

ホワイトペーパー

5G ネットワークにおける 光ファイバーの役割

フロントホール、ミッドホールなどあらゆる
シーンでー 5G では光ファイバーを広範囲
に利用

LTE とは異なり、5G はネットワークのすべてのノードコンポーネントに影響を与え、強化されたモバイルブロードバンドから同じネットワークでの非常に信頼性が高い低遅延まで、さまざまなユースケースに対応します。5G ネットワークでは、使用事例ごとにそのアプリケーションの特定の SLA を満たすことができるようリソースを最適化する必要があります。ここでの課題は、RF、光ファイバー、ハードウェア、ネットワーク要素などの5Gネットワークリソースをマクロレベルで共有すると同時に、特定のアプリケーションごとに個別のネットワークを提供することです。たとえば、ビデオを見ているコネクテッドカーのユーザーは、より高いスループット、より大きな RF およびネットワークリソースを必要としますが、同じにそのコネクテッドカーには超低遅延と信頼性の高い接続が必要です。これらのネットワーク間のネットワークを実現するには、すべてのリソースが柔軟でありながら、異なる SLA を効率的な方法で迅速に提供できることが必要です。すべてのユーザーを基地局またはアクセスポイントに接続する RF リソースの価値はわかっていますが、そのアクセスポイントをネットワークコアおよびクラウドに接続していることは、5Gの配信を成功させるために重要です。ほとんどの場合、無線と5Gクラウド間の接続は光ファイバーで構成されます。実際のところ、5G は、サービスプロバイダーが新しい光ファイバーの展開や光ファイバーインフラストラクチャのアップグレードに数十億ドルを投資する主な理由の1つです。

5G ネットワークにおける光ファイバーの役割

光ファイバーの展開には費用がかかりますが、たいいていの場合、展開に伴う課題よりもそのメリットの方が勝っています。光ファイバーは、より広い帯域幅を提供しながら、減衰が少なく、電磁干渉に対する耐性があり、低遅延です。また、多重化技術の改善により、同じファイバーインフラ上における容量の増加にも対応しています。

商業的側面やロジスティックス的側面に加えて、以下の 5G ネットワーク構造の変更により、ファイバーインフラの成長とトポロジーが促進されます。

- 5Gにおけるミッドバンドやミリ波への対応により、都市部や郊外にある基地局が大幅に増加します。ミリ波は大量のスペクトラムを使用しますが、そのカバレッジは限られています。このため、より狭いサービス提供範囲にかなりの数の基地局が配備されることとなります。
- Network Function Virtualization (NFV) を利用することでコントロールプレーンとユーザープレーンを切り離すことができます。そして、アプリケーションのレイテンシーを下げるために分散型ユーザープレーンをターミナルにより近いところに移動させることができます。
- ベースバンド機能を分割してリモート局 (Distribution Unit, DU) や 集約基地局 (Centralized Unit, CU) と呼ばれる新たなノードのエンティティを作成し、アプリケーションのニーズごとに伝送機能を最適化します。
- より高い帯域幅や直接のファイバー接続を必要とする Massive MIMO やビームフォーミング対応のアクティブアンテナシステム (AAS) で、より多くのファイバーが下方/下流に移動し追加の伝送ノードが作られます。

ファイバー投資の主なユースケースには、アクセスネットワーク内におけるファイバーのコンバージェンスも挙げられます。これまで、ファイバーアクセスネットワークは単一ユースケース（ファイバーから一般家庭やファイバーからアンテナ）向けに設計されてきました。現在、サービスプロバイダーはファイバーから x、つまり FTTx (x には何にでも) に対応するファイバーインフラを設計しています。5G の分解アーキテクチャによってサービスプロバイダーは既存や新規固定ネットワークリソースを活用できるようになり、複数ネットワークの管理総費用が低下してより俊敏かつ柔軟なリソースプールが実現されます。先に述べた通り、固定リソースとモバイルリソースの共有は、アクセスサイトと光ファイバーインフラストラクチャの全体的な計画とアップグレードによって行うことができます。

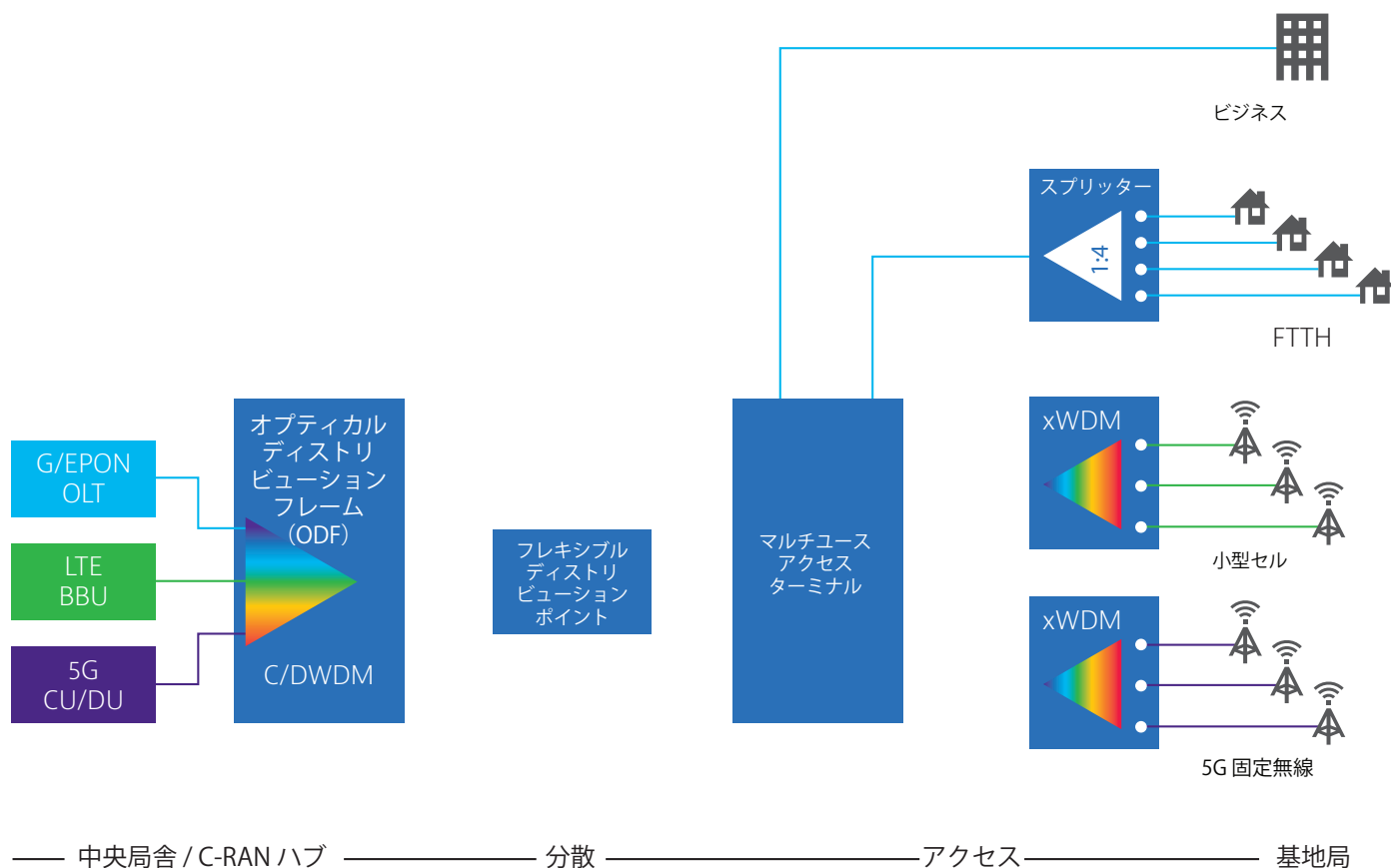


図1. ネットワークにおけるコンバージドファイバーの例

出典:CommScope

つまり、ダークファイバーの量や費用、ネットワークで対応するさまざまな 5G アプリケーションのユースケース、ファイバーアップグレードのビジネスケース、複数の FTTx ネットワークの管理コストによって5G サービスの光ファイバーネットワークポロジータンが変化したり進化したりするということです。

5G フロントホールの進化

長距離回線ネットワークのみで光ファイバーが使用されていたのはそれほど過去のことではありませんが、継続的かつ着実なブロードバンドの成長により、コアネットワーク内だけでなくメトロやアクセスネットワーク内でも主な伝送媒体として機能するファイバーへの需要が高まっています。同様に、より広い帯域幅と大容量のサービスを求めるモバイルネットワーク契約者によって、ファイバーは無線アクセスネットワーク(RAN)により深く大きく入り込みました。

また、無線がより堅牢になり平均復旧時間(MTMR)が改善するにつれて、ベンダーはリモート無線ソリューションを提供し始めました。長い同軸ケーブルやコネクタが原因の大幅な損失が回避されるよう、無線部分がアンテナの近くに移動されたのです。この戦略によりRFのフットプリント改善に繋がっただけでなく、タワーやタワー付近に設置された無線機器エンクロージャーの冷却コストも削減されました。そのため、リモート無線装置(RRU)に対応するため、新たなインターフェイスが導入されました。これによって物理的なファイバーのリンクを介してベースバンド装置(BBU)とも呼ばれるデジタル機器がRRUに接続されました。コアモバイルネットワークでBBUを接続するバックホールと反対に、BBUとRRUの間に導入された新しいリンクはフロントホールと呼ばれます。ファイバーフロントホールでのRF情報を通信するために最もよく使用される技術はCommon Public Radio Interface(CPRI)プロトコルです。

CPRIはRRUとBBUの間で無線波形伝送用に特別に設計された専用のトランスポートプロトコルを提供します。CPRIフレームは、無線チャンネルの帯域幅とアンテナ素子数と共に拡大されています。統計多重化においてCPRIフレームはあまり効率的ではなく、5Gの需要、特にMassive MIMOやより大きな帯域幅の増加に合わせた拡張ができません。5Gシナリオで求められる帯域幅およびアンテナにより、CPRIの帯域幅要件は100Gbps以上に押し上げられます(表1)。

アンテナ	10MHz	20MHz	100MHz
1	0.49Gbps	0.98Gbps	4.9Gbps
2	0.98Gbps	1.96Gbps	9.8Gbps
4	1.96Gbps	3.92Gbps	19.6Gbps
64	31.36Gbps	62.72Gbps	313.6Gbps

表1: 帯域幅とアンテナポート数の関数としてのCPRIの帯域幅

5Gネットワークの展開において、こういった帯域幅の割り当ては非常に高額となります。3GPP、IEEE、ITU-Tなどといった標準化団体は以下の目的のために活動しています。

1. BBU機能やその関連のさまざまな分離オプションの調査(図2に例示)
2. さまざまなアプリケーションやサービスにおける光要件の特定(スループット、レイテンシー、ジッターなど)
3. アプリケーションやネットワーク需要のために異なるBBU機能を分割する上での潜在的な課題やソリューションの特定
4. 柔軟なフロントホールの分離に対するガイダンス

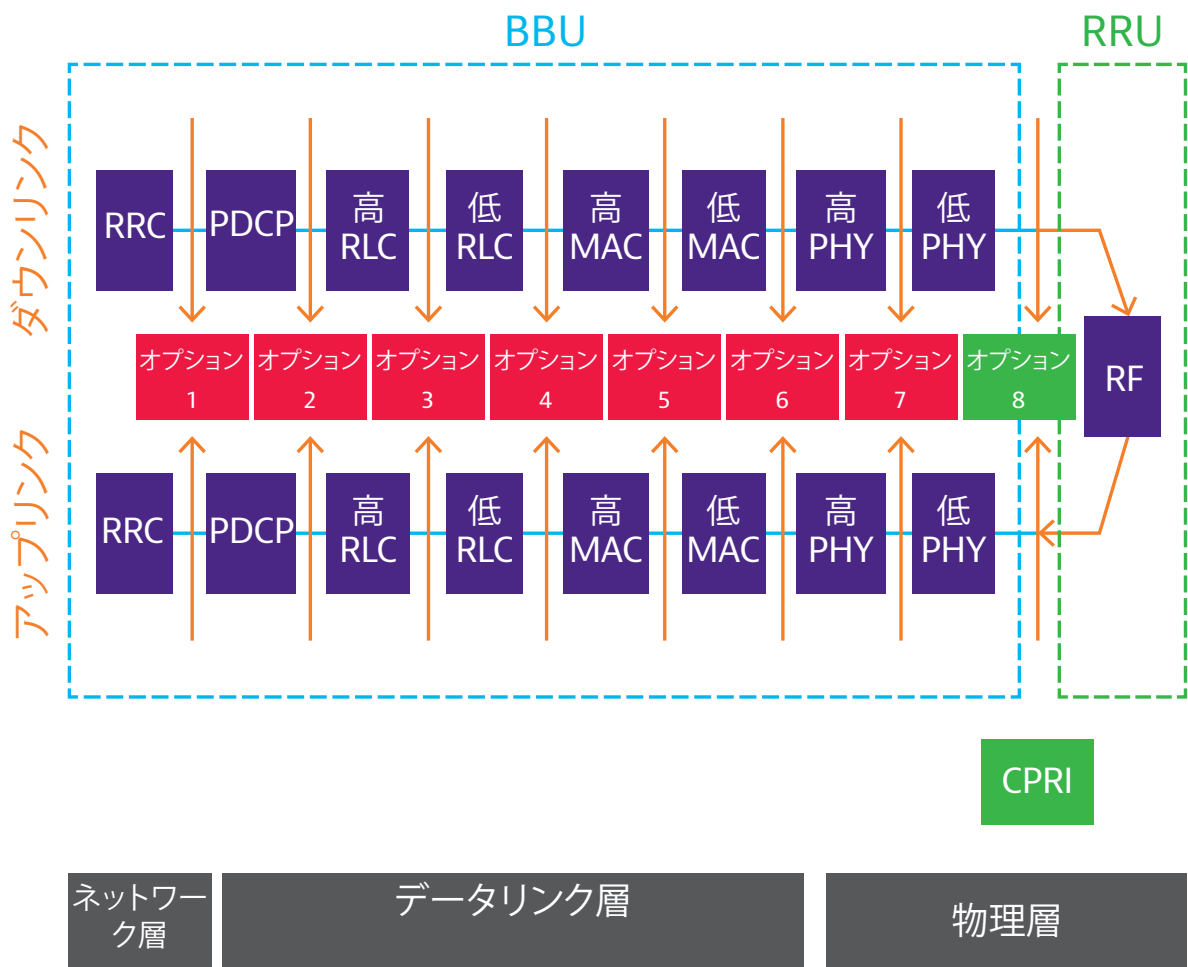


図2. 機能の分離オプション

帯域幅の非効率性という重大な欠点を乗り越えても、CPRI は遅延バジェットも非常に制限されています。実際にこれは BBU と RRU 間の距離が非常に制限されるということを意味します。この距離はフロントホールに配備された転送テクノロジーの遅延バジェットや種類に応じて決まるものです。ダークファイバーは最大距離を許容できる最も単純なものです。一部の処理要素を含むトランスポート機器は、光トランスポートネットワーキング (OTN) の場合と同様に、遅延バジェットを削減し(時には大幅に削減)します。よくあることですが、オペレーターは各ユースケースを確認してトレードオフ分析を行い、最適な転送テクノロジーを決定しなければなりません。この分析の主なインプットには、ファイバーの可用性や機器室、無線エンドポイントの数や場所が含まれます。ベンダーやサービスプロバイダーが推進しているフロントホールの主な要件は次の通りです。

- フロントホールのビットレート (容量使用量) を下げる。CPRI の場合は特にフロントホールの使用をアンテナのポート容量と切り離すこと。
- uRLLC タイプのアプリケーションにおける厳しいレイテンシー要件を管理すること。
- Coordinated Multiple Point (CoMP) やキャリアアグリゲーションといった協調のためのタイミングやジッター要件の最適化。
- ファイバーは導入/敷設に費用が掛かるかかるリソースのため、オーバーヘッドコストと展開コストの削減。

こういった要件に対応するため、次世代 RAN は次の 3 つのパートに分離された BBU が機能を実施するよう進化しました。

1. 集約ノード (Central Unit, CU)
2. 分散ノード (Distributed Unit, DU)
3. アンテナユニット (Radio Unit, RU)

物理層の無線機能 (リソースマッピングなど) の一部は RU に移行します。RU はアンテナの I/Q 信号や無線キャリアを監視します。これにより、フロントホールで必要とされるビットレート対応が大幅に減少します。CU と DU 間のリンクはミッドホールと呼ばれますが、ミッドホールの特徴は 4G のバックホールと似ています。DU が RU に非常に近いか集中化されているアプリケーションの種類に応じて、CU は無線からかなり離れた場所に配置することのできる非リアルタイムの機能を伝送します。たとえば、モビリティや CoMP などの協調アプリケーションの場合は DU を集中させた方が理に適っています。



図3. DU/CUの分離

この新しいアーキテクチャは、帯域幅の問題を解決し、レイテンシの観点から柔軟性を提供し、これらの機能要素の場所とネットワークがサポートするアプリケーションを決定します。標準化団体が推進していることの 1 つに、フロントホールでのユーザープレーン伝送のためのより柔軟なパケットベース技術を提供することがあります。フロントホールの伝送にイーサネットを利用することが非常に実用的なのは、イーサネットが下位互換性を保つことで設備の共通化が図られてアクセスネットワークを大きくまとめ上げることができ、統計的多重化が実現可能となるため非常に理に適っており、これにより集約ビットレート要件を低くできるからです。また、標準的な IP/イーサネットネットワークのスイッチ/ルーティングを利用することで、機能仮想化やネットワーク全体のオーケストレーションを比較的簡単に行えるようになります。

eCPRI

ファイバーのバックホール、ミッドホール、フロントホールトポロジーを取り上げる前に、5G フロントホールインターフェースの進化を振り返りましょう。eCPRI 技術は物理レイヤー (PHY) コンポーネント内の機能分離に基づいています。この eCPRI 仕様では分離オプション I_0 をアップリンクに使用し、 I_D もしくは I_0 をダウンリンクに配備することが推奨されています。これは図 4 の通り 3GPP の観点では 7.x 分離にマッピングされています。eCPRI はフロントホールの転送ネットワークを介して eCPRI Radio Equipment Control (eREC) と eCPRI Radio Equipment (eRE) を繋ぎます。CPRI と比較した eCPRI の目標は、機能分割を通じて eREC と eRE 間のデータレート需要を下げながら eRE の複雑性を抑えることです。さらに、eCPRI は IP やイーサネットなどのパケットをベースとしたフロントホール転送ネットワークで効率的かつ柔軟な無線データ転送を行えるよう設計されています。

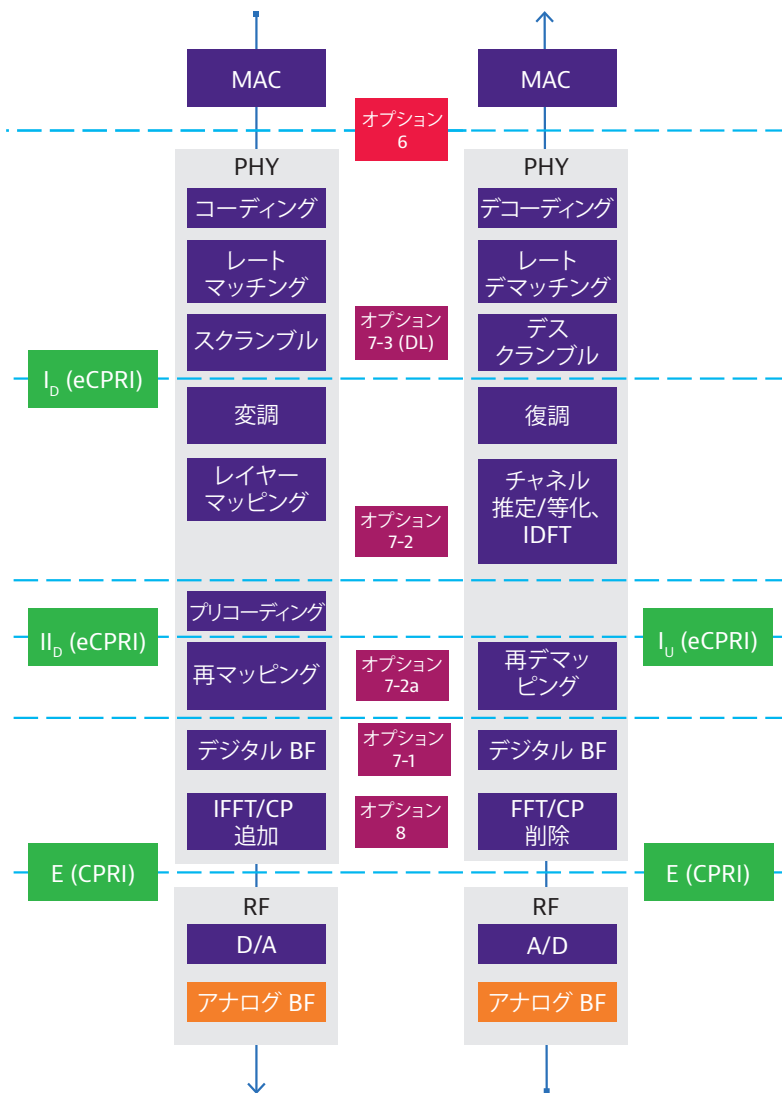


図 4. PHY の機能分離

eCPRI で eREC と eRE 間の通信を行うには、1) ユーザープレーン、2) 同期プレーン、3) 制御兼管理 (C&M) プレーンの 3 つが必要です。eCPRI 標準はユーザープレーンを定義し、その他のプレーンについては他の標準に言及しています。たとえば、オペレーターは同期に Precision Timing Protocol (PTP) または Global Positioning System (GPS) のどちらかを自由に選ぶことができます。

eCPRI ではユーザープレーンの伝送におけるパケットベース技術についても述べられています。イーサネット (レイヤー 2) もイーサネット/IP/UDP (レイヤー 2/3/4) も利用可能です。物理層について、eCPRI はレートが 10Gbps ~ 100Gbps のイーサネットに言及しています。この議論のポイントは eCPRI をなぞるのではなく CPRI と eCPRI の差異を特定することです。さらに、CPRI が制限されたインターフェイスとなる場合に eCPRI はフロントホールでスループットを減少することで 5G に対応しており、イーサネットやイーサネット/IP/UDP フレーム伝送に対応したフレーム形式を採用しています。このフレームにはレイヤー 2 またはレイヤー 2/3/4 ヘッダーにならった eCPRI ヘッダーが含まれており、eCPRI ペイロードが続きます。

同期プレーンはイーサネットレイヤーで独立して扱われ、特定のプロトコルに制限されません。タイミングや同期には、Global Positioning System (GPS)、Precision Time Protocol (PTP)、同期イーサネット、その他類似したものを使用することが可能です。

まとめると、CPRI は eMBB や Massive MIMO 用に拡張できず MMTTC や uRLLC アプリケーションに必要な柔軟性も提供できないため、BBU 機能の分割は 5G サービスに欠かせません。フロントホールのビットレート低下 (CPRI ビットレートはアンテナの数とユーザスループットに比例) のために BBU 機能の一部を移動することで、uRLLC といった協調機能やリアルタイムアプリケーションのレイテンシー要件に影響を及ぼす可能性があります。さまざまなアプリケーションの種類に応じて NFV や柔軟な分離オプションを用いることで、より多くの最適なミッドホールやフロントホール (x-haul と呼ばれる) を導入できます。この新しい x-haul アーキテクチャはスケーラブルなパケットベースの転送技術を実現しますが、欠点は現時点ではオペレーターがタイミングや同期の問題に対処できないということです。しかし、GPS、PTP、同期イーサネットといった標準ベースのタイミングや同期技術を用いることでこれらも対応可能になります。結論として、5G フロントホールおよびミッドホールネットワークは、提供されるアプリケーション、ネットワークポロジ、媒体の可用性 (ファイバー、マイクロ波など)、サービスプロバイダーのビジネスケースに基づいて変わります。すべてに最適なものはありません。

ファイバーフロントホール技術

ファイバーはフロントホールネットワークの主要媒体となる態勢が整っています。これまでの 5G やフロントホールの進化に関する議論を用いることでファイバーフロントホールネットワークの要件を明らかにすることが可能です。特定のネットワーク要件の正しい理解に基づけば、さまざまなフロントホールネットワークポロジや技術を計画、導入することができます。以下は 5G ファイバーフロントホールネットワークの主な要件です。

1. **省コスト性**: ファイバーの配備には費用がかかります。ダークファイバーが利用できる場合は初めから使用し、容量の需要が高まるにつれて次のレベルの多重化 (WDM) システムの展開や今後の計画でネットワーク容量を増やせます。
2. **柔軟性**: フロントホールはさまざまなレイテンシーやジッターバジェットを持つさまざまなアプリケーションを同じファイバーフロントホールインフラ上に導入できる必要があります。
3. **透明性**: フロントホールはさまざまなサービス品質 (QoS) のある複数サービスを導入でき、特定のアプリケーションやサービスの QoS を上位レイヤーで管理できる必要があります。
4. **機敏性**: 機敏性によって新規サービスの迅速な配信が実現されます。これによりさまざまなサービスに必要とされるネットワークリソースの動的な分配やリリースが可能となり、ネットワークの接続性を動的に最適化する機能は 5G フロントホールの重要コンポーネントとなります。
5. **タイミングと同期**: モビリティや uRLLC アプリケーションにおいてレイテンシーやジッターは非常に重要であり、5G FH にとっても非常に重要な要件です。
6. **管理とメンテナンス**: フロントホールは管理やメンテナンスが容易なので、ネットワークの不具合はすぐに解決され、スケジュールの厳しいアプリケーションでも高信頼性を達成することができます。

複数のサービスを提供するサービスプロバイダーにとってもう 1 つの重要な側面は、住宅、企業、5G ミッドホール/フロントホールを同一プラットフォームで簡単に対応できるスケーラブルなアクセスファイバーアーキテクチャの展開です。ダークファイバーのリースまたはフロントホールサービス提供用にファイバー容量の高密度化を行うことで、Fiber To The Home (FTTH) プロバイダーは既存の光ファイバー網を利用することができます。どの場合でも、新サービスの提供やデータ使用量の増加に応じて展開されるフロントホールソリューションは変わり、進化します。現在議論、計画、導入されているフロントホールネットワークソリューションの一部を以下に取り上げます。

ダークファイバー

ダークファイバーは余剰ファイバー容量のあるサービスプロバイダーが最も簡単なフロントホールソリューションを提供できるポイントツーポイントソリューションです。この場合、DU と RU 間に伝送機器は不要で、より高いスループットを実現するために 2 つのノード間に複数のファイバーを導入することができます。このソリューションによって最も単純な展開と最善のレイテンシーがもたらされる場合、ファイバーリソースの観点では最も非効率となります。ポイントツーポイントのダークファイバーから着手するサービスプロバイダーもいますが、モバイルブロードバンドの増加や新サービスの提供に応じて後期に多重化やファイバーの共有が増加することもあります。

基本的な端面検査や認証試験のみを必要とするこのソリューションは最も導入が簡単なものかもしれません。単一无線で複数のファイバーを利用するような場合、同時に複数のファイバースtrandを検証するための MPO テストソリューションが必要となる Quad Small Form-Factor Pluggable (QSFP) が使用されることもあります。

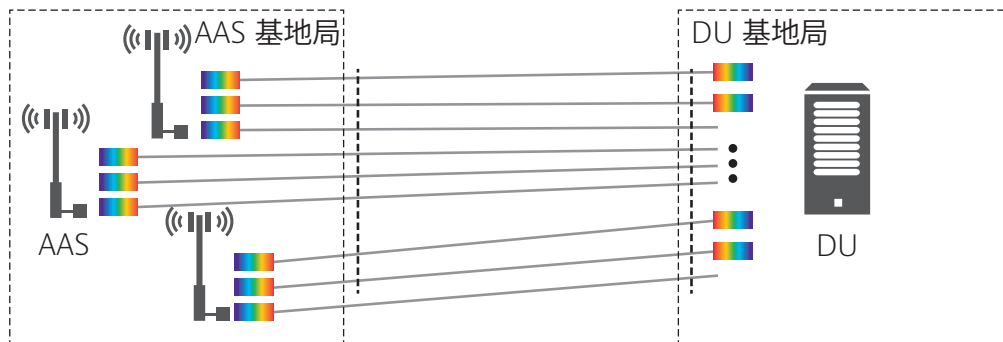


図5. ポイントツーポイントのファイバー

パッシブ WDM

パッシブ xWDM ネットワークでは、複数の異なる波長チャネル上にある 1 つのダークファイバーネットワークで複数のデータ信号が伝送されます。波長制限トランシーバーはイーサネットスイッチに直接接続され、出力信号がマルチプレクサと相互に接続されます。パッシブ機器には電源は必要ありません。メンテナンスは単純ですが、波長制限光インターフェイスもしくは再設定可能な SFP が必要となるため費用が（コンポーネントの種類や予備の費用によっては特に）比較的高くなる場合があります。光信号と電気信号の往復変換がないため、アクティブ WDM 同様にレイテンシーの発生はあまりありません。他の光ネットワーク同様、大抵の場合は光パワーバジェットによって伝送距離が左右されますが、フロントホールでは通常これは大きな問題にはなりません。展開は少々複雑で、パワーレベルの検証、適切なトランシーバーインターフェイス間の正しい伝送と波長の受信が重要です。

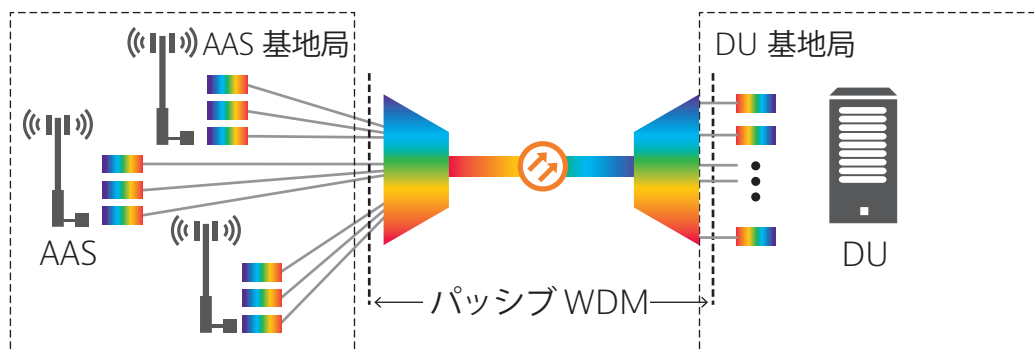


図6. パッシブ WDM

WDM-PON

無線フロントホールの即座の解決策の1つは、レガシーの固定アクセスサービスと帯域幅を共有することなくレガシー PON 内に新たな波長を敷くことです。このシナリオには NG-PON2 技術 (WDM-PON としても知られる TWDM や PtP WDM) をどちらも利用できます。

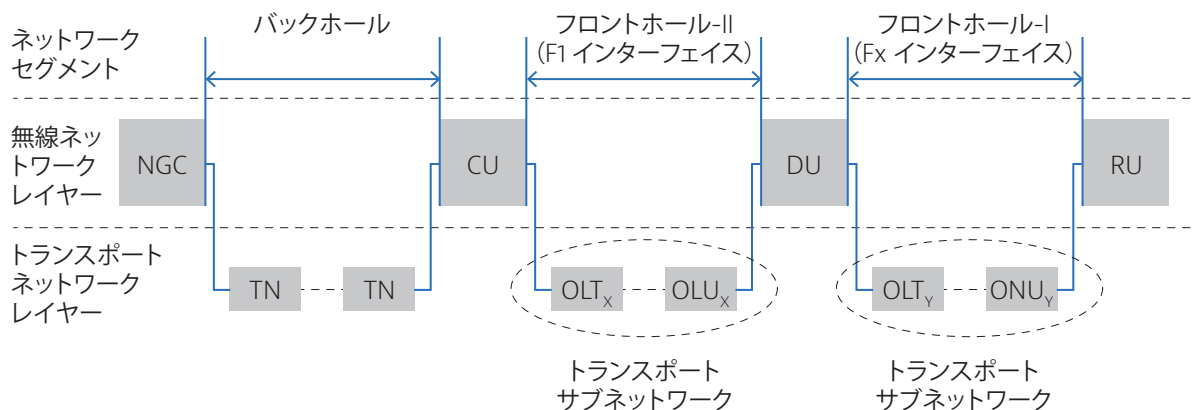
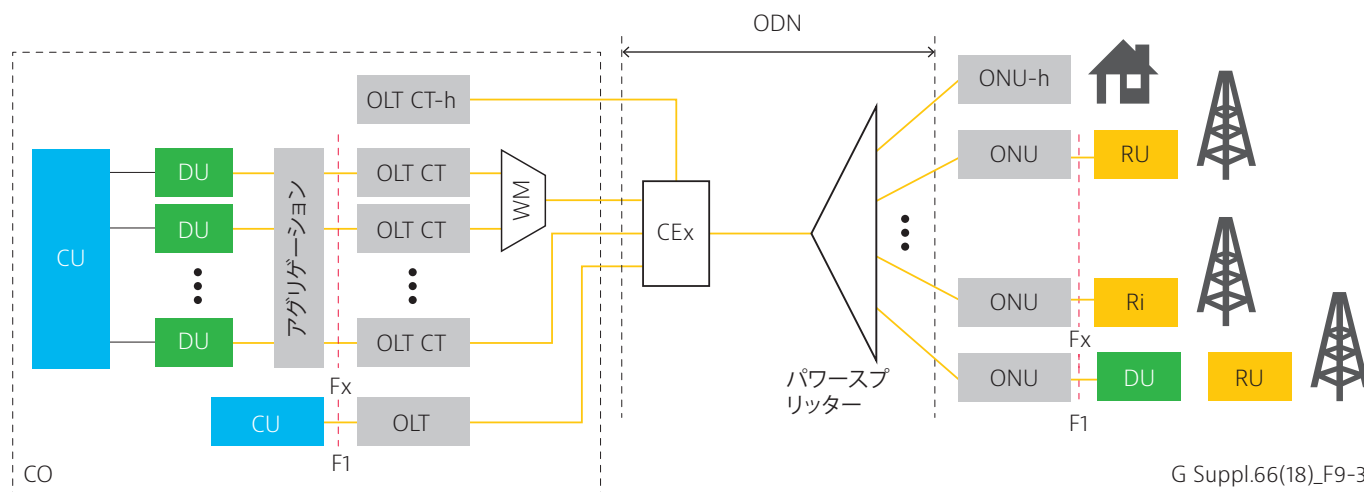


図7. 無線ネットワークレイヤー (CU、DU、RU) とトランスポートネットワークレイヤー (3GPP TS 38.401) を示す階層型構造の概念

WDM-PON はアクセスネットワーク技術で、物理的なポイントツーポイントのファイバートポロジータ上に波長ベースの論理的なポイントツーポイントアーキテクチャを作成します。WDM-PONは無線ネットワーク向けに家庭、企業、フロントホール/ミッドホールからデータを伝送するコンバージドアクセスネットワークのための潜在的な技術と考えられています。波長に依存しないプラガブルトランシーバーが利用できるため WDM-PON はシンプルなインベントリ管理を提供し、この方法ではスター型ネットワークを使用します。



注: 各 OLT Ct は複数の ONU に対応できます。簡素化のためこの図では記していません。

図8. WDM オーバーレイでレガシー PON に基づく上位レイヤーと下位レイヤーの分離フロントホール

分離オプション (上位レイヤーまたは下位レイヤー) は同一 PON 上でさまざまなレイテンシーや帯域幅要件を作成することができます。これは波長リソースや処理機能の要件が分離によって変わるためです。マルチプレクサ/デマルチプレクサやコネクタによるパソロスリンクの距離に影響します。また、WDM の処理もリンクの遅延に影響します。データ、管理、同期 (Synced/PTP) でリンクを分ける必要があるでしょう。

WDM/OTN

光トランスポートネットワーク (OTN) 技術は、光チャネルの伝送、多重化、スイッチング、監視、管理に機能を提供します。基本的に OTN は光ネットワークでの伝送のために各クライアントのペイロードを透過的にコンテナにラップするデジタルラッパーで、クライアントのネイティブ構造、タイミング情報、管理情報を保存します。OTN が多重化機能を強化することにより、イーサネット、デジタル動画、SONET/SDH などのさまざまなトラフィックタイプを単一の光トランスポートユニットフレームで伝送できます。OTN は前方誤り訂正 (FEC) でクライアントの信号を透過的に転送します。

5G では、WDM/OTN にアクセスするデバイスを RU や DU ハブで設定できます。WDM 技術に基づいて複数のフロントホール信号がファイバーリソースを共有し、OTN のオーバーヘッドを使って管理、保護され品質を保証します。WDM/OTN にアクセスするデバイスや無線ノードは標準のグレーの光ポートを使用して接続されるので、波長に依存する光インターフェイスを管理する際の費用や複雑性が低下します。アクティブ WDM/OTN ソリューションはポイントツーポイント (P2P) ネットワーク構成にも環状型ネットワーク構成にも対応しています。

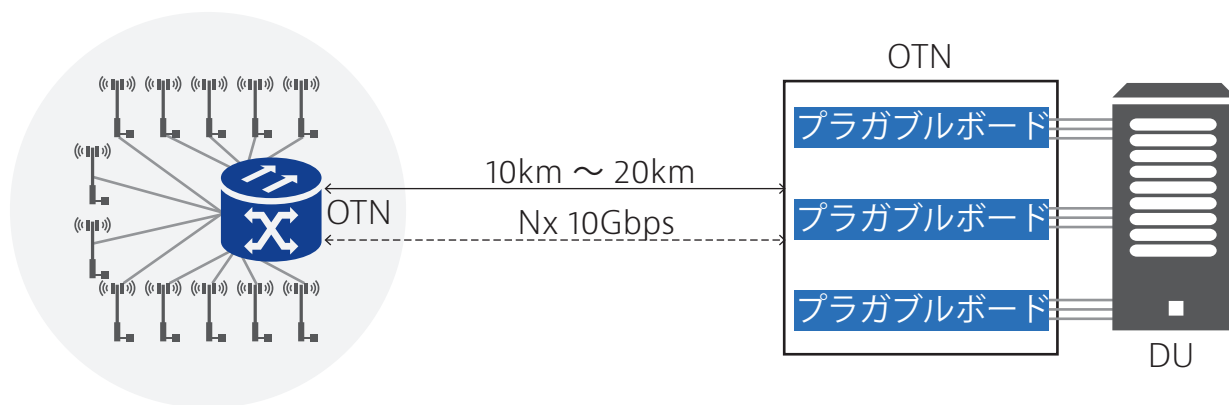


図 9a. アクティブ WDM/OTN ソリューションの P2P アーキテクチャ

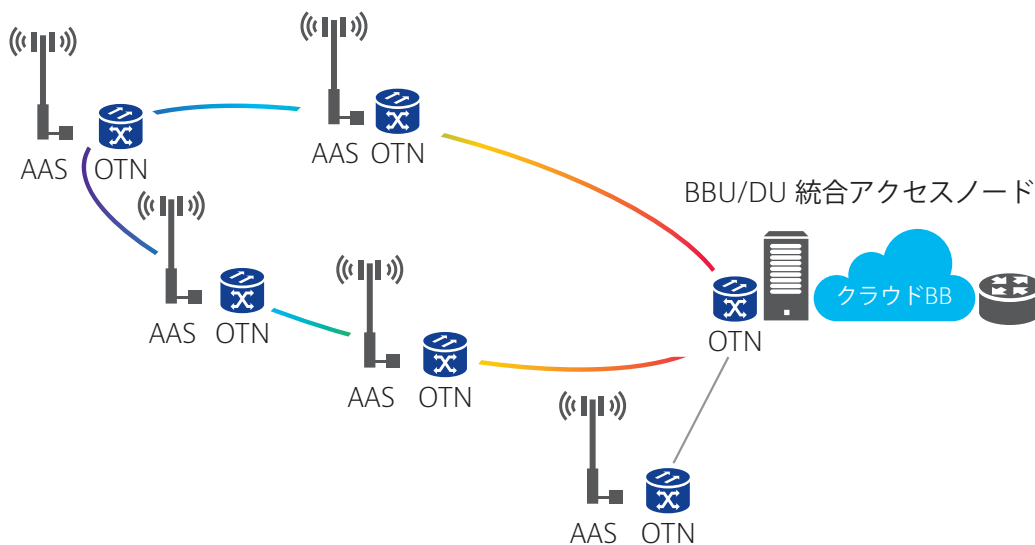


図 9b. アクティブ WDM/OTN ソリューションの環状型ネットワークアーキテクチャ

環状型アーキテクチャはより高いネットワーク信頼性とリソース活用を提供し、アクティブ WDM/OTN ソリューションの費用は比較的高くなります。OTN を優先 5G フロントホール技術にするためには、アクティブコンポーネント処理によって増加した費用とレイテンシーを改善するためのより多くの作業が必要です。

イーサネット/TSN

Time Sensitive Networking (TSN) はイーサネット上で確定的サービスを提供するためイーサネット用に作成された IEEE 標準を定義しています。これはつまり、低く制限されたレイテンシー、低パケット遅延変動、低パケットロスが保証されたパケット転送を意味します。利用できるファイバーフロントホール容量が制限された状況では、サービスプロバイダーは TSN ベースのイーサネットを使用して効率的なフロントホールを展開するソリューションに切り替えることができます。ファイバーフロントホールにパケットベースのスイッチングを導入すると統計的多重化が提供され、トラフィックの収束と帯域幅の改善が実現するため、このソリューションはファイバーを最大限に有効活用するものです。TSN ベースのイーサネットスイッチングを行うことでフロントホールの厳しいレイテンシー要件にも応えることができます。自律走行車や拡張現実のようなアプリケーションは 1 ミリ秒範囲のレイテンシーが要求されますが、モバイルフロントホールではさらに厳しい遅延要件 (RU/DU 間で片方向最長 100 マイクロ秒 (0.1 ミリ秒) の遅延) が求められることに注意してください。TSN 技術には遅延に厳しいフロントホール用に最適化されたスイッチが必要で、これには費用がかかります。メンテナンスや管理も比較的高額です。

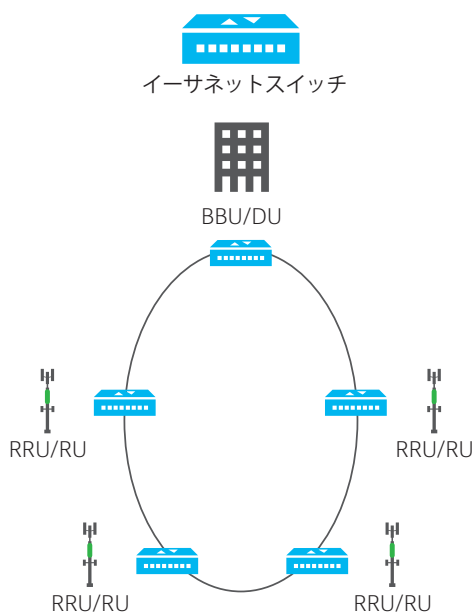


図10. パッシブWDM

まとめると、5G ファイバーフロントホールアクセスには複数の選択肢があります。ファイバーフロントホール技術の種類を採用する要因は、サービスプロバイダーや彼らが提供するサービス、そして最も重要なのが彼らがアクセスするファイバーアセットの量によって変わります。サービスプロバイダーは低コストのダークファイバーを利用でき、ダークファイバーの展開の方が安価の場合、FH 遅延が最も少なく大容量を提供するポイントツーポイントのファイバーが最適です。ファイバーの利用が高額もしくは制限されている場合、ファイバーの共有を検討します。FH 容量の需要や提供サービスのレイテンシーでもファイバーフロントホールテクノロジーを推進します。パッシブ WDM、WDM-PON、TSN ベースのイーサネットスイッチソリューションによってもオプションは変わります。重要なのは全体的な展開と費用の他の優先サービス、技術可用性、アクセスネットワークの管理やメンテナンスへの影響です。ファイバーが利用できないもしくは展開に費用がかかりすぎる場合 (田舎など)、マイクロ波や無線の光リンクがより実行可能なソリューションとなります。もう一度言いますが、こういったフロントホールネットワークの計画時には容量やアプリケーションのレイテンシーを検討してください。

ファイバーフロントホールのテスト

これまでに述べた通り、5G の規模はこれまでの世代よりもはるかに重要となります。低周波域と比較して RF 伝播が貧弱なため、特にミリ波 (>24GHz) やミッドバンド (3GHz ~ 6GHz) で提供される 5G サービスの導入時には非常に重要です。1 平方キロメートルあたりにより多くの無線や基地局が必要となります。また、5G では数ギガビットのスループットを提供するためにより多くの帯域幅が使用されるため、高密度のファイバーフロントホール、ミッドホール、バックホールネットワークへの依存度が高くなります。ファイバーフロントホール、ミッドホール、バックホールの密度が高くなるということは、ファイバーケーブルやエンドポイントが多くなるだけでなく多重化が増すということでもあります。これらすべてにより、ファイバーテストの複雑性や規模が増加します。これまでは 1 組のファイバーケーブルを無線に接続していましたが、今では、RU ごとに 12 以上のファイバーを使用するまで進化し (図 11)、ビジュアルフォルトロケータ (VFL) ツールではファイバー信号の完全性を確認できなくなります。エンジニアは希望を得た一方で、特定の波長のパスが正しいかを確認する方法を失うこととなります。また、正確なパワーレベルのための WDM システムテストにはさまざまな測定器が必要となります。多くのファイバーにより多くの MPO コネクタの展開が必要となり、これによって MPO の光源や MPO テスターも必要となります。結局のところ、ファイバーの導入は MPO や xWDM の展開が増えるためより複雑となります。これにより、サービスプロバイダーやその契約者は 5G の展開を拡張するためのテストプロセスの自動化を備えたシンプルで使いやすいファイバー測定器が必要となります。



図11.1つのファイバーに複数の波長があり、さまざまな無線機に向かう多くの波長に分解するファイバー

原則として基本的なファイバーテストや汚れの無い端面は変わりませんが、5G はファイバーフロントホールのテストを進化させます。つまり、新たなテスト手法やソリューションが必要となります。こういったテストの一部を以下に説明します。

1. 端面検査:

コネクタの汚れは、光ファイバーネットワークにおける不具合の主要原因です。ファイバーのコアに混入した極小粒子によってさえ、重大な挿入損失、後方反射、および機器の損傷が引き起こされることがあります。「[Inspect Before You Connect™ \(接続する前に検査する\)](#)」プロセスに常に従い、コネクタを接続する前にファイバーの端面が汚れていないことを確認してください。MPO コネクタの場合、Sidewinder のような MPO テストソリューションを利用できます。

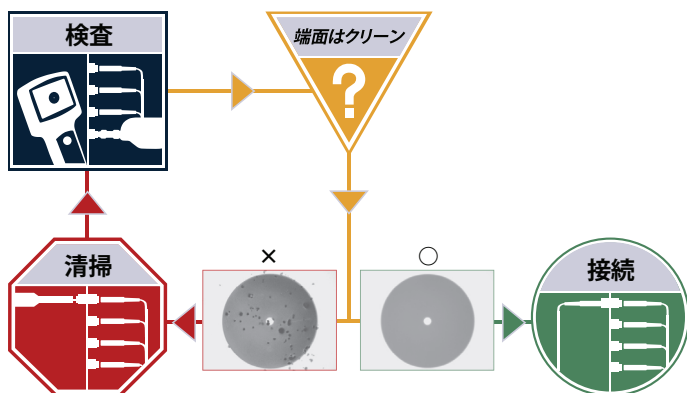


図12: Inspect Before You Connect プロセス



図13: VIAVI FiberChek Probe と Sidewinder

2. OTDR テスト:

[光時間領域反射率計 \(OTDR\)](#) を利用すると、エンジニアは接続コネクタ、スプライス、屈折、終端、破断などファイバーリンク上のイベントを検出、位置特定、測定できるようになります。ファイバーの片端にアクセスするだけで、次に挙げるプロパティを測定できます (単方向テスト)。

- 減衰量 - ファイバー経路に沿う 2 点間の光出力減衰量、信号減衰量または減衰率です。
- イベント減衰量 - イベント前後での光出力レベルの差です。
- 反射率 - イベントの入射出力に対する反射出力の割合です。
- 光反射減衰量 (ORL) - 光リンクにおける入射出力に対する反射出力の割合です。

[VIAVI SmartOTDR](#) を利用すると、どのようなスキルレベルにあるエンジニアも基本的なファイバーテストを実施できるようになります。スマートリンクマッパー (SLM) アプリケーションでは各イベントがアイコンで表示され、エンジニアはリンク全体を概略図として見ることができ、OTDR のトレースに基づく結果を読み取って理解する必要なく OTDR をより効率良く利用する上で役立ちます。

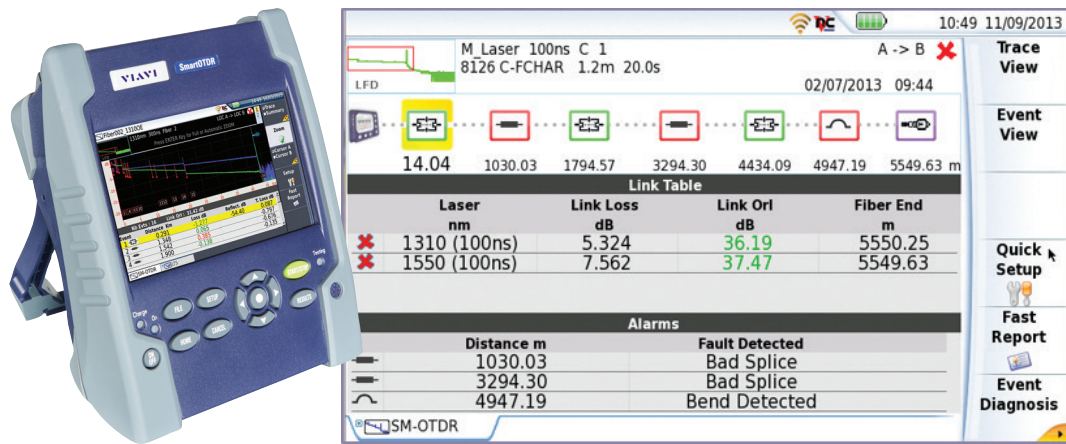


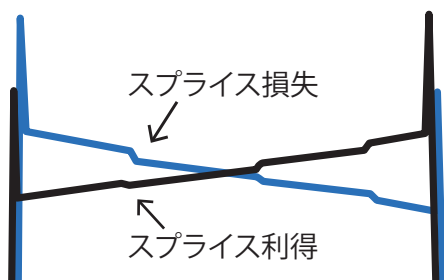
図 14: SmartOTDRとSmartLinkMapper アプリケーション6 5G ネットワーク展開のテストガイド

ファイバーリンクと各イベントの特性をより正確に示すほか、単方向テスト時に OTDR 自体のデッドゾーン性能により現れていない可能性があるその他のイベントを明らかにするため、ダークファイバー提供事業者またはファイバー所有者/事業者は**双方向テスト**を実施できます。これにより(減衰や反射などの)イベントのより正確な測定が可能になり、双方向で同じであることが確認できます。これは別の方向から見た場合、ファイバーの公差、不一致またはスプライシングにより、極度に異なる光の減衰(または明らかな利得増加)が生じる場合があるためです。

ファイバーが導入されて利用される際、サービスの方向について絶対的な確信を持ってない点に注意してください。多くのアプリケーションでは Tx と Rx にファイバーを1つずつ用いるデュアルファイバー方式をとりますが、その一方で同じファイバー上で Tx と Rx に異なる波長を反対方向に用いるシングルファイバー方式をとるものもあります。

VIAVI [FiberComplete™](#) では自動化されたシングルテストポートソリューションをオールインワン型で提供し、双方向挿入減衰(IL)、光反射減衰(ORL)、OTDR をテストします。

双方向解析



ファイバー後方散乱係数に不一致があると、テスト方向によってスプライスに利得または損失が生じる可能性があります。

本当のスプライス損失を得るため、双方向解析を活用して両方向のスプライス損失を測定して結果を平均化することにより、できる限り不一致を最小化します。

図 15: FiberComplete アプリケーション

WDM (波長分割多重方式)

サービス事業者はWDMを利用すると、ファイバーストランドのどちらか片端に新装置を追加することにより容量を増加でき、1つのファイバーストランド上で多数の波長/チャンネルをまとめ上げることができます。多重化装置は複数の波長を1本のファイバーにまとめるために利用され、逆多重化装置はファイバーの反対側で波長を分離するために利用されます。WDMには4つの主要技術が採用されています。

1. **低密度波長分割多重方式 (CWDM)** では、大容量を実現するために1本のファイバー上で最大18チャンネルを提供します。CWDMネットワークは通常パッシブで、費用や複雑性を抑えるためにアクティブな増幅器を搭載していません。通常はパッシブ方式をとります。またチャンネル間隔が広いことから、展開費用を抑えるために低価格部品 (SPF トランシーバー Tx/Rx、MUX/DeMUX、フィルター) を活用できます。アクセスネットワークにとって重要な要素は、価格/費用である点に注意してください。さらに、18チャンネルしかないことから管理と保守が容易です (サービス展開および保守において管理すべき SFP のバリエーションは18のみ)。パッシブ CWDM は一般的に最大 80km までの距離に用いられますが、40km から 80km の間の距離では利用可能チャンネル数が最大 8 まで減少する可能性があります。これはウォーターピークなどが原因となり、ファイバーの波長が減衰して 1470nm を下回るためです。送信バンド全体にわたる波長ごとの減衰量は、ファイバーの減衰プロファイル (AP) として知られています。AP はファイバー同士で異なるほかファイバー種別でも異なり、利用可能なチャンネル数に部分的に影響を及ぼす可能性があり、ひいては容量の拡張性に影響を及ぼすことが考えられます。低ウォーターピークファイバーが暫くの間使われてきましたが、配線管内のファイバーを確実に把握している場合を除いて確認することが最適です。パッシブリンクについては最終的に、トランシーバーの光減衰量、パッシブ素子減衰量、スプライス/コネクタ減衰量と、ファイバーの AP (1km あたりの波長ごとの光減衰量) により到達可能な最大リンク長が決定されます。

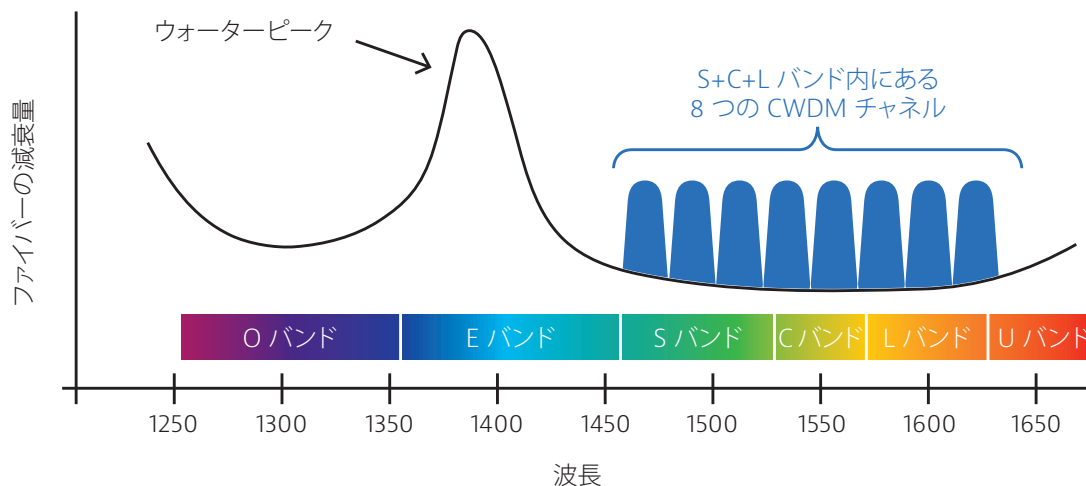


図16: S+C+Lバンド内にあるCWDMチャンネル

2. **高密度波長分割多重方式 (DWDM)** では、利用される間隔に応じて1本のファイバー上で最大96チャンネルを提供します。100GHzの間隔が今なお最も標準的ですが、今日のDWDMシステムでは50GHz (0.4nm) をサポート可能であるほか、25GHz間隔で最大160チャンネルをサポートすることも可能です。これと比較してみると、CWDMにはチャンネルごとに20nmの間隔があります。DWDMネットワークはパッシブ方式にもアクティブ方式にもなります。どちらの方式をとるかは、主に含まれる距離、現在のデータ要件、将来の容量需要によります。パッシブWDMの場合、パッシブDWDMシステムの最大距離はトランシーバーの光減衰量と、1kmあたりの波長ごとのファイバー減衰量 (ファイバーのAP) に依存します。

3. **ハイブリッド CWDM & DWDM (xWDM)** では、複数の DWDM 波長を收容するために適切な CWDM チャンネルを1つ 利用することにより、CWDM インフラの容量を拡張する可能性を提供します。このハイブリッド環境では、DWDM 波長は 通常 100GHz の間隔をとります。これには理由が 2 つあり、1つはフィルタリングが他のサービスに影響を及ぼさないよう に送信周波数のわずかなドリフトを許容するためであり、もう 1 つは公差が広めの低価格部品の利用を許容して、トラン シーバー、フィルター、MUX/DeMUX の費用を最小限に維持するためです。

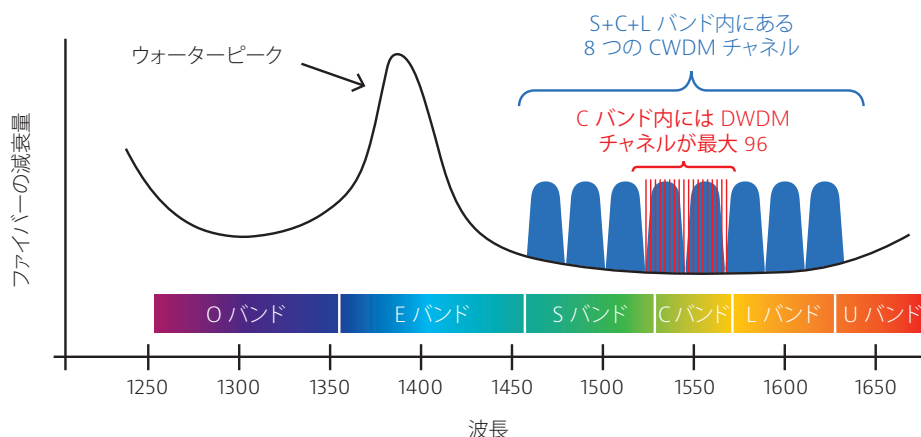


図17: CWDMとDWDMのハイブリッド

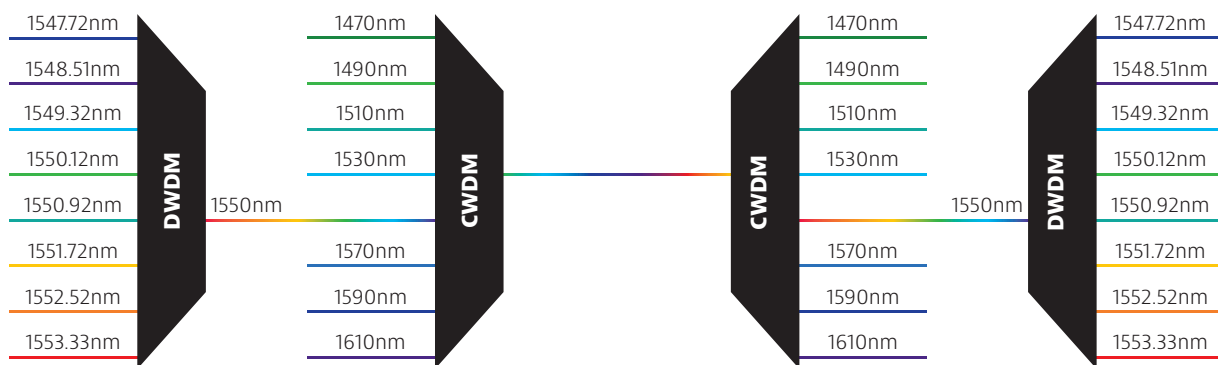


図18: 既存の8チャンネルのCWDMネットワークに追加された8つのDWDMチャンネル(100GHz間隔)の例、5Gネットワーク展開のテストガイド

4. **パッシブ光ネットワーク(PON)** は、ミッドホール(集約ノード(CU)から分散ノード(DU))においてより多くの終端機器に 対応するため、パッシブスプリッターを利用してポイントツーマルチポイントアーキテクチャをとります。ネットワークアー キテクチャは、単一接続のものもスプリッターによりカスケード接続されたものも可能ですが、実際の分岐率は含まれる 距離と、送信機/受信機(OLT/ONT)の光減衰量によって変化します。

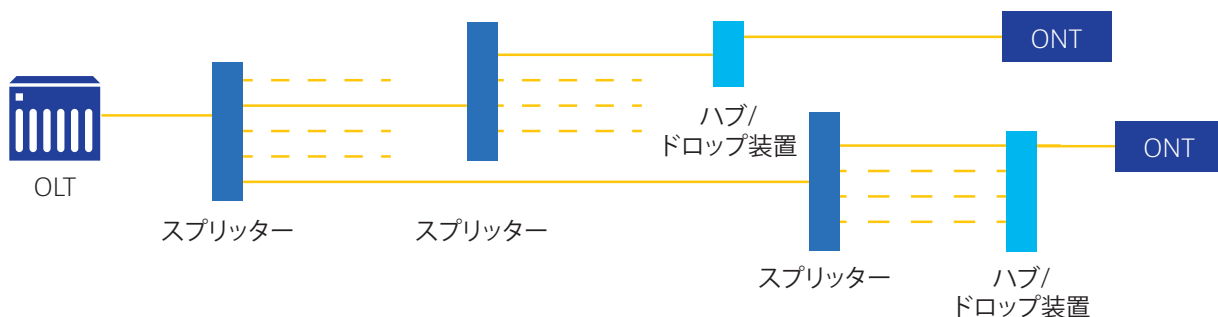


図19: カスケード分離PONアーキテクチャ9、5Gネットワーク展開のテストガイド

分岐率に最も大きな影響を及ぼすものは各 DU に求められるデータ容量と、利用される PON 規格に依存するものと思われます。PON サービスは共有サービスである点に注意してください。大まかな例を挙げると、XGS-PON では双方向対称に 10Gbps サービスを提供でき、各 DU が 1Gbps の固定帯域を必要とする場合 XGS-PON は 10 DU をサポート可能であり、このことから 10 分岐となります。実際のところはこの例よりももう少し複雑です。DU ごとの平均データとピークデータを考慮し、動的帯域幅割当など将来の PON 機能を利用すると、XGS-PON サービス1つでより多くの DU をサポートできる可能性があります。40km から 60km の距離が実現可能となり、NG-PON2 などのより新しい PON 規格では上下回線のどちらにも複数の 10G 波長を利用することで、双方向対称に 40Gbps の容量を達成できます。これは、短期から中期で考えると十分でしょう。長期の場合、eCPRI には現在提供されているような 10G PON ではなく単一波長上に 25G PON が必要となります。

xWDM テスト

高スループットを提供するために高多重化技術を活用すべく、光ファイバー網インフラの大半がアップグレードされることが見込まれます。しかし xWDM ネットワークのテストは簡単な仕事ではなく、特に DWDM チャンネルは間隔が狭いため、DWDM 送信機には波長の安定性と確実な動作を維持する上で厳密な温度管理が求められます。また波長フィルターは、正しい波長を通過させつつ他の波長は遮断する仕事をきちんとこなす必要があります。これは、あるチャンネルに問題が生じると隣接するチャンネルの両側にも問題が生じやすくなる可能性があることを意味し、DWDM ネットワークのテストおよび保守がいつそう複雑になります。DWDM ネットワークでは減衰量、コネクタ清浄度、スペクトラム品質について必ずテストする必要があります。次に挙げるテストは、xWDM ネットワークにおいて基本的なものです。

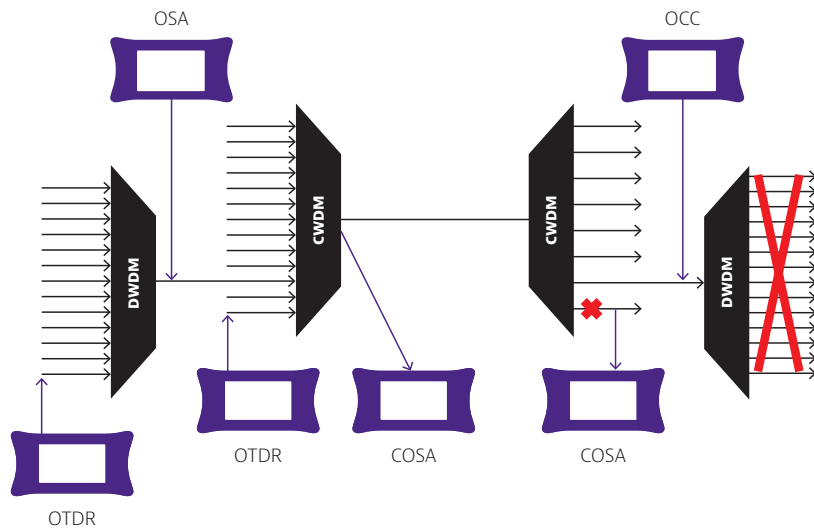


図 20: xDWDM テスト

チャンネルチェック

VIAVIOCC-55 (CWDM) および OCC-56C (DWDM) などの CWDM または DWDM パワーメーター (別名: 光チャンネルチェッカー) は、波長ルーティングを確認するために波長の存在と出力レベルについて基本的チェックを実施する上で利用されます。

小型フォームファクターの CWDM または DWDM 光スペクトラムアナライザ/光チャンネルチェッカーであり、MTS-2000、4000、4000 V2、5800 V2 メインフレーム用の [COSA\(CWDM\)](#) and [OCC-4056C\(DWDM\)](#) 4100 シリーズモジュールでも同じく、波長の存在と出力レベルの確認に利用できます。しかし、ITU-T チャンネル番号を報告する機能が追加されているため、エンジニアはドリフトまたはオフセットを確認するために実際の波長を迅速に測定でき、(DWDM では特に重要な)実際のチャンネル間隔をレポートできます。内蔵型デュアル SFP ベイによりエンジニアは波長/チャンネルを色分けして確認できるようになるほか、オプションを提供する調整可能な SFP を可変光源にすることができるようになります。この可変光源は、リンクレーティング/挿入減衰テストに利用可能です。



図 21: OCC-55

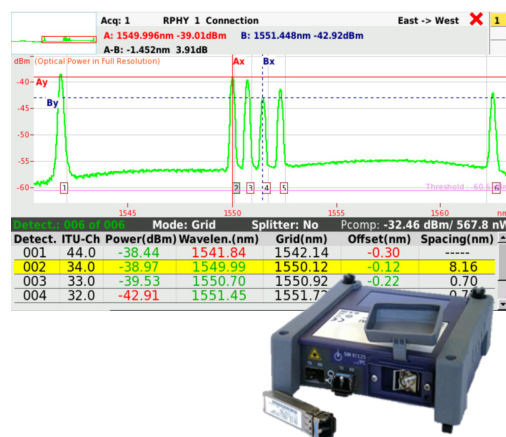


図 22: OCC-4056C DWDM 光チャンネルチェッカーモジュール10 5G ネットワーク展開のテストガイド

WDM OTDR テスト

MTS-2000、4000、4000 V2、5800 V2 メインフレーム用の VIAVI 4100 シリーズ CWDM および DWDM OTDR モジュールなどの CWDM または DWDM OTDR は、製造検査中のほか WDM MUX/De-MUX の接続に先立ち、あらゆる xWDM 波長を伝送するコアファイバーの性能を確認するために利用できます。これらの OTDR はさらに、MUX/De-MUX の接続後に End-to-End の波長レーティングや特定の波長の減衰を検証するためにも利用できるほか、任意の屈折、破断、不良コネクタ、スプライスを洗い出して位置を把握することにより、保守およびトラブルシューティングにも利用できます。従来の 1310/1550nm 波長をテストに利用する標準的な OTDR は、MUX/DeMUX 機器に波長フィルタリングが実装されていることからこの第 2 レベルのテストには利用できません。

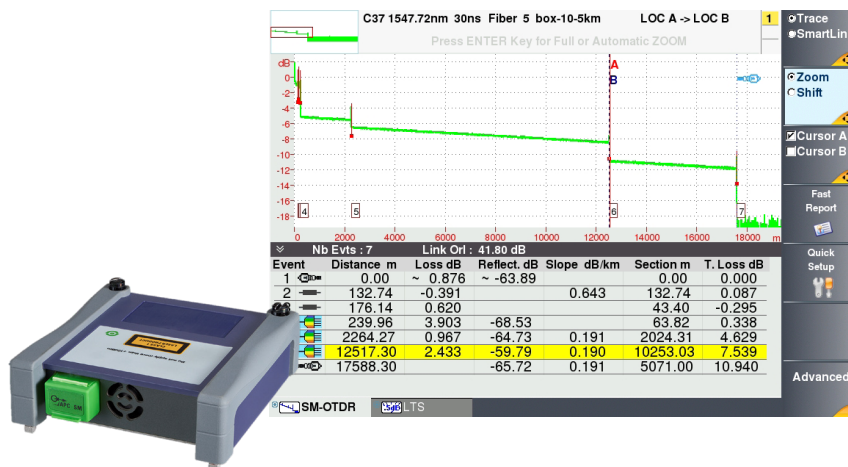


図 23: DWDM OTDR モジュール

PON OTDR テスト:ファイバー製造/敷設/ネットワーク構築中

MTS-2000、4000、4000 V2、5800 V2 メインフレーム用の VIAVI 4100 シリーズ CWDM および DWDM OTDR モジュールなどの CWDM または DWDM OTDR は、製造検査中のほか WDM MUX/De-MUX の接続に先立ち、あらゆる xWDM 波長を伝送するコアファイバーの性能を確認するために利用できます。これらの OTDR はさらに、MUX/De-MUX の接続後に End-to-End の波長ルーティングや特定の波長の減衰を検証するためにも利用できるほか、任意の屈折、破断、不良コネクタ、スプライスを洗い出して位置を把握することにより、保守およびトラブルシューティングにも利用できます。従来の 1310/1550nm 波長をテストに利用する標準的な OTDR は、MUX/DeMUX 機器に波長フィルタリングが実装されていることからこの第 2 レベルのテストには利用できません。

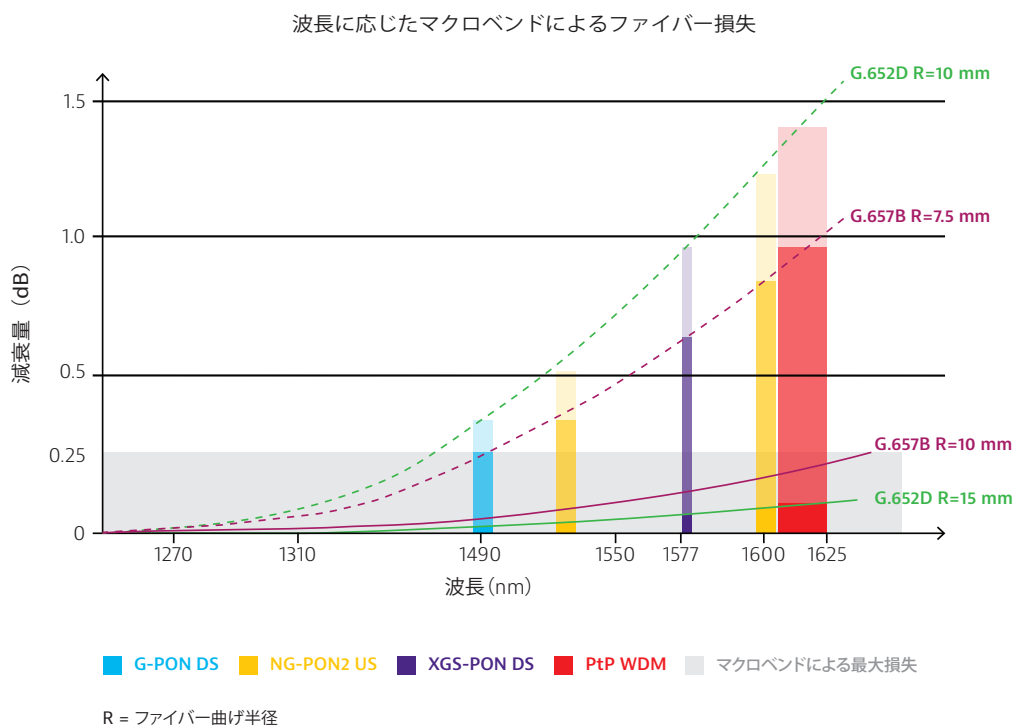


図 24: 曲げ減衰 - 波長と最小曲げ半径に関するファイバー種別

OTDR 結果の精度を高めるため、双方向テストの実施を強くお勧めします。これによりエンジニアは、OTDR デッドゾーンに隠れている可能性がある潜在的障害を識別できるようになります。双方向テストにより、両方向でファイバー性能を検査できます (PON ファイバーでは上下回線の 2 方向に光を伝送していることを思い出してください)。双方向テストとレポート処理を自動化し、1 つのテストポートでテストを実施して、結果を読み取りやすいフォーマット (スマートリンクマップ) で表示することによりテスト時間を大幅に削減し、テストワークフローを改善して (間違いや再テストの可能性など) 複雑性を減らします。VIAVI FiberComplete ソリューションは、IL、ORL、OTDR ファイバーの双方向検査を自動化します。

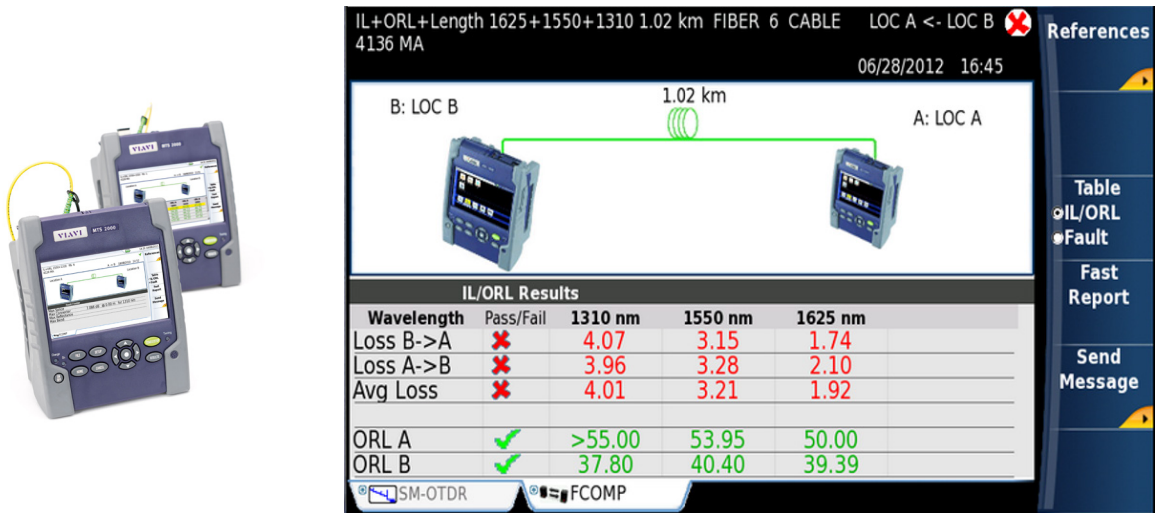


図 25: FiberComplete (MTS-2000、-4000 V2、-5800 V2 用)

スプリッターの接続後、PON構築を最終確認するためにOTDR検査が必要となります。エンジニアは、スプリッター減衰を含む End-to-End での減衰全体を確認する必要があります。この作業は通常ネットワークの ONT (Optical Network Terminal、宅内光回線終端装置) /ONU (Optical Network Unit、光回線終端装置) 側から、スプリッター (単一またはカスケード) を通してテストするほか PON の全セクションの特性を明らかにするため、専用の PON/FTTx テストアプリケーションと併せて多重パルス取得技術を用いる OTDR を利用し、ローカル局舎または中央局舎に向けて逆向きの単方向で実施されます。FTTH-SLM アプリケーション搭載の FiberComplete ユニット 1 台、または FTTH-SLM アプリケーション搭載の SmartOTDR 1 台には、ここに挙げた機能が備わります。



図 26: SmartOTDR

スマートリンクマッパー (SLM) アプリケーションでは各イベントがアイコンで表示され、エンジニアはリンク全体を概略図として見ることができ、OTDR のトレースに基づく結果を読み取って理解する必要なく OTDR をより効率良く利用する上で役立ちます。FTTH/PON の専用 SLM バージョンでは、PON 環境に固有の名称、ラベル、アイコンを利用します。

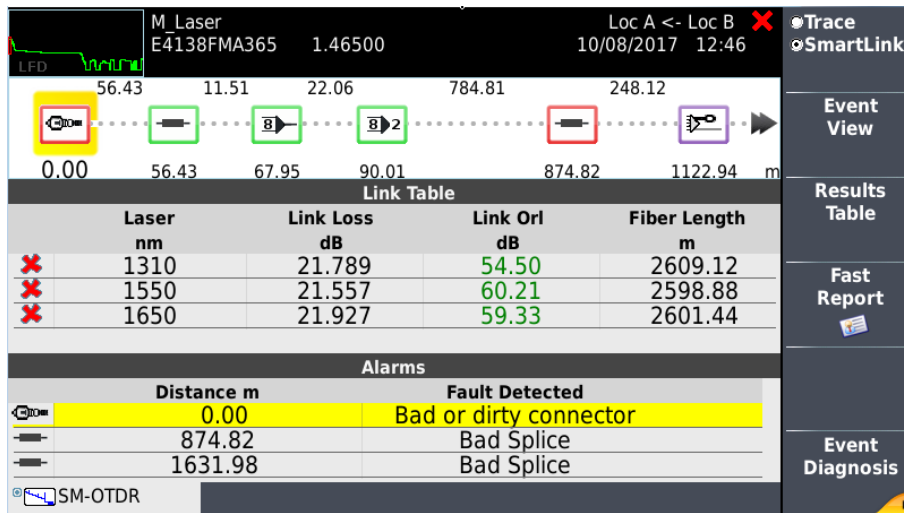


図 27: FTTH-SLM

光パワー測定: ネットワークアクティベーション中

PON ネットワークアクティベーションの一環として、エンジニアは ONT/セル/無線を最終的に接続する前に、下り回線および上り回線の光出力レベルが想定範囲内にあることを必ず確認する必要があります。5G に関し、ITU-T および IEEE 標準化グループでは 25G-PON が将来の標準規格として検討されていますが、XGS-PON とその次には NG-PON2 の採用が見込まれています。G-PON および XGS-PON または NG-PON2 では、[OLP-87 PON パワーメーター](#) が波長選択式出力レベル測定を実施できます。このパワーメーターではスルーモード動作と上り回線バーストモード測定もサポートし、上り回線と下り回線の両方の出力レベル測定を可能にします。さらに、ONT/ONU 機器がアクティブになっていて PON ネットワーク機器 (OLT (局側光回線終端装置)) に応答しているかどうかを確認することにより、ONT/ONU の確認にも役立ちます。



図 28: OLP-87 G & XGS-PON または NG-PON2 Selective PON パワーメーター

ファイバー監視

ここまで述べた通り、5G では PON およびその派生型がファイバーインフラに利用されると見込まれており、PON ネットワークが拡大するにつれてトラブルシューティングと保守の需要も高まると考えられます。携帯電話スイッチングオフィス (MTSO) などの一元化された場所から PON システムの物理レイヤー (層) テストを自動化することにより、プロビジョニング時間と保守費用を削減でき、ネットワークサービスの品質向上に役立ちます。ここまで述べた通り、OTDR はファイバーリンク内の障害位置を正確に特定できるほか、導入作業の結果を検査することもできます。VIAMI ONMSi (光ネットワーク監視システム) では PON の組立およびネットワーク構築中の段階で PON のテストと検査を実施でき、運用段階に入ってからでは多数の PON ネットワークのリアルタイム監視に切り替えることができます。ONMSi を利用すると、エンジニア 1 人で導入中のネットワークをテストできます。このシステムはサービスアクティベーション後、ファイバーインフラの劣化とその場所を正確に検出し、オペレーターと管理者に対して詳細情報と共にアラームを出します。

ファイバーが広く展開されるにつれて、光配線ネットワークの不適切な導入 (スプライス/コネクタ/スプリッターによる高減衰、マイクロバンド、スプリッター/コネクタの誤接続など) により、サービス事業者はサービスアクティベーション障害の割合が 25% から 30% に上ると認識しています。ファイバー監視機能ではファイバーが引き起こす障害と、その結果として生じるネットワーク故障に最大限対応します。

VIAMI ONMSi を利用すると、OTDR トレースの比較結果に基づいて障害の 24x7 常時監視、検出、位置特定が可能になります。通知は SNMP/SMS/電子メールで出され、選択した FTTx トポロジに対する光ファイバーマッピング (OFM) 上の地理的位置または外部 GIS を含む OTDR トレースが添付されます。ONMSi は、光ネットワークのサービス展開拡大と保守に役立ちます。このソリューションは、ハードウェアとソフトウェアを 1 つの筐体に収めた SmartOTU としても提供されます。

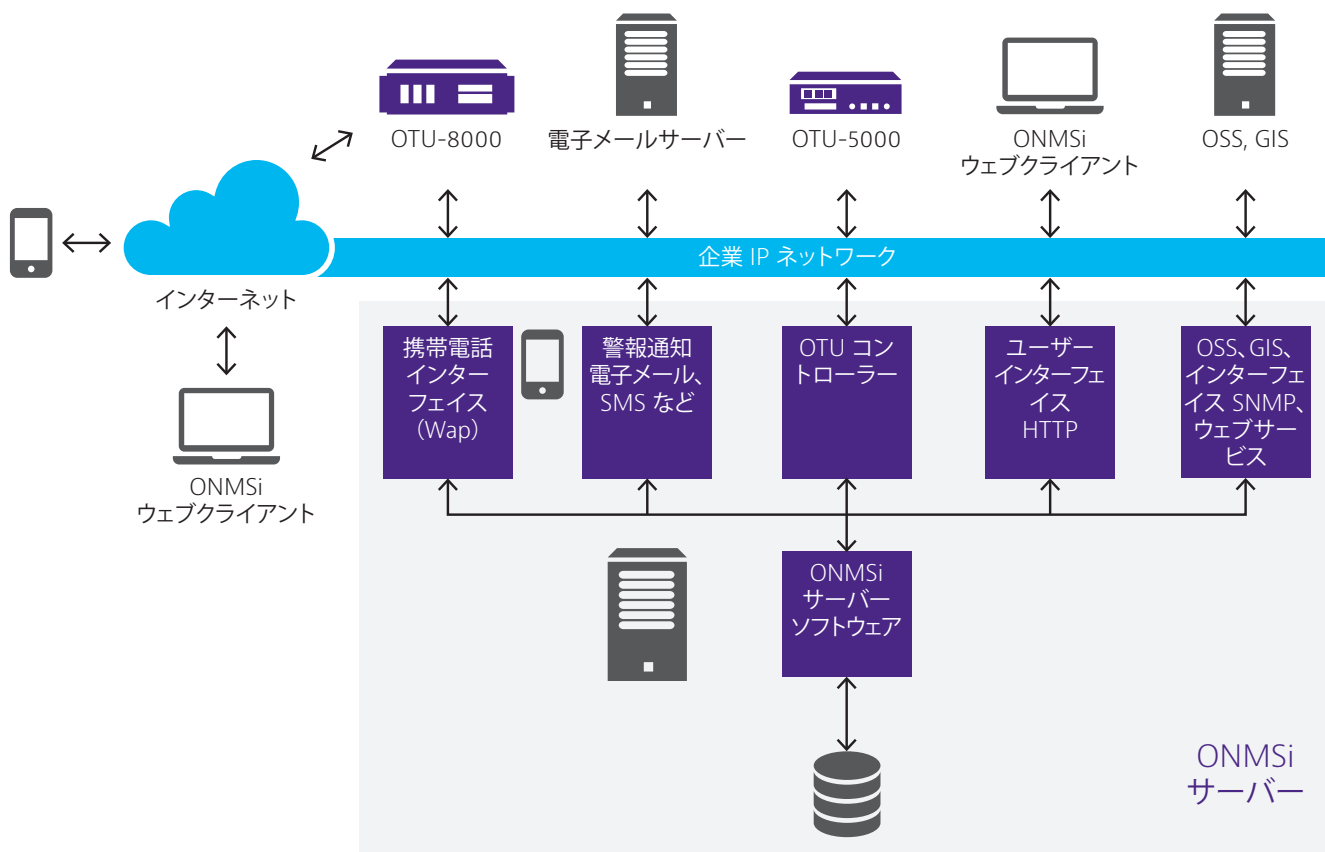


図 29: ONMSi ソリューションアーキテクチャ

まとめ

5G の広帯域幅需要と大幅な基地局密度の上昇に対応するため、フロントホール、ミッドホール、バックホールを提供する光インフラの対応は、柔軟性、機敏性、将来性を備えていなければなりません。短期的な展開から長期のネットワーク成長モデルに至るまで、ROI を最大化するためにはファイバーインフラのトポロジーを検討する必要があります。本紙で議論した通り、トポロジーは展開を行うサービスプロバイダーのビジネスケースや低コストのファイバー利用によって異なります。ファイバー展開の基本はファイバーインフラのメンテナンスと管理費用です。ファイバーインフラの管理とメンテナンスは展開時に検討すべき継続的な CAPEX となります。光ファイバー網を維持するための適切なテストソリューションを選ぶことが、低 OPEX で高いサービス品質を提供する上で重要です。VIAVI はファイバーテストにおける業界トップであり、最も包括的な End-to-End のネットワークテストソリューションを提供しています。ネットワークテスト、パフォーマンス最適化、サービス保証向けのクラウド対応測定器やシステム、ソフトウェアテストの自動化、サービスを搭載した完全統合型ポートフォリオを保有する VIAVI は、オペレーターや代理店にスムーズなネットワーク展開や持続可能なネットワークライフサイクルを提供しています。



〒163-1107
東京都新宿区西新宿6-22-1
新宿スクエアタワー7F

電話: 03-5339-6886
FAX: 03-5339-6889
Email: support.japan@viavisolutions.com

© 2020 VIAVI Solutions Inc.
この文書に記載されている製品仕様および内容は
予告なく変更されることがあります
fiber5g-wp-fop-nse-ja
30191026 901 0320