CISCO Partner

PANDUIT™

パッシブ光ネットワーク:

配線の考慮事項とリファレンスアーキテクチャ

ホワイトペーパー

目次

4 はじめに

5 PON の構造化配線要素

11 PON のアクティブ要素

13 ファイバーケーブル管理:
ベストプラクティス

14 PON のパワーバジェットと到達の制限

16 リファレンスアーキテクチャ

23 PON インフラの試運転、文書化、
および検証

24 まとめ

概要

目的

- 従来のイーサネット LAN に習熟したエンドユーザーおよびパートナーのパッシブ光ネットワーク (PON) の理解を促す
- PON に対する Cisco 社とパンドウイットの位置づけについて説明する
- PON の構成要素、運用基準、考慮事項とガイダンス、仕様要件について説明する
  - 設計
  - 配線

対象者

- PON (構造化配線を含む) を初めて使用するエンドユーザーおよびパートナー
- PON を既に使用中のエンドユーザーおよびパートナー

導入範囲

- 大規模な導入 (学校構内や高層ビルなど)

概要

- はじめに
- PON の構造化配線要素
- PON のアクティブ要素
- ファイバーケーブル管理ベストプラクティス
- PON パワーバジェットの使用例
- リファレンスアーキテクチャ (長所と短所)
- PON インフラの試運転、文書化、および検証
- まとめ

CISCO Partner PANDUIT™

はじめに

エンタープライズなどの市場で展開されている従来の LAN インフラは、増え続けるイーサネット機器を統合されたインフラに組み込む上では非常に効果がありました。これらのシステムは、エンドユーザーがより高い帯域幅とシステム全体の柔軟性を必要とする場合、ユーザー密度が高い場合、および将来の変更のための相互運用性が最も重要な場合には最適です。ただし、通信システムに使用される空間を最小化するという目標をエンドユーザーが掲げている場合や、将来の改造やフロアの再構成の見込みがない場合、あるいは敷設されているケーブルが長すぎる場合は、別のアーキテクチャやテクノロジを検討することもできます。

すべてのサービス、デバイス、ユーザーが、必ずしも従来のエンタープライズ LAN で提供できる最大の帯域幅を必要としているわけではありません。実際のところ、Microsoft では現在のエンタープライズでのクラウドユーザーエクスペリエンスの最適化には、ユーザーあたり 500 Kbps を推奨しています。適切な物理ネットワークアーキテクチャを選べば、スペースやエネルギー、ライフサイクルコストを将来のネットワーク帯域幅要件に合わせることができます。

エンタープライズ通信ネットワークのオーナーやアーキテクトの中には、エネルギー消費を削減し、ネットワーク設計に配備される再生不能資源の部品数を減らすネットワーク設計戦略に関心を寄せる人が増えています。

これらの問題に対処するために、設計担当者はLAN の運用コスト (OpEx) を削減する機会を模索していますが、LAN の必要性は、音声、データ、および動画の送信のためにますます高まっています。これらの取り組みでは、(場合によっては) 電力消費と冷却の削減が焦点になる向きがあります。

パッシブ光ネットワーク (PON) の設計は、ビルの内部や学校構内全体にわたるエンタープライズ LAN の接続のサイズを柔軟に適正化するものです。このような光 LAN なら、スペース、エネルギー、熱、騒音、放射、およびコストを実際の帯域幅要件に適合できるため、顧客ニーズを満たす上で非常に効果が現れる可能性があります。

Cisco 社とパンドウイットが作成したこのホワイトペーパーでは、PON で使用される重要な構成要素について説明し、効果的な PON の配備に想定されるネットワークアーキテクチャについて検討します。

CISCO Partner PANDUIT™

PON の構造化配線要素

光ファイバーの構造化配線

ポイントツーポイント (PtP) 型の「非構造化」配線では、従来よりさまざまな問題が生じていました。これに対して、TIA- 568/569 や ISO/IEC 11801 などの配線規格では、機器を接続するための階層型構造化配線インフラが推奨されています。

構造化配線とはケーブル、機器、および管理ツールの包括的なネットワークであり、データ、音声、動画、セキュリティ、および無線通信の連続的なフローを実現するものです。PtP 接続とは異なり、構造化配線では分配エリアを使用しており、機器間での柔軟性の高い規格ベースの接続を提供しています。この接続には OLT (Optical Line Terminal) から最も近くの分配要素 (スプリッター) への接続や、通信室からの水平配線、およびゾーンベースの ONT (Optical Network Terminal) からユーザー用銅線ケーブルコンセントなどがあります。

構造化配線は、設計、設置、保守、文書化、システム拡張に関する EIA/TIA (電子工業会/米国電気通信工業会) および ANSI (米国規格協会) 規格に適合するように設計されています。これらはますます複雑になる IT 環境のリスクとコストを下げるのに役立ちます。

構造化配線の価値を示す一例として、エンタープライズでの PON の実装に、ワークエリアの ONT を使用するケースがあります (ワークエリアでユーザーは ONT にアクセスできます)。このやり方では不正使用が可能なことから、セキュリティと信頼性の両面に懸念が生じるため、IT マネージャーにとっては従来、歓迎できないものでした。もちろん、これらの懸念にはいくつかの対処方法があります。つまり、(1) ONT を物理的に安全な場所 (施錠されたデータ通信室など) に設置する、(2) 盗聴検出システム/アラームを設置する、(3) 光ファイバーケーブルを何らかの形のコンジット (主に高いセキュリティが求められる分野) に設置するなどの方法です。

シングルモード光ファイバー

局外設備の GPON (ギガビットイーサネット PON) に広く配備されている標準のシングルモード G.652.D ファイバーは、きつく曲げすぎると信号が多数失われ、ネットワークパフォーマンスに深刻な影響を及ぼす可能性があります。

このように GPON に使用されるネットワーク装置には長い波長 (1490 nm、1557 nm、1603 nm など) が採用されますが、G.652.D クラスのファイバーは曲げに弱いため、曲げの影響を受けないファイバーが適しています。さらに、次世代型の GPON では、曲げ損失が 2 ～ 4 倍にもなる、さらに長い波長が採用される可能性があります。つまり、リンクが現在動作したとしても、長い波長を使用する次世代型テクノロジーの光ファイバー曲げ損失によって、将来リンクが信頼できなくなる可能性があることを意味します。

光ファイバー、キャビネット、およびエンクロージャーの数を減らし、全体的な必要スペースを縮小し、エンタープライズ PON のケーブル設計を小型化するというニーズから、G.652.D 規格を満たす標準のシングルモード光ファイバーよりも曲げの影響が少ない新しい光ファイバーが求められていました。

これに応じて、光 LAN など曲げ要件の厳しい局内の用途のために、光学的に「曲げに最適化された」G.657A1 シングルモードファイバーが開発されました。このような光ファイバーは G.652 に比べて最小曲げ半径が 40% 小さく、曲げ損失が 50% 少なくなり、スプリッターや成端処理済みのエンクロージャーやアセンブリなどの構成要素のフットプリントを小さくできるため、高い歩留率 (および低いコスト) で生産できます。

CISCO Partner PANDUIT™

光ファイバーケーブル

用途に合った光ファイバーケーブルを選ぶときは、設置要件のほかに環境要件と長期的な要件を考慮する必要があります。設置要件では、ケーブルをコンジットに引き込む方法やケーブルトレイまたはコンジットに配置する方法が定義されます。指定された環境で確実に長期にわたって稼動させるには、水の浸入、温度変化、張力 (架空設置の場合) などの考慮事項を解決しなければなりません。

ケーブルメーカーと要件を共有するとよいでしょう。ケーブルメーカーは、ケーブルの設置環境、(「スペア」も考慮した) ファイバー芯数、難燃性グレード、ファイバータイプ (マルチモードまたはシングルモード)、最大ケーブル敷設長などを知る必要があり、「複合」ケーブル (今すぐ使用するマルチモードファイバーと、将来使用するためにダークファイバーにしておくシングルモードファイバー) を推奨することがあります。ケーブルメーカーが要件を評価し、競合入札に向けた提案を行います。

表 1. ケーブルの種類

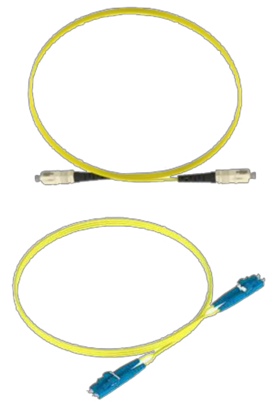
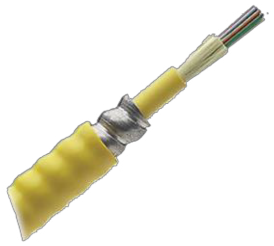
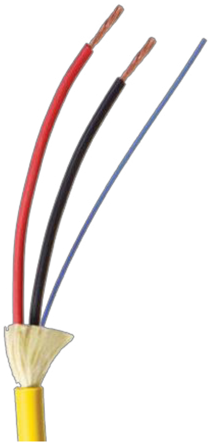
ケーブルスタイル	明細/用途	代表的な画像
シンプレックスおよびジップコード (ジャンパー)、ドロップケーブル	シンプレックスケーブルはシングルファイバーであり、屋内用途向けにアラミド繊維 (ケブラー) の強化部材で強固に外被覆されています (メインのファイバーバッファーコーティングを 900 μ のバッファーで被覆)。 ジップコードケーブルとは、薄い網でまとめられた 2 本のシンプレックスで構成されています。 保護されておらず、高い耐久性が求められる用途の場合、ドロップケーブルには曲げの影響を受けないファイバーと頑丈なジャケットが必要になるでしょう。 **用途:** • 保護された領域でのジャンパー装置 (フレーム/エンクロージャー): OLT ポートから光ファイバー配線ポートまで、または保護されたエンクロージャー内でのスプリッターとの間のフレーム付きクロスコネクトおよびジャンパーケーブルの接続	
ディストリビューションケーブル	小型で軽量のマルチファイバー屋内用ケーブルであるディストリビューションケーブルには、ケブラー強化部材を使用して同じ外被覆に結束されたタイトバッファファイバーが使用されています。 1 本 1 本の光ファイバーは補強されていないため、成端のために、これらのケーブルをエンクロージャー内で分岐して保護する必要があります。 **用途:** • 通常、光ファイバー配線フレーム (ODF) から、スプリッターやワークグループスタイルの ONT を収容する電気通信室 (TR) までのフィーダーケーブルなど、短いドライコンジット管、ライザー、プレナム用途に採用されます。	
アーマードケーブル	オンプレミス配備に使用される種類のアーマードファイバーケーブルは、標準の光ファイバーケーブルの「コア」(上記のケーブルなど) の周りを連結用アルミニウムで螺旋状に巻き付けたものです。 **用途:** • 頑丈で防鼠効果のあるケーブルが必要な場合に、ディストリビューションケーブルと同じ目的に使用できます。 • 光ファイバーケーブルの物理的な損傷を気にせずに、露出した経路や床下空間に設置できます。アーマードケーブルは導電性があるため、適切に接地する必要があります。	

表 1. ケーブルの種類 (続き)

ケーブルスタイル	明細/用途	代表的な画像
光ファイバー / 電源ハイブリッド ケーブル	光ファイバー /電源ハイブリッドケーブルは、単一のケーブルシースに低電圧の 1 対の銅導体が包含されている、光ファイバーの本数が少ない (通常は 6 本から 12 本) ケーブルです。このケーブル構造では、電力と光ファイバー通信をエンドデバイスに供給できます (現地の電源や別個のケーブル引き込み、分離した専用の電力と信号の経路は必要ありません)。 **用途:** • リモートの IP セキュリティカメラで、単一ポートの ONT またはカメラのメディアコンバーターに電力とデータを直接供給するハイブリッドケーブルを使う場合 (エンクロージャー内で成端され、ONT またはメディアコンバーターに接続されている)。そこからメタルパッチコードでエンドデバイスに接続します。 • 広い「公共空間」内にあるワイヤレスアクセスポイント ONT。エンドポイントに到達する上で、カテゴリケーブルの距離と電力の制限が問題になることがあります。	

ケーブルプラント設計ではファイバー芯数の定義が必要なため、「スペア」の光ファイバーを構造物に追加する (パネルで成端するが「ダークファイバー」のままにする)、複合ケーブルの使用を検討することが推奨される場合があります。光ファイバーの設置中の破損や、配線パネルのコネクタの使用中の破損に備えて光ファイバーをいくらか追加したとしても、増えるコストは、ケーブルを追加で設置する労働コストや増加コストに比べればわずかなものです。

光ファイバーコネクタ: 過去 30 年から 40 年の間に多くの光ファイバーコネクタが導入されてきましたが、SC-APC コネクタと LC-APC コネクタほど、光 LAN に定着したものはありません (SC = Subscriber Connector、LC = Lucent Connector、APC = Angled Physical Contact)。

これらは TIA FOCIS (Fiber Optic Connector Intermateability Standards) に FOCIS 2 および FOCIS 10 としてそれぞれ記載されています。

分配要素: ラックマウント用ファイバーエンクロージャーでは、光ファイバーケーブル、ターミネーション、スプライス、コネクタ、パッチコードが収容、整理、管理、保護され、フロントのパッチ面はコネクタ化された光ファイバーを論理的に表しています。

壁面、天井、床下設置のゾーンエンクロージャー : 一例として、非常に興味深いアーキテクチャには、現在の通信室ベースのワークグループスイッチと直接比較できる「アクティブゾーン」の用途 (エンクロージャー向けファイバー (FTTE)) があります。

市場の多くの業種 (教育や軍事) では、(ONT などの) 別の電子機器をユーザーのワークステーション付近に設置することが必ずしも必要ではなく、むしろ施錠可能なエンクロージャー内に設置することを希望しています。この「アクティブゾーン」ソリューションでは、水平方向の銅線の設置を減らして設備投資を節約しています。これは、水平ケーブルの長さを予測して短くできるため、膨大な数のクローゼットが不要になるためです。この方法は、FOTC.org で入手できる TIA FOTC (Fiber Optics Technology Consortium) コストモデルに記載されています。

柔軟かつ延長可能なファイバー分配要素としてのゾーン配線 (ZDA) (例)

ゾーン配線では、移動、追加、変更がゾーンエンクロージャーおよびデバイスエンドポイントで処理されるため、最新のテクノロジーを簡単に導入できます。

ゾーン配線ソリューションは、アクティブな装置 (スイッチ、ONT)、スプリッター、構造化配線の構成要素に対応するため、床下、天井、および壁面設置の用途に適用し、完全なエンドツーエンドのネットワークソリューションを提供できます。

シングルモードの光ファイバーケーブルは、通信エンクロージャー内部の小型パッチパネルで成端され、ファイバーパッチコードで ONT に接続されます。短い銅線ケーブルは、エンクロージャー内のパッチパネルで成端し、エンドユーザーのコンセントに配線されます。

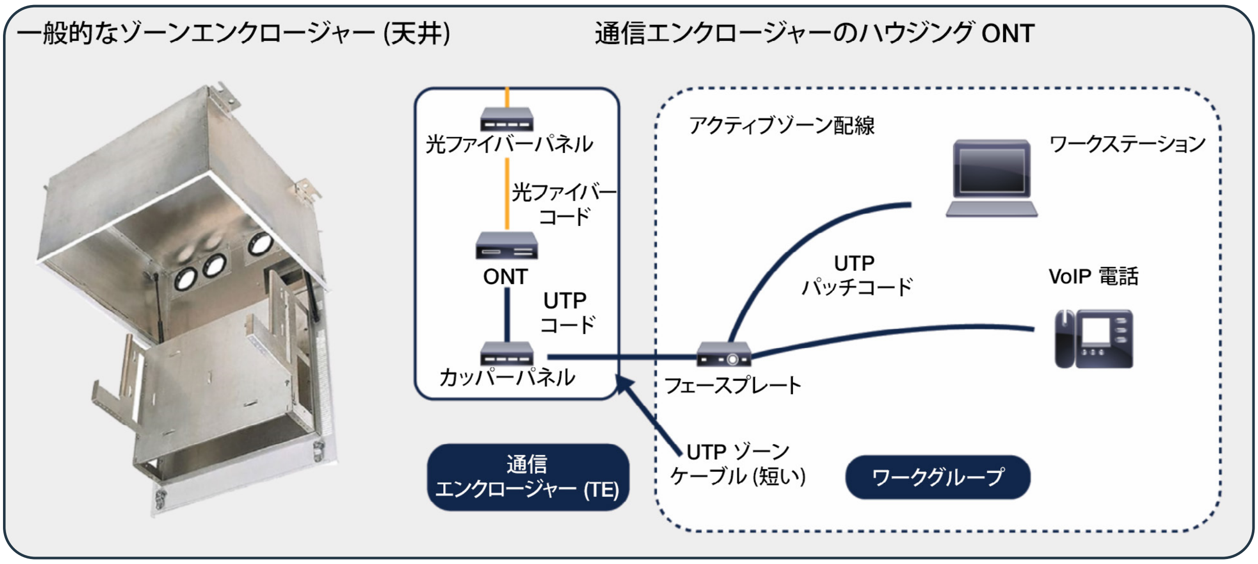


図 1.
ゾーンエンクロージャー

各ゾーンエンクロージャーは特定ゾーンのケーブル配線ポイントとして機能し、ネットワークの柔軟性、管理性、アクセス性、および効率性を高めます。物理インフラに分散型ネットワークとゾーンケーブルトポロジを使用することで、通信室の混雑を解決できます。さらに、PON ファイバーバックボーンケーブルをゾーンエンクロージャーに繋げば、銅線の制限を超えてネットワークの範囲を拡張できます。

経路: 光 LAN の経路の主な価値とは、ヘッドエンド付近でしばしば高密度となるケーブル環境で、構造化配線インフラのために機能的かつ保護的な格納機能を提供することです。アクセス可能な経路には多くの機能があるため拡張や変更に対応でき、ケーブルの物理的な破損を防ぎます。

ANSI/TIA-569 の「通信経路と空間に対する商業建築基準 (Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways and Spaces)」には、架上、床下、およびコンジットケーブル配線の用途として、データケーブルを分離し、配線する参考方法が記載されています。

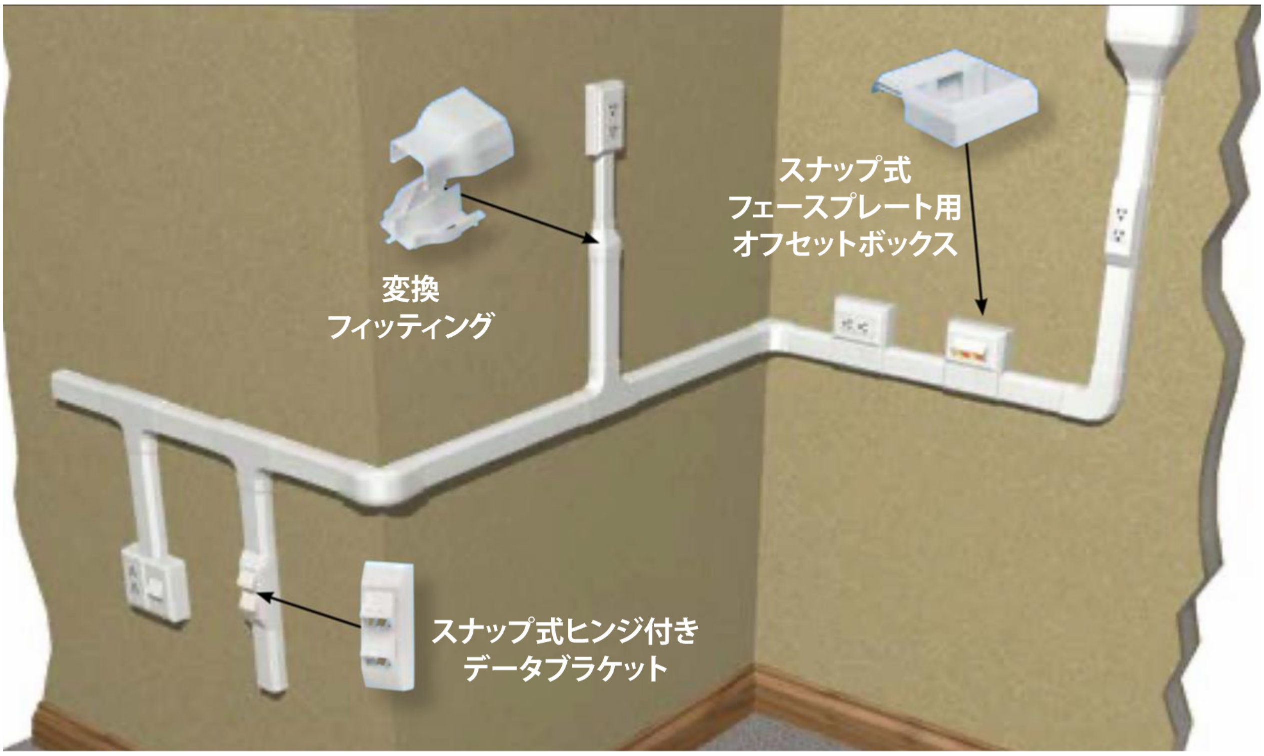


図 2.
UTP (および光ファイバー) ケーブルシステムのためのサーフェスレースウェイロードマップ

ケーブル経路を配置したら、経路内へのケーブル配置に注目します。光ファイバーケーブルの結束方法は、経路に沿ってケーブルを整理して効果的に配線し、作業者が頻繁に移動、追加、変更できるように柔軟性を保ち、空調を遮らないように作成されています。これらの方法では、ネットワークインテグリティを維持するために、TIA/EIA-568 および GR-1275- CORE セクション 13.14 に従い、高性能の銅線および光ファイバーケーブルを保護し、管理する結束バンドと経路が使用されています。結束バンドおよびアクセサリーは、ケーブルを切断または摩耗するような鋭利な端部やエッジのない、作業者にとって安全なものである必要があります。天井や床下の空間などの空調空間内でのケーブル結束については、米国電気工事規定 (NEC) セクション 300-22 (C) および (D) に従って、プレナムグレードの結束バンド設計が必要です。

容量計画で重要な問題は、経路サイズを指定するためのケーブル数量の正確な見積もりです。初期導入では、最大充填率を 25% から 40% にして、今後の拡張のための余地を残す必要があります。計算された充填率が 50% から 60% の段階で、ケーブル間の空間と配置のばらつきのために経路全体が物理的にいっぱいになります。

図 3.
設備および電気通信室の光ファイバーと銅線の経路

ほとんどの経路ベンダーは、指定されたケーブルの数量と直径に必要な経路のサイズを決定するために、オンラインの充填計算ツールを提供しています。

スプリッター : 光スプリッターは、平面光波回路 (PLC) テクノロジに基づく信頼性の高いパッシブなパワー分割要素です。これらは 1:4、1:8、1:16、1:32、1:64 などのさまざまな分割比率で利用でき、フォームファクタも「未加工の」PLC スプリッター (コネクタなし)、成端処理済みのファンアウトバリエーション (LC-APC、SC-APC、マルチファイバープッシュオン (MPO) コネクタあり)、1 RU ラックマウントスプリッター、モジュール式カセット型スプリッターなどさまざまなものがあります。

PON のアクティブ要素

Cisco Catalyst GPON

Cisco 社とパンドウイットの PON へのアプローチでは、同じアクセスノードと建物内のケーブルを使用し、現在、そして今後の (PON の新しい世代での) 電子機器への変更が最小限に抑えられるため、LAN をコスト効率の良い方法で徐々に進化させることができます。長距離のシンプルなネットワーク接続要件に最適な、Cisco Catalyst™ PON Series の業界トップの機能を利用すれば、次のことを実現できます。

- 低い運用コスト (電力とフロアスペースの削減、集中管理、3 年保証、ライセンス料なし)
- PON の数世代にわたってアーキテクチャを固定できるという長期的な価値
- 光ファイバーに基づくインフラによる安全な通信

Cisco Catalyst GPON ソリューションは、Cisco® PON Manager と組み合わせた CGP-OLT および CGP-ONT に基づいており、エンタープライズ光ファイバーネットワークのための革新的かつ包括的なソリューションを提供します。

Cisco Catalyst PON OLT のプラットフォーム

CGP-OLT は LAN 全体に対する 1 ラックユニット (1 RU) の集中型アクセスポイントであり、数百から数千のユーザーやデバイスにサービスを提供できます。最大 108 Gbps のスイッチング能力、最大 95 Mpps の転送能力、最大 20 km 先の ONT エンドポイントへの到達範囲といった、市場トップの機能を備えています。CGP-OLT は、今日のすべてのユーザーにギガビット級のスピードを提供するために GPON に対応しており、物理ケーブルプラントをほとんど、あるいはまったく変更せずに、将来の需要に応えるための次世代の光ファイバーテクノロジーに円滑に進化することができます。

CGP-OLT は 2 種類のサイズ (8T および大型の 16T) があるため、オフィスビル、大規模オフィス、軍事基地、ホテルやリゾート、病院、大規模キャンパス、スポーツ会場、あるいは LAN を必要とするその他の環境など、あらゆる種類の展開に適しています。

表 2. Cisco Catalyst PON OLT のラインナップ

モデル	CGP-OLT-8T	CGP-OLT-16T
PON のポート	GPON 8 ポート	GPON 16 ポート
イーサネットアップリンクポート	4x 1G コンボポート (銅線 RJ-45 + SFP 光) および 2x 10G SFP+ ポート	4x 1G コンボポート (銅線 RJ-45 + SFP 光) および 2x 10G SFP+ ポート
光接続	SC APC	SC APC
サポートされるエンドポイント	1024	2056

CISCO Partner PANDUIT™

Cisco Catalyst PON ONT

Cisco 光ネットワーク端末は、OLT によって管理されるユーザーアクセスポイントです。Catalyst ONT シリーズでは、すべてのユーザーに対して高帯域幅による優れたサービスが提供されます。

さまざまな ONT があらゆるニーズを満たします。さまざまな場所に設置でき、有線および無線ギガビット接続、Power over Ethernet (PoE)、各種ユーザーインターフェイスに対応します。

表 3. Cisco Catalyst PON ONT のラインナップ

デスクトップ ONT モデル		ギガビット イーサネットポート	POTS (Plain Old Telephone Service) ポート	CATV ポート
CGP-ONT-1P		PoE+ × 1	–	–
CGP-ONT-4P		PoE+ × 4	–	–
CGP-ONT-4PV		PoE+ × 4	2 (RJ-11)	–
CGP-ONT-4PVC		PoE+ × 4	2 (RJ-11)	同軸 × 1
無線 ONT (5 GHz/2.5 GHZ) モデル		ギガビット イーサネットポート	POTS のポート	CATV のポート
CGP-ONT-4TVCW-x*		4	2 (RJ-11)	同軸 × 1

*x - 規制領域に基づく地域接尾辞。

詳細については、https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-pon-series/nb-06-cat-pon-datasheet-cte-en.html を参照してください。

すべての ONT には 1 つの GPON アップリンクポート (SC/APC コンセント) があります。ワイヤレス ONT は 2.4 GHz/5 GHz です。

ファイバーケーブル管理: ベストプラクティス

不適切または保護されていない状態で配線された光ファイバーケーブルは、さまざまな損傷を受ける可能性があります。潰れたり、挟まれたり、僅かに曲がったりすると、信号送信の妨げやケーブルの断線につながります。光ファイバーおよび銅線ケーブルの曲げ半径 (マクロベンディング) を確保できないと信号の減衰が大きくなり、システムパフォーマンス全体に、影響を与え、長期的な信号障害につながる性能低下を発生させる恐れがあります。

光ファイバーケーブルは損傷のリスクにさらされており、サービスの中断やダウンタイムを招くおそれがあります。損傷したケーブルの特定、テスト、除去、交換には、労働とネットワークサービスの中断の面でコストがかかります。ケーブルルーティングシステムを適切に設計して設置すれば、曲げを最小限に抑える論理的なルートに沿ってルーティングを行いつつ、ケーブルの移動、追加、変更を簡単に行えます。

ケーブル管理計画には、新しい施設での新規の光ファイバー構築や、既存の施設の光ファイバーケーブルの「フォークリフト」あるいは増分アップグレードなどがあります。

- PON を使用して既存の施設をアップグレードする場合、既存のケーブルを評価し、現在のファイバーインフラを完全に文書化することが重要です (TIA 606 のラベル付けおよび特定が、このガイダンスとなります)。
- Microsoft Visio や Excel などを使用して、現在および予測されるネットワークアーキテクチャを文書化します (このタスクに特化した業界のソフトウェアが販売されています)。
- 現在および予測されるニーズに関して装置のインターフェイスを同じ方法で文書化し、現時点の、または想定するさまざまなケーブルの種類と存在するポート数、配線エリアと装置への配線距離の概算についても同様に文書化します。
- 将来の成長に対応した計画を作成します。配線およびパッチ要素に柔軟性を持たせます。たとえば、クロスコネクトパッチでは、「any-to-any」接続が可能です。これにより、施設内での現在と将来のデバイスニーズを満たすための究極の柔軟性が得られます。

光ファイバーケーブル数の増加、ファイバーソリューションに求められる性能の向上、アプリケーションの増加に伴う長距離化 (学校ネットワーク) により、IT 組織に負担がかかっており、サーバーを相互接続するために数マイルに及ぶケーブルインフラが必要になったり、光 LAN ファブリック用のストレージが複数の建物で必要になったりすることもあります。

残念なことに、多くの組織が従来のポイントツーポイント接続という、保守的で徐々に増加してしまう配線アプローチを選んで光ケーブルを配備し、当面のニーズだけを満たそうとします。その結果生じる無秩序なケーブル配線によって知的で合理的な成長が阻害され、時間の経過と共に悪化する非効率な成長戦略を助長することになります。

スプリッターの位置

天井、床、壁面、主配線盤 (MDF)、中間配線盤 (IDF) の光スプリッター配置にはさまざまな選択肢があるため、通信室とは完全に別にしたり、通信室を排除したりすることもできます。これはすべてのケースに当てはまるわけではありませんが、建物担当者がこの機能からメリットを得られる場合もあります。

また、光ファイバーの利用可能性や、建物のケーブルライザー、水平空間、経路、ドロップのスペース制約に応じて、集中型 (機械室の付近や室内)、分散型 (ネットワークや建物に深く押し出す)、またはカスケード型のスプリッター (たとえば、1×8 スプリッターを接続する 1×4 スプリッターなど) を選ぶこともできます。

スプリッター分割比

光スプリッターは、1×2 から 1×64 の比率で設計できます (適切なパワーバジェットがある場合)。これまで以上に、実際の帯域幅要件を光の分割比と一致させることができるようになりました。

たとえば、Internet of Things (IoT) とスマートビルディングデバイスの接続を設計するときに、1×64 の高い分割比を展開できます。また、IP カメラやワイヤレスアクセスポイントなどの高帯域幅デバイスを展開する場合、特に容量が大きくなるサービス、ユーザー、およびデバイスに帯域幅を多く割り振るために、1×8 または 1×16 の低い分割を使用できます。

PON のパワーバジェットと到達の制限

PON リンクのパワーバジェットに対する最大要因の 1 つは、パワースプリッターです。

PLC テクノロジを使用した成端処理済み光スプリッターには、スプリッターテクノロジー自体に固有の光損失 (過剰損失)、パワー分割に関連する損失 (理論上あるいは分割損失)、およびコネクタとの嵌合に関連する損失 (挿入損失) があるため、パワーバジェットに使用される値はこれらの 3 つの構成要素を合計したものになります。

総損失 = 過剰損失 + 分割損失 + コネクタ接続挿入損失

ここで、分割損失 (総損失の最大要因) は次のようになります。

SL = -10log10(1/n); n は分割の分岐数です

したがって、1×64 のスプリッターの場合、SL = -10 log10(1/32) = 15dB です。

以下の表は、市販の典型的な PLC スプリッターの損失を示しています。

表 4. 市販の PLC スプリッターの総損失の表

挿入損失 (FOTP 180 ごと)	1×2	1×4	1×8	1×16	1×32
	4.2dB	8.0dB	11.5dB	14.7dB	18.5dB
	2×2	2×4	2×8	2×16	2×32
	–	–	11.7dB	15.0dB	19.0dB

PON パワーバジェットの使用例

この例では、(多くのエンドポイントとユーザーが存在する) 50 階建ての高層ビルでの大規模な PON 展開を示し、機械室のクロスコネクトと、リモートのフロアごとの電気通信室にスプリッターが配備される「集中型光ファイバー」アプローチが使用されています。(このシナリオに関する配線要素については、図 4 を参照してください)

光 LAN の用途で見られるような短距離リンクの場合、光損失の主因は (大きいものから順に) スプリッター、光ファイバーコネクタ、および光ファイバー自体です。シングルモードの光ファイバーを使用する長距離リンクについては、設計担当者と計画担当者が PON の設計では心配のない分散関連のパワーペナルティ (偏波モード分散 (PMD)) を懸念しています。

PON のシナリオ:

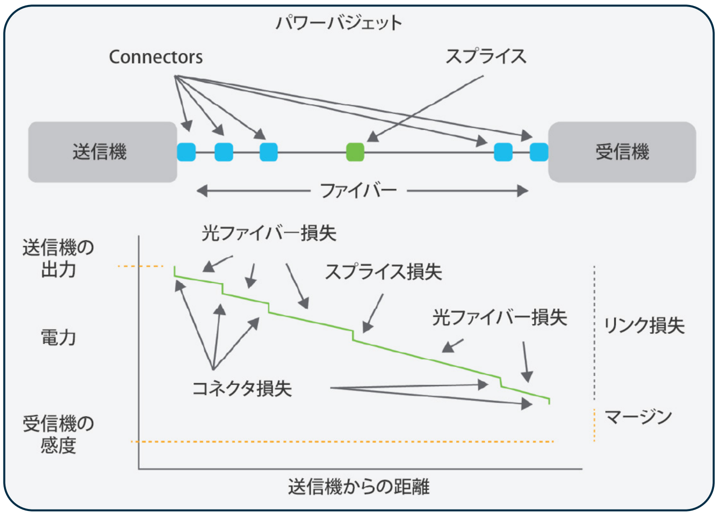
- 機械室 (ER) に OLT GPON ポート (パワーバジェットは 28dB) がある
- ローカル機器パッチパネル (同じラックに SC APC)
- フレーム付き OLT の横に ODF クロスコネクトが存在する。クロスコネクトフレームの OLT 側にはゾーンクローゼットへの小さい光スプリッター (1×4) が存在し、「顧客側」は複数の電気通信室 (TR) へのライザーケーブルに接続されている
- TR のカスケードスプリッター (1×16) が通信エンクロージャー (TE) またはゾーンボックスに接続されている (これらは TIA-569 の「Pathways and Spaces」(経路とスペース) に定義されています)
- ゾーンボックス内の ONT には、ONT へのジャンパーを備えた小型ローカル機器パッチパネルが存在する
- 最悪のケースに備えたエンドツーエンドのケーブル敷設長 (ER から最上階の最も遠いゾーンエンクロージャーまでの配線): TIA によると、建物内部でのメインのクロスコネクトと中継のクロスコネクトの間のシングルモード光ファイバーの最大長は 8200 フィートで、中継から水平方向の最大長は 1640 フィートです。このシナリオの場合、エンドツーエンドのシングルモードチャネルは 1500 フィートであることが予想されます。

パワーバジェットの要素:

- 合計ケーブル減衰 = 1500 ft. × 1.0dB/km = 0.46dB (リニアケーブル、ジャンパー、スプリッターの減衰をすべて含む)
- 1×4 スプリッター入力嵌合コネクタペア (SC APC) = 0.75dB
- 1×4 スプリッターの総損失 = 8.0dB
- クロスコネクト嵌合コネクタペア (SC APC) = 0.75dB
- 1×16 スプリッター入力嵌合コネクタペア (SC APC) = 0.75dB
- 1×16 スプリッターの総損失 = 14.7dB
- ONT ゾーンエンクロージャーパッチパネル嵌合ペア = 0.75dB

エンドツーエンドの光ファイバーケーブルシステムの総損失は合計 25.9dB で、GPON 用途のパワーバジェットである 28dB に収まっています。この場合は、動作上のマージンが 2.1dB (28dB マイナス 25.9dB) であることを考慮する必要があります。送信機の長期的な光出力パワーの劣化や、移動、追加、および変更に関連する運用上の問題 (これを光ファイバーコネクタの汚れと解釈できます) などに直面しているため、このネットワークが長期的に確実に動作するには、これでは少なすぎる可能性があります。

このケースでは、TR の 1×16 スプリッターをそれぞれ 2 個の 1×8 スプリッターに交換し、各 TR の専用の OLT GPON ポート数を 2 倍にすることが推奨されます。そうすれば 3.2dB がパワーバジェットに返され、新しいマージンは 5.3dB になります。



リファレンスアーキテクチャ

従来の階層型スターアーキテクチャ

この設計には以下の構造化配線要素が含まれています。

- ルーティングおよびコア/アグリゲーションスイッチを収容する主機械室
- マルチモード光ファイバー (MMF) (通常) のライザーバックボーンを備え、ER スイッチに接続されているワークグループスイッチが存在する複数の電気通信室
- 非シールドツイストペア (UTP) 水平ケーブルでユーザーデバイスに接続されている複数のワークステーションのコンセント
- 光ファイバー (オレンジ色) および銅線 (青色) によるパーマネント (テスト可能な) 構造化配線リンク

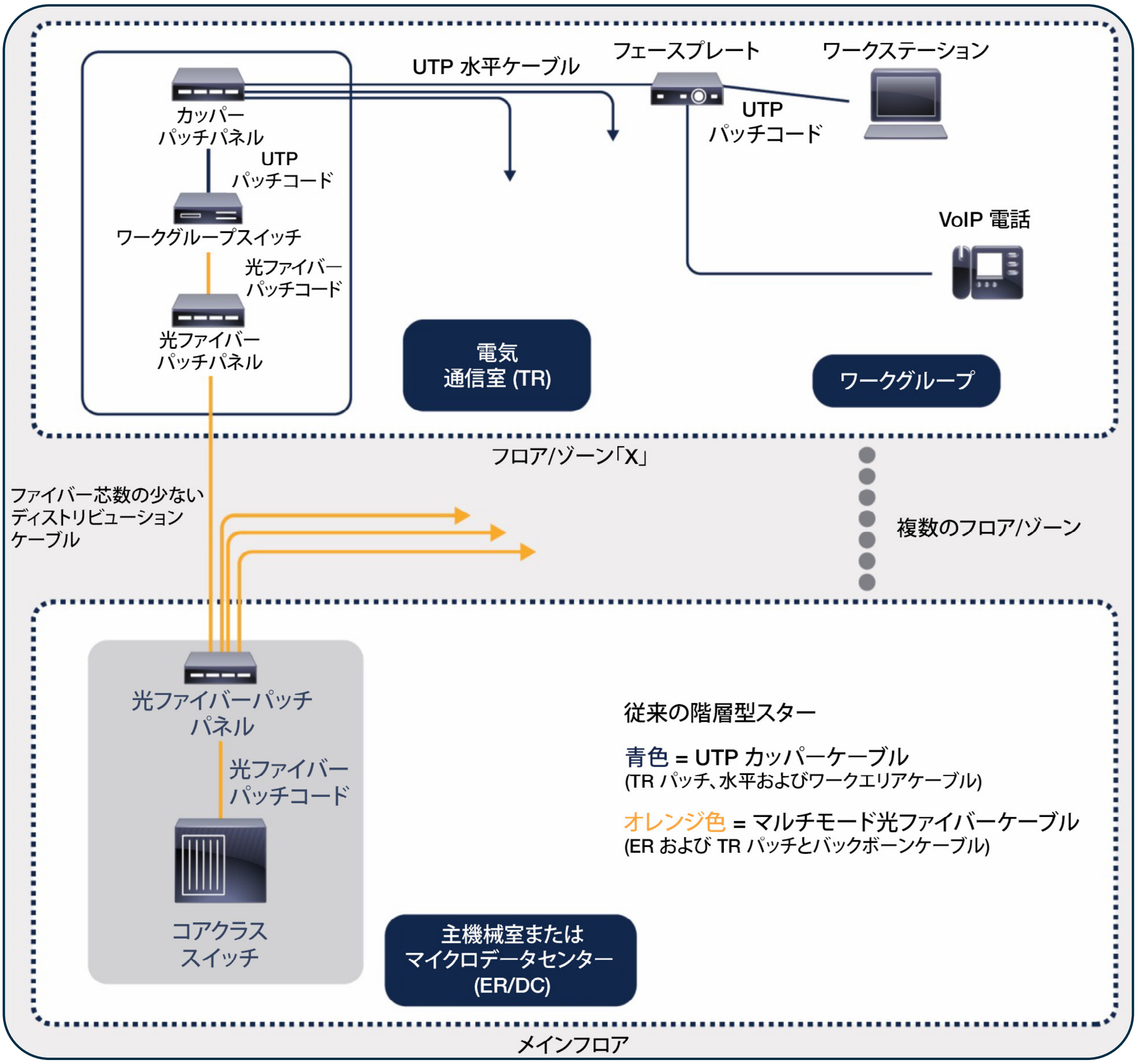


図 4.
階層型スターアーキテクチャの配線

表 5. 階層型スターアーキテクチャの長所と短所

長所	短所
再現可能かつよく知られたアーキテクチャのため、構造化配線エコシステム (サプライヤー、設計担当者、システムインテグレーター、施工会社など) から多大なサポートが得られる	数千ものエンドポイントへのスケールアップの場合はコストが高くなる。運用コスト (電力) が (光 LAN の設計に比べて) 高くなる傾向にある
ワークグループスイッチを室内のラックで集中管理することで、IT 担当者によるスイッチとケーブルシステムのトラブルシューティングと管理が容易になる	水平ケーブル配線が限界に達する可能性があり (新しいデータレートに対する将来の補強が必要)、すべてのユーザーに到達するにはアーキテクチャに電気通信室またはクローゼットが必要になる
ローカル電源または「ハイブリッド型」ケーブルシステムが不要な PoE オプション (電源を室内とドライブエンドポイントに一元化できる)	2 つの別個のケーブルプラント (光ファイバーバックボーンと UTP 水平ケーブル) のテストおよび試運転にはマンパワーが必要とされる

光 LAN に適したアーキテクチャ

ブラウンフィールド – 「最小限の侵入」：完全な光 LAN または光 LAN への将来の増分アップグレードを視野に入れ、既存の水平ケーブルインフラを再配備します。

この設計には以下の構造化配線要素が含まれています。

- ルーティングおよび OLT を収容する主機械室
- シングルモード光ファイバー (SMF) (通常) ライザーバックボーンと光スプリッター (ER または TR に配備される) を備え、ER OLT に接続されたワークグループまたは複数の小型 ONT が存在する複数の電気通信室
- カテゴリー対応の銅線水平ケーブルでユーザーデバイスに接続されている複数のワークステーションのコンセント
- 光ファイバー (オレンジ色) および銅線 (青色) によるパーマネント (テスト可能な) 構造化配線リンク

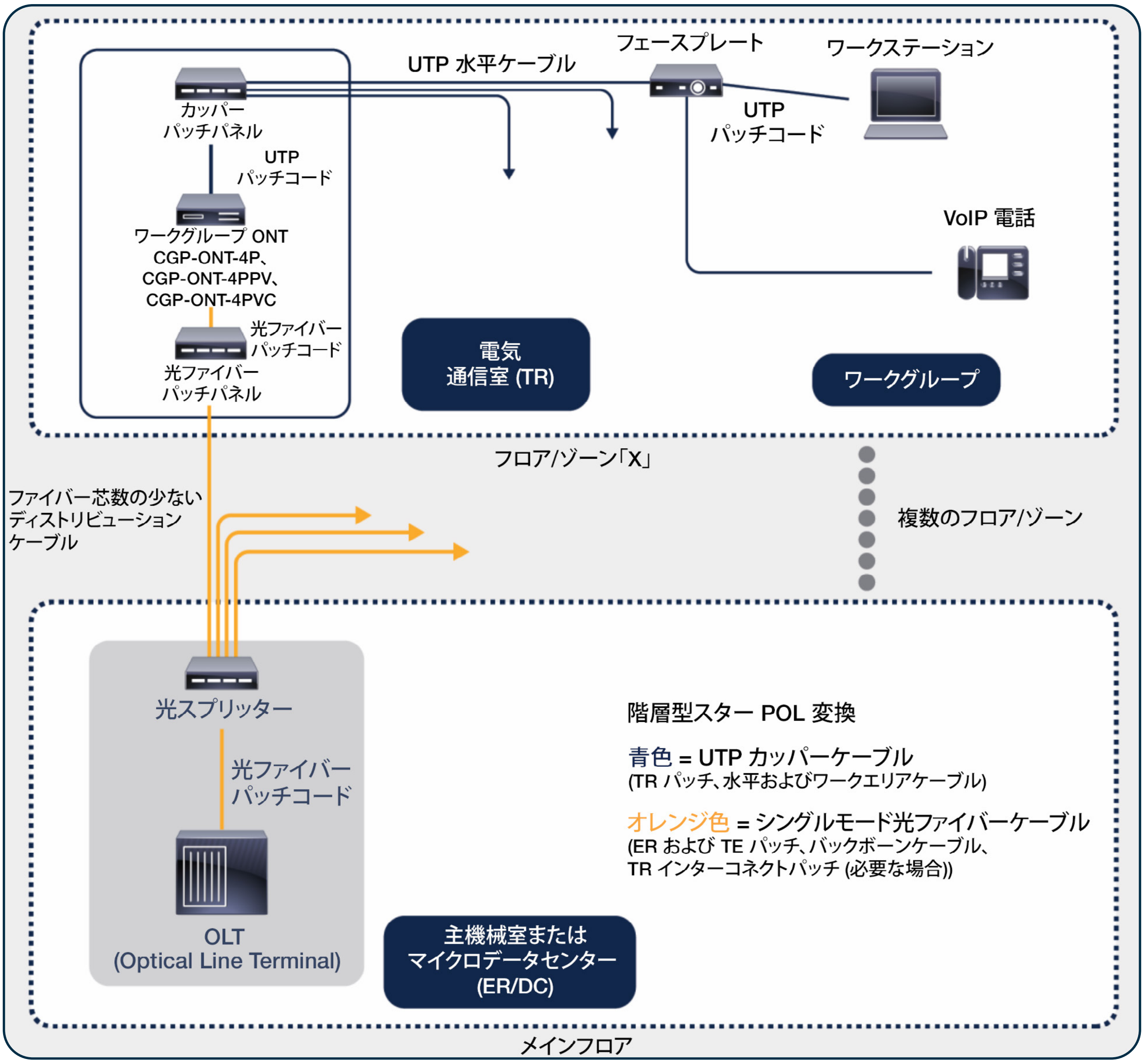


図 5.
既存の水平ケーブルの使用

表 6. 既存の水平ケーブルを使用することの長所と短所

長所	短所
既存の UTP 水平ケーブルインフラに変更を加えないため、OLAN の増分アップグレードのコストが節約される	エンドポイントと電気通信室の数が少ない段階では、ポートあたりのコストが高くなる可能性がある
ONT を室内のラックまたはエンクロージャーで集中管理することによって、IT 担当者による ONT とケーブルシステムのトラブルシューティングと管理が容易になる	水平ケーブル配線が限界に達する可能性があり (新しいデータレートに対する将来の補強が必要)、すべてのユーザーに到達するにはアーキテクチャに電気通信室またはクローゼットが必要になる
ONT に固有の PoE を、ローゼットおよびドライブエンドポイントに一元化できる	新しい光ファイバーバックボーンの増分テストおよび試運転が必要になる
クローゼット内の他のサービス (POTS インフラなど) をクローゼット内で保守できる	スプリッターが ER 内部にあるため、将来のインフラの柔軟な移動、追加、変更が制限される
PON への将来の変換に対応している (ONT のクローゼットとゾーンベースの配備を混在させられる)	テストおよびトラブルシューティングする個々のパーマネントリンク (銅線および光ファイバー) が多くなる

グリーンフィールド – FTTE (Fiber to the Enclosure)、ゾーンベースの ONT: 優先されるアプローチ

この設計には以下の構造化配線要素が含まれています。

- ルーティングおよび OLT を収容する主機械室
- SMF (通常) ライザーバックボーンと光スプリッター (ER または TR に配備される) を備え、ER OLT に接続された小型 ONT が存在する通信エンクロージャー
- ケーブルの「プルスルー」ポイントとして使用され、ONT のリモート電源とすることのできる TR
- カテゴリー対応の銅線「ゾーン」ケーブルでユーザーデバイスに接続されている複数のワークステーションのコンセント
- 光ファイバー (オレンジ色) および銅線 (青色) によるパーマネント (テスト可能な) 構造化配線リンク

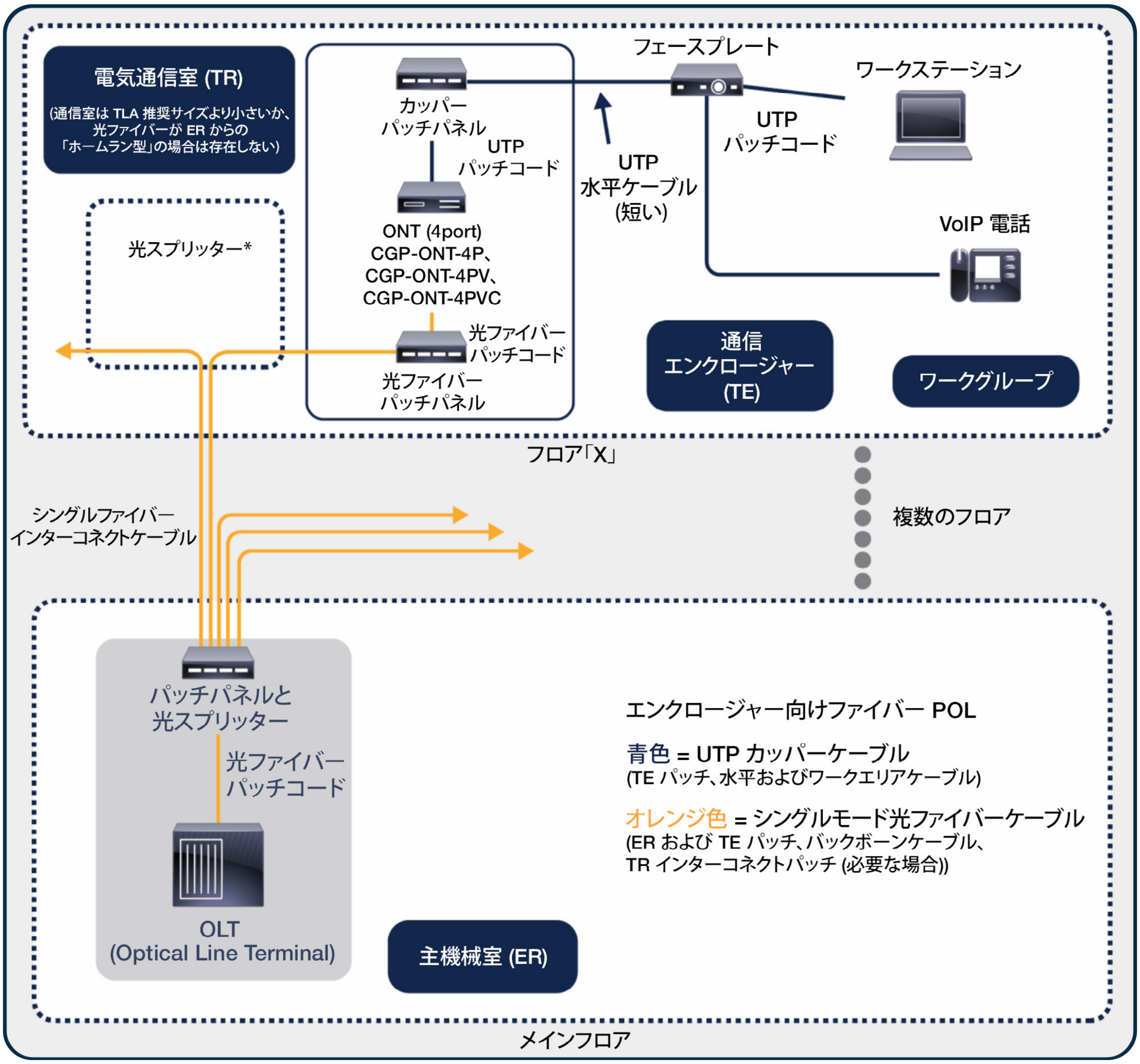


図 6.
FTTE ケーブル配線

表 7. FTTE ケーブル配線の長所と短所

長所	短所
柔軟性があり延長可能なネットワークアーキテクチャ (クローゼットへのケーブルプラントは PON の速度制限があっても変化しない)	ONT ゾーン展開では、エンドポイントに PoE を提供するために、ローカル電源 (複数のゾーンエンクロージャー内部または付近) またはハイブリッド光ファイバー /銅線ケーブルが必要となる
水平方向の銅線に特有の到達制限が緩和され、短いゾーンケーブル配線には低定格の UTP を使用できる	IT 担当者は電子機器およびケーブルシステムの「分散型の」管理およびトラブルシューティングを好まない (電気通信室を好む)
インフラ (ポイントツーマルチポイント) のテストが簡単で、水平方向の UTP のテストが不要 (事前テストされたゾーンコードを配備する場合)	環境によってはゾーンエンクロージャーが適切でなく、設計上の課題をもたらす場合がある (アクセス性など)
分配をクローゼットベースからゾーンベースに交換することによって、設備投資と運用コストの両方を節約できる (大規模な設置の場合)	ONT の放熱および配備環境によっては、エンクロージャーの環境制御が必要な場合もある

シングルエンドポイントデバイス対応: ビルディングオートメーションシステム、IoT デバイス、または IP カメラに対応した 1 ポート ONT

この設計には以下の構造化配線要素が含まれています。

- 既存の PON への「オーバーレイ」として示される
- ゾーンエンクロージャー (TE) では、デバイス (IP カメラ、ビルディングオートメーションシステム、ワイヤレス AP) に対して境界およびテスト可能なリンクを提供する
- これらのデバイスに対して、TR ベースの電源からの長距離の給電は実用的ではない (解決策: ローカル電源またはリモートの「パルス電源」)
- 環境によっては、ケーブルシステムとエンクロージャーを環境的に堅牢化したり OSP 規格に準拠する必要がある
- 複数の PON ワイヤレス AP や IP セキュリティカメラを、TE と対応ケーブル設備の適切なサイジングにより提供できる

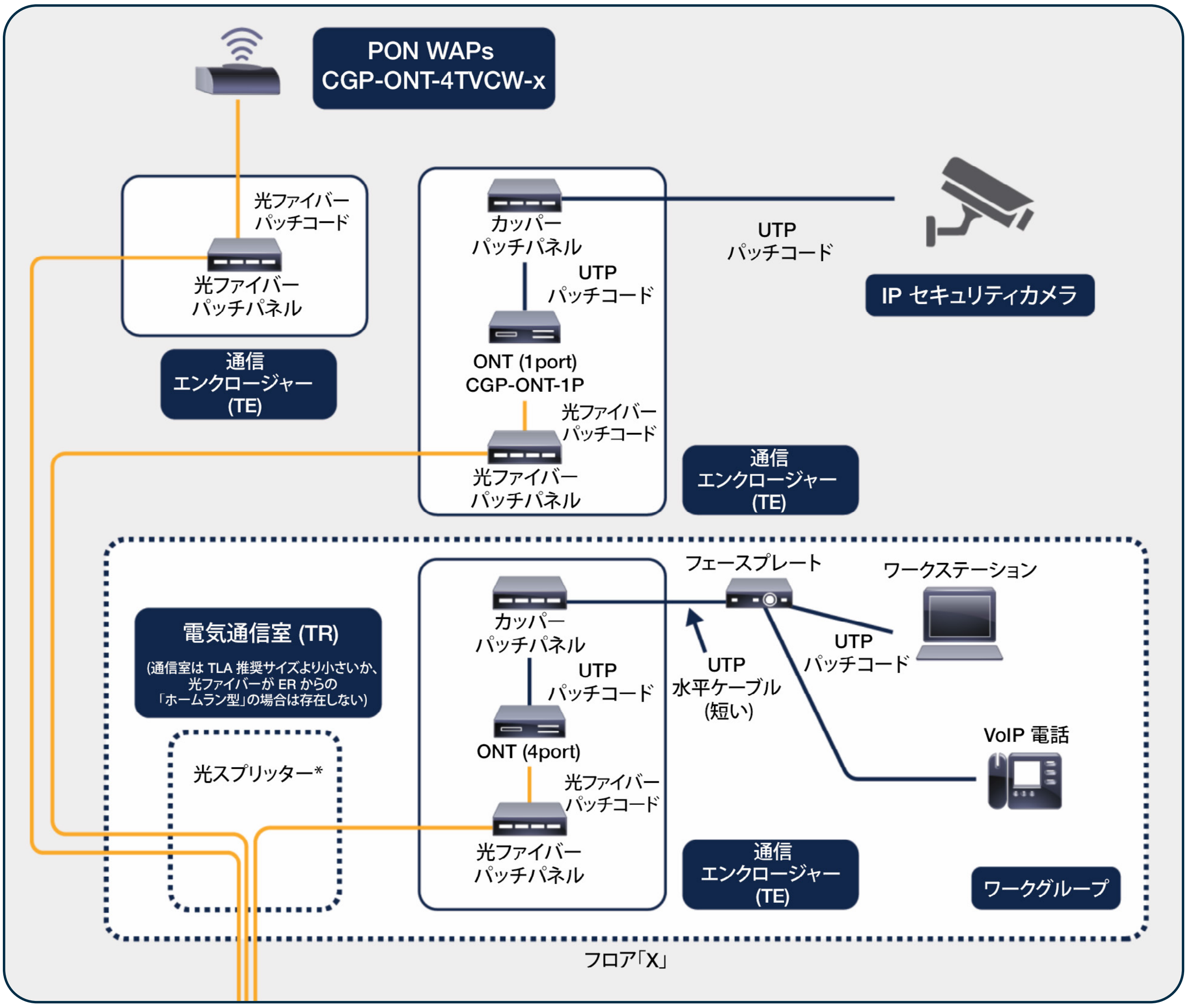


図 7.
シングルエンドポイントデバイス対応のケーブル配線

表 8. シングルエンドポイントデバイスのケーブル配線の長所と短所

長所	短所
SMF の到達範囲が長く、PON のパワーバジェットに余裕があるため、エンドポイントデバイスの場所に制限がほとんどない	ONT の放熱および配備環境 (プラント外など) によっては、エンクロージャーの環境制御または「補強」が必要な場合もある
水平方向の銅線に特有の到達制限が緩和され、カメラや PON ワイヤレス AP エンドポイントへの短いゾーンケーブル配線には低定格の UTP を使用できる	これらのデバイスに対して、TR ベースの電源からの長距離の給電は実用的ではない (パルス電源などの代わりの新しい解決策を評価する必要がある)
ワークステーション、ワイヤレス、およびビルディングオートメーションシステムをサポートする混合環境を 1 つのネットワークに統合できる可能性がある	むき出しの PON ワイヤレス AP への水平ケーブル配線については、強化された経路または頑丈な光ファイバーケーブルシステムが必要な場合がある

大規模な PON 展開 (多数のエンドポイント): クロスコネクトによる光ファイバーとスプリッターの一元化

- 主機械室にルーティング、OLT、ODF、スプリッターを収容する
- ER 内のスプリッターは OLT の GPON ポートへのポートマップとして ODF に配備され、ONT のダウンストリームをプロビジョニングするためのクロスコネクトにすぐに対応できる
- ファイバー芯数の多い SMF ケーブルにより、クロスコネクト ODF がそのままになり、ONT を収容する TR や TE に中継される
- カテゴリー対応の銅線「ゾーン」ケーブルでユーザーデバイスに接続されている複数のワークステーションのコンセント
- 光ファイバー (オレンジ色) および銅線 (青色) によるパーマネント (テスト可能な) 構造化配線リンク

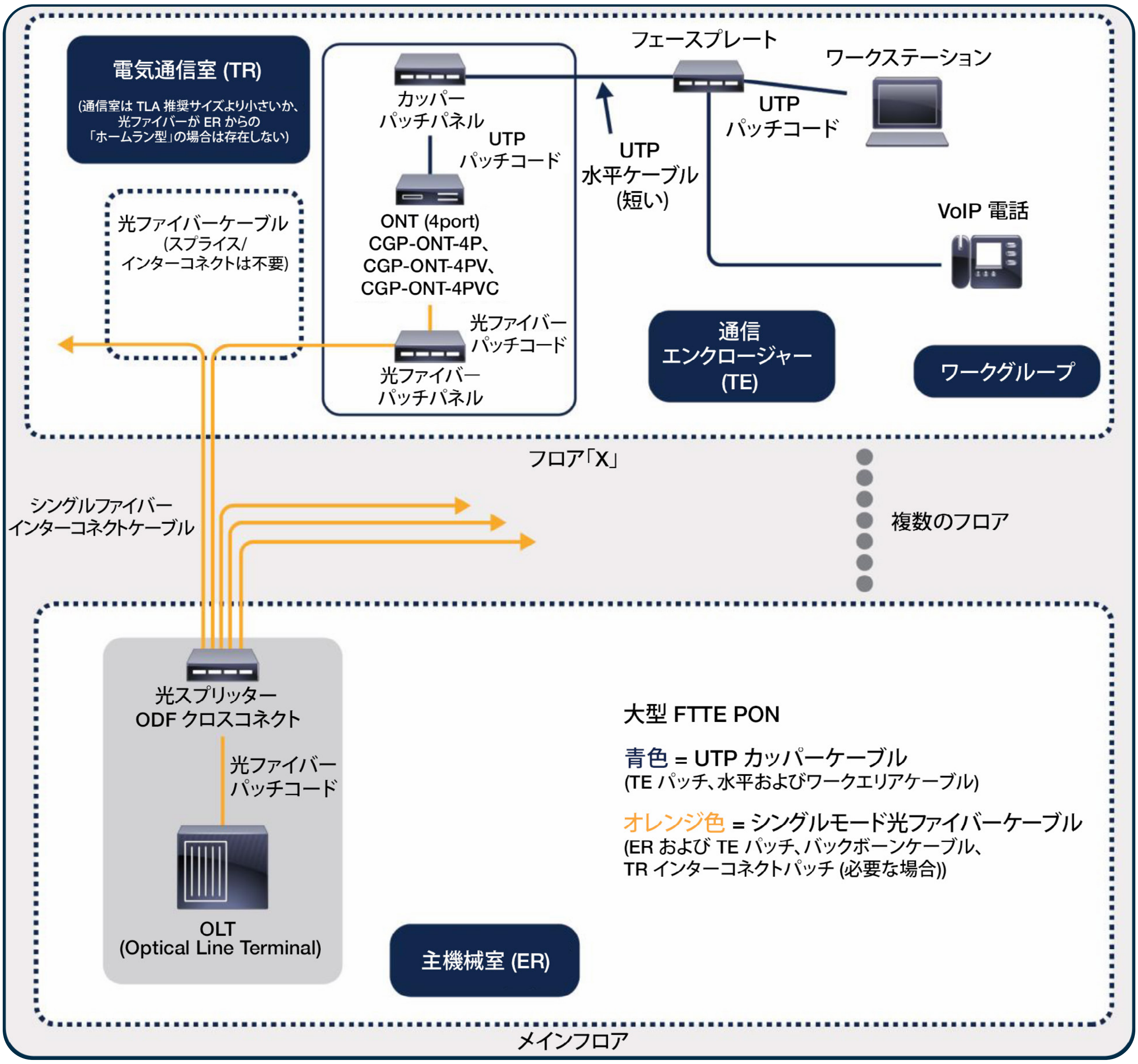


図 8.
大規模な PON 展開のケーブル配線

CISCO Partner PANDUIT™

表 9. 大規模な PON 展開のケーブル配線の長所と短所

長所	短所
最も柔軟性が高く、拡張可能なネットワークアーキテクチャ (クローゼットへのケーブルプラントは PON の速度制限があっても変化せず、一元化された ODF からの管理により最大限の柔軟性が得られる)	ファイバー芯数の多い TR または TE への垂直ケーブル敷設長が増加する。機械室のクロスコネクト ODF により初期の合計設置コストが高くなる
水平方向の銅線に特有の到達制限が緩和され、短いゾーンケーブル配線には低定格の UTP を使用できる	ONT ゾーン展開では、PoE を提供するために、ローカル電源 (ゾーンエンクロージャーの付近) またはハイブリッド光ファイバー /銅線ケーブルが必要となる
ゾーン (TR または TE) のプロビジョニングを ER 内で一元化された方法で分離し、制御することによって、リスクの隔離と区分化が軽減される	IT 担当者は電子機器およびケーブルシステムの「分散型の」管理およびトラブルシューティングを好まない (TR を好む)
スプリッターをカスケード可能。小型の ER ODF スプリッターと、TR または TE に配備される大型のスプリッターにより、帯域幅要件に基づくカスタマイズされた配備が可能	–

PON インフラの試運転、文書化、および検証

PON のテストは、光ファイバーケーブルを使用する他のオンプレミスのケーブルネットワークのテストとは異なります。PON ではシングルモード光ファイバーを使用しますが、階層型スターネットワークをサポートする一元型光ファイバー (FTTD) およびバックボーンでは通常、マルチモード光ファイバーが実装されます。PON では様々な波長で双方向に送信する単一の光ファイバーを使用し、ネットワークに光スプリッターを配備します。スプリッターによってチャネルにかなりの損失が生じ、OTDR (Optical Time Domain Reflectometer; 光パルス試験器) でテストするときに混乱を招く可能性があります。試験結果と比較する損失バジェットを作成するときは、複数のカスケード接続されたスプリッターを考慮する必要があります。

PON ケーブルを設置したら、エンドツーエンドでテストを実行する必要があります。エンドツーエンドの損失には、両端のコネクター、各リンクの光ファイバーの損失、コネクタまたはスプライスの挿入損失、スプリッター自体の損失 (コネクターを含む場合もある) が含まれます。チャネルの送信モードを確認するには、OLT から ONT までの総損失を双方向のすべての動作波長で測定する必要があります。

パンドウイットでは、事前設定された既知の損失テスト制限に対してエンドツーエンドまたはパーマネントリンクを測定するためのベンチマーク方法として、Tier I テスト (光損失テストセット (OLTS)) を推奨しています。これは一般的に、光ファイバー (および銅線) 構造化配線サプライヤーの保証の際にも受け入れられる方法です。スプリッターのテストのため、必ずしもすべての OLTS 装置の動的範囲が十分あるとは限らないため、この目的のために既存の装置を使用したり、新しい装置を購入する前に、このことを確認しておく必要があります。

すべての光ファイバーリンクと同じように、(OTDR などの Tier II デバイスを使用した) トラブルシューティングでは、システム、予想されるリンク損失 (本書で前述した大規模な PON 展開シナリオで計算したような損失バジェット)、光信号レベル、および発生する可能性がある一般的な問題 (難しい経路や考えられるケーブルの曲げ領域など) についての知識が必要です。トラブルシューティングと修復の担当者の中核業務は、コネクタの検査と清掃になるはずです。なぜなら、これが光ファイバーリンク障害の中でも飛び抜けて大きな原因であることが研究で示されているためです。

推奨されるテストは、最も簡単なトレース解釈を提供するユーザー (ONT) 側からの OTDR テストです。ヘッドエンド OLT からのテストの場合、OTDR ではすべての光ファイバーからの後方散乱トレースを観察して加算します。その結果、個々の光ファイバーの詳細を確認できなくなるため、損失イベントを個別の光ファイバーに簡単に割り当てるには、ケーブルプラントを設置時に慎重に文書化しなければなりません。

光ファイバーケーブルシステムのフィールドテストのベストプラクティス
https://www.panduit.com/content/dam/panduit/en/solutions/NI-DC-PN445-ENG.pdf

光ファイバーコネクタシステムの検査と清掃のベストプラクティス
https://www.panduit.com/content/dam/panduit/en/products/media/7/07/507/2507/109902507.pdf

まとめ

ユーザー密度が比較的低く、ケーブル敷設長が長く、ポート数が多いことが見込まれる場合、建物や学校構内でパッシブ光ネットワークを使用した接続の延長が最適です。このアーキテクチャにより、企業 LAN ではライフサイクルコストの削減、通信インフラに使用する不動産の削減、ケーブルインフラを更新することなくアップグレードできる余地など、光ファイバーケーブルのメリットを実現することができます。

ONT は壁面、床下、天井、デスク、家具などの様々な取り付け場所を選んで配置でき、柔軟性やモジュール性が得られ、インフラの移動、追加、変更が簡単になります。

適切に設計され、指定された構造化配線システムを使用して GPON ONT を最初に実装すれば、必要に応じて (ケーブルプラントをほとんど、あるいはまったく変更せずに) 10G XGS-PON に正しくマイグレーションできます。これは IoT やスマートビルディングの用途での 1 Gbps 未満の接続でコスト効果の高い GPON ONT に集中させることができるため重要なポイントです。逆に、これによって将来の対称型 10G ONT も、ワイヤレス AP など 1 Gbps を超える容量が本当に必要な場合に戦略的に追加できるでしょう。

つまり、エンタープライズサービス、ユーザー、またはデバイスの要件に、帯域幅をエンドポイントで完全に一致させられることを意味します。これは従来の LAN アーキテクチャでは (インフラとケーブルを大幅に変更しない限り) 再現できない、はるかに効率的かつ「マイグレーション可能な」ネットワーク設計です。

PON インフラ設計に対する構造化配線アプローチでは、(PtP のケーブルを使用した) 非構造化アプローチと比較すると、次のような価値が得られます。

- 設計と仕様: リファレンス設計のパーマネントリンクセグメント (銅線および光ファイバー) のテスト可能性によって、新しいポートの試運転が保証され、長期保証が得られる可能性がある。
- ネットワークの寿命 (将来に対応): 組み込み設計のスペアポート (新しいケーブルの追加設置が不要) および (MMF または銅線に比べて) グレードの高いシングルモード光ファイバーによる光ファイバーバックボーン
- 保守性 (移動、追加、変更): 複数の変更が発生する環境では、ER、TR、または TE などに一元化し、リスクを緩和してコストを最小限に抑えることが推奨されます (インフラの変更時にバックボーンリンクにはほとんど手を加えません)
- 設置: パーマネントリンクを現場に構築するとき (ER から TE、ER から TR、および TR から TE)、ケーブルスラックの計画が不要です

cisco Partner PANDUIT™

詳しい情報は

詳しい情報は、Cisco 社 (www.cisco.com) またはパンドウイット (www.panduit.com) にお問い合わせください。

Cisco 社について

Cisco 社 (NASDAQ: CSCO) は、人々がつながり、コミュニケーションをとり、コラボレーションする方法を変革するネットワーク業界の世界的なリーダーです。Cisco 社についての情報は、www.cisco.com から入手できます。

Cisco 社に関する最新情報は、www.newsroom.cisco.com を参照してください。

パンドウイットについて

パンドウイットは、柔軟性の高いエンドツーエンドの電気およびネットワーク接続物理インフラソリューションを設計・製造から行い、グローバル化社会とつながり続けるようにビジネスを支援する、世界的リーダーです。パンドウイットの高性能製品は、生産性を高め、総所有コスト (TCO) を削減し、企業の競争の優位性を高めます。各業界のリーダーとの強力な連携、グローバルスタッフ、および比類のないサービスとサポートによって、パンドウイットは価値あるパートナーとして信頼を得ています。

パンドウイットの最新ニュースについては、メディアリソースページ (www.panduit.com/en/about/media-resources) を参照してください。

本稿は、技術的スキルを持つ作業者が自分の判断と責任においてガイドとして使用することを前提に作成されています。パンドウイットのいかなる製品についても、購入者には、使用前に当該製品が目的の用途に適合することを確認する責任があります。また購入者は、それに伴うあらゆるリスクおよび責任を負うものとします。パンドウイットは、この文書に記載された、または記載されていないいかなる情報から生じるいかなる責任も負いません。パンドウイットのすべての製品には、当該時点で最新の限定製品保証の利用条件および制限事項が適用されます。詳しくは、www.panduit.com/warranty をご覧ください。

*本書に記載されたすべての商標、サービスマーク、商号、製品名、およびロゴの所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

Cisco および Cisco ロゴは、米国およびその他の国における Cisco および
その関連会社の商標または登録商標です。
©2022 Cisco and/or its affiliates.　All Rights Reserved. CPAT93--SA-JPN　6/22

Cisco Partner

PANDUIT™