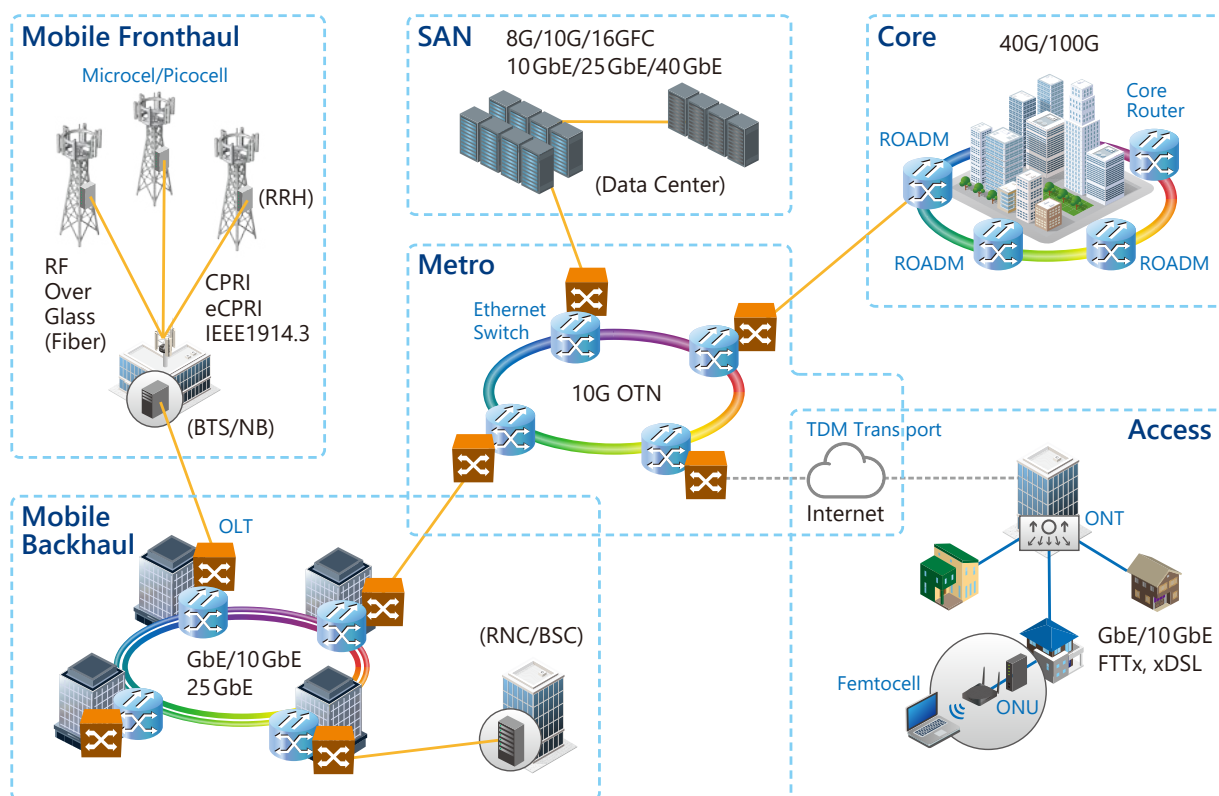


## OTN試験における課題と対策

### 背景

通信事業者は、光伝送ネットワーク (Optical Transport Network, OTN) を積極的に採用しており、OTNとエンドユーザとの間の距離を縮めています。OTNは音声データの多重化から発展した通信プロトコルであり、低遅延で安定した通信を提供します。現在では、音声データに加えて、100ギガビットイーサネットやファイバチャネルなどの高速化するデータ通信に対応するために、国際電気通信連合 (ITU) によるプロトコルの開発が進められてきました。

今日のデータセンタの急増とそれに伴う膨大なデータトラフィックへの対応が求められる中、OTNは大容量・低遅延・高柔軟性を備えた通信基盤として、不可欠な存在となっています。通信業界は、プログラム可能で柔軟なネットワークアーキテクチャへの意向を加速させています。また、クラウド/AI利用の急激な普及、IoT、オンラインサービスの増加による住宅・商用の両面で高速通信への需要増加にも対応を迫られており、OTN技術への期待はますます高まっています。



## OTNネットワーク

OTNの利点の一つは長距離伝送に優れている点です。光信号伝送時に発生するエラー検出および訂正する機能 (Forward Error Correction, FEC) を備えており、ビット誤り率 (Bit Error Rate, BER) をきわめて低く抑えることができます。これにより、金融や医療といった重要な分野での安定した通信を保証する上で有効です。また、OTNは広帯域かつ大容量のデータ伝送に対応し、100 Gbps を超える高速通信を実現します。また、OTNは複数のデータストリームを統合して一括で送信できるため、効率的なネットワーク運用が可能です。特に、OTNは波長分割多重 (wavelength division multiplexing, WDM) 技術との組み合わせにより、スケーラビリティに優れ、将来の需要増にも柔軟に対応できます。光信号の増幅器や再生装置を利用することで、数百キロから数千キロにわたる安定した通信が可能となり、グローバルなバックボーンネットワークの構築にも適しています。また、OTNは、帯域の効率的な利用と柔軟なサービスを提供します。可変レート of 伝送や帯域制御機能も備えており、利用者のニーズに応じた最適なサービス構成を実現し、ネットワークリソースの最適化にも貢献します。さらに、プログラム可能なトランスポート層により、サービス展開やネットワーク運用の柔軟性が大幅に向上します。

OTNのもう一つの大きな利点は、多様な通信プロトコルの統合が可能な点です。Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network (SDH/SONET) やEthernet、Fibre Channelなど、異なる形式のデータを1つの光ネットワークで効率的に扱うことができ、異種ネットワーク間の相互接続を簡素化できます。加えて、OTNは障害管理能力と運用性にも優れており、障害が発生した際にはセグメントごとの障害検出・分離が可能であるため、迅速な復旧が行えます。これにより、サービスレベル合意 (SLA) に基づいた品質保証を提供しやすくなります。

OTNのフレーム構造は、ネットワークセグメントとの直接の関連付けが可能です。このネットワークのセグメント化を理解することにより、エンジニアは問題箇所を迅速に特定し、その問題が通信事業者の顧客にどの程度の影響を及ぼす可能性があるかを把握できるようになります。図1にOTNのフレーム構成を示します。

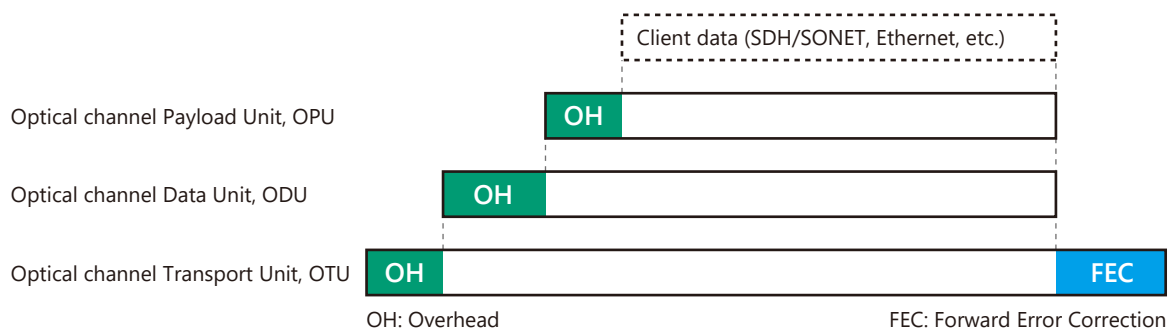


図1 OTNフレーム構成

図2に示すとおり、ネットワークはOTNフレームに基づき、以下のような論理セクションに分割できます。

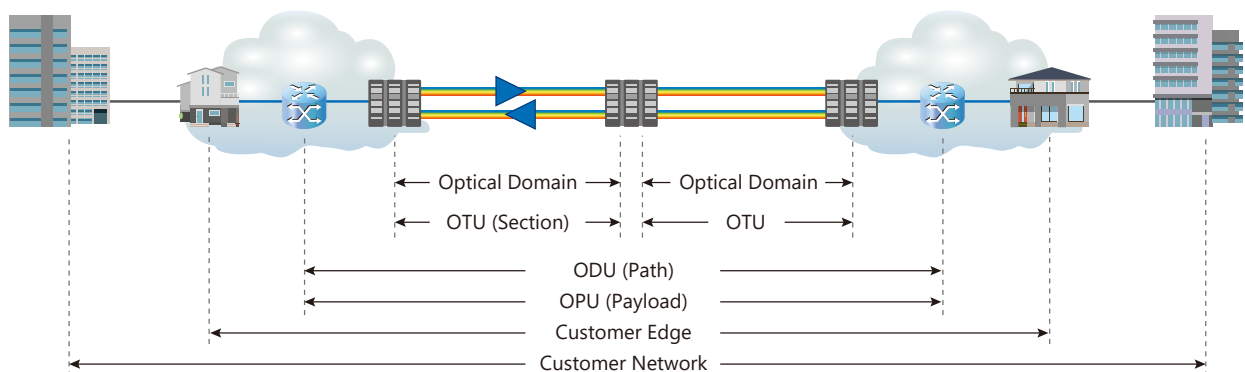


図2 OTNのセグメント化

これらのセクションは、一般的にネットワーク内の主要な物理的なネットワークの区間により表現されます。OTUセクションは光信号で伝送される区間で、特に長距離ネットワークでは途中で光増幅器を経由することがあります。OPU/ODUセクションはOTNクライアント信号の伝送区間で、メトロセクションは多くの場合、OTNのエンドポイントあるいはパスの終点となります。

## OTNレイヤの試験

OTNはトランスポートレイヤであるため、標準的なOTNレイヤのすべてのアラームとエラーについて、柔軟に試験できることが重要です。この試験の一つに、ペイロードに疑似ランダム信号 (Pseudo Random Binary Sequence, PRBS) を使用し、どれだけビット誤りが発生するかを測定する方法があります。これは、一般にビット誤り率試験 (Bit Error Rate Test, BERT) と呼ばれています。

BERは、通信事業者の顧客に影響を与える問題に関する優れた指標です。しかし、十分な試験を行い、顧客のトラフィックが流れる上位レイヤに関する詳細な情報を得るためには、上位レイヤの試験も実施することがより重要です。OTNネットワークを試験するための、従来型のBERT手法の一部について、以下の「エラーをいくつかの方法で報告」、「TCMの理解」および「標準的なBER試験」の3つの節で、説明します。OTNのクライアント信号を含むより高度な試験については、当社のアプリケーションノート「OTNネットワークの分割と高度な試験」をご参照ください。

### エラーをいくつかの方法で報告

あるネットワーク機器がエラーに正しく反応しているかどうかは、2つのネットワーク機器間にポートが2つあるテストを挿入し信号をモニタリングすることにより確認できます。

図3に、OTNネットワーク用にデュアルポート10 Gbpsを備えたテストの接続方法を示します。テストをパススルー（またはオーバーライト機能付きパススルー）モードで信号線に挿入して配置することにより、このタイプの試験ができます。パススルーは、受信した信号をそのまま送信する機能です。オーバーライト機能付きのパススルーでは、オーバーヘッドを書き換えてエラーやアラームを挿入することができます。

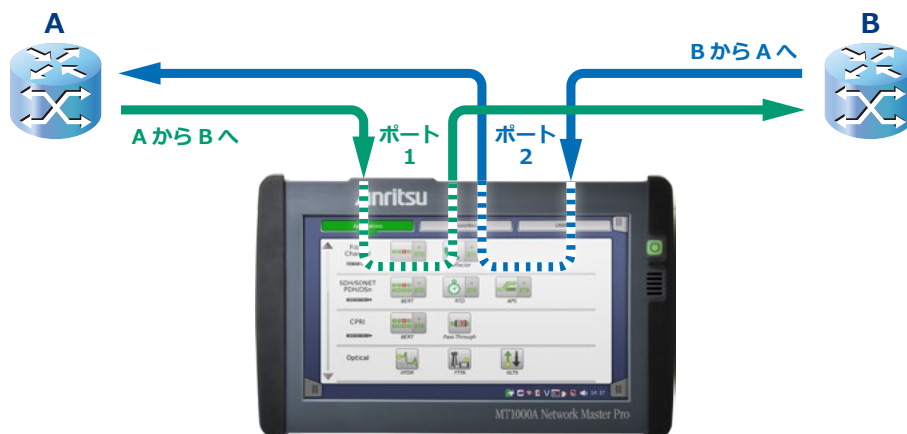


図3 信号をモニタリングするときの10 Gbpsデュアルポートテストの接続図

図3のように接続することで、両方向のトラフィックを観測し、片方のネットワーク機器がいろいろなエラー条件に正しく反応しているかどうかを評価することができます。

たとえば、図4（上）に示すようにAからBの方向でSection Monitoring – Alarm Indication Signal (SM-AIS) を挿入した場合、図4（下）に示すように、逆方向でネットワーク機器から、Section Monitoring – Backward Defect Indication (SM-BDI) アラームが返されます。これらはいずれもセクションモニタリング (SM) レイヤ上にあることに注目する必要があります。Path Monitoring – Client Signal Fail (PM-CSF) エラーがAからBの方向で挿入された場合は、PM-BDIエラーが逆方向のBからAまでレポートが返されます。SMレイヤはOTUレイヤの一部であることからコアネットワークで問題となっている可能性がきわめて高いと考えられます。このため、上記のような異なるレイヤに注目する必要があります。他方、PMレイヤはODUレイヤの一部であることから、エンドユーザの回線のアラームやエラーに直接関係することが多いです。

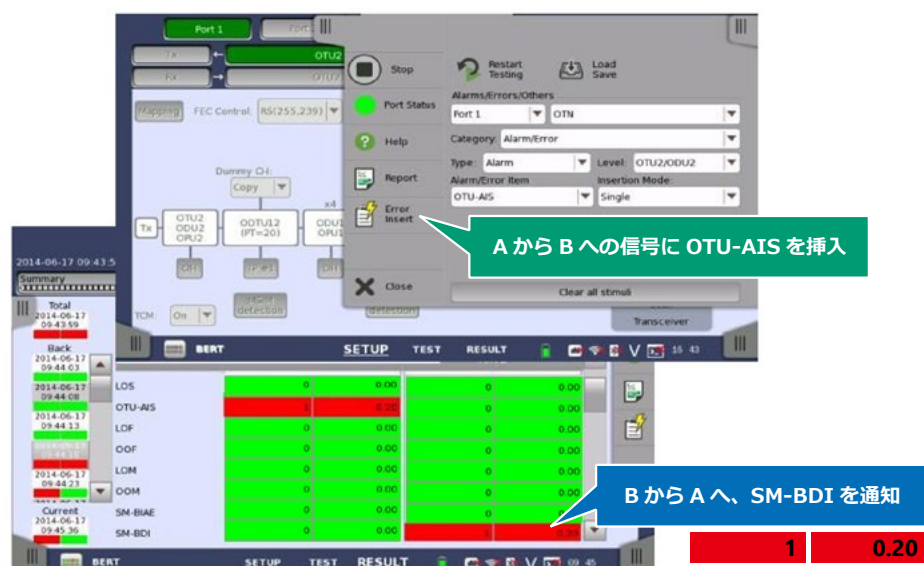


図4 パススルーモードにおけるアラームの挿入と検出

## TCMの理解

SDH/SONETと比較して、OTNではTandem Connection Monitoring (TCM) の強化がいくつか実施されました。主な違いの1つは、TCMを1つのレイヤから6レイヤのシステムに拡張したことで、複数の通信事業者を経由して信号を伝送する場合であっても、通信事業者ごとに接続モニタ信号を設定することができることです。例を図5に示します。

OTNの通信のエンドツーエンドを監視するために、事業者AはTCM1に送信者情報 (source address point identifiers, SAPI)、宛先情報 (destination address point identifiers, DAPI)、エラー/アラームを設定します。途中で通信事業者Bおよび通信事業者Cのネットワークを経由するときは、それぞれTCM2、TCM3に自分のネットワーク内での送信者情報、宛先情報、エラー/アラームを設定します。

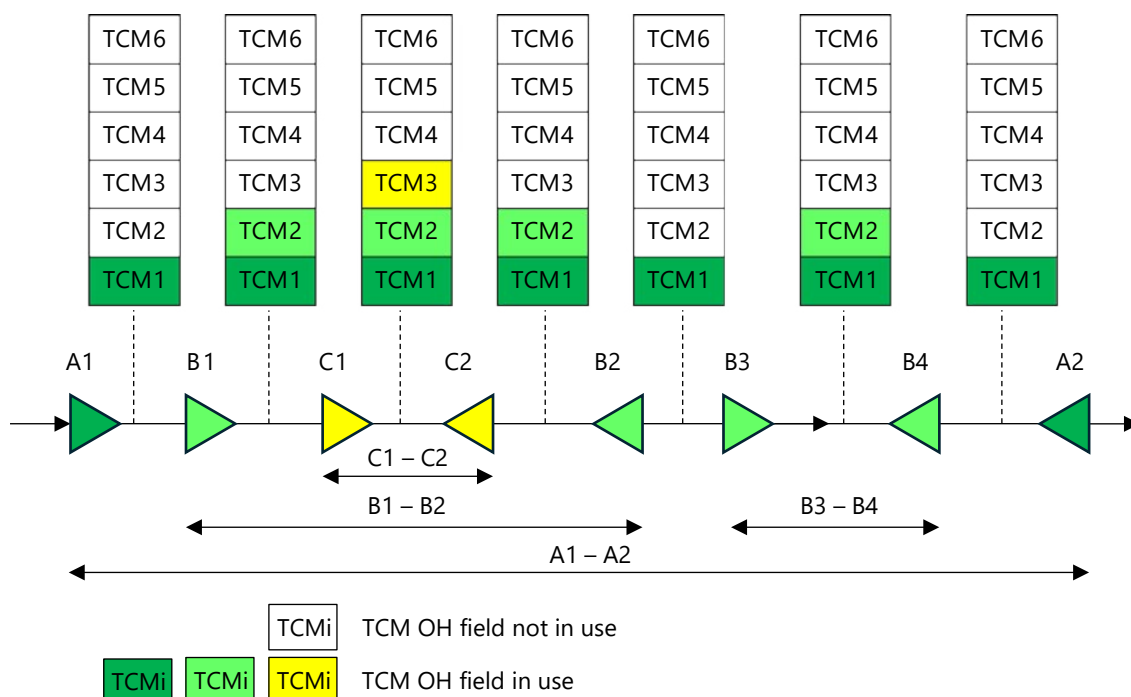


図5 階層化されたTCM

TCM1-BDIエラーの受信は、ペイロードまたはオーバーヘッドのエラーを示している場合があります。ペイロードがエラーなしで受信された場合、オーバーヘッドの一部が破損している可能性を示しています。TCM1 (最下位のレイヤ) で発生するエラーは、TCM2エラーまたはより上位のレイヤで発生するエラーよりもはるかに重大です。注意すべき点は、OTN規格ではTCMレイヤの設定が明確に定義されておらず、それぞれのTCMレイヤへのエラーの影響が各通信事業者の定義に依存している点です。

ネットワーク品質を評価するためには、TCMレイヤごとにアラームとエラーを操作できる機能を備えることが重要です。さらに、図6に示されているように、オーバーヘッドを柔軟に編集可能であることも求められます。これにより、エンジニアは各レイヤでアラームとエラーを挿入し、それに対する各ネットワーク機器の反応を確認できます。また、TCMレイヤごとのアラームとエラーを確認する機能は、ネットワーク内で問題の原因やエラーの方向を迅速に特定する手助けとなります。



図6 OTU/ODU/OPU送信オーバーヘッドの編集ウィンドウ

エラーの一例として、送信中のネットワーク機器と受信側ネットワーク機器のポートの間でアラインメント問題を示すIncoming Alignment Error (IAE)が発生し、同時にIAEを受信しているネットワーク機器からBackward IAE (BIAE)が送信されて、遠端のネットワーク機器に元のIAEについて通知するような場合があります。図7に、ネットワークのトラブルシューティング中のエンジニアをサポートするアラームと領域のタイプの例、および関連するTCMレイヤを選択する機能を示します。



図7 TCM受信アラームとエラーの表示

## 標準的なBER試験

新しいリンクを設置した際、通常の疎通試験としてはBERTを実行することが一般的です。ネットワークが最終的に使用することになるものと同じマッピングを使用して、この試験を実行することが重要です。

たとえば、OTU2 (10 Gbps) ネットワークが最終的にODUflexペイロードを搬送することになる場合、このネットワークでの実装が予定されている最小のODUflexフレームサイズでこのネットワークを試験するのが理想的です。このフレームサイズが不明の場合は、利用可能な最小のフレームサイズである1.25 Gbps ODUflexにマッピングされた構成内でBERTを実行するのが最も安全です。このマッピングの設定を図8に示します。

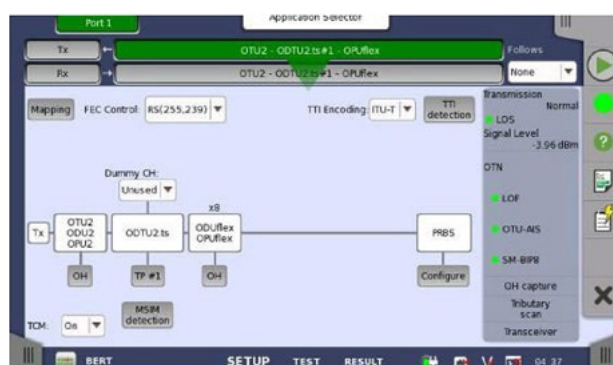


図8 ODUflex送信セットアップ

試験の開始前には、テストが正しく接続され、オーバーヘッドの全領域が動作していることを把握します。このために、エンジニアははじめに、通常ネットワーク上のすべてのアラームとエラーの現状を確認します。

図9は、すべてのオーバーヘッドが画面上でどのように表示されるかを示しています。テストは、ODUflexネットワークと相互に運用できるように構成されており、ODUflexレベルのアラームおよびエラーと同様に、下位レベルのODU2アラームおよびエラーの両方を確認することができます。このように、深いレベルの情報を迅速に把握することで、エンジニアは長期の試験を開始する前に、テストとネットワーク機器が最上位のレイヤまで正しく設定されていることを確認できます。



図9 ODUflexアラームとエラー

試験が始まると、エンジニアは、図10に示すように指定した時間ごとに、すべてのアラームとエラーの合計数と比率を視認可能な形式で明確に確認できます。このようにして、全試験時間中に記録されたアラームとエラーに関する詳細と、それらが試験中継続的に発生したのか、あるいは短時間内ですべて一度に発生したのかを理解できます。エンジニアは、この情報を元にトラブルシューティングの方向性を迅速に判断することができます。

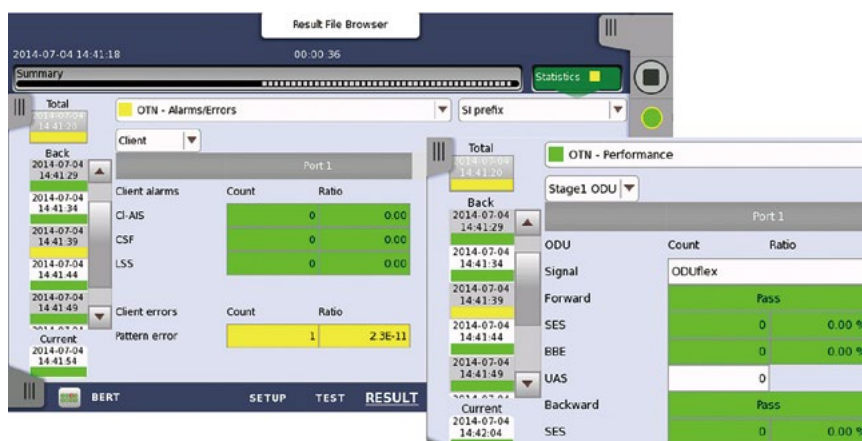


図10 ODUflex BERT結果

もちろん、合否の表示のみならず、Severely Errored Seconds (SES) や Background Block Error (BBE) などの標準化されたアラームやエラーの情報を確認することにより、ネットワーク性能を関連規格との対比で理解することも重要です。

- SES はエラーがあるブロックが15%を超える場合、または欠損が1秒以内に検知された場合に発生します。
- BBE はSESでないブロックでエラーがあるものが1秒以内に検知された場合に発生します。

BERTの試験期間は、通信事業者の基準や手順によって決定されるため、複数日にわたる場合もあります。試験は一般的に15分、1時間、2時間、24時間、または7日間のいずれかの期間で行われることが多く、最長で7日間におよぶこともあります。

## まとめ

OTNは現代の通信事業者にとって大きな利点を提供しており、エンドユーザ（アクセスネットワーク）にとっても、OTNがより身近な存在となる動きが急速に進展しています。こうした動向を踏まえ、通信事業者はネットワークの変化に対応する手法や機器の進化を検証し、従来通りのサービス品質を維持しつつ、問題解決にかかる時間を短縮する必要があります。ネットワークマスタプロ MT1000Aを使用することで、OTNの問題点を簡単に解析できるため、試験現場での問題解決をスムーズに行うことができます。

### 略語リスト

| 略語    | 定義                                                                        |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|
| ADM   | Add/Drop Multiplexer                                                      |
| AIS   | Alarm Indication Signal                                                   |
| BBE   | Background Block Error                                                    |
| BDI   | Backward Defect Indication                                                |
| BEI   | Backward Error Indication                                                 |
| BER   | Bit Error Ratio                                                           |
| BERT  | Bit Error Rate Test                                                       |
| BIAE  | Backward Incoming Alignment Error                                         |
| CSF   | Client Signal Fail                                                        |
| FEC   | Forward Error Correction                                                  |
| FTFL  | Fault Type Fault Location                                                 |
| IAE   | Incoming Alignment Error                                                  |
| ITU-T | International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization |

| 略語    | 定義                               |
|-------|----------------------------------|
| OCh   | Optical Channel                  |
| ODU   | Optical channel Data Unit        |
| OMS   | Optical Multiplex Section        |
| OPU   | Optical channel Payload Unit     |
| OTN   | Optical Transport Network        |
| OTS   | Optical Transmission Section     |
| OTU   | Optical Transport Network        |
| PDH   | Plesiochronous Digital Hierarchy |
| PM    | Path Monitoring                  |
| PRBS  | Pseudo Random Binary Sequence    |
| SDH   | Synchronous Digital Hierarchy    |
| SES   | Severely Errored Seconds         |
| SM    | Section Monitoring               |
| SONET | Synchronous Optical NETwork      |
| TCM   | Tandem Connection Monitoring     |

## 関連製品

|                 |            |
|-----------------|------------|
| ネットワークマスタ プロ    | MT1000A    |
| 10Gマルチレートモジュール  | MU100010A1 |
| 100Gマルチレートモジュール | 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              | MT1040A   |
| 100Gマルチレートモジュール           | MU104011A |
| 400Gマルチレートモジュール (QSFP-DD) | MU104014B |
| 400Gマルチレートモジュール (OSFP)    | 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。

## 追加文献

OTNについてのアプリケーションノート

「[OTNネットワークの分割と高度な試験](#)」

異なるネットワークレイヤにまたがる試験と、トラブルシューティングの方法

## 参考

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

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