに使用されます。通常、これらのメディアタイプはシングルモードファイバケーブルで使用されます。

**Extended Long Wavelength Laser (ELWM)** Extended Long Wavelength Laser (ELWM) トランシーバは、1550nm レーザーに基づいています。LWL メディアがサポートできる距離を超えてネイティブ FC 接続を実行するために使用されます通常、これらのメディアタイプではシングルモードファイバケーブルを使用します。

**WDM (Coarse) (CWDM) SFP トランシーバと高密度 (DWDM) SFP トランシーバ**は、シングルモードファイバ内のマルチ波長チャネル伝送に市販されています。

必要な SFP トランシーバのタイプは、使用する距離とインターフェクトテクノロジの機能です。表 4 に、NetApp 解決策でサポートされる SFP トランシーバのタイプと仕様を示します。

表 4) ネットアップでサポートされる SFP トランシーバ

| SFP タイプ (波長)         | 最大距離              | 速度                 | ネットアップポート番号 | 外部ベンダー / 部品番号         | シングルノードクラスタの場合は電力バージェット |
|----------------------|-------------------|--------------------|-------------|-----------------------|-------------------------|
| SWL (850nm)          | 500m <sup>1</sup> | 4Gbps <sup>3</sup> | X1563C-R5   | Finisar/FTLF8524P2BNV | 9 dB                    |
| LWL (1310nm)         | 10km <sup>2</sup> | 4Gbps <sup>3</sup> | X1670A - r5 | Finisar/FTLF1424P2BCD | 15dB                    |
| ELWL (1550nm)        | 80km <sup>2</sup> | 2GBps <sup>3</sup> |             | Finisar/FTLF1519P1xTL | 21dB                    |
| DWDM (1530 ~ 1560nm) | 500 km            | 2GBps <sup>3</sup> |             | Finisar/FWLF-1631-xx  | 28dB                    |

注 :<sup>1</sup> マルチモードの 50/125 ケーブルを使用。62.5/125 ケーブルを使用している場合は 300m。

<sup>2</sup> 9/125 シングルモードケーブルを使用。

<sup>3</sup> つの 4Gbps の速度はまだサポートされていません。新しい 4 Gbps LWL および ELWL SFP が認定されています

## ファブリック拡張の概要

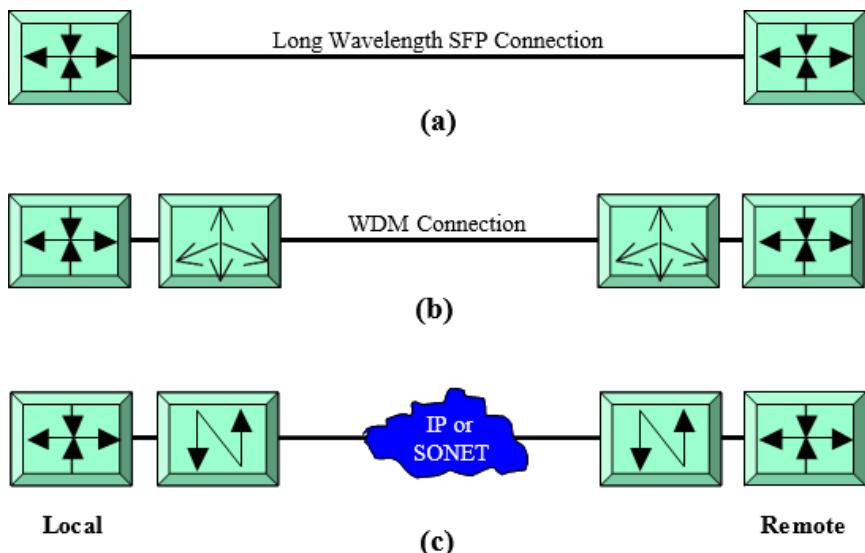
ファブリック拡張は、2つのサイトをリンクするスイッチ間の拡張インターフェイスリンク接続です。SAN の拡張により、長距離および複数のサイトで耐障害性に優れたストレージ解決策が実現し、次のように定義できます。

- 次の値よりも大きい距離：
  - 4Gbps FC の場合は 150m
  - 2Gbps FC の場合は 300m
  - 1Gbps FC の場合は 500m
- WDM (波長分割多重) 、FC-IP (FC-IP) 、または FC-SONET 製品のペア間の距離

ファブリック拡張は、任意の FC トポロジで実装できます。図 7 に、3 つの SAN 拡張の例を示します。

1. 長波長、長距離トランシーバを使用する FC
2. 1 本のファイバストラップで複数のチャネルを伝送する WDM (波長分割多重)。各チャネルは、異なる色または波長トランシーバを使用します。これらのチャネルは、リングまたはポイントツーポイントトポロジを可能にするさまざまな波長固有の Optical Add/Drop Multiplexer (OADM; 光アド / ドロップマルチプレクサ) とネットワーク接続されています。
3. FC over Internet Protocol や SONET などのマルチプロトコル長距離テクノロジー。この構成は MetroCluster 構成ではサポートされません。

図 7) SAN 拡張の例



# ファイバリンク上の伝送およびリンク距離に影響する要因

ファイバ上での最大伝送距離は、使用可能な光パワーバジェット、または信号がファイバを介して伝播する際の累積ノイズによる信号の劣化によって制限される場合があります。電力バジェットによる最大伝送距離の制限については、後のセクションで説明します。このセクションでは、シングルモードおよびマルチモードファイバ内の信号伝送に分散が及ぼす影響に焦点を当てます。

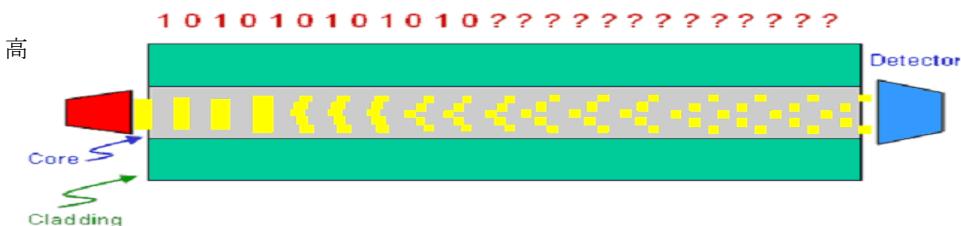
## マルチモードファイバのモーダル分散

データセンターおよび SAN のアプリケーションが急速に拡大し、1 ~ 4、8、および 10 Gbps の速度が向上すると、マルチモードファイバの伝送障害はより大きな制限パラメータになります。1 および 10 Gbps の FC およびイーサネットシステムのパフォーマンスを決定する制限パラメータの 1 つに、Inter-Symbol Interference (ISI) があります。

ISI は、ネットワークの到達範囲と帯域幅を制限するデータ通信システムの障害です。イーサネットおよび FC システムは、デジタル伝送 (1 および 0) を使用して情報を送信します。送信レーザーがオンになると、デジタル「1」が送信され、オフになるとデジタル「0」が表示されます。しかし、レーザーパルスがファイバを伝播するときに拡散すると、隣接するビットタイムスロットにオーバーラップする可能性があり、ファイバの受信側の検出器を混乱させ、ビットエラーとシステム障害を引き起こします。システム速度を 1 ~ 4、8、10 Gbps に上げると、システムビット期間が 4、8、10 の係数で減少します。したがって、各ビットは割り当てられたビット期間内に完全に維持され、隣接するビット期間にオーバーラップしないことが求められます。ISI を最小限に抑えることで、マルチモードベースのシステムの対応範囲を拡大できます。

パルススプレッディング（信号の分散とも呼ばれる）は ISI を引き起こし、マルチモードファイバのパルススプレッディングの主原因是、差動モード遅延 (DMD) またはモード分散です。マルチモードファイバには、光がファイバを通過できる数百の光経路（モード）があります。各モードの光の速度が同じ場合、光ファイバの DMD はゼロになります。しかし、ファイバ製造と設計の欠陥により、モーダル速度に大きな違いが生じ、DMD の量が発生します。レーザーが DMD が高すぎる光ファイバに「1」を送信すると、このレーザーパルスを表すさまざまなモードの光が、異なる速度でファイバを通過します。その結果、図 8 に示すように、バイナリ「1」を表す一部の光モードが隣接するビット期間に広がり、システムが故障する可能性があります。レーザーに最適化されたファイバなど、DMD が低いファイバを使用すると、システムパフォーマンスが大幅に向上します。

図 8) 長距離マルチモードファイバでデータ転送を行う際の ISI の原因となる DMD



段階的屈折率プロファイル（コアガラスの屈折率がファイバの中心からの半径距離に応じてゆっくりと減少する）を備えたマルチモードファイバでは、理論的にモード分散を排除する必要があります。しかし実際には、モード分散は最小化できますが、排除することはできません。これは、マルチモードファイバの主な帯域幅制限要因です。

## シングルモードファイバの分散

シングルモード光ファイバは、深刻なマルチモード光ファイバに関連する分散を排除し、処理する波長分散 (CD) と偏光モード分散 (PMD) のみを排除します。

波長分散は、同じモード内であっても、異なる色や波長が異なる速度で伝送されるという事実を表します。波長分散とは、材料の分散、導波管分散、またはプロファイル分散の結果です。通常、レーザーからの光のパルスには複数の波長が含まれているため、ファイバ内の距離を走行した後、これらの波長が時間内に分散して拡散する傾向があります。光ファイバの屈折率は波長が増加するにつれて減少するため、波長の移動が速くなります。最終的には、受信したパルスが送信したパルスよりも広い（またはより正確に）ことが、異なる波長での様々な遅延パルスのスーパー位置になります。PMDは、光の複数の状態が存在するため、パルスの拡散を考慮しています。

分散電力ペナルティは、伝送リンク上の分散の影響を定量化するために使用されるメトリックです。光トランスマッタが短い長さのファイバ（バックツーバック）および光減衰器を介して光レシーバに接続されている場合、減衰を増やしてレシーバ感度を決定できます。通常、レシーバ感度制限は所定のビット誤り率（BER）で定義されます。通常、10 ~ 10または10 ~ 12のBERが使用されます。分散電力ペナルティは、バックツーバック感度とリンク感度の差です（送信機と受信機間の光ファイバの距離を指定します）。

## 光リンクの後方反射

すべてのレーザーは反射の影響を受けやすくなっています。後方反射によりレーザーのキャビティが妨げられ、レーザーの有効なノイズフロアが増加します。強い背面反射により、一部のレーザーの原因が不安定になり、システムの大幅な劣化を引き起こす可能性があります。背面反射を制御することの重要性は、送信される情報の種類と特定のレーザーによって異なります。レーザーチップ自体の設計上、一部のレーザーは反射の影響を受けやすくなっています。ほとんどの場合、決定要因は、ファイバがレーザーチップにどの程度までしっかりと結合されているかです。一般に、低電力レーザーはファイバへの弱い結合を持ちます。レーザー出力のわずか5 ~ 10%が光ファイバに結合されている可能性があります。つまり、背面反射の5 ~ 10%だけがレーザーキャビティに結合され、レーザーは反射の影響を受けないようにになります。これは通常、LAN/SAN アプリケーションで使用されるマルチモードトランシーバの場合です。

## ファイババンド

LAN/SANで使用されるすべてのファイバのガラスクラッドの直径は125 $\mu$ mであるため、すべて同じ曲げの柔軟性を示します。光ファイバの曲げ径は、光学性能に影響を及ぼす前に機械的な信頼性を考慮すると制限されます。TIA568では、長期的な機械的な整合性を確保するために、2および4ファイバケーブルの曲げ半径を30mm（1.8インチ）以下に制限しています。

光パフォーマンスの観点から見た場合、曲げは20mm（1インチ）未溝の曲げ半径であっても、マルチモードファイバの光減衰のレベルを大幅に高めます。

## MetroCluster インフラストラクチャでの効果的な最大ファイバリーチ

最大光リンク長は、次の2つの距離制限のうち短い方です。

- 光パワーバジェットによる距離制限（図9）
- 使用されているファイバのタイプの帯域幅制限による距離制限（表5の最大距離で表されます）。

表 5) 光ケーブルのパラメータ一覧

| ケーブルのタイプ               | タイプ:             | モード | Wavelength (nm) | 最大距離 (m) | 減衰 n (db/km) | スライスロス (dB) | 接続またはペア損失 (dB) |
|------------------------|------------------|-----|-----------------|----------|--------------|-------------|----------------|
| <b>1Gbps</b>           |                  |     |                 |          |              |             |                |
| OM2                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 500      | 3            | 0.3         | 0.75           |
| OM3                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 860      | 3            | 0.3         | 0.75           |
| OS1*                   | 9/125 um         | 単一  | 1,310           | 2000     | 0.4          | 0.3         | 0.75           |
| <b>2GBps です</b>        |                  |     |                 |          |              |             |                |
| OM2                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 300      | 3            | 0.3         | 0.75           |
|                        |                  |     |                 |          |              |             |                |
| OM3                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 500      | 3            | 0.3         | 0.75           |
| OS1*                   | 9/125 um         | 単一  | 1,310           | 2000     | 0.4          | 0.3         | 0.75           |
| <b>4G bps</b>          |                  |     |                 |          |              |             |                |
| OM2                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 150      | 3            | 0.3         | 0.75           |
| OM3                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 270      | 3            | 0.3         | 0.75           |
| OS1*                   | 9/125 um         | 単一  | 1,310           | 500      | 0.4          | 0.3         | 0.75           |
| <b>IB 1X 250 MB/秒</b>  |                  |     |                 |          |              |             |                |
| OM2                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 300      | 3.5          | 0.3         | 0.75           |
| OM3                    | 50 / 125 $\mu$ m | マルチ | 850             | 500      | 3.5          | 0.3         | 0.75           |
| 注: *ISL 専用のシングルモードケーブル |                  |     |                 |          |              |             |                |

表 5 は、各種標準組織が発行した文書で利用できるデータ通信の光ケーブル接続に関する「標準的な」データをまとめたものです。特に重要なのは、ファイバの導入に関連するデータです。

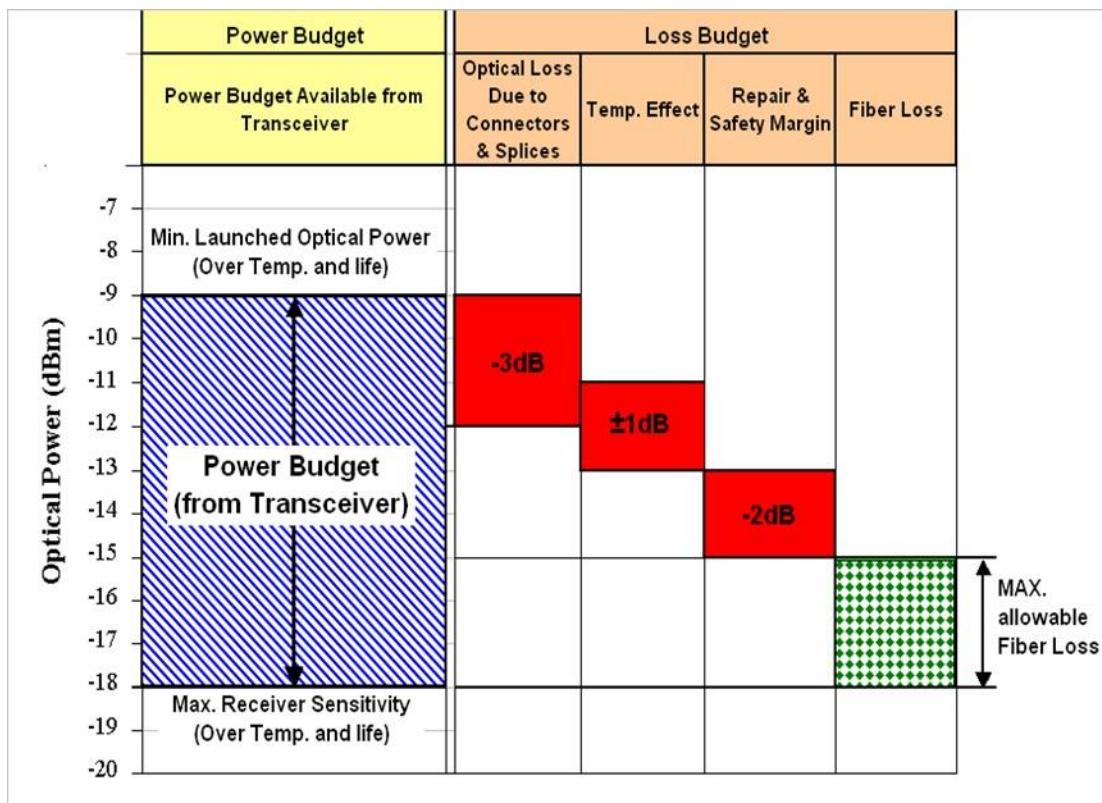
## 電力バジェットの制限

光ファイバリンクを設計するには、いわゆる「光リンク損失バジェット」を利用可能な光パワーバジェットと比較して分析する必要があります。図 9 は、ファイバリンクの設計に必要な光計算を示しています。

このリンク例は、850nm で動作する 2Gbps (2xFc) SFP トランシーバ、300m の OM2 ファイバ、および図 10 に示す 2 つのパッチパネルで構成されています。

図 9 の図は左側から始まり、リンクに指定されたトランシーバの送受信ポートから使用できる光パワー バジェットがあります。最小起動電力と光レシーバーの大文字と小文字の区別の差は、利用可能な最小光パワーバジェットとなります。最悪の場合の光起動電力およびレシーバ感度は、トランシーバ・ベンダーが動作温度範囲およびトランシーバの寿命にわたって保証する主要なパラメータです。図 9 の例では、850nm で動作する 2Gbps SFP トランシーバの最小起動電力は -9dBm、最大レシーバ感度は -18dBm であるため、使用可能な電力バジェットは  $-9 \sim (-18) = 9$ dB となります。これは、図 9 の青い対角線の範囲です。

図 9) 光リンク損失の予算に対する主な貢献者の図



光損失の予算は、図 9 の赤の実線のブロックで示されています。損失予算の 1 つの要因は、コネクタおよび/またはスプライスが存在することです。この例の光パスには、4 つの光コネクタペア（ソース、宛先、2 つのパッチパネル）があり、スプライスがないために 3dB の損失が発生します。各メイテッドコネクタペアは約 0.75dB の損失をもたらすため（表 5 を参照）、コネクタによる総損失は  $4 \times 0.75\text{dB} = 3\text{dB}$  です。

次に ±、光リンク損失バジェットに 1dB が追加され、ファイバ自体およびメイテッドコネクタの温度影響が考慮されます。

光リンク損失予算の次の要因は、将来のパッチパネルまたはスプライスを追加するための修理および安全マージンです。この場合は -2dB と指定します。

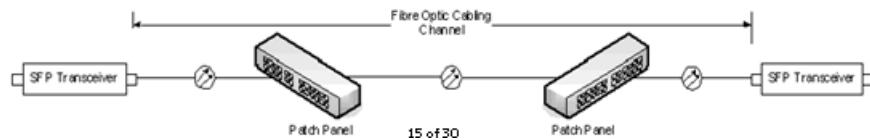
最大ファイバ長は、最大許容ファイバ損失を計算することによって決定できます。これは、トランシーバが提供する使用可能な電力バジェット（青色の対角線のブロック）から総電力損失（すべてのソリッド赤ブロックの合計）を差し引いたものです。この例では、最大許容ファイバ損失は（9dB ~ 6dB = 3dB）であり、図 9 の緑色の点線で表されます。最大ファイバ長は、許容ファイバ損失をファイバ減衰で除算して計算されます。例として、OM2 ファイバの光減衰は、表 5 に示すように 3dB/km です。ファイバリンクの最大距離は次のとおりです。

$$L_{\max} = (\text{Max Allowable fiber loss}) / (\text{Fiber attenuation}) = (3\text{dB}) / (3\text{dB/km}) = 1\text{km.}$$

この例では、最大電力制限のあるリンク距離は 1,000 m です。ここで、使用するファイバのタイプによって距離制限をチェックする必要があります。

図 9 のチャートを他のリンクシナリオに簡単に適用して、トランシーバの使用可能な電力バジェットに適切な値を適用し、コネクタおよびスプライスによる損失を適用することで、電力制限のある最大リンク距離を決定できます。以下の付録では、このような計算のための実用的なワークシートも提供しています。

図 10) リンク例



## モーダル分散による距離制限

一般的な考え方とは異なり、光ファイバは無制限の帯域幅を提供しません。すべてのタイプのファイバには、特性帯域幅 \* 距離制限があります。これは、基本的に、光信号のデータレートが増加するにつれてファイバリンクの許容長さが減少することを意味します。これは、シングルモードファイバ (SMF) には当てはまりますが、これよりもはるかに多くの点で、モードノイズなどの影響が最大帯域幅を制限することを意味する MultiMode Fiber (MMF) に当てはまります。・距離 (単位は MHz · km) に到達可能です。ファイバ帯域幅・距離制限は、送信機で使用される光ソースのタイプと波長の機能でもあります。ファイバ帯域幅による最大距離・表 5 には距離制限が示されています。この例では、MM2 タイプのマルチモードファイバ (2Gbps) および 850nm で、550m として指定されています。この例では、最大保証距離は、ファイバ帯域幅の 550 m に制限されています。

表 5 に示す一般的なパラメータは控えめなものであり、特定のインストールは最大値を超えて動作する場合があることに注意してください。テーブルに指定された距離。上記の分析では、公称値に基づいて光リンクを設計および評価するための便利なツールが提供されていますが、認定ファイバ技術者によるファイバリンクおよびそのコンポーネントの実際のテストと特性評価は、光リンクの実際の制限を決定する最も正確な方法です。これは、チャネルの特性を物理的に測定し、使用中のファイバの仕様の範囲内であることを確認することで、仕様の最大値よりも長い距離が得られることを意味します。

この決定は実装担当者に残されています。様々な基準は、構成された最大値を超える距離をサポートするための公式なスタンスを取らないためです。ただし、最悪の場合よりも優れた性能を発揮する構成部品を使用することで、長距離の運転が可能になる可能性を指摘するためです。リンクの最大距離は、リンク上で実行されているデータレートに強く依存することに注意してください。したがって、リンクをアップグレードする際には、2 から 4 Gbps への移行などのデータレートを慎重に再評価する必要があります。

## FC インフラのテストと検証

設置された光ファイバケーブルシステムをテストし、テスト結果を文書化することは、ネットワーク全体の完全性と長期的なパフォーマンスを確保するために必要な作業です。適切なテストにより、システムの寿命を最大限に延ばし、ダウンタイムとメンテナンスを最小限に抑え、システムのアップグレードや再構成を効率的に行うことができます。この章では、SAN のマルチモードファイバケーブル接続に特に重点を置いた、新規設置およびシステムアップグレードのための光ファイバケーブル接続システムのテスト、検証、およびドキュメント化について説明します。

この章では、シングルファイバコネクタ (LC コネクタや SC コネクタなど) の場合のみ取り上げ、MP コネクタなどのマルチファイバコネクタには対応していません。

## ケーブルシステムのテスト

2004年2月にTR-442規格に適合した業界テストガイドラインTSB-1140は、設置業者およびネットワーク所有者がケーブルプラントを認証している方法を変更することを推奨しています。基本的に、テストは2つのレベルに分かれています。Tier 1は、光損失を測定するロス/長さ認証ツールを使用した、エンドツーエンドおよびセグメントごとの減衰測定です。Tier 2は、光リンクを特定するOptical Time Domain Reflectometer(OTDR;光タイムドメイン反射率計)を使用します。両方の層のテストを実施することで、設置されたケーブルシステムとそのコンポーネントの定量的な測定が可能になります。

減衰は、デシベル(dB)単位で測定される光パワーロスとして定義され、光ファイバシステムの主なフィールドテストパラメータです。ネットワーク/システム全体の減衰には、ケーブル、コネクタ、スプリイス、パッチコード/ジャンパ、およびファイバのきつく曲がったり、余分な応力がかかることが含まれます。

### エンドツーエンドの減衰テスト

取り付けられたケーブルシステムのバックグラウンド減衰(DBSで測定された光パワー損失)は、挿入損失方式を使用して測定されます。挿入損失方式には、光ソースと光パワーメータが必要です。この方式では、近端(P1)でケーブルシステムに供給される光パワーと、遠端(P2)から出る信号の光パワーの2つの光パワーの差を比較します。

$$\text{Loss (dB)} = P2 (\text{dBm}) - P1 (\text{dBm})$$

ここで、P1 = 入力電力(dBm) および P2 = 出力電力(dBm)

オンプレミスアプリケーションでは、ほとんどすべての光パワーレベルが負のdBm値であり、消費電力レベルは1mW未満です。通常のLEDの出力電力は-20dBmで、850nm VCSELベースのSFPの出力電力は-3dBm未満です。

マンドレルラッピングTIA/EIA-568-B.1では、マルチモードファイバでリンク減衰テストを実行する際にマンドレルラッピングの使用を推奨しています。マンドレルラップは、図11に示すように、滑らかな丸型マンドレル(ロッド)の周囲にファイバ(5ラップ)の長さを巻き付けて構成されています。マンドレルの周囲にファイバを巻き付けて生じた曲げは、クラッドの高次モードを除去します。マルチモードファイバのコア内の光に加えて、過剰充填起動条件により、クラッドにはいくつかの高次モードが存在する場合があります。高次モードは十分な長さのファイバリンクを通過してクラッドにリークし、失われます。ただし、一般的な減衰テストの手順を参照する際には、数メートルしか長さがないジャンパを使用します。このような短い距離では、高次モードがテストメーターに到達し、参照に対する光パワーの読み取り値が高くなり、実際のシステムテスト中に高損失システムが出現する可能性があります。マンドレルを使用して、高次モードによるテスト結果の無効化を防止します。さまざまなマルチモードファイバジャケットに推奨されるマンドレルの直径を表6に示します。

図11) Mandrel wrap.

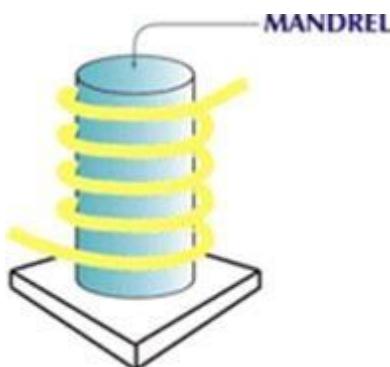


表 6) マルチモードファイバでのマンドレルの包装直径

| ジャンパタイプ (直径)      |                            |                            |                          |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| マンドレル直径 vs. タイプ : | 2.0 mm ジャケット付きケーブル、mm (in) | 2.4 mm ジャケット付きケーブル、mm (in) | 3.0 mm ジャケットケーブル、mm (in) |
| 50 $\mu$ m        | 23 - 0.9                   | {22.6}-{0.9}               | 22 - 0.9                 |
| 62.5 $\mu$ m      | 18/0.7                     | 0.7 cm (17.6インチ)           | 17/0.7                   |

### 装置およびアクセサリ

- 安定した光源により、安定した出力電力と既知の波長の安定した光がファイバに供給され、エンドツーエンドの減衰テストが可能になります。850nm および 1300nm の発光ダイオード (LED) はマルチモードテストに使用され、1310 nm および 1550nm レーザーはシングルモードファイバのテストに使用されます。高日付レート (1 Gbps 以上) のマルチモードシステムには、850nm で発光する垂直キャビティーサーフェス発光 (VCSEL) ベースの光源が使用されます。 (ベンダー : EXFO、Corning、Fluke など)
- システムと一致するコネクタ入力を備えた光パワーメーター。多くの一般的なモデルでは、850、1300、および 1550nm の波長で測定できます。一般的な機能としては、さまざまなコネクタを簡単にテストできる交換可能なコネクタアダプタ、複数の基準値の保存、コンピュータなどの電子機器からの干渉によるエラーを防ぐ RF シールドなどがあります。 (ベンダー : EXFO、Corning、Fluke など)
- 適切な直径でピンを巻きつける (ベンダーにはコーニングを含む)。
- システムファイバと同じタイプのファイバジャンパをテストします。出荷時に終端されたジャンパが高い方が望ましい。

### フィールドテストの前に確認します

- すべてのテストジャンパ (エンドツーエンド) およびテスト用ファイバボックス (OTDR) が、ケーブルシステムと同じファイバコアサイズおよびコネクタタイプであることを確認します。たとえば、OM-2 (50/125 m) ファイバをテストする場合は、50/125 m テストジャンパを使用する必要があります。
- 光ソースが安定しており、850 / 1310nm マルチモードおよび 1310 / 1550nm シングルモードの公称波長の  $\pm 20\text{nm}$  以内で中心波長があることを確認してください。TIA/EIA-526-14-A では、マルチモード LED ソースのスペクトル幅を 850nm で 30 ~ 60nm、1300nm で 100 ~ 140Nm にすることを推奨しています。
- 電力計が公称波長ごとにキャリブレーションされており、NIST キャリブレーション規格に準拠していることを確認します。
- パワーメータと光源が同じ波長に設定されていることを確認します。
- 測定前および測定中に、すべてのシステムコネクタ、アダプタ、およびジャンパが正しくクリーニングされていることを確認します (「ファイバクリーニング」の項を参照)。

### 手順

エンドツーエンド減衰テストは、以下の TIA/EIA 仕様に従って、単純な 3 ステップ手順によって実行されます。

- マルチモードファイバ : OFSTP-14A
- シングルモードファイバ : OFSTP-7A

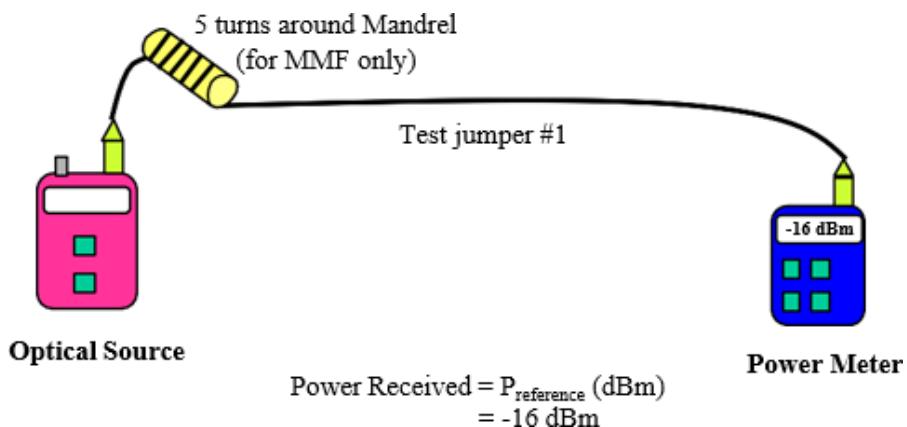
ここで説明する手順は、パッチパネルからパッチパネルアプリケーションまでを対象としています。

## 手順 1 : リファレンス

次に説明するように、1 ジャンパのリファレンスをお勧めします。これにより、最も正確な結果が得られます。2 ジャンパのリファレンスは、パッチパネルからシステムが開始し、エンド機器で直接終了した場合にのみ使用してください。3 ジャンパのリファレンスは、システムがエンド機器で直接起動および終了した場合にのみ使用してください。参照するジャンパを追加すると、損失の可能性がなくなるため、参照が不正確になります。

図 12 に示すように、オプティカル(光学式)ソースとオプティカル(光学式)メーターの間に短いテストジャンパを接続します。マンドレルラップにより、テスト結果が動作中のシステムを代表するものであることが保証されます。測定値 **Preference**を基準電力として **dBm** で記録します。これは、ジャンパに接続された光源の電力レベルです。リファレンス値を記録した後は、光ソースのジャンパ接続を外したり、調整したり **Preference**しないでください。光ソースでジャンパ接続を解除すると、値が変化し、最終テスト結果が不正確になる可能性があります。

図 12) エンドツーエンド減衰テスト - リファレンス

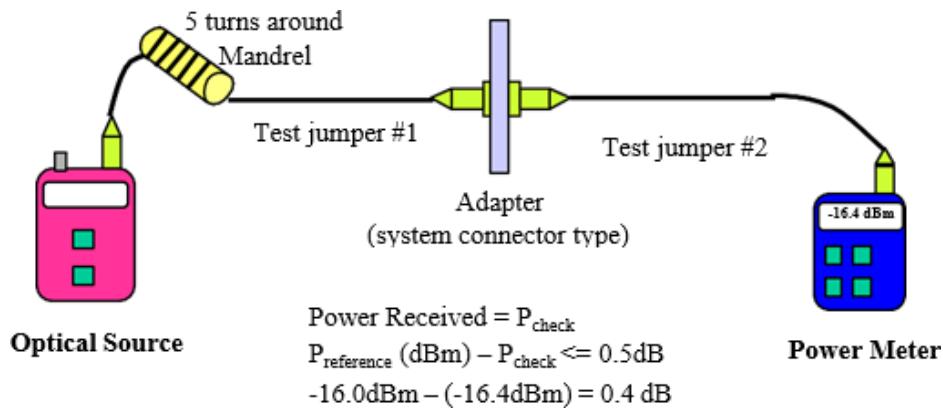


## 手順 2 : 確認します

電源メーターのテストジャンパ #1 を外し、手順 1 で使用したジャンパと光学式パワーメータの間にアダプタを使用して、2 番目のテストジャンパ (テストジャンパ #2) を挿入します (図 13 を参照)。2 つ  $P_{\text{check}}$   $P_{\text{Preference}}$  のテストジャンパが適切なコネクタ損失の範囲内にあることを確認し、通常は 0.5 dB の範囲内であることを確認します。この条件が満たされている場合は、手順 3 に進みます。それ以外の場合は、ソース接続点を除くすべてのコネクタをクリーニングし、手順 2 を繰り返します。損失が 0.5 dB を超えている場合は、テストジャンパ #2 を交換し、手順 2 を繰り返します。損失が 0.5 dB を超えている場合は、アダプタを交換し、手順 2 を繰り返します。

通常、0.5 dB は出荷時に終端されたテストジャンパに使用され、適切な値は使用されている特定のタイプのコネクタの最大ペア損失を保証することに注意してください。

図 13) エンドツーエンドの減衰テスト - チェック

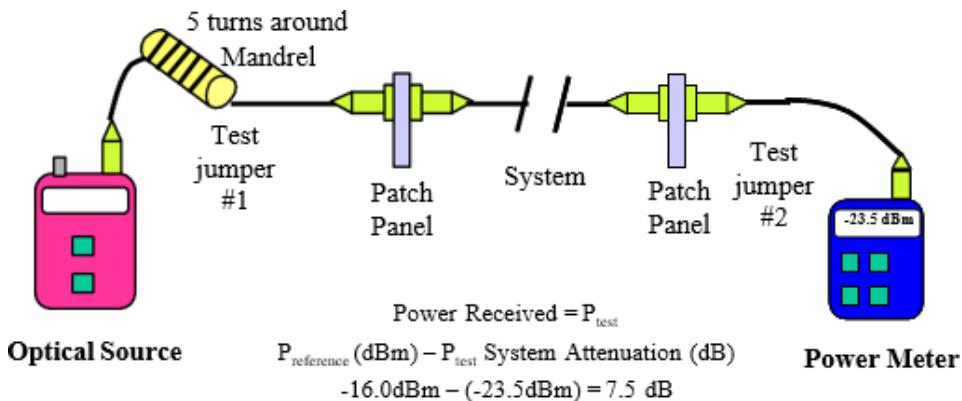


### ステップ 3 : テスト

光学式電源と光学式メータに接続された 2 つのテストジャンパを残したまま、アダプタから 2 つのジャンパを外します。テストするシステムファイバーの一方の端にオプティカルソース/テストジャンパ #1 を取り付け、同じファイバーのもう一方の端に電源計/テストジャンパ #2 を取り付けます (図 14 を参照)。

電力レベルを dBm で記録  $P_{test}$  し、損失を dB 単位で計算します。テストする各ファイバについて、この手順を繰り返します。

図 14) エンドツーエンドの減衰テスト - テスト



アプリケーションガイドライン パッチパネルからパッチパネルへの各セグメントの減衰をテストすることにより、関連するセグメントの損失を追加するだけで、実質的にすべてのパスの損失を判断できます。このテストにより、予測可能なシステムパフォーマンスが確保され、定期的なメンテナンスチェックが可能になります。

LAN およびデータセンターのすべてのコネクタファイバについて、指定された両方の波長でエンドツーエンドの減衰テストを実行することを強く推奨します。マルチモードファイバは、850 および 1300 nm の一方向でテストする必要があります。また、シングルモードファイバは 1310 および 1550 nm の一方でテストして、波長による減衰の違いを考慮する必要があります。

許容可能なリンク減衰またはシステム予算は、リンク長、スプライスの数、およびコネクタペアの数によって異なります。許容可能なファイバ減衰値の最大値は、ケーブルデータシートまたはメーカーの仕様によって決定できます。減衰値 (dB/km) に長さ (km) を掛けた値により、ファイバの最大減衰 (dB) が得られます。リンクにスプライスまたはコネクタペアが含まれている場合は、を追加しますスプライスポイントあたり 0.3 dB、TIA/EIA-568-B.3 のコネクタペアあたり 0.75 dB。

たとえば、図 14 のシステムには 1.55 km のファイバ、2 つのコネクタペア、および 2 つのスプライスがあります。ファイバが 50/125  $\mu$  m の場合、ファイバ損失の最大値は  $1.5 \text{ km} \times 3.5 \text{ dB/km}$  (850 nm) 、 $1.5 \text{ dB/km}$  (1300 nm) (5.4 dB (850 nm) 、2.3 dB (1300 nm) ) です。総コネクタ損失が 1.5 dB、スプライス損失が 0.6 dB の場合、予算は 850 nm で 7.5 dB、1300 nm で 4.4 dB になります。

異なるコアサイズのマルチモードファイバまたは異なるモード照射野直径のシングルモードファイバがシステムにスプライスされたり、結合された場合には、コネクタペアとスプライスの最大損失が高くなることに注意する必要があります。この損失はシステムの損失につながるため、システムの動作を妨げる可能性があります。

## OTDR のテスト

SB-1140 に準拠したバックグラウンドでは、すべての光ファイバケーブルリンクにティア 1 が必要であり、IA/EEA-5526-14A および TIA/EIA-5526-7 (それぞれ取り付けられているマルチモードおよびシングルモードの光パワーロス測定) に準拠しています。OTDR によるティア 2 テストは、LAN およびデータセンターではオプションですが、ティア 1 の補足として、強く推奨します。OTDR トレースは、各ファイバリンクのグラフィカルなシグネチャで、設置の品質を把握し、ケーブル、コネクタ、スプライス、曲げなどの個々の「イベント」を分析します。OTDR は、ロス / 長さ証明ツールの必要性に代わるものではなく、ファイバリンクの追加評価に使用されます。

OTDR では「ファイバの一方の端にしかアクセスできない」設置された個のコンポーネントの詳細な分析が可能であり「さまざまなシナリオで使用できる最も汎用性の高いインストールおよびトラブルシューティングツールです

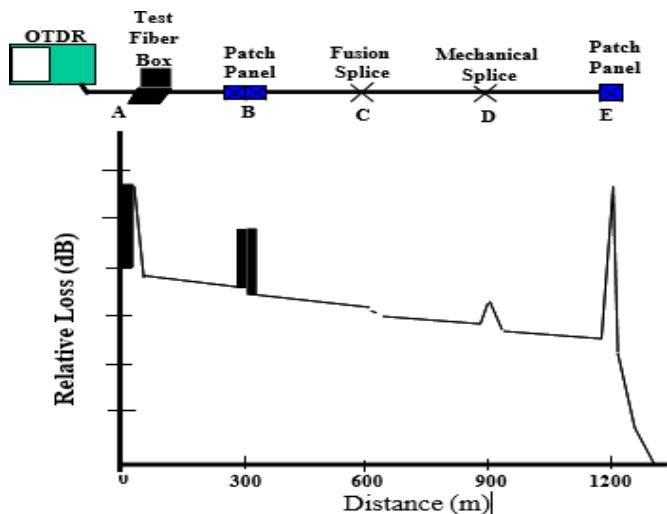
- ケーブルの受け入れ：設置前後のケーブルの整合性「全体の長さ」ファイバの減衰量を dB/km で評価します
- OTDR シグニチャトレースマニュアル-「アズビルト」ファイバブループリントとして、ケーブルシステムの受け入れ、ネットワーク計画、およびメンテナンスに役立つマニュアルを提供します。
- コネクタとスプライスの喪失-現場で取り付けられたコネクタと中スパンの機械的または Fusion スプライスを測定して文書化します。
- トラブルシューティング：初期のシステムパフォーマンスのベンチマークを使用して「時間の経過に伴う比較を行いますまた「ケーブルの一方の端にのみアクセスすることで「ケーブルの問題や破損を特定および特定するための強力なツールを提供します

**OTDR テストおよびトレース分析** OTDR はレーダーと同様に機能し、光ファイバを介してレーザー光のパルスを送信し、反射されたパルスの遅延時間を正確に測定します。OTDR は「これをロス情報と距離情報としてグラフ形式で表示し「ケーブル全体の長さの詳細な概要を一度に提供しますエラー! 参照ソースが見つかりません。に、OTDR によって表示される情報の例を示します。

- OTDR は、水平スケールの距離 (メートルまたはフィート) と垂直スケールの相対損失 (dB) をプロットします。トレース全体が左から右に減少し、ケーブルの長さを短くすると、光がファイバ、コネクタ、スプライスによって減衰していることを示します。
- 線形断面はケーブルの連続スパンを表します。
- 斜面では、光ファイバの一部で分散損失が発生していることを示します (急勾配では、光ファイバの損失が dB/km 単位で増加していることを示します)。
- 垂直ドロップは、コネクタ (ポイント A および B) 、スプライス (ポイント C および D) 、および障害におけるポイント損失を表します。ドロップの大きさは、損失を dB で表します。

- スパイクまたはスプロップは、ガラスの導通が遮断されているコネクター（点 A および B）またはメカニカルスプライス（点 D）などの反射イベントを示します。トレースの最後のスパイクは、ファイバの終端（ポイント E）を示します。
- テスト用ファイバボックスは、システムファイバの近端からの反射によって OTDR レシーバーが飽和する可能性がある OTDR 高電力起動の影響を軽減するために必要です。テストしたシステムの最初の数メートルは正確なトレースが生成されません。マルチモードシステムの場合は 100 m 以上、シングルモードシステムの場合は 300 m 以上必要です。テスト用ファイバボックスのファイバコアの直径は、テストするシステムファイバと同じでなければなりません。

図 15) OTDR トレース



- OTDR 装置** : OTDR は、最も汎用性の高い単一の光ファイバ取り付けツールです。汎用性の高い OTDR には次のもの
  - デュアル 850/1300 nm マルチモード動作、および同一ユニットで 1310/1550 nm シングルモード動作をサポートする機能。
  - ポータブルなバッテリー駆動操作。
  - 保存されたトレースの分析、比較、および印刷用のコンパニオン PC ソフトウェアパッケージ。OTDR は、Fluke、EXFO、JDSU など、複数のベンダーから提供されています

## ケーブルシステムテストの概要

表 7) ケーブルシステムテストの概要[4]

| 前提セグメント          |  |                         |  |
|------------------|--|-------------------------|--|
| テスト方法            | バックボーンケーブル (LAN)   | LAN およびデータセンター (水平ケーブル) | 必要な機器  |
| エンドツーエンド 減衰 (必須) | 一方向の二重波長挿入損失：<br>* mm : 850 および 1300nm<br>* SM : 1310 および 1550nm | 850 または 1300nm (マルチモード) | * 光学式メーター<br>* 光ソース<br>※2 テストジャンパ<br>* 1 つのアダプター<br>* ラッピングマンドレル |

| 前提セグメント  |   |   |                             |
|--|---|---|-----------------------------|
| OTDR テスト<br>(内部プラント<br>のみオプション)                            | 各ファイバの OTDR 検査が 100 m<br>を超える<br><br>* mm : 850 および 1300nm<br>* SM : 1310 および 1550nm<br><br>必要に応じて、二重波長または<br>双方向テストを行います | 必要に応じて、予算<br>制限を超えてリンクのトラブルシュ<br>ーティングを行います | * OTDR<br>* 繊維箱をテストし<br>なさい |
| ディスクリートコ<br>ネクタおよびスス<br>ペイスロス (外部<br>および内部プラン<br>トのみオプション) | 各フィールド終端コネクタの<br>OTDR 測定、および各スプライス<br>の波長が 1 になる<br><br>* mm : 850 および 1300nm<br>* SM : 1310 および 1550nm                   | 必要に応じて、予算<br>制限を超えてリンクのトラブルシュ<br>ーティングを行います | * OTDR<br>* 繊維箱をテストし<br>なさい |

## ドキュメント

テスト結果を文書化することで、システムの品質を定量化し、システム障害を特定し、複数のベンダーが関与している場合のアカウンタビリティを確立できます。次のテスト結果およびケーブル記録について、アクセス可能なドキュメントを維持することを強くお勧めします。また、TIA/EIA-606 「商用ビルの電気通信インフラストラクチャの管理基準」に記載されている要件に従ってこの文書をフォーマットすることは有益です。

### テスト結果

- End-to-End MAX Data
- OTDR シグニチャトレース
- コネクターおよびスプライスロスのコンプライアンス証明書

### ケーブルレコード

- ケーブル仕様-ケーブルの最小の光学性能と機械的性能を保証します。
- ケーブル配線図-次のものを含める必要があります。
  - ファイバルーティングおよびロケーション情報
  - ファイバ接続情報
  - スプライスポイントの位置
  - パッチパネルの位置
  - ケーブルの長さ
  - ケーブルのパート番号

## 安全、取り扱い、クリーニング手順

### レーザーの安全手順

トランシーバモジュールには、不可視の放射線を放射するクラス 1 レーザーが装備されています。光ファイバ製品からのレーザー出力は、特定の条件下で視力を損傷する可能性があります。次のガイドラインを確認してください。

- 製品に電源を供給する前に、製品データシートとレーザー安全ラベルをお読みください。  
動作波長、光出力電力、および安全分類を記録します。
- 電力を供給する前に、ファイバをデバイスの出力に接続します。

- 光が出ているかどうかを確認するために、光ポートを開けたり、光ファイバの端を凝視したりしないでください。ほとんどの光ファイバレーザー波長（850、1310、および 1550 nm）は、肉眼では見えません。
- 受電装置のファイバの端には、何らかのタイプの拡大鏡が付いていないことを絶対に確認しないでください。これには、顕微鏡、目のルーペ、および拡大鏡が含まれます。これにより、お客様の網膜に恒久的かつ不可逆的な書き込みを行うことができます。原因こののようなデバイスを使用する前に、必ず電源が切断されていることを確認してください。

## SFP トランシーバモジュールの使用

SFP モジュールを使用する場合は、次のガイドラインに従ってください。

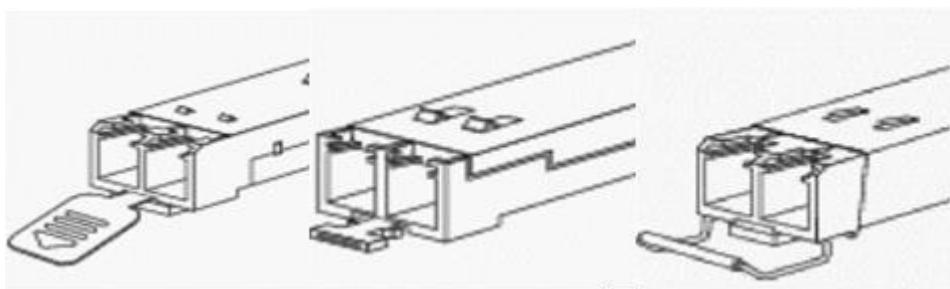
- SFP モジュールは、静的に認識されます。ESD による損傷を防ぐため、シャーシに接続された静電気防止用リストストラップを着用してください。
- SFP モジュールは、埃の影響を受けやすいものです。装置は、必ず光ボアに適切なプラグを取り付けて保管してください。
- SFP モジュールは、必要以上に取り外して挿入しないでください。SFP モジュールの繰り返し削除や挿入により、耐用年数が短くなります。
- 光 SFP トランシーバの場合、ダストプラグを取り外して光接続を行う前に、必ず次のガイドラインに従ってください。
  - 未接続の光ファイバケーブルコネクタとトランシーバの光ボアには、接続するまで保護用ダストプラグを付けたままにしておきます。
  - 接続を行う直前に、LC コネクタの端面を点検して清掃します。
  - 光ファイバケーブルを接続する場合は、LC コネクタハウジングをつかんで接続するか、取り外します。光ファイバケーブルを引っ張って LC コネクタを外しないでください。

**SFP モジュールの取り付けおよび取り外しに必要な工具** SFP モジュールの取り付けおよび取り外しには、次の工具を推奨します。

- 静電気防止用リストストラップ。
- トランシーバをオンにするための静電気防止用マット。
- 光ファイバエンドフェースクリーニング工具および点検装置

**SFP モジュールの取り付け手順** SFP トランシーバは、FC ポートに接続されたホットスワップ可能な入出力 (I/O) デバイスです。ネットアップが推奨する SFP モジュールのみを使用してください。SFP トランシーバモジュールには、(a) マイラータプラッチ、(b) アクチュエータボタンラッチ、(c) ベールクラスプラッチの 3 種類のラッチ装置があり、SFP トランシーバをポートソケットに固定できます。これらの図を図 16 に示します。手順の設置を開始する前に、SFP トランシーバに搭載されているラッチのタイプを確認する必要があります。

図 16) SFP トランシーバモジュール用の 3 種類のラッチ装置（左から右）：(a) マイラータプラッチ、(b) アクチュエータボタンラッチ、(c) ベールクラスプラッチ



**SFP** トランシーバモジュールの取り付け手順は次のとおりです。

1. 静電気防止用リストストラップを手首と **ESD** 接地コネクタ、または装置シャーシの金属面に装着します。
2. **SFP** トランシーバモジュールを保護パッケージから取り出します。**SFP** モジュールのラベルをチェックして、アプリケーションに適したトランシーバモデルがあることを確認します。光ボアダストプラグは、ステップ 5 まで取り外さないでください。
3. **SFP** トランシーバの上部を識別する **send (TX)** と **receive (RX)** のマーキングを確認します。
4. **SFP** トランシーバをソケット開口部の前に配置し、モジュールコネクタがソケットコネクタの所定の位置にカチッと収まるまで、**SFP** トランシーバモジュールをソケットに挿入します。
5. ネットワークインターフェイスケーブルの **LC** コネクタからダストプラグを取り外します。ダストプラグは、後で使用できるように保管しておいてください。
6. **SFP** トランシーバの光ボアからダストプラグを取り外し、ただちにネットワークインターフェイスケーブル **LC** コネクタを **SFP** トランシーバに取り付けます。
7. ポートステータス **LED** を確認します。**SFP** トランシーバとターゲットデバイスにリンクが確立されると、**LED** が緑色に点灯します。**LED** が消灯または赤のままの場合は、ハードウェアガイドの「トラブルシューティング」の項を参照する必要があります。

**SFP** モジュール取り外し手順 : **SFP** トランシーバを取り外すには、次の手順を実行します。

1. 静電気防止用リストストラップを手首と **ESD** 接地コネクタ、または装置シャーシの金属面に装着します。
2. **SFP** トランシーバモジュールコネクタからネットワーク光ファイバケーブルを外し、ただちに **SFP** トランシーバ光ボアと光ファイバケーブル **LC** コネクタにダストプラグを取り付けます。
3. **SFP** トランシーバモジュールをソケットコネクタから外して取り外します。
4. **SFP** トランシーバに **Mylar** タブラッチが付いている場合は、トランシーバがソケットコネクタから外れるまでタブを少し下に引き、**SFP** トランシーバをまっすぐ引き出します。透明シートタブは、**SFP** トランシーバから外すことができるので、ひねったり引っ張ったりしないでください。
5. **SFP** トランシーバにアクチュエータボタンラッチが付いている場合は、ラッチメカニズムによって **SFP** トランシーバがソケットコネクタから外れるまで、**SFP** トランシーバの前面にあるアクチュエータボタンを押します。アクチュエータをつかみ、**SFP** トランシーバをモジュールスロットから慎重にまっすぐ引き出します。
6. **SFP** トランシーバにベールクラスプラッチが付いている場合は、ベールを引き出して押し下げ、**SFP** トランシーバをソケットコネクタから取り外します。ベールクラスプラッチが詰まっている場合は、小型のマイナスドライバを使用してベールクラスプラッチを開きます。**SFP** トランシーバを持ち、ソケットから慎重に取り外します。
7. 取り外した **SFP** トランシーバを、静電気防止用バッグまたはその他の保護環境に保管します。

## 光パッチコード、バルクヘッド、およびレセプタクルの注意と取り扱い

光ファイバコネクタ、バルクヘッド、およびレセプタクルが損傷する可能性があるイベントが多数あります。保護されていないコネクタとレセプタクルの端は、衝撃、空気中のほこり、過度の湿度、または湿気によって損傷を受ける可能性があります。最新のレーザーの光出力が増加すると、コネクタが損傷する可能性もあります。**850nm** でわずか数ミリワットが網膜に永久的な損傷を与えます。

ユーザーには常に次のような通知が表示されます。

- ファイバコネクタ、レセプタクル、またはバルクヘッドを点検する前に、すべてのレーザーソースをオフにしてください。
- ケーブルの両端が外れていること、またはカードまたはプラグ可能なレシーバーがシャーシから取り外されていることを確認します。

- 必要に応じて、適切な安全眼鏡を着用してください。
- コネクタまたはアダプタをクリーニングする前に点検してください。
- 接続する前に、コネクタを点検して清掃してください。
- コネクタハウジングを使用して、ファイバを接続または取り外します。
- 接続されていないファイバーコネクタには保護キャップを付けておきます。
- 使用されていない保護キャップは、ファイバへのほこりの移送を防ぐために、再密封可能な容器に保管してください。

また、次のような警告が表示されます。

- 光を伝送するファイバに接続されている光コネクタは、絶対にクリーニングしないでください。アルコールで飽和した組織などの一般的なクリーニング剤は、光パワーレベル **+15 dBm** 以上にさらされるとほぼ瞬時に燃焼し、コネクタの損失を抑えて光を伝送する能力が損なわれることに注意してください。
- 表面に残留物が残っていないことを確認する方法がない状態で、水を湿らせないでください。
- システムレーザーがオンになっている間は、ファイバーを見たり、ファイバーをファイバースコープに接続したりしないでください。
- バルクヘッドまたはレセプタクル装置を点検する方法がない場合は、絶対に清掃しないでください。
- 適切に接地されていない状態で製品に触れないでください。
- フィルタリングされていない携帯型拡大鏡や光学系に焦点を当てて、ファイバーコネクタを検査しないでください。
- ファイバーコネクタの端面や、組織、綿棒、クリーニングファブリックの清潔な部分には絶対に触れないでください。
- 組織、スワブ、クリーニングカセットリールは絶対に再使用しないでください。
- アルコールボトルの分注チップ、またはアルコールが加えられた組織または綿棒の一部には絶対に触れないでください。
- 裸火や火花の周囲でアルコールを使用しないでください。

## パッチコードのクリーニング

最初にドライクリーニングを試みることをお勧めします。その後、点検時にパッチコードコネクタが汚染されている場合は、2回目のドライクリーニングを適用できます。2回目のドライクリーニングの試みが汚染の除去に効果的でないと判断された場合にのみ、ウェットクリーニングを実施する必要があります。

光学パッチコードのドライクリーニングは、次のような方法で実施できます。**(i)** OPTIPOP や CLETOPなどのカートリッジクリーニングツール、または CARDCLEANERなどのポケットスタイルクリーナー、**(ii)** 糸くずの出ないワイプの使用、**(iii)** 糸くずの出ない綿棒の使用。

このセクションでは、糸くずの出ないワイプの使用方法について詳しく説明します。99%のイソプロピルアルコールも必要です。

1. 検査を開始する前に、レーザーがオフになっていることを確認してください。保護エンドキャップを取り外し、小型の再密封容器に保管します。
2. ファイバースコープを使用してコネクタを点検します。
3. ワイプを 4 層の厚さの正方形に折ります。
4. ワイプの一部を 99 % のアルコールで湿らせます。ワイプの一部が乾燥していることを確認します。
5. アルコールのファールールチップを、図「8」のように軽く拭きます。ワイプの乾燥した部分で図「8」の動作をすぐに繰り返し、残留アルコールを除去します。ファイバをワイプにスクラブ

- しないでください。スクラブすると、原因が傷を付けるおそれがあります。
6. ワイプを適切に廃棄します。ワイプは絶対に再利用しないでください。
  7. ファイバースコープを使用してコネクタを再度点検します。
  8. 必要に応じて、この手順を繰り返します。

### バルクヘッドおよびレセプタクルのクリーニング

レセプタクルとは、SFP トランシーバなどの光ポートを備えたパッケージデバイスを指します。多くのレセプタクルデバイスはレンズベースのシステムを使用しています。レンズベースのシステムは、ファイバとは対照的に汚染の影響を受けませんが、クリーニングが不適切な場合は損傷する可能性があります。レセプタクルデバイスを検査してもエンドフェイスクラッドにフォーカスできない場合は、レンズ付きデバイスを使用してクリーニングしないでください。バルクヘッドおよびレセプタクルのクリーニングに関する一般的なガイドラインをいくつか示します。

- バルクヘッドおよびレセプタクルでは、湿式洗浄は推奨されません。機器が破損するおそれがあります。
- レセプタクル側がクロス汚染されないように、必ずきれいな連結コネクタを接続してください。汚れのグラウンドは、異物の緩みよりもはるかに困難である。
- 最初に点検し、必要な場合にのみ清掃してください。
- 洗浄にスワブを使用することは、必ずしも効果的ではありません。汚染がコアをブロックしていることが観察されない限り、光ポートを単独で残す方がよい場合があります。汚染物質は、スワブを挿入する過程でエンドフェースにプッシュできます。
- バルクヘッドまたはレセプタクルを、後で点検する方法がない限り清掃しないでください。クリーニングは実際に悪い状態の表面を残すことができる。

**バルクヘッドおよびレセプタクル用ドライクリーニング手順**：この技術では、糸くずの出ない綿棒を使用する必要があります。

1. 検査を開始する前に、レーザーがオフになっていることを確認してください。保護エンドキャップを取り外し、再密封可能な容器に保管します。
  2. ファイバースコーププローブを使用して、アダプタまたはバルクヘッドのファイバーコネクタを点検します。アダプタが汚れている場合は、コネクタフェルールのサイズに従って、適切な糸くずの出ない綿棒を選択します。
  3. ファイバースコーププローブを使用して、アダプタのコネクタを再度点検します。
  4. 糸くずの出ないきれいな綿棒をアダプタに差し込みます。
  5. スワブを同じ方向に数回完全に回転させます。
  6. 綿棒を適切に廃棄します。綿棒は絶対に再利用しないでください。
  7. 必要に応じてクリーニングを繰り返します。
- **バルクヘッドおよびレセプタクル用のウェットクリーニング手順**：乾いたクリーニング手順がファイバーエンドフェイスから汚れを取外さなかった場合は、99% のイソプロピルアルコールと糸くずの出ない綿棒を使用して、ウェットクリーニングを行います。
  - 検査を開始する前に、レーザーがオフになっていることを確認してください。保護エンドキャップを取り外し、再密封可能な容器に保管します。
  - ファイバースコーププローブを使用して、アダプタまたはバルクヘッドのファイバーコネクタを点検します。アダプタが汚れている場合は、コネクタフェルールのサイズに従って、適切な糸くずの出ない綿棒を選択します。
  - 新しい糸くずの出ない綿棒を軽く湿らせて 99 % のアルコールを 1 滴塗布します。ただし、綿棒を過負荷にしないでください。クリーニング直後に乾燥した糸くずの出ない綿棒を用意してください。乾燥スワブが清潔であることを確認します。

- 軽く押して、湿らせた綿棒を回し、フェルール面をクリーニングします。
- クリーニングした直後に、軽く押して乾いた綿棒を回し、フェルール面に残っているアルコールを拭き取ります。綿棒は絶対に再利用しないでください。
- コネクタを再度点検します。

イソプロピルアルコールの使用には問題はありませんのでご注意ください。コネクタまたはアダプタから完全に取り外されていない場合は、残留液アルコールがエンドフェース上の汚れを落とす輸送メカニズムとして機能します。アルコールが発酵をゆっくりと蒸発させることができる場合、クラッドおよびファイバーコアに残留物を残すことができます。

## トラブルシューティング

システムエラーまたは障害のトラブルシューティングの際に、トラブルシューティングとサービス復元を効率的に行うための 3 つの主要な要素は次のとおりです。

**ドキュメント** 初期テスト結果とケーブル記録は、現在のテスト結果と元のドキュメントとの違いを比較するために必要です。これにより、変更点と潜在的な問題点を迅速かつ明確に特定できます。

テスト機器の初期減衰テスト結果は、単純な電力計を使用して、障害の切り分け、不要なサービスコールの排除、ダウンタイムの最小化を行うことができます。故障しているパッチコードは交換できます。ケーブルプラントに問題がある場合は、OTDR を使用して障害の正確な位置を特定できます。

**トラブルシューティング計画** 単純で効果的なフローチャートまたは手順を使用して、ネットワークトランスマッタ、レシーバ、パッチコード、またはケーブルセグメントのいずれかに障害を迅速に切り分ける必要があります。最初の手順で必要なのは、電力計、テストジャンパ、および「アズビルト」マニュアルのみです。

### 機器のトラブルシューティングをテストします

光パワーメーターは、トラブルシューティングの最初の手順を実行するために使用します。dBm の電力レベルのみを測定するように設計された、コンパクトでシンプルな電力計は、メンテナンス目的に適しています。

取り付けられているケーブルリンクに障害が切り分けられると、OTDR のシングルエンドテスト機能により、ケーブル内の障害を正確に特定できます。ただし、OTDR のデッドゾーンでは、障害がエンドポイントに近い場合や接続ハードウェア内にある場合の有用性が制限されます。このような状況では、視覚障害ロケーター (VFL) が OTDR をうまく補完します。VFL では、可視赤色のレーザー光源 (波長 ~ 650 nm) を使用して、エンドポイント付近の狭い曲げや折り目、コネクタの故障、スプライスの不良、コンポーネントの損傷、ファイバ破損などの障害や高損失点を特定します。

ファイバ・トーク・セットは '設置' 'テスト' メンテナンス' リストアの際に '設置されたケーブルを介してポイント・ツー・ポイントのシンプルな通信を提供します' 双方向無線とは異なり、テスト機器を妨害する可能性のあるエラーの原因となる RF 干渉は発生しません。

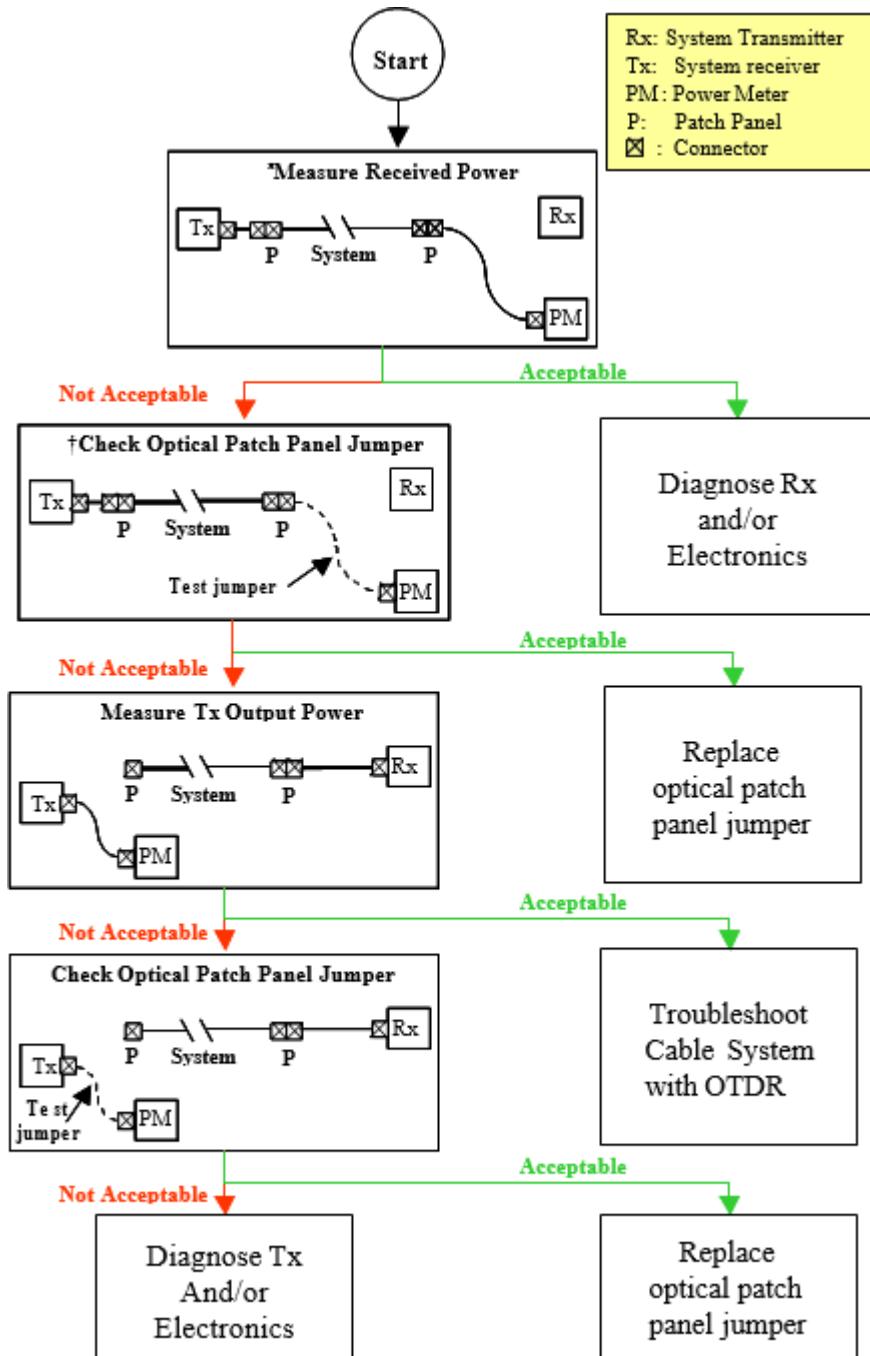
また、エンドフェイス検査は、トラブルシューティングに役立つ場合があります。250 倍以上の 400 倍カメラ (または OTDR メインフレームへのカメラアタッチメント) を使用すると、システムヘッドルームが低下している可能性のある、限界または欠陥のある研磨剤または未クリーニングのファイバエンドフェースを表示して修正できます。

### ファイバリングのトラブルシューティング

エラーのトラブルシューティング図参照ソースが見つかりません。障害の特定と特定の手順を実行します。まず、受信した光パワーを測定し、受信感度仕様と比較します。受信電力が正常な場合は、受信電子機器を診断して問題を特定する必要があります。ただし、受信電力レベルが低い場合は、次にトラン

スミッタ出力電力をテストする必要があります。送信機の出力が低い場合は、送信機の出力または電子機器に問題があることを示します。このような場合は、トランシーバを取り外してベンダーが推奨する別のトランシーバを接続するか、ベンダーに問い合わせてください。送信機の出力が正常で、受信電力が低い場合、ケーブルプラントで過剰な損失が発生しています。次に、電源計とテストジャンパを使用して、システムジャンパに障害があるかどうかを確認します。システムジャンパが許容できる損失を持っている場合は、終端されたケーブルプラント自体に問題がある可能性があります。ケーブルプラントでの損失は、コネクタの損傷やケーブルの切断または破損が原因で発生することがよくあります。

図 17) トラブルシューティング図 [4]



## 付録

### 電力バジェット

| プロジェクト  | スパン :      |
|---|------------|
| トランシーバの製造元 :  |            |
| トランシーバの製造元 P/N :  |            |
| ファイバのタイプ :  |            |
| 送信機の波長 :  | nm         |
| ピットレート :  | Gbps       |
| A) 最小トランスマッタ出力電力 :  | dBm        |
| b) ワーストケース (または最大) レシーバ感度 :                                 | dBm        |
| c) システムゲイン: (A-B) またはメーカー指定の光学バジェット                         | DB         |
| D) コネクタによる損失: (メーカーの仕様による)                                  | DB         |
| E) 設置時の分割による損失 :  | DB         |
| f) 将来の修理のための安全マージン*:  | DB         |
| G) 今後の WDM アップグレードのマージン (光マルチプレクサ / デマルチ プレクサ、スプリッタの追加など) : | DB         |
| h) 最大許容光ファイバリンク損失: (C-D-E-F-G)                              | DB         |
| I) ファイバ減衰 (表 1 またはファイバメーカーから) :                             | DB /<br>km |
| J) 最大許容電力制限付きファイバスパン長 (1000 × H/I)                          | m          |
| K) 最大許容帯域幅 - 限定ファイバスパン長 (表 1 から。適用                          | m          |
| L) 許容されるファイバスパンの最大長 (J および K の最小値)                          | m          |

**注意 :** (L) がアプリケーションに必要なファイバスパンよりも小さい場合は、資格のある技術者による設置テストを実施して、測定結果や MetroCluster 機器による実際のテストに基づいてファイバスパンの長さを延長する可能性を評価することをお勧めします。

光反射が大きくなると、リンクのパフォーマンスは計算値よりも低くなります。

\*安全マージンには、光ファイバの信号伝播による分散ペナルティによる電力ペナルティが含まれます。

### 参考資料

- [1] Russell Ellis 氏、「MinEMBc レーザー帯域幅の重要性は、高性能構内ネットワーク用のマルチモードファイバを測定した」、Corning White Paper WP1150、2006 年 10 月
- [2] 携帯電話番号 : コノートトおよび M.E.Adcox、「構内用途向けマルチモードファイバの活用」、電気請負業者、1999 年 5 月
- [3] 「なぜマルチモードファイバを選ぶのか」、コミュニケーションニュース、2006 年 3 月
- [4] Corning Cable Systems、設計ガイド、2005 年

本ドキュメントに記載されている、特定バージョンの製品と機能がお客様の環境でサポートされるかどうかは、ネットアップ サポートサイトにある [Interoperability Matrix Tool \(IMT\)](#) で確認してください。NetApp IMTには、ネットアップがサポートする構成を構築するために使用できる製品コンポーネントやバージョンが定義されています。サポートの可否は、お客様の実際のインストール環境が公表されている仕様に従っているかどうかによって異なります。

### 機械翻訳に関する免責事項

原文は英語で作成されました。英語と日本語訳の間に不一致がある場合には、英語の内容が優先されます。公式な情報については、本資料の英語版を参照してください。翻訳によって生じた矛盾や不一致は、法令の順守や施行に対しても拘束力も法的な効力も持ちません。

### 著作権に関する情報

Copyright © 2021 NetApp, Inc. All Rights Reserved. Printed in the U.S. このドキュメントは著作権によって保護されています。著作権所有者の書面による事前承諾がある場合を除き、画像媒体、電子媒体、および写真複写、記録媒体、テープ媒体、電子検索システムへの組み込みを含む機械媒体など、いかなる形式および方法による複製も禁止します。

ネットアップの著作物から派生したソフトウェアは、次に示す使用許諾条項および免責条項の対象となります。

このソフトウェアは、ネットアップによって「現状のまま」提供されています。ネットアップは明示的な保証、または商品性および特定目的に対する適合性の暗示的保証を含み、かつこれに限定されないいかなる暗示的な保証も行いません。ネットアップは、代替品または代替サービスの調達、使用不能、データ損失、利益損失、業務中断を含み、かつこれに限定されない、このソフトウェアの使用により生じたすべての直接的損害、間接的損害、偶発的損害、特別損害、懲罰的損害、必然的損害の発生に対して、損失の発生の可能性が通知されていたとしても、その発生理由、根拠とする責任論、契約の有無、厳格責任、不法行為（過失またはそうでない場合を含む）にかかわらず、一切の責任を負いません。

ネットアップは、ここに記載されているすべての製品に対する変更を隨時、予告なく行う権利を保有します。ネットアップによる明示的な書面による合意がある場合を除き、ここに記載されている製品の使用により生じる責任および義務に対して、ネットアップは責任を負いません。この製品の使用または購入は、ネットアップの特許権、商標権、または他の知的所有権に基づくライセンスの供与とはみなされません。

このマニュアルに記載されている製品は、1つ以上の米国特許、その他の国の特許、および出願中の特許により保護されている場合があります。

本書に含まれるデータは市販品（FAR 2.101の定義に基づく）に関係し、データの所有権はNetApp, Inc.にあります。米国政府は本データに対し、非独占的かつ移転およびサブライセンス不可で、全世界を対象とする取り消し不能の制限付き使用権を有し、本データの提供の根拠となった米国政府契約に関連し、当該契約の裏付けとする場合にのみ本データを使用できます。前述の場合を除き、NetApp, Inc.の書面による許可を事前に得ることなく、本データを使用、開示、転載、改変するほか、上演または展示することはできません。国防総省にかかる米国政府のデータ使用権については、DFARS 252.227-7015(b)項で定められた権利のみが認められます。

### 商標に関する情報

NetApp、NetAppのロゴ、<https://www.netapp.com/company/legal/trademarks/>に記載されているマークは、NetApp, Inc.の商標です。その他の会社名と製品名は、それを所有する各社の商標である場合があります。

TR-352-0521-JP