

# GPONテクノロジーの理解

## 内容

---

[はじめに](#)

[前提条件](#)

[要件](#)

[使用するコンポーネント](#)

[背景説明](#)

[用語](#)

[ネットワーク図](#)

[テクノロジーの概要](#)

[GPON の上限](#)

[パワーバジェット](#)

[パケットのやり取り](#)

[ダウンストリームパケットワーク](#)

[ダウンストリームパケットフレーム構造](#)

[アップストリームパケットワーク](#)

[アップストリームパケットフレーム構造](#)

[機能ブロック](#)

[OLT 機能ブロック](#)

[ONU/OLT 機能ブロック](#)

[プロトコルスタック](#)

[トラフィックマッピング：イーサネット](#)

[OMCI](#)

[重要な技術](#)

[レンジング](#)

[バーストテクノロジー](#)

[動的帯域割り当て \(DBA\)](#)

[前方誤り訂正 \(FEC\)](#)

[回線暗号化](#)

[ネットワーク保護モード](#)

[タイプ A](#)

[タイプ B](#)

[タイプ C](#)

---

## はじめに

このドキュメントでは、ギガビット受動光ネットワーク (GPON) テクノロジーとその機能について説明します。

## 前提条件

## 要件

このドキュメントに関する固有の要件はありません。

## 使用するコンポーネント

このドキュメントの内容は、特定のソフトウェアやハードウェアのバージョンに限定されるものではありません。

このドキュメントの情報は、特定のラボ環境にあるデバイスに基づいて作成されました。このドキュメントで使用するすべてのデバイスは、クリアな ( デフォルト ) 設定で作業を開始しています。本稼働中のネットワークでは、各コマンドによって起こる可能性がある影響を十分確認してください。

## 背景説明

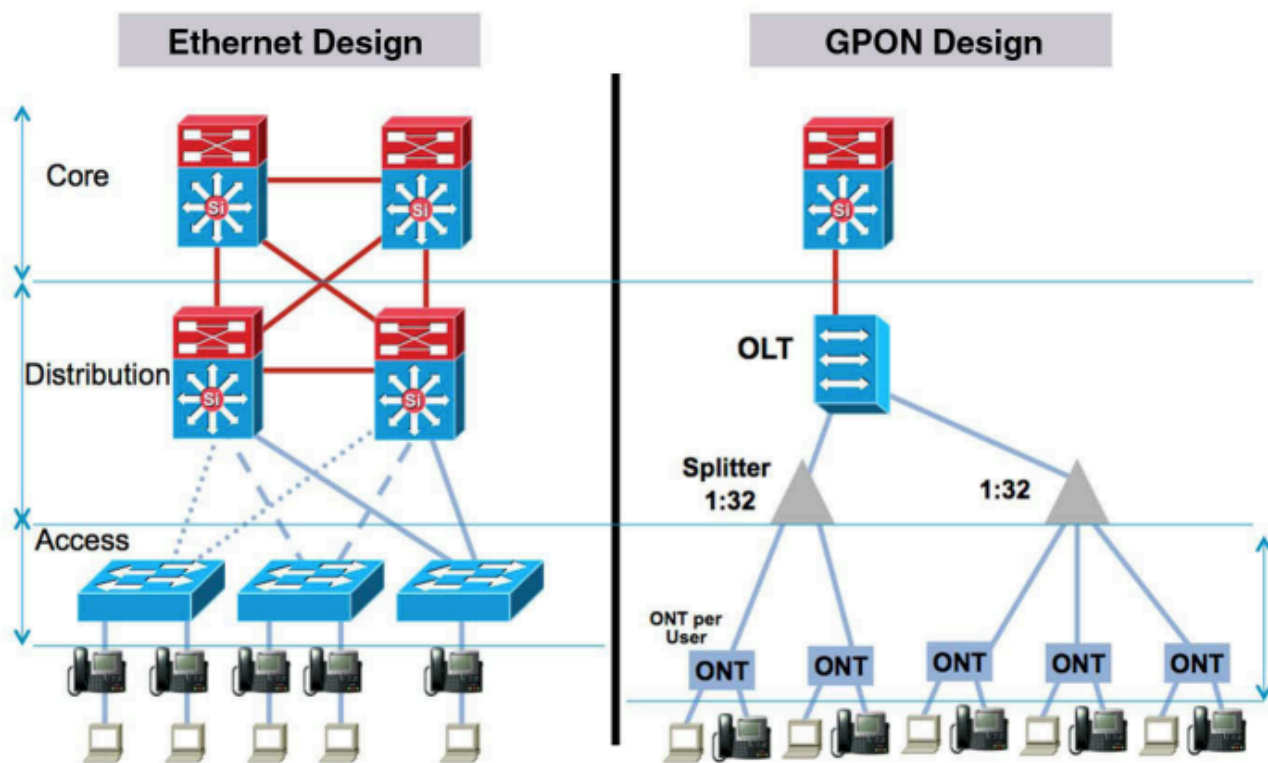
GPON は、キャンパスネットワーキングにおけるイーサネットスイッチングの代替テクノロジーです。GPONは、従来の3層イーサネット設計を2層光ネットワークに置き換え、受動光デバイスを使用したアクセスおよびディストリビューションイーサネットスイッチを排除します。シスコは、Catalyst GPONプラットフォームとともにGPONを導入しています。

## 用語

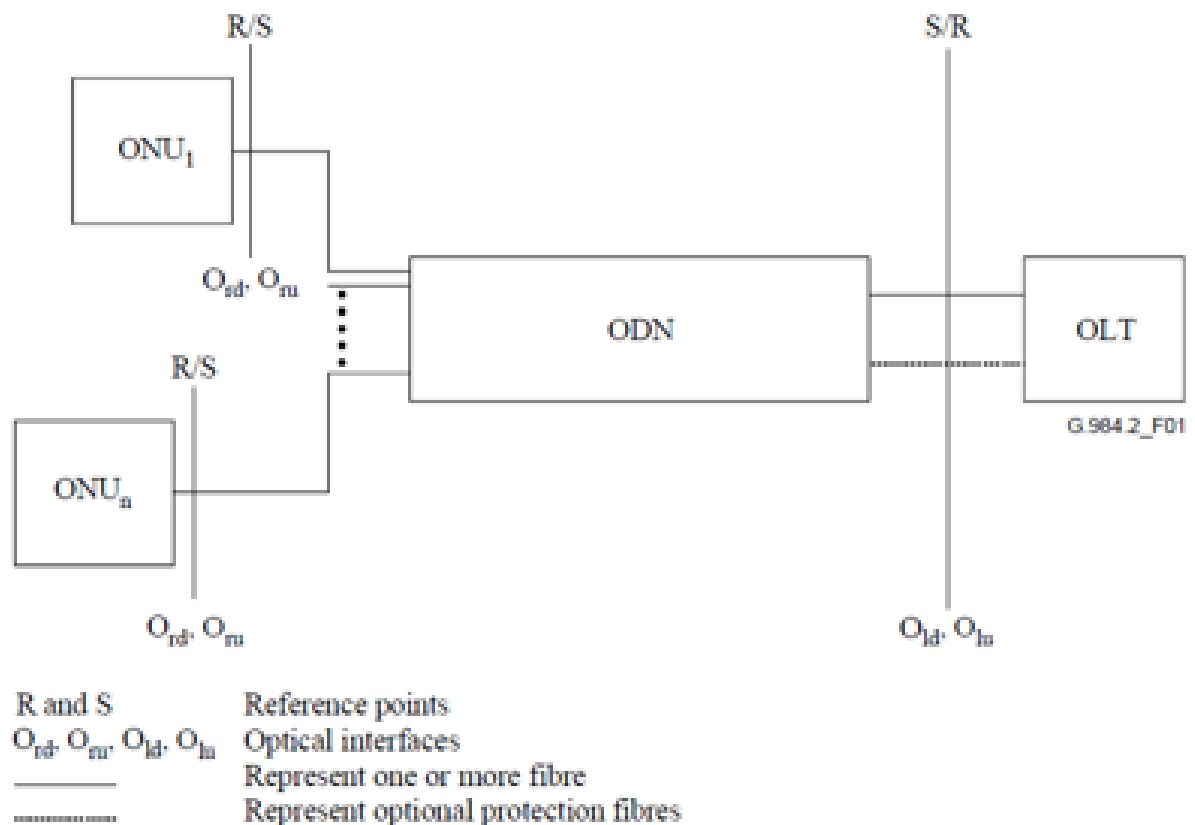
- ギガビット対応パッシブ光ネットワーク(GPON):ITU-Tによって公開されたパッシブ光ネットワーク(PON)の標準。
- 光ディストリビューション ネットワーク ( ODN ) : 電気通信ネットワーク内のユーザーに信号を配信する物理ファイバおよび光デバイス。ODN は、光ファイバなどの受動光コンポーネント ( POS ) と 1 つ以上の受動光スプリッタで構成されます。
- 光ネットワーク終端(ONT)/光ネットワークユニット(ONU) : エンドユーザデバイス ( デスクトップ、電話など ) をGPONネットワークに接続します。光信号を電気信号に変換します。ONT は、ONT キーを介した AES 暗号化も提供します。
- スプリッタ : 単一のアップストリームファイバ光ケーブルに光ファイバ信号を集約または多重化するために使用されます。通常は 1:32 の比率です。
- Optical Line Terminal ( OLT ; 光回線端末 ) :ONTからのすべての光信号を単一の多重化された光ビームに集約し、次いで電気信号に変換し、レイヤ2またはレイヤ3転送用にイーサネットパケットタイプ標準にフォーマットするデバイス。
- 波長分割多重(WDM) : 波長分割多重(WDM)は、複数の光キャリア信号を、異なる波長 ( 色 ) のレーザー光を使用する単一の光ファイバに多重化するテクノロジーです。
- GEM GPONカプセル化方式(GEM) : コネクション型で、ユーザデータフレームの可変サイズの伝送フラグメントへのフラグメンテーションをサポートする、ギガビット対応の受動光ネットワーク(GPON)システムで使用されるデータフレーム転送方式
- Fiber to the X(FTTX):FTTXは複数のファイバ導入構成の汎用化であり、FTTP/FTTH/FTTB ( 光ファイバを施設/家庭/建物まで敷設 ) とFTTC/N ( 光ファイバをキャビネット/ノードまで敷設し、銅線で接続を完了 ) の2つのグループに分けられます。
- T-CONT/TCONT : 送信コンテナ。
- OMCC : 光ネットワークユニット管理および制御チャネル。

- OMCI : 光ネットワークユニット管理および制御インターフェイス。
- PCBd : 物理制御ブロックダウンストリーム。
- TDM : 時分割多重。
- TDMA : 時分割多重アクセス。

## ネットワーク図



## テクノロジーの概要



- OLT は 1 本の光ファイバを介して光スプリッタに接続され、光スプリッタは ONU/ONT に接続されます。
- GPON では、同じ ODN を介して異なるアップストリーム/ダウンストリーム波長のデータを送信するために、WDM が採用されています。波長の範囲は、アップストリーム方向で 1290 ~ 1330 nm、ダウンストリーム方向で 1480 ~ 1500 nm です。
- データはダウンストリーム方向でブロードキャストされ、アップストリーム方向では、データは TDMA モード ( タイムスロットに基づく ) でバーストされます。
- ポイントツーマルチポイント ( P2MP ) マルチキャスト送信をサポートしています。

## GPON の上限

- 最大論理到達距離 : 60 km (これは、将来の物理メディア依存(PMD)仕様を考慮して、システムの上位レイヤ ( MAC、TC、レンジング ) で管理される最大距離)。
- 送受信(S/R)ポイントと送受信(R/S)ポイント間の最大ファイバ距離 : 20 km
- 最大差動ファイバ距離 : 20 km
- スプリット比 : パス損失による制限、パッシブスプリッタを使用したPON ( 16、32、または64ウェイスプリット )
- レート : 1.24416 Gigabits/sアップ、2.48832 Gigabits/sダウン

## パワーバジェット

GPON の一部として、光強度の損失を考慮する必要があります。この損失は、次のようなさまざまな方法で発生する可能性があります。

- スプリッタ内の損失
- ファイバの km あたりの損失 ( 1310 nm、1490 nm の場合、1 km あたり約 0.35 dB )
- スプライスでの損失 ( 0.2 dB を超える )
- コネクタ損失 ( 0.6 dB )
- ファイバの曲げ半径

次の図に示すような、さまざまなスプリッタの使用によって発生する損失の総量：

<b>Optical Splitters</b>	<b>Loss [dB]</b>
Splitter 1 x 64	20.1
Splitter 1 x 32	17.4
Splitter 1 x 16	13.8
Splitter 1 x 8	10.5
Splitter 1 x 4	7.0

次の図に示すような、クラスごとの最小および最大光パス損失：

Table G.984.2 – Classes for optical path loss

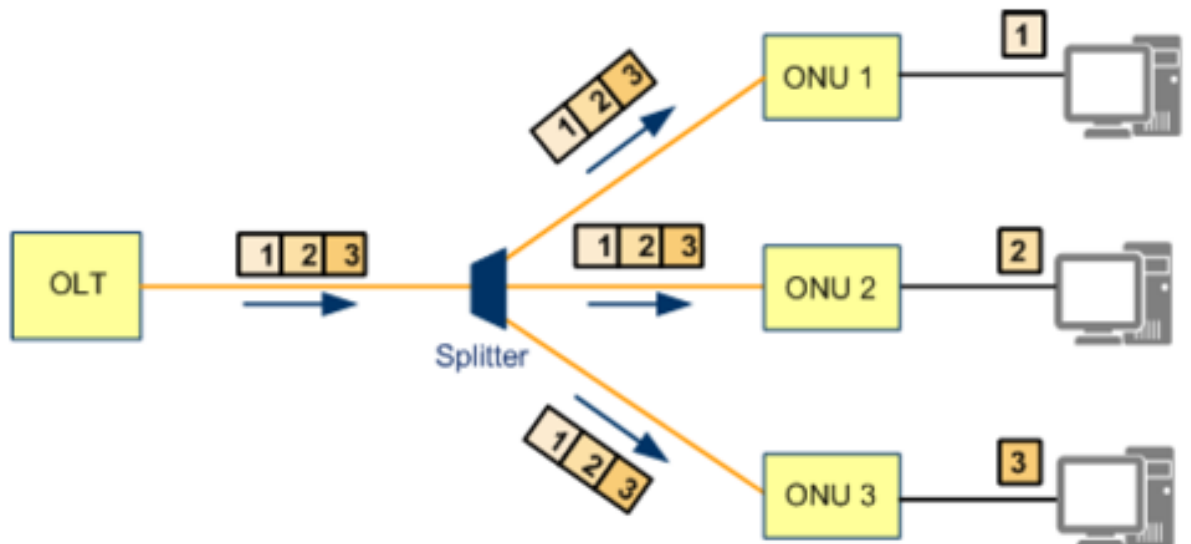
	Class A	Class B	Class B+	Class C
<b>Minimum loss</b>	<b>5 dB</b>	<b>10 dB</b>	<b>13 dB</b>	<b>15 dB</b>
<b>Maximum loss</b>	<b>20 dB</b>	<b>25 dB</b>	<b>28 dB</b>	<b>30 dB</b>

**NOTE** – The requirements of a particular class may be more stringent for one system type than for another, e.g. the class C attenuation range is inherently more stringent for TCM systems due to the use of a 1:2 splitter/combiner at each side of the ODN, each having a loss of about 3 dB.

## パケットのやり取り

### ダウンストリーム パケット ウォーク

次の図に示すように、パケットは、OLT からさまざまな ONU に向かってダウンストリーム送信

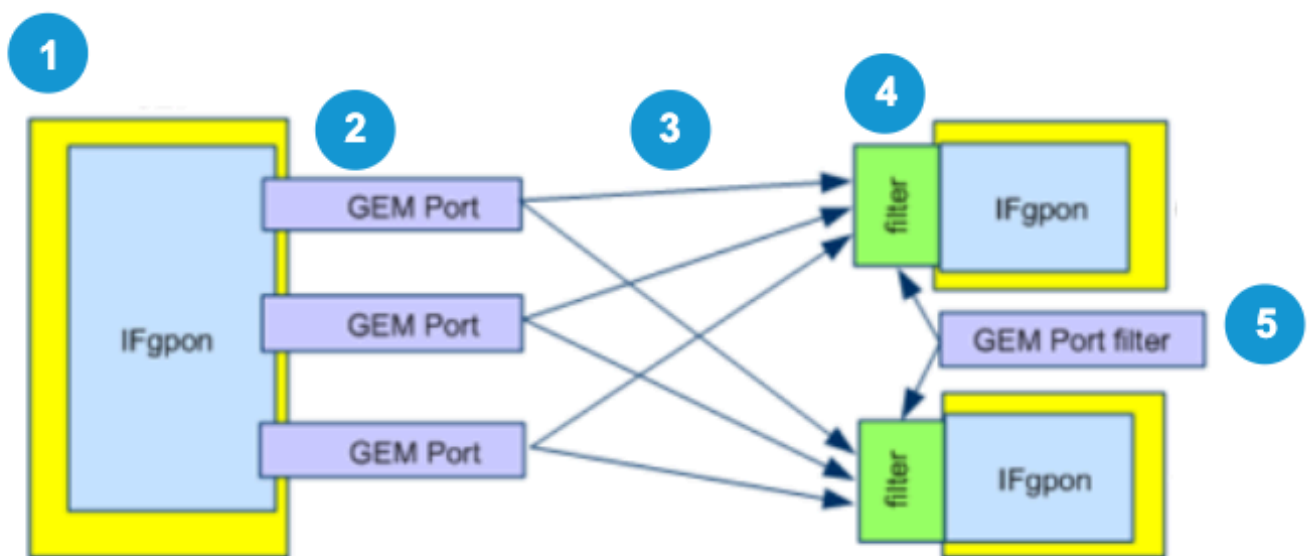


されます。

🔍 ヒント：ダウンストリームはスプリッタの観点からのものです。トラフィックは ONU/ONT、つまりエンドユーザーに向かうものと考えられます。

- ダウンストリームパケットはブロードキャストとして転送されて、同じデータがすべての同じ ONU/ONT に送信され、GEM ポート ID によって異なるデータとして識別されます。
- ONU/ONT が ONU ID によって目的のデータを受信することを可能にします。
- ダウンストリームの波長範囲は 1480 ~ 1500 nm です。
- ダウンストリーム連続モード動作：GPON を通過するユーザートラフィックがない場合でも、レーザーが管理上オフになっている場合を除き、一定の信号が存在します。

次の図に示すように、ダウンストリームパケット転送の手順は、以下のようなものです。



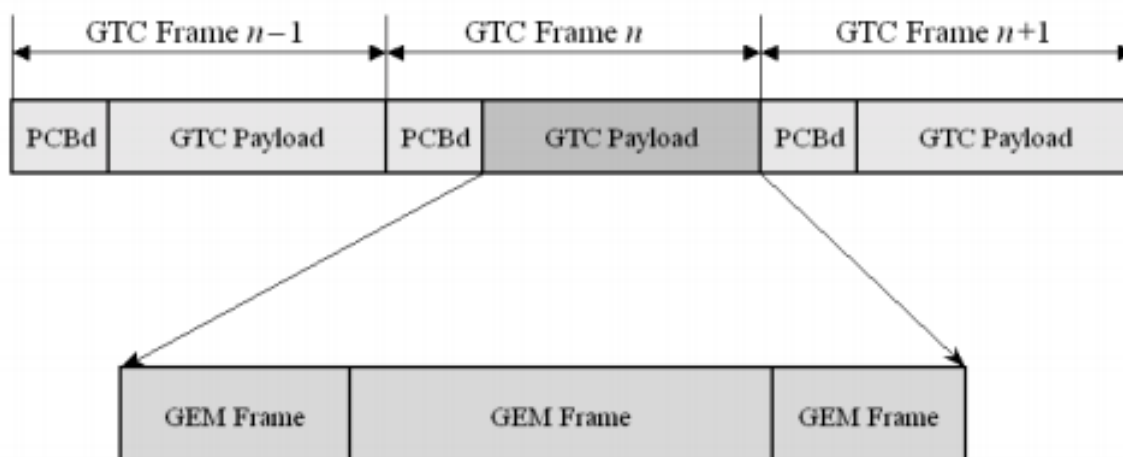
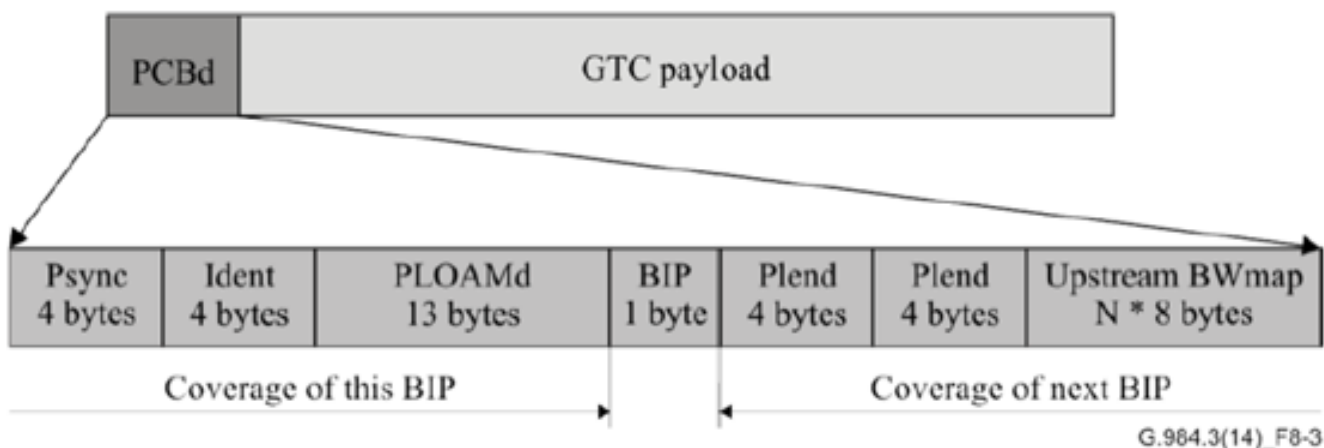
1. OLT が、PON ポートに設定されたルールに基づいて、アップリンクポートから GPON サービス処理モジュールにイーサネットフレームを送信します。
2. GPON サービス処理モジュールが、イーサネットフレームを、ダウンストリーム送信用の GEM ポートデータパケットにカプセル化します。
3. GEM PDU を含む GPON 送信コンバージェンス ( GTC ) フレームが、GPON ポートに接続されているすべての ONT/ONU にブロードキャストされます。
4. ONT/ONU が、GEM PDU ヘッダーに含まれる GEM ポート ID に基づいて受信データをフィルタ処理し、この ONT/ONU の GEM ポートにとってのみ有意なデータを保持します。
5. ONT が、データのカプセル化を解除し、イーサネットフレームをサービスポート経由でエンドユーザーに送信します。

## ダウンストリーム パケット フレーム構造



- ダウンストリームGPONフレームは125  $\mu$ sの固定長で、物理制御ブロック(PCBd)とペイロードの2つのコンポーネントで構成されます。
- OLT は、すべての ONU/ONT に PCBd をブロードキャストします。ONU/ONT は、PCBd を受信し、受信した情報に基づいて操作を実行します。
- PCBd は、GTC ヘッダーと BWmap で構成されます。
  - GTCヘッダー：フレームの区切り、同期、および前方誤り訂正(FEC)に使用されます。
  - BWmap：このフィールドは、ONU 自体にアップストリーム帯域幅割り当てを通知します。各ONUのT-CONTのアップストリームの開始および終了タイムスロットを指定します。これにより、データの競合を防ぐために、すべてのONUがOLTによって指定されたタイムスロットに基づいてデータを送信します。

次の図は、PCBd と、GTC ペイロードに含まれるものの拡大図です。

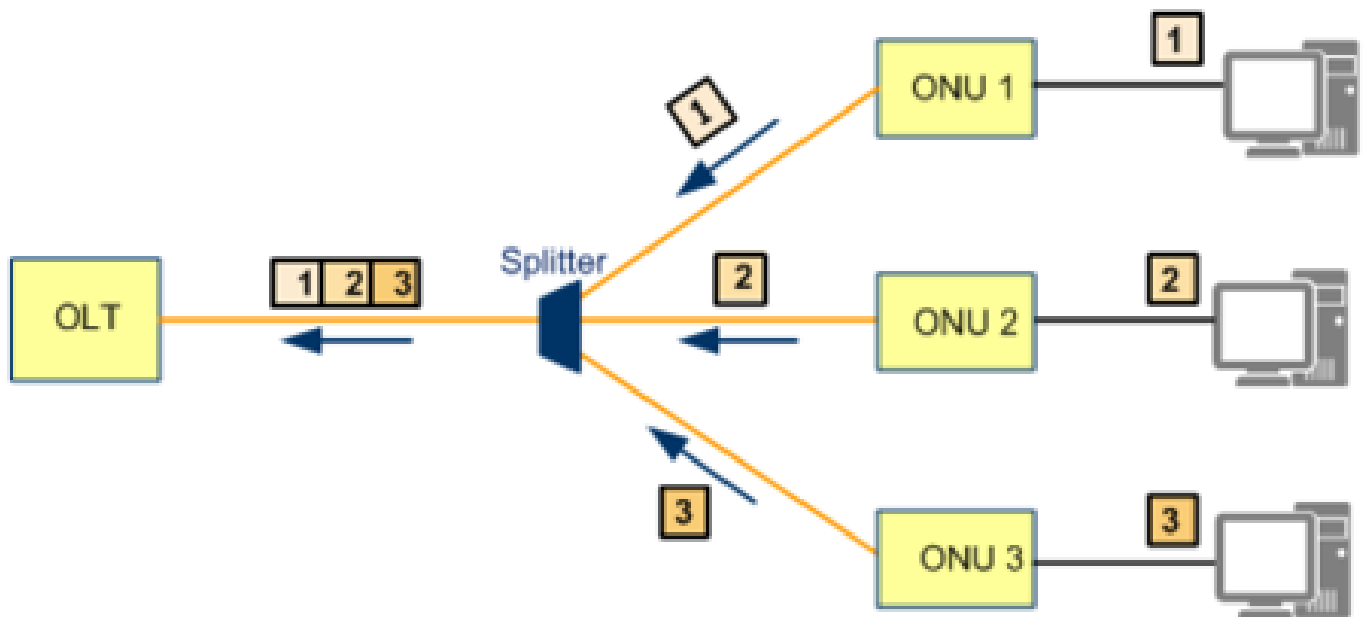



重要な用語:

- Psync ( 4バイト長 ) : 物理同期フィールド。各PCBdの開始を示します。
- Ident ( 4バイト長 ) : より大きなフレーム構造を示すために使用されます。暗号化システムで使用されるスーパーフレームカウンタが含まれます。
- PLOAMd ( 13バイト長 ) : 物理層OAM(PLOAM)ダウンストリームフィールド。これは、OLT と ONU/ONT の間にあるメッセージベースの動作および管理チャネルと考えられます。
- BIP ( 1バイト長 ) : 受信側がリンク上のエラー数を測定するためのビットインターリーブパリティ。
- Plend ( 4バイト長 ) : ペイロード長ダウンストリームフィールド。

## アップストリーム パケット ウォーク

次の図に示すように、アップストリームパケットは、さまざまな ONU から OLT に送信されます。

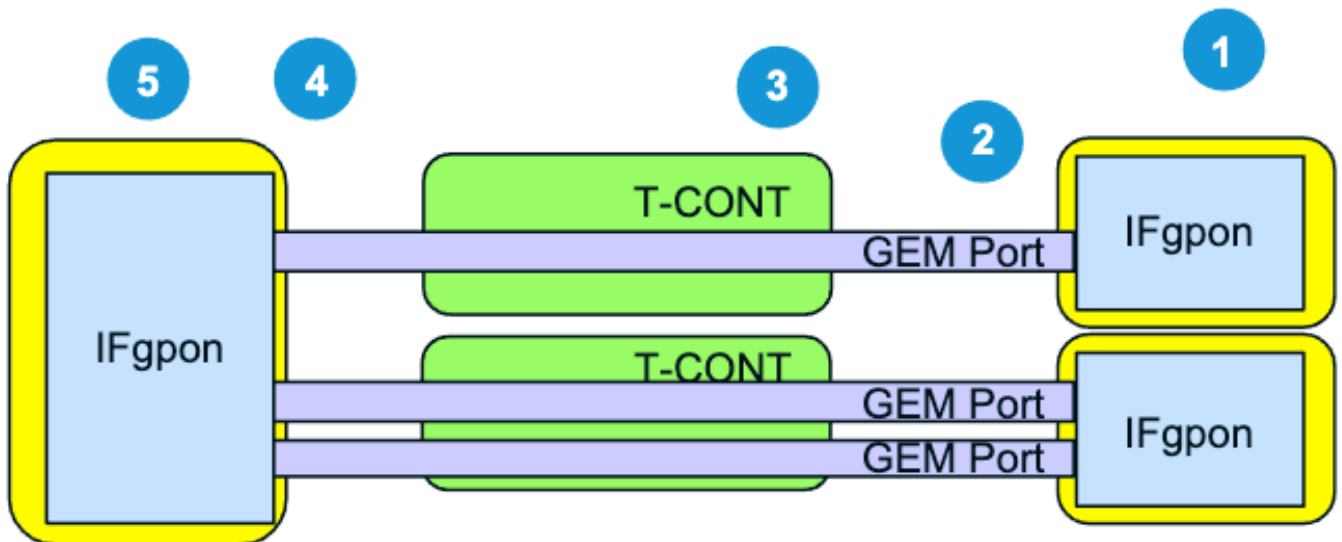


 ヒント : アップストリームは、スプリッタの観点、またはONU/UNTからOLTに向けて送信されるトラフィックの観点から考えることができます。

- アップストリームパケット送信は、TDMA ( 時分割多重アクセス ) を介して行われます。
  - OLTとONT/ONU間の距離が測定されます。
  - タイムスロットは距離に基づいて割り当てられます。
  - ONT/ONUは、付与されたタイムスロットに基づいてアップストリームにトラフィックを送信します。

- 動的帯域幅割り当て ( DBA ) により、OLT は、リアルタイム、輻輳、帯域幅使用状況、および設定をモニターすることができます。
- レンジングを通じてコリジョンを検出し、防止します。
- アップストリーム波長の範囲は1290 ~ 1330 nmです。

次の図に示すように、アップストリームパケット転送の手順は、以下のようなものです。




1. ONT/ONUは、サービスポートとGEMポートをマッピングする設定済みのルールに基づいて、イーサネットフレームをGEMポートに送信します。
2. GEM ポートが、イーサネットフレームを GEM PDU にカプセル化し、GEM ポートと TCONT キューをマッピングするルールに基づいてこれらの PDU を TCONT キューに追加します。
3. TCONT キューが、DBA に基づいてタイムスロットを使用し、アップストリーム GEM PDU を OLT に送信します。
4. OLT が、GEM PDU のカプセル化を解除します。この時点で、元のイーサネットフレームが出現します。
5. OLT が、サービスポートとアップリンクポートをマッピングするルールに基づいて、指定されたアップリンクポートからイーサネットフレームを送信します。

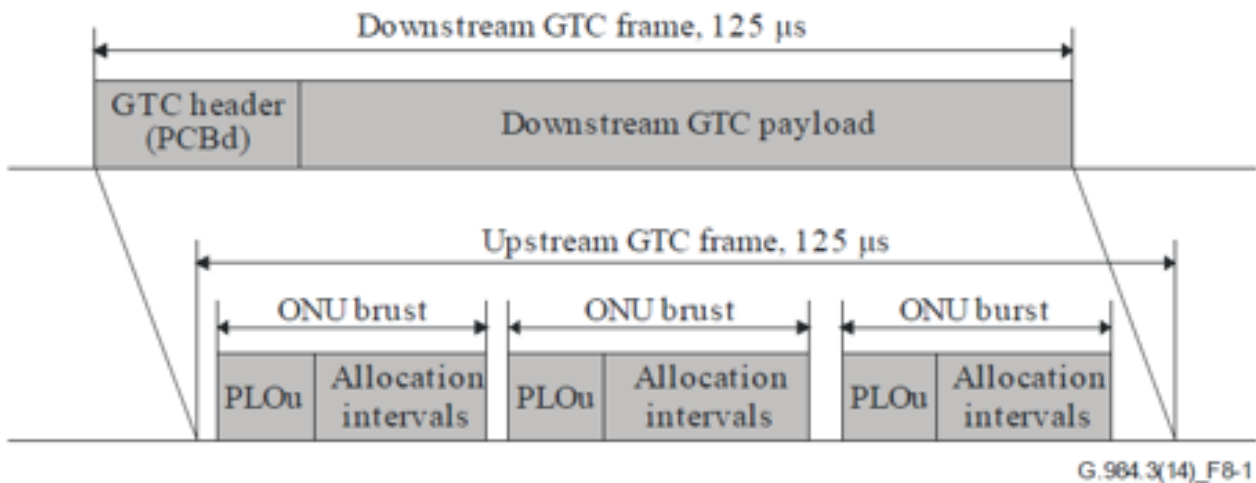
## アップストリーム パケット フレーム構造

- 各アップストリーム GPON フレームは、125  $\mu$ s の固定長です。
- 各アップストリームフレームには、1つ以上のT-CONT/TCONTによって伝送されるコンテンツが含まれます。

- GPONポートに接続されたすべてのONUは、アップストリーム帯域幅を共有します。
- すべての ONU は、帯域幅マップ ( BWmap ) 要件に基づいて、独自のタイムスロットでデータをアップストリームに送信します。
- 各 ONU は、アップストリームフレームを使用して OLT に送信されるデータのステータスを報告します。OLTはDBAを使用して割り当てる onuにアップストリームタイムスロットを提供し、各フレームでアップデートを送信します。

 注：アップストリームフレームはバーストとして送信され、アップストリームの物理層オーバーヘッド(PLOu)と、特定のAlloc-IDに関連付けられた1つ以上の帯域幅割り当て間隔で構成されます。

次の図は、ダウンストリームフレームとアップストリームフレームの違いを示しています。

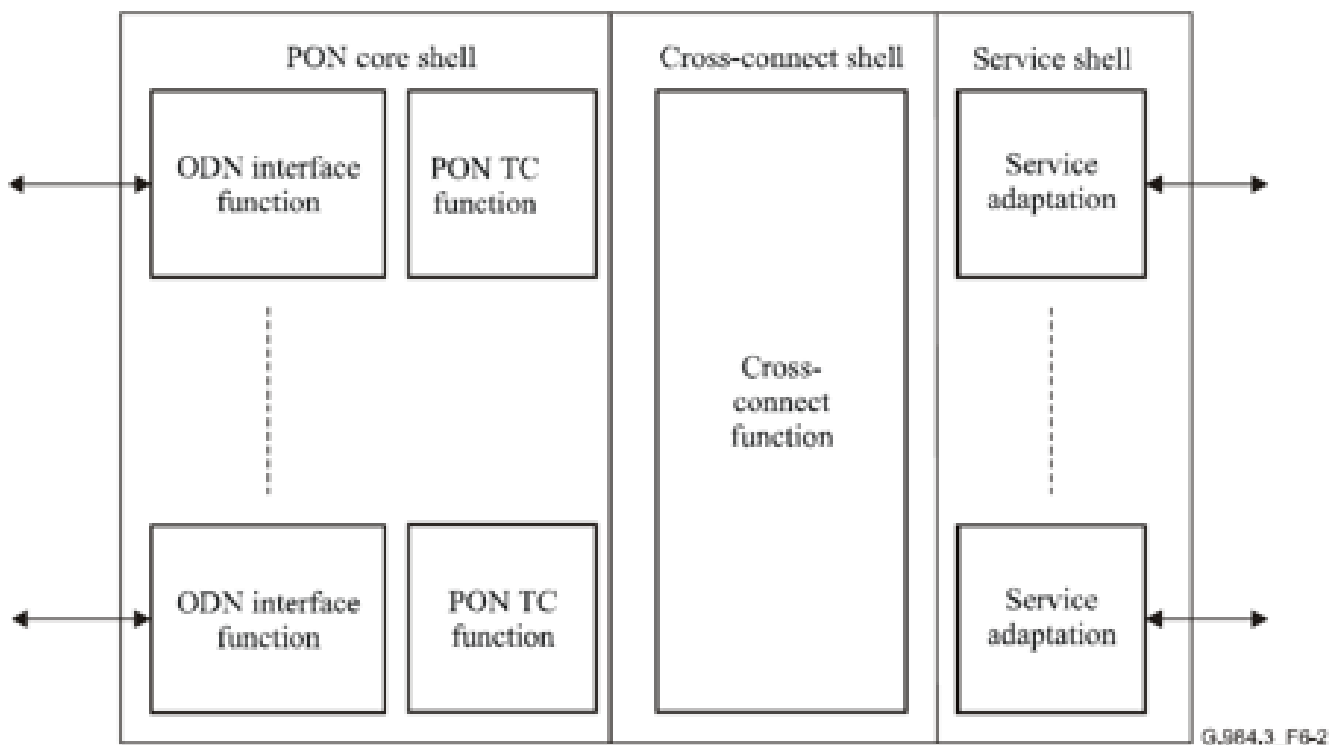


#### 重要な用語:

- Physical layer overhead upstream ( PLOu ; 物理層オーバーヘッドアップストリーム ) : アップストリームの物理層オーバーヘッド。
- 物理層 OAM アップストリーム ( PLOAMu ) : アップストリームデータの PLOAM メッセージ。これは、OLT と ONU/ONT の間にあるメッセージベースの動作および管理チャネルと考えられます。
- 強度レベル シーケンス アップストリーム ( PLSu ) : アップストリームの電力レベルシーケンス。
- 動的帯域幅レポートアップストリーム ( DBRu ) : アップストリームの動的帯域幅レポート。
- ペイロード : ユーザーデータ

## 機能ブロック

## OLT 機能ブロック

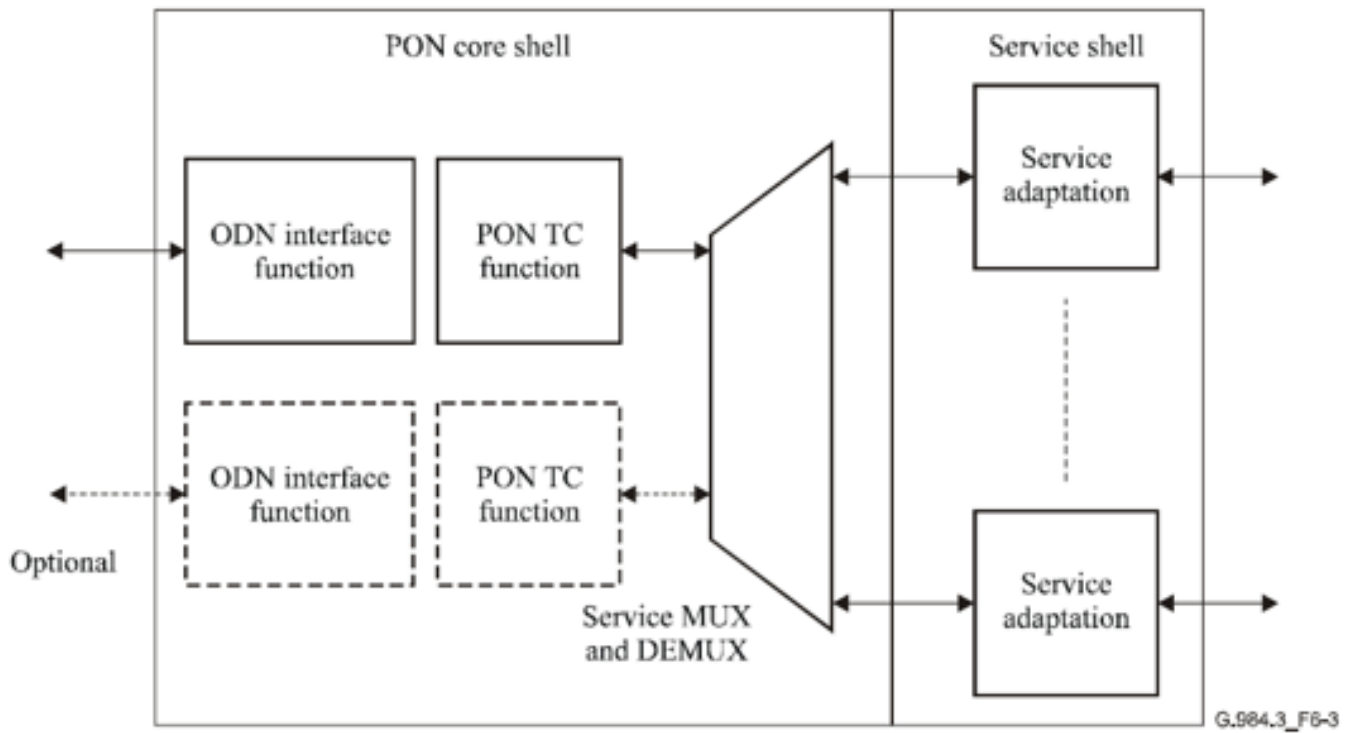


OLT は、次の 3 つの主要部分で構成されます：

1. サービスポート インターフェイス機能：PON セクションのサービスインターフェイスと TC フレームインターフェイスの間での変換を提供します。
2. 相互接続機能：PON シェルとサービスシェルの間の通信パスと、相互接続機能を提供します。
3. 光ディストリビューション ネットワーク (ODN)：インターフェイス：これは、さらに次の 2 つの部分に細分されます。

- PON インターフェイス機能
- PON TC 機能：相互接続機能用のプロトコルデータユニット (PDU) のフレーミング、メディアアクセス制御、OAM、DBA、および定義や、ONU 管理などを担当します。

## ONU/OLT 機能ブロック

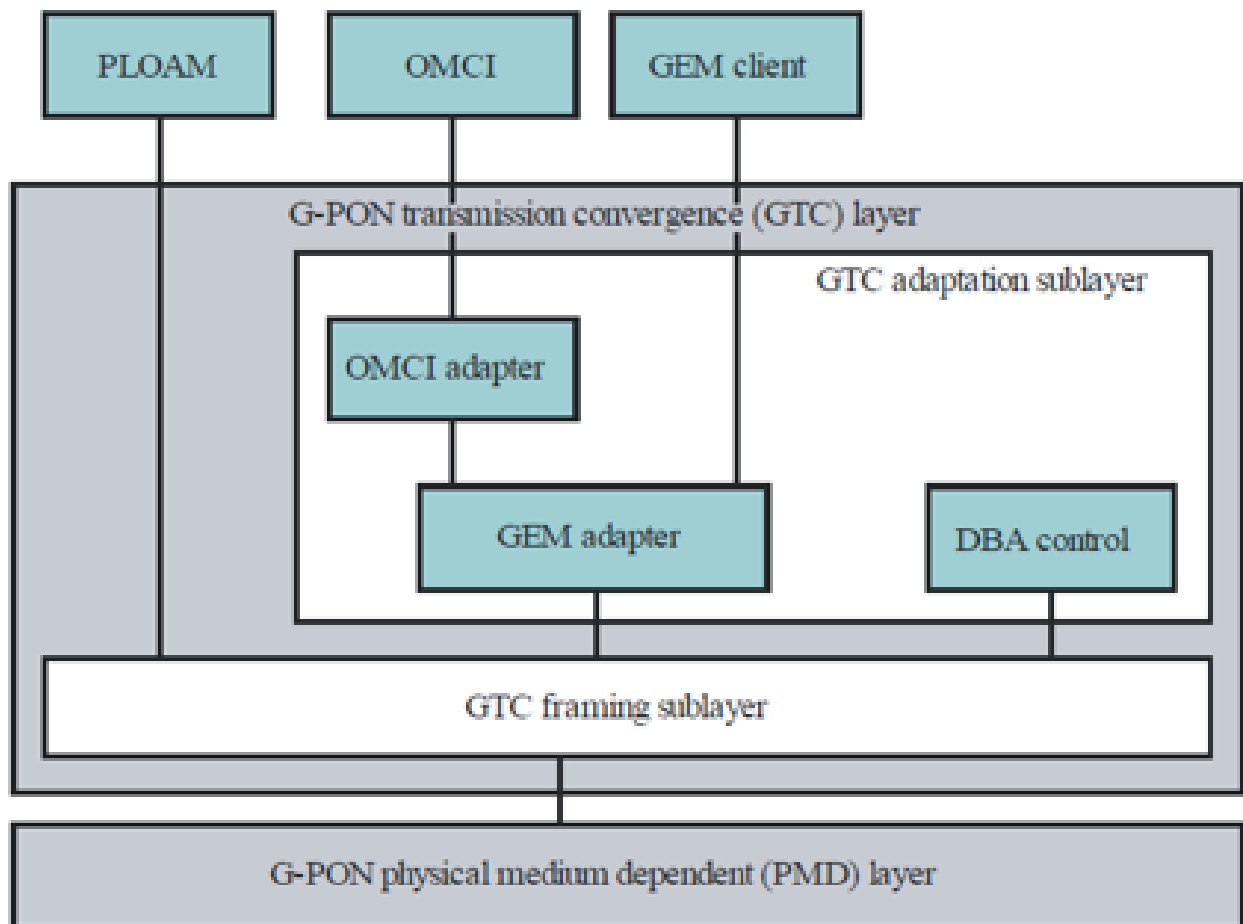


この機能ブロックは OLT に似ています。ONU/OLTが単一のPONインターフェイス（保護目的で最大2つ）で動作するシナリオでは、クロスコネク機能は省略されます。今回は、この機能の代わりに、サービス MUX および DEMUX がトラフィックを担当します。

## プロトコルスタック

GPON のプロトコルには、イーサネットや IP と同じように独自のスタックがあります。

次の図は、GPON のプロトコルスタックを示しています。



G.984.3(14)\_F7-1

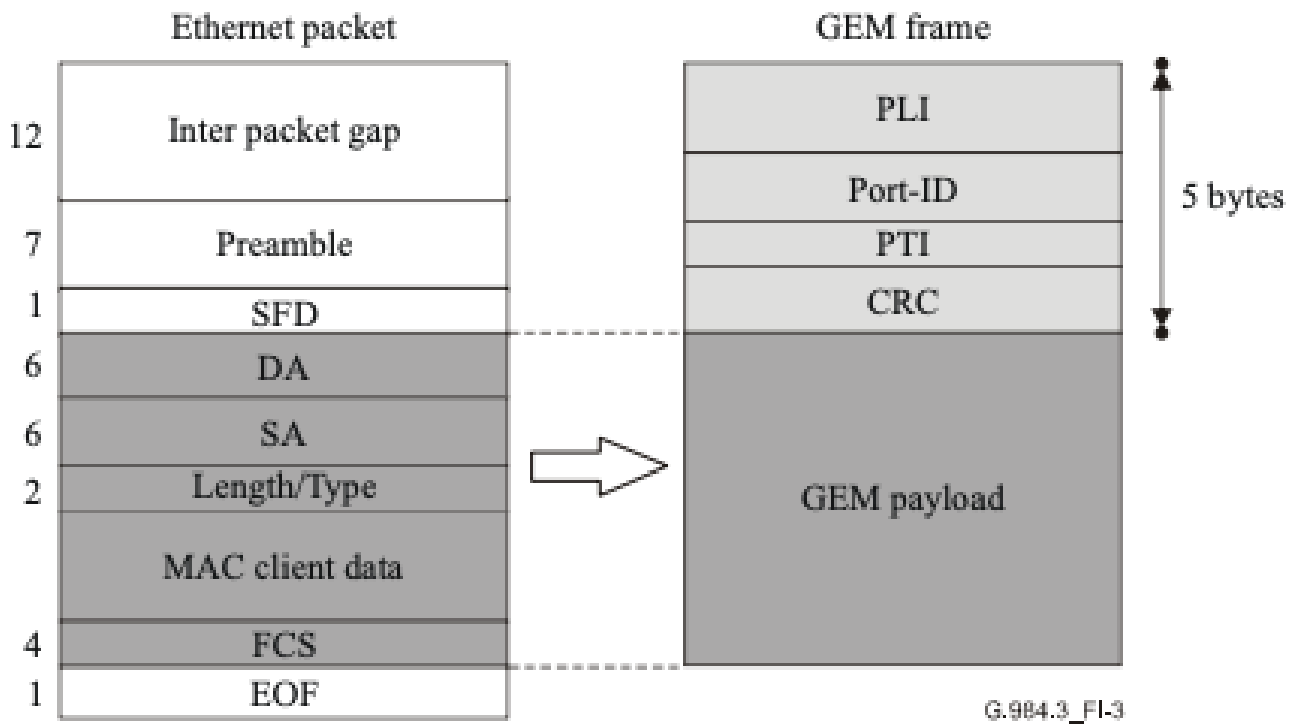
#### 重要な用語:

- PMD レイヤ : OLT と ONU の間にある GPON インターフェイスに相当します。
- GTC レイヤ : ATM セルまたは GEM フレームを使用したペイロードのカプセル化を担当します。GEMフレームは、イーサネット、POTS、E1、およびT1セルを伝送できます。

#### トラフィックマッピング : イーサネット

- イーサネットフレームを解決し、イーサネットフレームのデータをGEMペイロードに直接マッピングします。
- GEMフレームは自動的にヘッダー情報をカプセル化します。
- イーサネットフレームとGEMフレームの1:1の位置合わせ。

次の図は、イーサネットフレームから GEM フレームへのマッピングを示しています。



## OMCI

- ONU 管理および制御インターフェイス (OMCI) メッセージは、管理および制御のために ONT/ONU を検出するために使用されます。
- これらの特殊なメッセージは、OLT と ONT/ONU の間に確立された専用の GEM ポートを介して送信されます。
- OMCI プロトコルにより、OLT は、次のことが可能になります。
  - ONTとの接続を確立し、解放します。
  - ONTでUNIを管理します。
  - 設定情報とパフォーマンス統計情報を要求します。
  - リンク障害などのイベントを自律的にアラートします。

## キーポイント：

- プロトコルは、OLTとONT間のGEM接続で実行されます。
- GEM接続は、ONTの初期化中に確立されます。
- プロトコルの動作は非同期:OLTコントローラはプライマリとして機能し、ONTコントローラはセカンダリとして機能します。



# 重要な技術

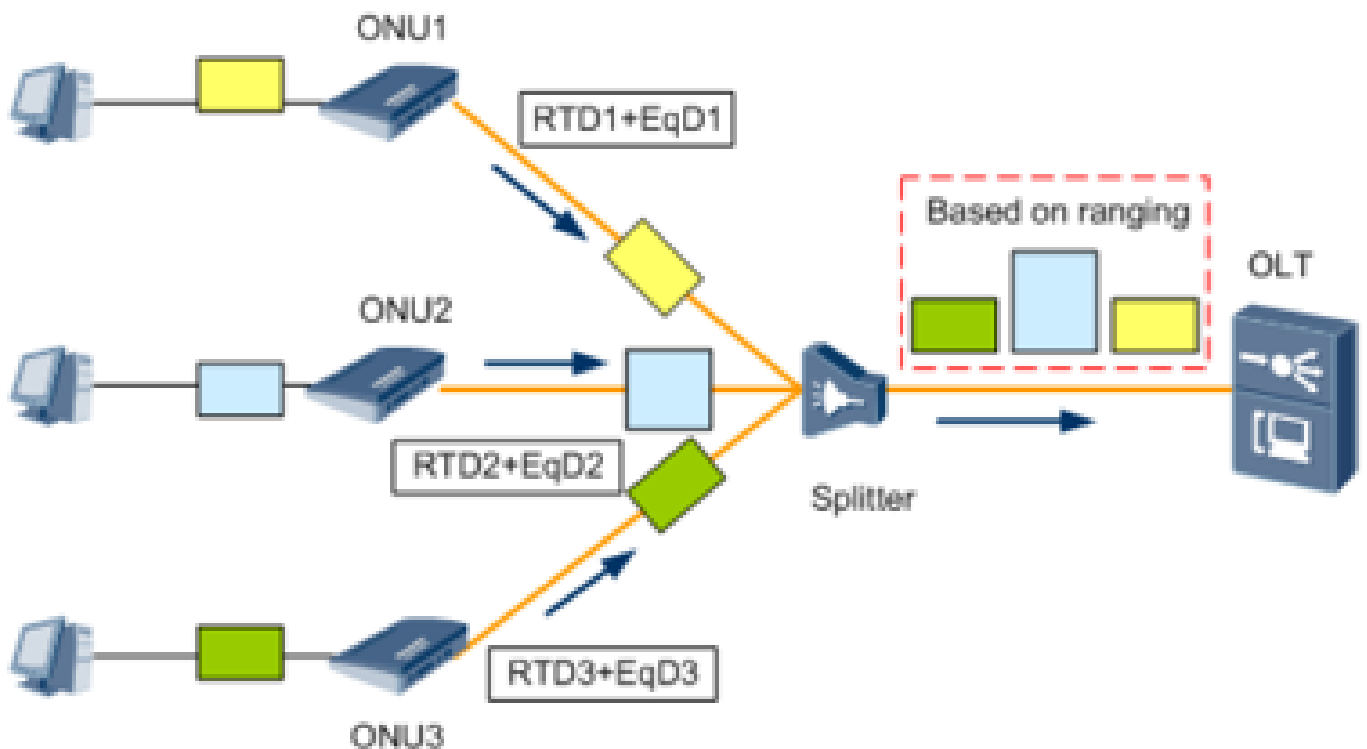
## レンジング

データの競合 ( コリジョン ) を防ぐには、OLTが自身と各ONU間の距離を正確に測定し、データのアップストリームを容易にする適切なタイムスロットを提供する必要があります。これにより、ONUは、指定されたタイムスロットでデータを送信し、アップストリームの問題を防ぐことができます。このプロセスは、「レンジング」と呼ばれる技術によって実現されます。

レンジングのプロセス：

- OLTは、ONUが最初にOLTに登録し、ONUのラウンドトリップ遅延 ( RTD ) を取得したときに、ONUでプロセスを開始します。RTDに基づいて、他の主要なコンポーネントが識別されます。
- その特定ONUの物理的到達距離の計算。このOLTは、物理的到達距離に基づく各ONUの適切な等化遅延 ( EqD ) を必要とします。
- RTCとEqDは、すべてのONUによって送信されるデータフレームを同期させます。

次の図は、すべてのONU/OLTをOLTから実質的に同じ距離に配置するためにプロセスによって実現されることを示しています。



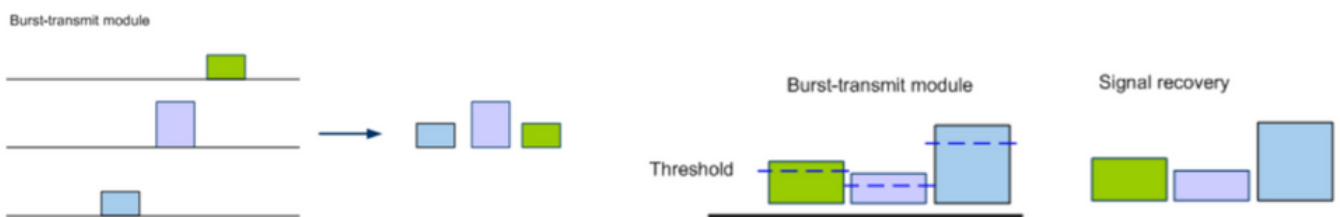
## バーストテクノロジー

アップストリーム パケット フローはバーストを介して実現され、各 ONU/ONT は、割り当てられたタイムスロット内のデータ送信を担当します。ONU/ONT がタイムスロット内でない場合、

デバイスは、他の ONU/ONT の影響を防ぐために、光トランシーバの送信を無効にします。

- バースト送信機能は、ONU/ONTモジュールでサポートされています。
- バースト受信機能は、OLTモジュールでサポートされています。
- 各 ONU/ONT と OLT の間の距離が異なると、光信号が減衰します。その結果、OLT が受信するパケットの強度とレベルが、タイムスロットによって異なります。
- 動的しきい値調整により、OLT は、光強度のしきい値を動的に調整できます。これにより、すべての ONU 信号を確実に回復できます。

次の図は、バースト送信され回復された、さまざまなデータを示しています。



## 動的帯域幅割り当て ( DBA )

DBA により、OLT モジュールは、PON ネットワークでの輻輳をリアルタイムでモニターできます。これにより、OLT は、さまざまな要因 ( 輻輳、帯域幅使用状況、設定など ) に基づいて帯域幅を調整できます。

DBA の要点 :

- OLT 内の組み込み DBA モジュールは、常に、DBA レポートを収集し、計算して、ダウンストリームフレーム内の BWMMap フィールドを介して ONU に通知します。
- BWMMap 情報の結果として、ONU は、アップストリーム帯域幅を占有するように割り当てられたタイムスロットでデータをアップストリームに送信します。
- 帯域幅は、スタティック/固定モードで割り当てることもできます。
- DBA を使用すると、次のことが可能になります。
  - PONポートでのアップストリーム帯域幅使用率の向上
  - ユーザの帯域幅を拡大し、PONポートでより多くのユーザをサポート。

## 前方誤り訂正 ( FEC )

デジタル信号を送信すると、ビットエラーやジッターが発生し、信号の送信品質が低下する場合

があります。GPON は、FEC を利用することができます。これにより、RX 側で送信のエラービットをチェックすることができます。

---

 注：FEC は単方向であり、エラー情報のフィードバックはサポートされません。

---

FEC の要点：

- データの再送信は必要ありません。
- ダウンストリーム方向でのみFECをサポートします。
- PCBdおよびペイロード処理による伝送品質の向上

## 回線暗号化

すべてのダウンストリームデータは、すべての ONU にブロードキャストされます。不正な ONUが不正なONU用のダウンストリームデータを受信する危険性があります。これに対処するため、GPONはAES128アルゴリズムを使用してデータパケットを暗号化します。

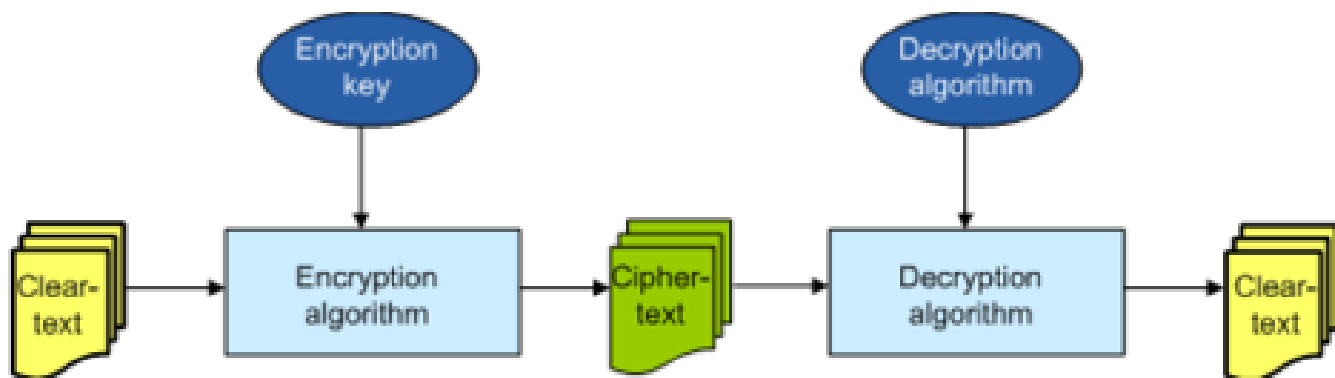
回線暗号化の要点：

- 回線暗号化を使用しても、オーバーヘッドが増加したり、帯域幅使用量が減少したりすることはありません。
- 回線暗号化を使用しても、送信遅延は増加しません。

## キー交換およびスイッチオーバー

- OLT は、ONU へのキー交換要求を開始します。ONU は、新しいキーで要求に応答します。
- キーを受信すると、OLTは新しいキーを使用してデータを暗号化します。
- OLTは、ユーザが新しいキーを使用するフレーム番号をONUに送信します。
- ONU は、フレーム番号を受け取り、インバウンドデータフレームの検証キーを切り替えます。

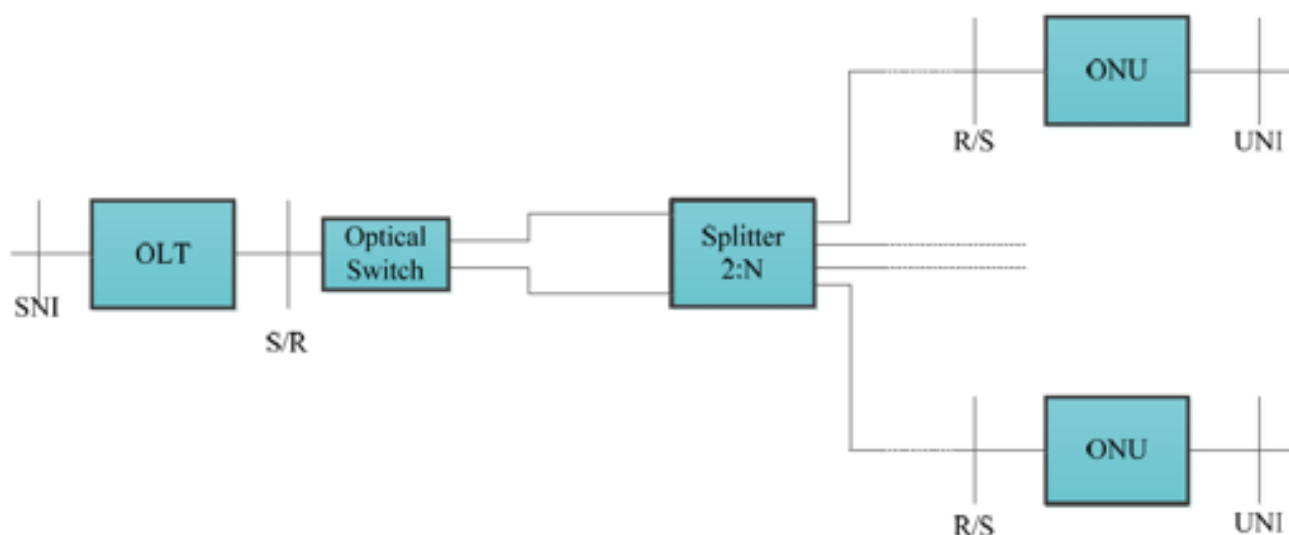
次の図は、キー交換プロセスを示しています。



## ネットワーク保護モード

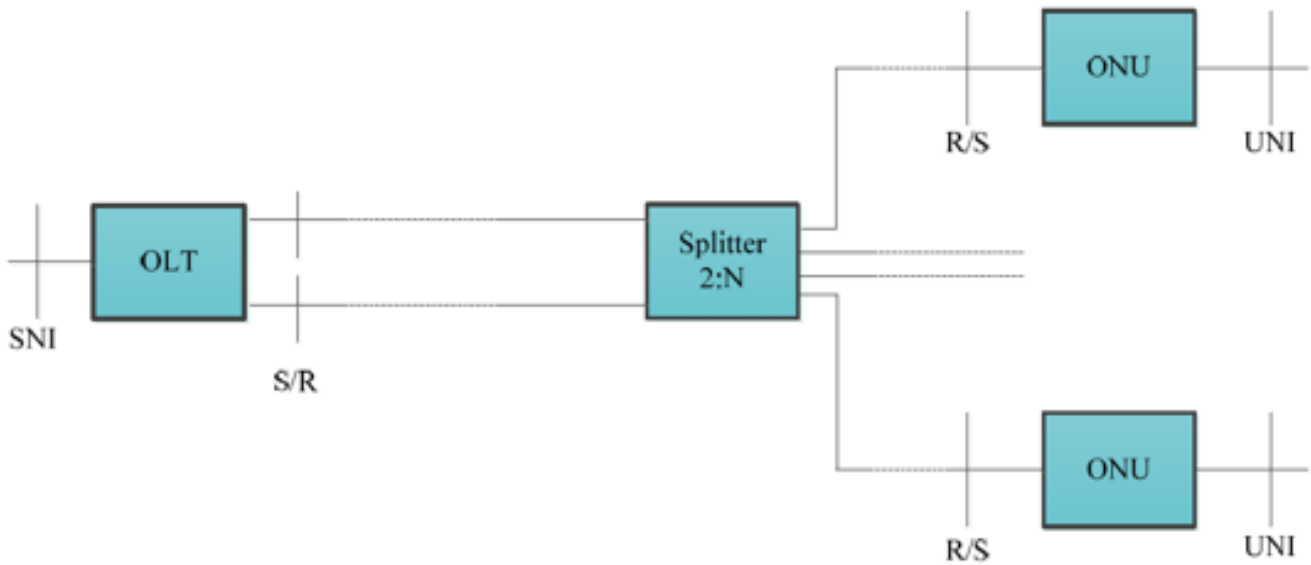
GPONが利用できるネットワーク保護モードには、いくつかの異なるタイプがあります。異なるタイプのイメージを参照してください。

### タイプ A



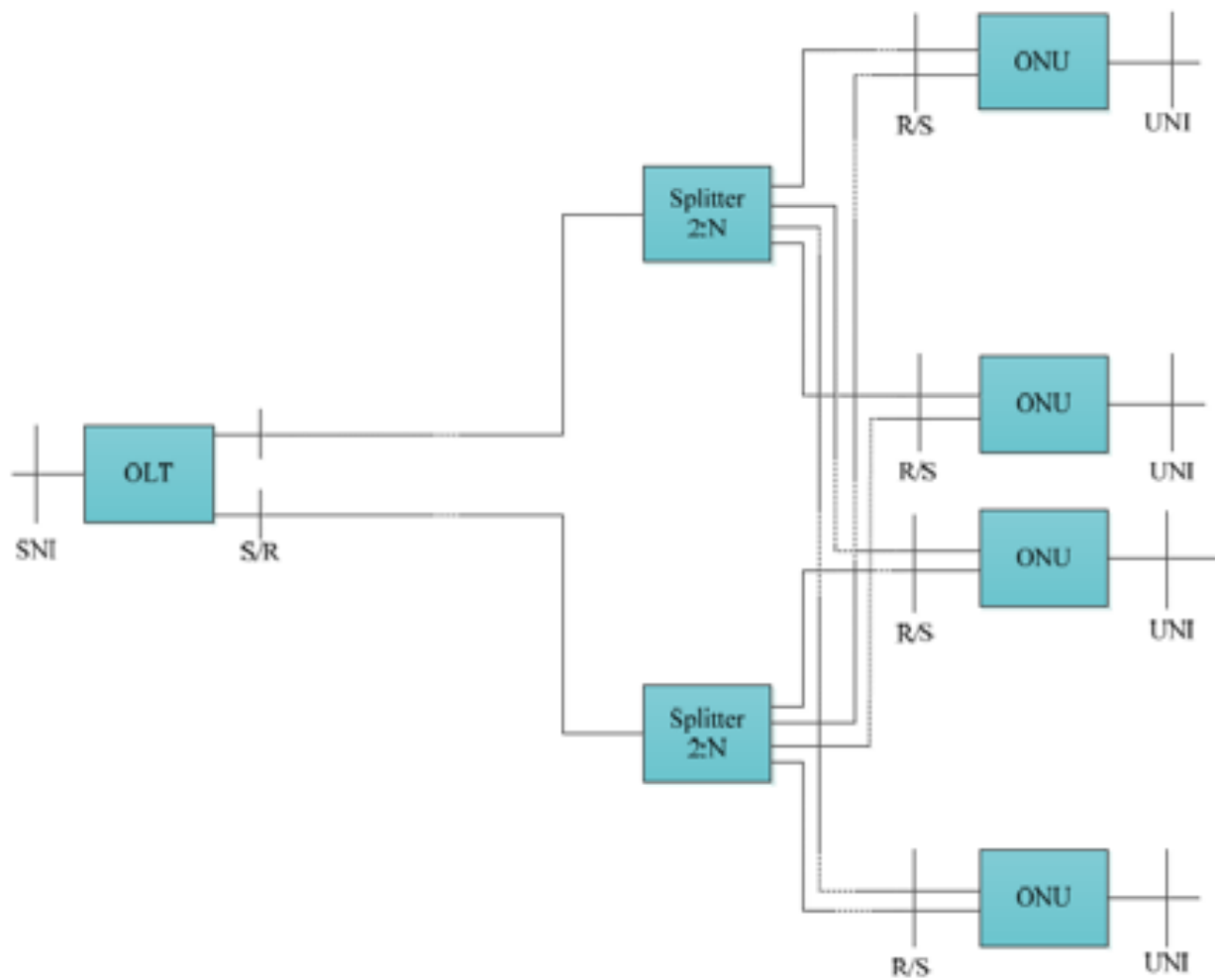
- 追加のOLT PONポートは不要
- プライマリファイバに障害が発生すると、セカンダリファイバにサービスが転送されます。
- 停止時間は、回線の回復時間によって異なります。
- スプリッタからONUへの回線で障害が発生した場合、バックアップはありません。

### タイプ B



- OLTは、有効な保護OLTとして2つのGPONポートを提供します。
- 保護は、OLTからOLTのスプリッタおよびボードへのファイバに制限されます。
- ONU またはフィーダーファイバには、機器の冗長性はありません。
- ONUまたは完全なODN保護はありません。
- 2 x Nスプリッタを使用し、追加の光損失なし

タイプ C



- OLT、ODN、ONUの冗長性
- 加入者の構内まで、2つの完全冗長リンクを提供します。
- 2つのオプション：リニア1+1およびリニア1:1保護

#### 1+1 保護：

- 保護PONは有効なPON専用です。
- 通常のトラフィックはコピーされ、2つのOLT間に永続的なブリッジを使用して両方のPONに送信されます。
- トラフィックはONUに送信されます 同時に、2つの信号の間の選択は所定の基準に基づく。

#### 1:1 保護：

- 通常のトラフィックは、有効な PON または保護 PON のいずれかで転送されます。

- PON間の自動保護スイッチ。
- 最もコストがかかりますが、最大の可用性が提供されます。

## 翻訳について

シスコは世界中のユーザにそれぞれの言語でサポート コンテンツを提供するために、機械と人による翻訳を組み合わせて、本ドキュメントを翻訳しています。ただし、最高度の機械翻訳であっても、専門家による翻訳のような正確性は確保されません。シスコは、これら翻訳の正確性について法的責任を負いません。原典である英語版（リンクからアクセス可能）もあわせて参照することを推奨します。