

光トランスポートネットワーク (OTN): ネットワークの分割と高度な試験

ネットワークマスタ プロ
10Gマルチレートモジュール
100Gマルチレートモジュール

MT1000A
MU100010A1
MU100011A

はじめに

通信事業者が構築するネットワークは、イーサネット技術による通信やデータセンタ間接続などからの多様なデータトラフィックへの柔軟な対応が求められます。こうしたニーズに応える技術の一つが、光伝送ネットワーク(Optical Transport Network: OTN)です。OTNは、高効率かつ柔軟なトラフィック収容能力を備えており、通信事業者や大規模クラウド事業者のネットワークを中心に導入されています。OTNの運用・保守では、ネットワークを区間ごとに適切に分割する設計や、遅延・ジッタなどの通信品質を正確に評価するための高度な試験・監視手法が不可欠です。OTNは今後も、持続可能性(省電力設計)や運用自動化を支える要素技術と合わせて、次世代ネットワークの基盤としてさらなる進化が期待されます。

本書では、通信事業者がネットワーク品質と柔軟性を維持するために必要なOTNの役割と、最新の試験手法、区間分割戦略、さらにはエンドツーエンドの回線品質評価プロセスについて解説します。

OTNネットワーク

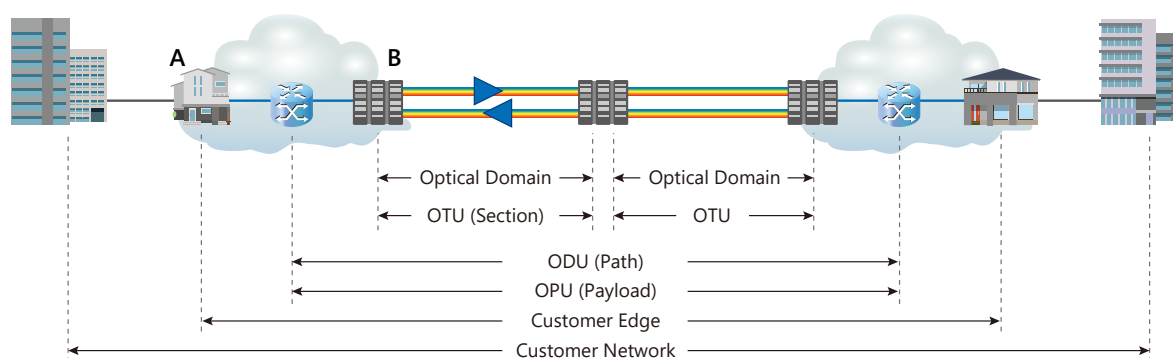


図1 OTNのネットワーク構成

OTNを経由したエンドツーエンドのネットワーク構成を図1に示しています。本ネットワークは、OTNフレームを基盤として複数の論理セクションで構成され、一般的に主要な物理ネットワーク区間ごとに区分されます。

- Customer Network : エンドユーザ間の通信区間
- Customer Edge : ユーザネットワークと通信事業者ネットワークとの境界
- OPU/ODU : ユーザデータがOTNプロトコルにより伝送される区間
- Optical Domain : 同期信号および誤り訂正符号を含むOTUフレームとして光信号で伝送される区間

エンドユーザの接続は、主にイーサネットおよびVLAN (Virtual Local Area Network) により確立されます。また、OTNネットワーク内では、これらの接続がスタックドVLANやMulti-Protocol Label Switching (MPLS) を経由し、通信事業者のアクセスポイントへと効率的にルーティングされます。

OTNの通信品質検証

セグメントごとのネットワーク試験の重要性

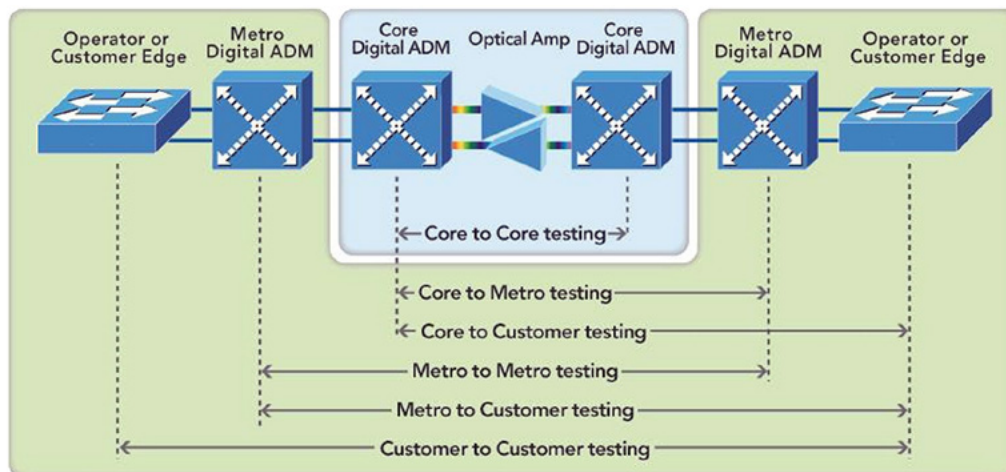


図2 ネットワークの分割

ネットワーク試験を実施する際には、単にエンドツーエンドでの検証のみにとどまらず、各セクションや異なるセクション間、さらには特定のエンドポイント間も対象となります。このため、試験対象のネットワークを適切に分割することが重要です。ネットワークを論理的または物理的に分割することで、障害発生時の迅速な切り分けや問題箇所の特定が容易になります。

一般的なネットワークの分割例としては、以下のようなセグメントに区分できます。

- コアネットワークーコアネットワーク間
- メトロネットワークーメトロネットワーク間
- エンドユーザーーエンドユーザー間

また、バックボーン、アクセスポイント、トランジットノードなどレイヤごとに分割して監視・試験を行うことで、ネットワーク全体の稼働状況や品質の可視化も可能となります。これにより、ネットワークの健全性維持や障害対応の効率化を実現できます。

エンドツーエンド試験

エンドツーエンドのネットワーク試験は最も一般的なものであり、通信事業者が新規にネットワークを開通させる際や、サービス提供の際に実施します。本試験は、エンドユーザネットワークの品質確保やサービスレベルアグリーメント (SLA) の遵守を目的としており、実運用に近いトラフィック条件でネットワーク品質を検証します。

エンドツーエンドの試験では通常、エンドユーザが利用する通信環境に類似の通信トラフィックを生成し、ネットワークのエッジ間、すなわち、ユーザ間の通信品質を検証します。本試験では主に、RFC 2544またはITU-T Y.1564の標準化された測定手順を適用します。

RFC 2544は、ネットワーク機器や回線のパフォーマンスベンチマークとして広く利用される試験規格です。スループット、遅延、フレームロス、バースタビリティといった複数の評価項目をそれぞれ順番に測定します。これにより、ネットワークの最大スループットや遅延特性を詳細に把握できます。その一方、各試験項目を個別に実施する必要があるため、総試験時間が長くなる傾向があります。また、複数サービスや複数ストリームが混在する現在のネットワーク環境には十分に対応できない場合があります。

ITU-T Y.1564は、ネットワークサービスをユーザへ提供する前に、複数のイーサネットサービスを並列的かつ効率的に検証するために策定された国際規格です。本手順でははじめに、実際のネットワークサービスに相当する、個別のトラフィックフロー（サービスストリーム）ごとに接続性試験を行います。それから、全ストリームを合成した状態で長時間の性能試験を実施します。評価項目には、スループット、遅延、ジッタ、フレームロス、バースト許容度などが含まれています。Y.1564は、現行の複雑なサービス提供環境に適した効率的な試験手法と言えます。

RFC 2544はネットワーク機器単体の詳細評価や単一サービスのベーシックな性能確認に適しています。一方、Y.1564は、サービス開始時の包括的な性能保証や複数サービスの同時検証を必要とするネットワークに有効です。通信事業者には、目的や検証対象に応じて適切な試験手法を選択することが求められます。

リモート試験

本節では、エンドユーザネットワークでのリモート試験の具体的な課題と、それに対する実用的な対策について紹介します。

実際の運用現場では、エンドユーザのネットワークに対して、エンドツーエンドの接続試験を実施するのが困難な場合があります。特に、障害が発生したときのトラブルシューティングでは、下記のような制約が課題となります。

- 営業時間外や物理的制約による現地アクセスの困難
- ユーザ環境側の協力体制の有無による作業進捗の変動
- ネットワーク構成の複雑化による障害点特定の難易度上昇

こうした課題に対応するため、通信事業者の拠点からのリモートアクセスによるエンドツーエンドの試験が一般的に導入されています。このリモート試験では、以下のような技術的手段が活用されます。

- 監視装置や専用ツールの設置によるネットワーク状態の常時監視
- リモート端末からの経路疎通試験 (ping, traceroute等) やスループット測定
- 障害発生時の自動通知およびイベントログの取得

これらにより、現地での作業無しで障害の早期発見、原因特定、暫定対策が可能になります。ただし、これらの効率的な運用には、運用手順書や障害対応フローの整備が不可欠です。

リモート試験は、エンドユーザ最終端末からの完全な開通レポート取得は難しいものの、ネットワーク区間ごとの状態把握や障害切り分けに大きな効果を発揮します。また、下記のように複数の試験パターンを組み合わせることで、より精度の高い障害特定が可能です。

- 物理層：回線断/リンクダウン検知
- データリンク層：VLANやMACアドレスを用いた疎通確認
- ネットワーク層：IPルーティングや経路障害の解析
- アプリケーション層：サービス応答やポート監視

また、複数の運用拠点やロケーションからネットワークへアクセスする環境では、それぞれの拠点に応じた性能試験が求められます。以下に、代表的なケースとその解決策の一例を示します。

たとえば、エンドユーザのネットワークが他のオフィスよりも高い帯域幅で契約されている場合、帯域幅の差やトポロジーの違いにより、本社オフィスからの開通試験が困難な場合があります。このような場合、各地方拠点のオフィスから本社のオフィスへの性能試験は、ITU-T Y.1564などのテストプロトコルを活用し、複数ストリームによるトラフィックエミュレーションにより実現できます。これにより、通信事業者は、各地方拠点のオフィスに対して保証した帯域が確実に確保されているかを、定量的に検証することができます。

一方で、本社オフィスへの大容量スループットの提供については、これまで明確な検証手順が不足していました。その背景には、エンドユーザ側ではイーサネットインターフェースでの試験が求められる一方で、通信事業者側ではOTNインターフェース上のイーサネットでの試験が必要となる、という違いがあります。ネットワーク全体のパフォーマンスを正確に評価するためには、Y.1564またはRFC 2544による試験をネットワークの一端（例：エンドユーザエッジ）で設定し、反対側（例：コアエッジ）で受信結果を取得することが重要です。具体的には、エンドユーザ側（図1のA点）[KI1.1][TY1.2]ではイーサネット上でのY.1564テストを実施し、通信事業者側（図1のB点）ではOTN上のイーサネットを用いたY.1564テストを行います。

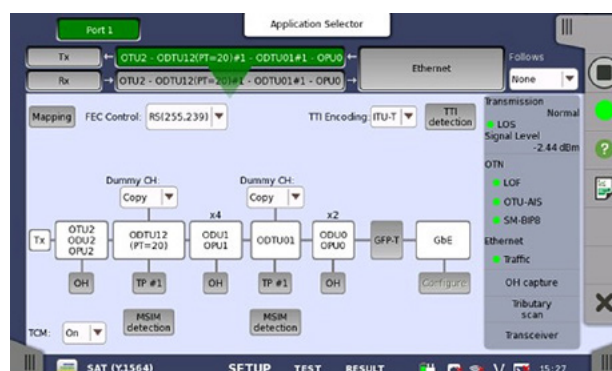


図3 マルチステージのOTNマッピングパス

OTN試験向けソリューションの要件

試験ソリューションは、マルチステージOTN構成（例：図3参照）を含む、さまざまなネットワーク構成に対応する必要があります。図3は、10 Gbps (OTU2) から1GbEへの信号マッピング例を示しています。このように、ネットワークの複雑な信号変換に対応した試験環境を構築できることが重要であり、こうした試験環境は、コアネットワークでの通信事業者側接続時の品質保証や、障害発生時などの迅速なトラブルシュートに不可欠です。

ネットワークのエンドユーザ側で提供されるプロトコルは、標準的なイーサネットに加え、VLAN、スタックドVLAN、MPLS、MPLS-TP (Transport Profile)、Provider Backbone Bridges – Traffic Engineering (PBB-TE) など多岐にわたります。これらのプロトコルスタック上にY.1564試験を適用し、コアネットワークの両端、すなわち、通信事業者向けのOTNトランスポートレイヤとエンドユーザ向けのイーサネットに対してテストトラフィックを搬送すれば、エンドユーザが契約するスループットを本社拠点においても正確に検証できます。この手法は、試験ポイントがアクセスネットワークであれコアネットワークであれ、またトランスポートが複数のプロトコルレイヤにまたがっていても有効です。通信事業者は、得られた結果をもとに契約サービスの提供状況を証明することができます。



図4 Y.1564 構成

トラブルの発生の際、通信事業者は、エンドユーザトラフィックをエミュレーションし、ネットワークのトラブルシューティングをする必要があります。一般的に、複数のトラフィックストリームを用いた試験が行われ、通信事業者側での検証だけでなく、エンドユーザトラフィックレイヤに至るまで詳細な解析が可能な環境が、エンジニアにとって非常に有用な情報源となります。特に、OTNレイヤのエラーとイーサネットやエンドユーザトラフィックレイヤのエラーを関連付けてネットワーク全体を俯瞰（ふかん）し、根本原因を特定できる能力は、障害対応やサービス品質向上に直結します。

試験ソリューションはまた、ネットワークの各レイヤでのアラームやエラーの解析、任意のネットワークポイントへの接続に加えて、OTN、MPLS-TPなどのトランスポートレイヤプロトコルおよび、イーサネットやPlesiochronous Digital Hierarchy (PDH)、Fibre Channelなどのクライアントプロトコルの同時監視・管理が求められます。これにより、ネットワーク全体の運用や保守、トラブルシューティングが効率化し、エンドユーザのダウンタイムの短縮にも貢献します。

エラー分析とトラブルシューティング

試験結果の一例を図5に示します。5秒間隔で、複数のSM-BIP-8 (Section Monitoring - Bit Interleaved Parity-8) エラーと1つの訂正不可能のForward Error Correction (FEC) エラーが発生しています。これらのエラーはすべて、図5 (b) に示しているように、イーサネットフレームエラーの直接的な根本要因となっています。このようなエラー構造を理解することで、エンジニアはネットワーク障害の発生源となる下位レイヤを特定し、効果的なトラブルシューティングの起点を明確に把握することが可能となります。

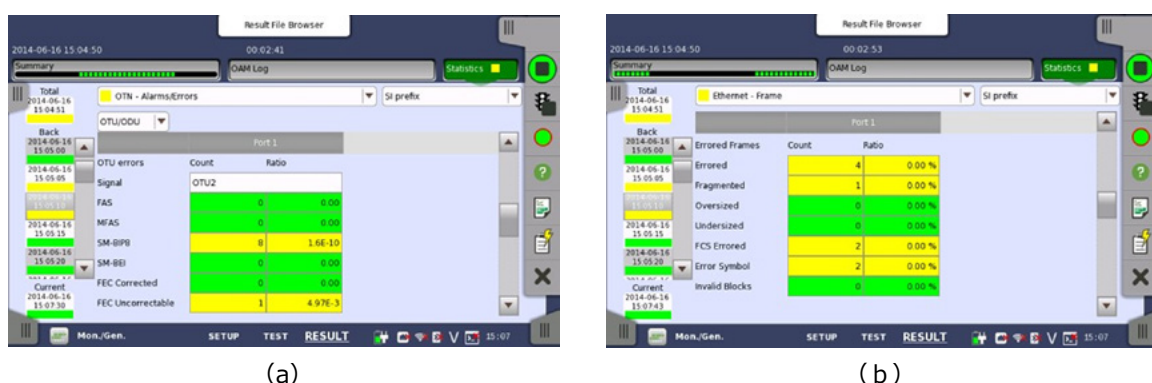


図5 (a) OTN エラー/アラームの発生状況、(b) イーサネットフレームエラーの発生状況

このような試験手法の理解は、ネットワーク構成やエンドユーザの環境に応じて、さまざまな状況下で柔軟に対応する上で不可欠です。以下に代表的な適用例を示します。

- 本社オフィスのデータ接続が地方オフィスより高速である場合の、エンドユーザネットワークの開通およびトラブルシューティング。
- 同一エンドユーザの他拠点への新規サービス開始時、既存オフィスへの影響を最小限に抑える運用。
- 既存オフィスのオーバーロードや悪影響を回避しつつ、トラブル対応や再稼働を行うケース。
- エンドユーザネットワークを停止することなく、コアネットワーク内のエンドツーエンド障害を並行して解析する場合。

これらのケースにおいて、通信事業者は、Optical Channel Data Unit/Optical Channel Payload Unit (ODU/OPU) ポイント、またはアクセス可能であればエンドユーザエッジから平行回線を構築し、エンドユーザと同一パスに沿って稼働状態を監視します。このアプローチにより、時間経過後もコアネットワークの健全性を継続的に確認することができます。さらに、単純なBERT (Bit Error Rate Test) だけでなく、試験期間中にエンドユーザデータのエミュレーションを実施することで、下位のOTNレイヤの品質を詳細に評価可能となり、エンドユーザに関連する潜在的な問題の早期発見につながります。

OTN～クライアント間のエラー挿入と検出

OTN (Optical Transport Network) システムの信頼性を評価するうえで、クライアント信号からOTNまで複数のレイヤにわたる障害伝搬の検証は不可欠です。ネットワーク機器が各層で適切に障害を検知し、上位・下位層に正しくアラームを伝搬できることを確認する目的で、さまざまなレイヤで意図的にエラーを挿入するテストが実施されます。

たとえば、クライアント信号としてイーサネットやSDH、FCなどを用い、OTNオーバーヘッド部に含まれるGFP (Generic Framing Procedure) フレームに障害を挿入した場合、クライアント信号の途絶 (Loss of Signal) としてClient Signal Fail (CSF) アラームが発生します。さらに、これに連鎖してODUレイヤにてBackward Defect Indication (BDI) アラームが生成され、下位層から上位層へと障害情報が伝搬されます。この一連の現象は図6にて詳細に示されています。

このように、クライアントからOTNにわたり障害を意図的に挿入し、アラーム伝搬経路および各層の応答を確認することで、OTNネットワークエレメントの多層統合的な障害検知・通知機能の信頼性を包括的に評価できます。これにより、ネットワーク設計・運用で障害が発生した際に、検知迅速化や誤報防止が可能となります。



図6 高いレベルのレイヤが原因のCSF アラーム

まとめ

本書では、ネットワーク通信品質および柔軟性の維持に不可欠なOTNの役割、最新の試験手法や区間分割戦略、エンドツーエンドの回線品質評価プロセスについて解説しました。OTNは、通信事業者に大きな利点をもたらしており、それに伴いOTNの利用が拡大しています。こうした背景を受け、通信事業者は、ネットワークの進化に対応した手法や機器のアップデートを適切に検証し、従来通りのサービス品質および迅速な問題解決を担保することが求められます。特に、MT1000Aの活用により、現場におけるOTNネットワークの障害解析が容易となり、効率的なトラブルシューティングが可能となります。

関連製品

ネットワークマスタプロ
10Gマルチレートモジュール
100Gマルチレートモジュール

MT1000A
MU100010A1
MU100011A



MT1000Aは、拡張性、操作性に優れたB5サイズのポータブルテストです。

10G/100G Ethernet、OTN、OTDR、SONET/SDH、PTP、CPRIの測定モジュールおよびオプションを組み合わせ1台で測定できます。

ネットワークマスタプロ
100Gマルチレートモジュール
400Gマルチレートモジュール (QSFP-DD)
400Gマルチレートモジュール (QSFP)

MT1040A
MU104011A
MU104014B
MU104015A



MT1040Aは、拡張性、操作性に優れたB5サイズの400G対応ポータブルテストです。

MT1040Aはトランスポート測定機能として、10M～400Gイーサネット、OTN (OTU1～OTU4)、CPRI/OBSAIなどさまざまなネットワークインタフェースに対応しています。

OTNレイヤの通信品質を確保するために必要な試験については、こちらのアプリケーションノートをご参照ください。

[「OTN 試験における課題と対策」](#)

参考

ITU-T G.709 (Interfaces for the optical transport network)

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.709>

ITU-T G.7041 (Generic framing procedure)

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.7041>

ITU-T Y.1564 (Ethernet Service Activation Test Methodology)

<http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564/en>

IETF RFC 2544 (Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices)

<http://datatracker.ietf.org/doc/rfc2544/>