

# Co-Packaged Optics (CPO) の 性能評価手法

シグナル クオリティ アナライザ-R MP1900A  
BERTWave MP2110A  
光スペクトラムアナライザ MS9740B  
ネットワークマスタ プロ MT1040A

## 目次

1. はじめに .....	2
2. CPOの概要 .....	2
3. CPOモジュールの測定ポイント .....	3
4. スイッチASICの電気信号試験 .....	3
5. Optical Engineの光信号試験 .....	4
5.1. サンプリングオシロスコープによる波形測定 .....	4
5.2. OSAによるスペクトラム測定 .....	5
6. CPOスイッチのイーサネット信号試験 .....	6
7. 結論 .....	7

# 1. はじめに

現在、“Beyond 400G”に向けた光インタフェースの変革を目指す取り組みが、ハイパースケールデータセンタを中心に開始されています。データセンタの光通信を支えているプラグブル光トランシーバは、さらなる高速化の実現のため、現在は800 GbE/1.6 TbEのQSFP-DD/OSFPモジュールの開発が進められています。

並行して、さらなる大容量化・高集積化の実現に向けて、これまでの光トランシーバとは形態が根本的に異なる、Co-Packaged Optics (CPO) 技術を用いた光インタフェースの検討が進められています。CPOとは、必要最小限の面積の基板上に、シリコンフォトニクス (SiP) 技術を用いた光モジュールとスイッチASIC が実装されたパッケージです。CPOの実現に向け、Optical Internetworking Forum (OIF) のCo-Packaging Framework Implementation Agreement (IA) や、Consortium for On-Board Optics (COBO) Co-Packaged Optics Working Groupなどで規格化の検討や策定が進んでいます。OIFでは、図1のようなスイッチASICの近傍に、3.2 Tbps (8 × 400 GbE) のOptical Engine 16個を配置した51.2 Tbpsイーサネットスイッチの実現を目指しており、大容量伝送かつデータセンタの大きな課題である消費電力削減を実現する新たなソリューションとして注目されています。

本資料では、CPOの各測定ポイントにおける測定方法を紹介いたします。

# 2. CPOの概要

機械学習や人工知能のような新たなアプリケーション需要の増加に伴い、通信のさらなる高速化が求められています。現在、データセンタで使用されるイーサネットスイッチの伝送には、プラグブル光トランシーバが用いられており、800 GbEへの対応が進められています。しかし、800 GbEではプラグブル光トランシーバとスイッチ内部のASIC間の電気接続を53 GbaudのPAM4信号で伝送する必要があります。高速な電気信号を長距離伝送すると伝送損失が大きく、伝送損失の補償に用いるデジタル補正もより強力になるため、消費電力や冷却コストの増加につながります。また、スイッチ内外のスペースやサイズの制約から1.6 TbEといった将来のさらなる高速化の実現が困難になりつつあります。

CPOは、これらの問題を解決するための実装方法の1つです。光トランシーバとスイッチASICを同一の基板に実装することで、両者の物理的な距離が近くなります。このため、電気の伝送距離が短くなり、消費電力や冷却コストを低減しながら、より高い帯域幅を実現することができます。この考え方自体は目新しいものではなく、On-Board Optics (OBO) として業界に存在していました。SiP技術の進歩によりコンポーネントの集積化が進んだこともあり、CPOという形で再び注目されるようになってきました。CPOは高度な実装技術であり、スイッチASIC、Optical Engine、レーザ光源、光ファイバなど複数のコンポーネントから構成されます。

図1はプラグブル光トランシーバからCPOへの進化の流れを示しています。現在はスイッチASICの周辺にOptical Engineを配置したCPOが検討され、コンセプトモデルが発表されています。さらにCPOの実用化に向けた動きとして、外部光源やコネクタを採用することでメンテナンス性を向上させたNear Package Optics (NPO) が議論されています。将来的にはスイッチASIC上へのOptical Engineの実装や、レーザ光源まで含めて1チップで実現できるよう、さらなる集積化が進んでいくと考えられています。

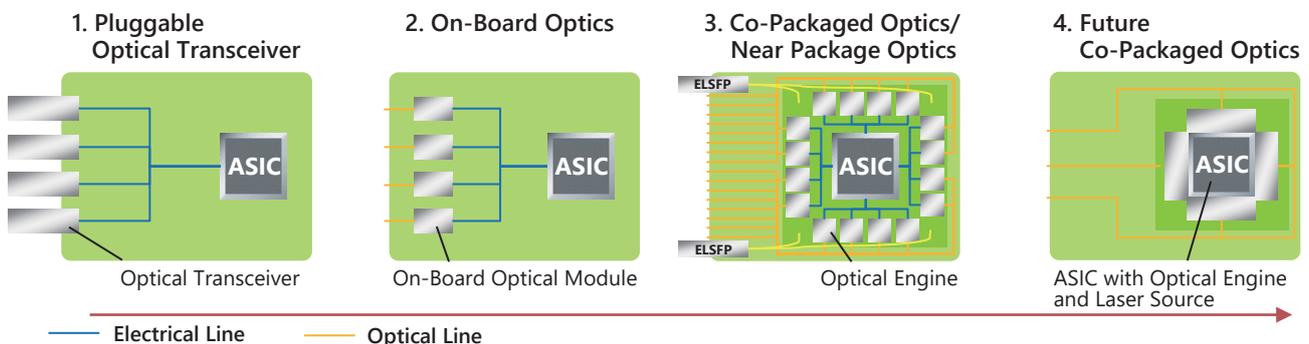


図1：光トランシーバの進化の流れ

### 3. CPOモジュールの測定ポイント

図2は、図1の3で取り上げたCPO/NPOモジュールの測定ポイントを示しています。主な測定ポイントとして、下記の3点があげられます。

- スイッチASICの電気信号試験
- Optical Engineの光信号試験
- CPOスイッチのイーサネット信号試験

スイッチASICやOptical Engineで使われる電気/光信号には、規格化されたインターフェースが使われています。これらの規格を満たしているかどうかを試験することは、システム全体が正しく動作するために重要となります。以降の章では、各試験の内容について説明します。

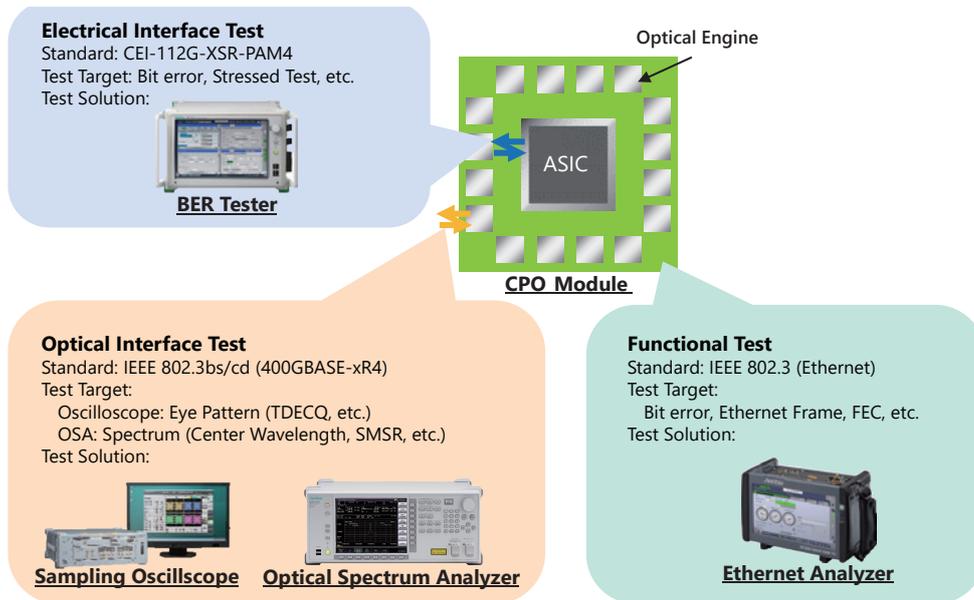


図2 : CPOモジュールの測定ポイント

### 4. スイッチASICの電気信号試験

スイッチASICの電気信号試験では、さまざまな外部の影響、ストレス、伝送チャネルの特性などを考慮する必要があります。これらの要素は信号品質を低下させる要因となり、機器の相互運用を妨げます。このため、相互運用性を確保するための性能試験が重要となります。CPOの電気インターフェースは、CEI-112G-XSR-PAM4です。また、NPOアプリケーションをサポートすることを目的として、XSRをベースとしたCEI-112G-XSR+-PAM4についても議論されています。

ビットエラーの測定には、シグナル クオリティ アナライザ-R MP1900Aを使用します。これは、NRZ/PAM4信号変調を備えたDUTに対して必要となる電気信号試験を高速で実行できるモジュラー8スロットの測定装置です。1chあたり32/64 GBaudまで対応可能です。

図3に、スイッチASICの電気信号試験の一例として、ストレス試験を示します。MP1900AはPAM4 PPG/ED、シンセサイザ、ジッタ、ノイズモジュールを1台に集約することができるため、外部ストレスを模擬した試験を簡単に実現することができます。基準クロック信号がシンセサイザモジュールの出力からジッタモジュールの入力に供給され、SJ、RJ、BUJなどのジッタストレスが生成されます。ジッタが付加されたクロック信号は、テストパターン出力信号を生成するPPGモジュールに使用されます。出力信号はノイズモジュールに送られ、ノイズが付加されます。このようにして、ジッタやノイズなどを付加したストレス信号をスイッチASICに供給することができます。ストレス信号を受信したスイッチASICから出力された信号はEDに送られ、BER測定や元の信号と比較する信号特性評価が可能になります。

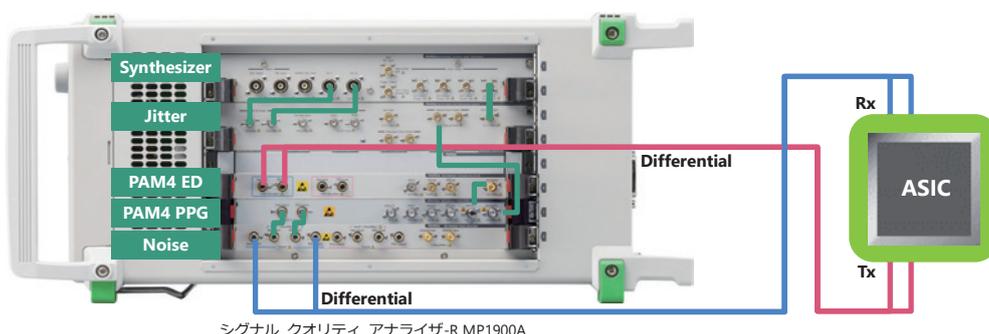


図3 : スイッチASICのストレス試験

## 5. Optical Engineの光信号試験

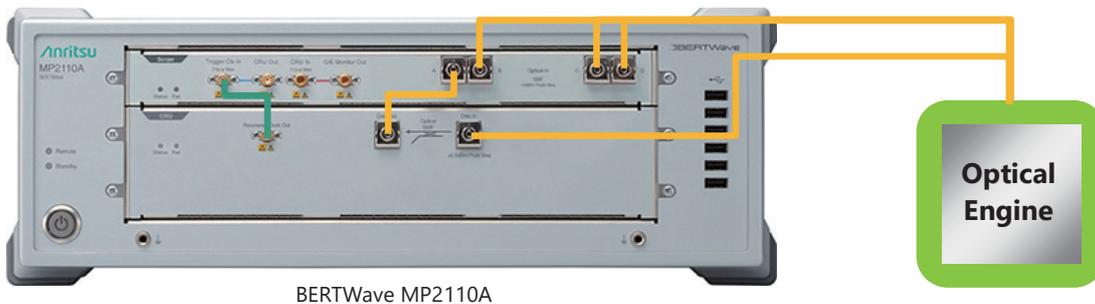
### 5.1. サンプリングオシロスコープによる波形測定

Optical Engineの光信号試験では、デジタル信号の品質を評価するために、アイパターン波形を測定する必要があります。Optical Engineの光信号に適用される規格は400GBASEのプラグブル光トランシーバと同様であり、変調方式はPAM4となります。PAM4波形の評価指標として、Transmitter and Dispersion Eye Closure for PAM4 (TDECQ) が使用されます。

アイパターン波形測定には、BERTWave MP2110Aを使用します。MP2110Aは10G-800G光トランシーバおよびデバイスのNRZ/PAM4アイパターン分析に最適なオールインワンソリューションを提供可能です。

図4、5に、サンプリングオシロスコープによるOptical Engineの光信号波形の測定系を示します。Optical Engineからの光信号出力はMP2110Aの各チャンネルへと入力されます。400GBASE-DR4ではMPOコネクタなどの多芯コネクタが使用されるため、ブレイクアウトケーブルなどを用いてオシロスコープに入力します。400GBASE-FR4では波長分割多重(WDM)により波長が多重化されているため、DEMUXを用いて波長ごとに分離してオシロスコープに入力します。

サンプリングオシロスコープには、入力波形をテストするために、データ信号と同期するトリガ入力も必要です。多くの場合、Optical Engineには個別のトリガ出力がありません。このような場合、クロックリカバリユニット(CRU)を使用すると、入力した光信号から直接トリガ信号を復元できるため、外部トリガ信号を使用せずにOptical Engineをテストできます。MP2110AのCRUに入力された信号は内蔵のスプリッタで2つに分岐し、片方はクロックリカバリに使用され、もう片方は外部に出力されます。この出力をオシロスコープに入力することで、CRUに入力した信号も含めて最大4chで測定が可能です。



BERTWave MP2110A

図4 : Optical Engineの光信号測定 (400GBASE-DR4)



BERTWave MP2110A

図5 : Optical Engineの光信号測定 (400GBASE-FR4)

従来のプラグブル光トランシーバの場合は4~8レーンが主流であるため、レーン数の大幅な増加はCPOにおける新たな課題といえます。このようなケースでの測定方法としては複数の測定器を並べて並列に測定する方法と、光スイッチを用いた測定方法の2つが考えられます。MP2110Aで測定する場合、複数のMP2110Aを用いると並列にかつ高速に32レーンを測定することができますが、設備投資のコストは高くなります。もしくは、光スイッチを用いると設備投資コストを抑制することができますが、4レーンごとの測定となるため、試験時間がかかります。このように設備投資コストと試験時間はトレードオフの関係にあります。そのため、設備投資コストと試験時間のいずれか重視する方に合わせて、最適なソリューションを選択します。

## 5.2. OSAによるスペクトラム測定

光信号の評価には、光スペクトラムアナライザ (OSA) も使用されます。OSA は、中心波長、スペクトル幅、サイドモード抑圧比 (SMSR) など、光出力信号の特性を評価できます。通常、中心波長、スペクトル幅、SMSRの特性は変動します。これらの特性が許容値を超える場合、テスト対象の光トランシーバは不良と見なされます。

CPOでは、光源がOptical Engineの外部にあるケースが存在します。光源は一般的に故障率が高く、高温環境下にあることから信頼性の問題があります。OIFではExternal Laser Small Form-factor Pluggable (ELSFP) という外部光源を定義しており、これを用いることで交換を容易にし、信頼性の問題に対処することができます。ELSFPの光パワーは、チャンネル辺り+20 dBmと非常に高くなります。このため、ELSFPは一般的なプラグブル光トランシーバとは異なり、コネクタ側に光信号の出力が存在するブラインドメイト方式が主流になるとみられています。これにより、ELSFPを交換する作業者は、高出力のレーザーに晒されることなく安全にELSFPを交換することができます。

図6に、OSA MS9740B を使用した測定例を示します。前述の通り、ELSFPは光信号出力がコネクタ側に存在するため、光信号を取り出すことが困難です。このため、ELSFP単体を評価する場合は、光信号出力を取り出すことができる評価ボードを使用する必要があります。もしくは、Optical EngineとELSFPが結合した状態で、Optical Engineから出力される信号の光スペクトラムを測定します。

ELSFPからの光信号はハイパワーとなるため、測定時の取り扱いには注意が必要です。測定器の最大入力光パワーを超える場合は、測定器の前端に光アッテネータを入れる必要があります。MS9740Bは光アッテネータを内蔵しているため、設定を有効にすることで、最大+23 dBmの光パワーを入力して測定できます。



図6 : Optical Engineの光スペクトラム測定 (400GBASE-FR4)

また、図7で示すように、4.1のサンプリングオシロスコープの測定と組み合わせることで、光信号の波形測定とスペクトラム測定の両方の測定が可能です。これにより、Optical Engineにおいて必要となるすべての光パラメータを測定できます。

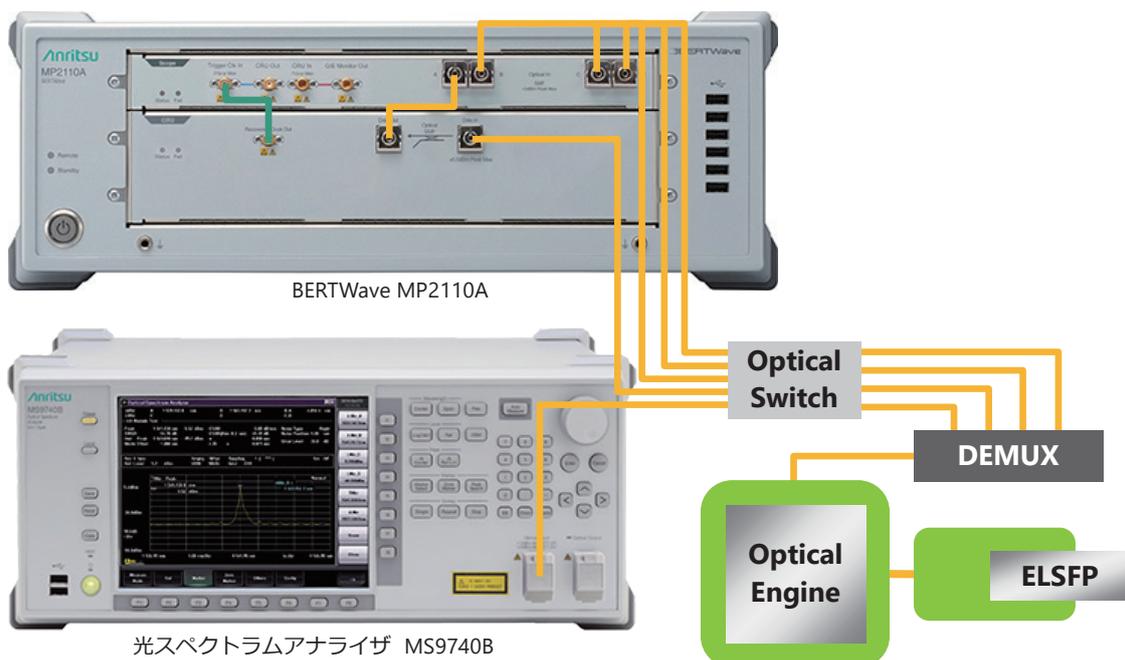


図7 : Optical Engineの光信号測定 (400GBASE-FR4)

## 6. CPOスイッチのイーサネット信号試験

CPOスイッチにおいても、物理レイヤだけでなく、より高いレイヤでテストすることが必要となります。このような試験を可能にする機器がイーサネットアナライザです。

CPOスイッチは400GBASEの光信号を用いるためPAM4変調方式を採用しており、伝送効率が向上する一方、振幅レベルは低下することから、信号にエラーが発生する確率が高まります。このため、FECを用いたエラー訂正がIEEEで規格化されています。FECは信号送信中に発生する可能性のあるエラーを訂正できる技術であり、信頼性の高い通信を確保するために使用されます。ただし、FECには制限があり、信号に連続するエラーが多すぎると、FECアルゴリズムはそれらを訂正できず、伝送品質が大幅に低下します。

データがエラーなしで送信されること、またはエラーの数がFEC アルゴリズムの訂正可能な範囲内にあることの確認は、イーサネットアナライザであるネットワークマスタ プロ MT1040Aで実現できます。MT1040Aは、図8に示すように、光トランシーバのFEC分布特性を実際のイーサネットフレーム時の送受信環境下で確認できます。

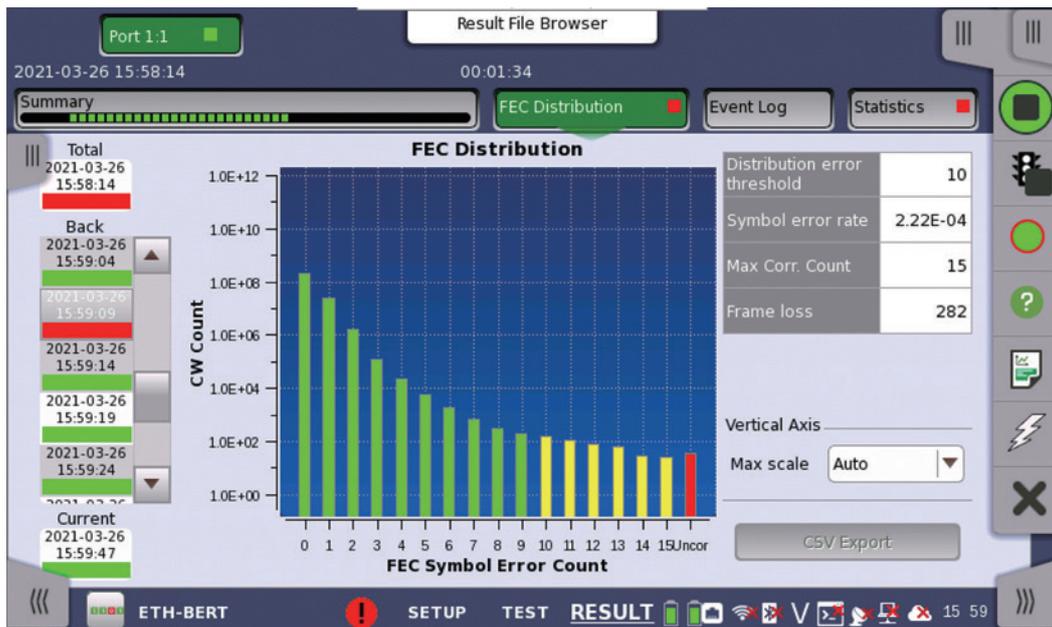
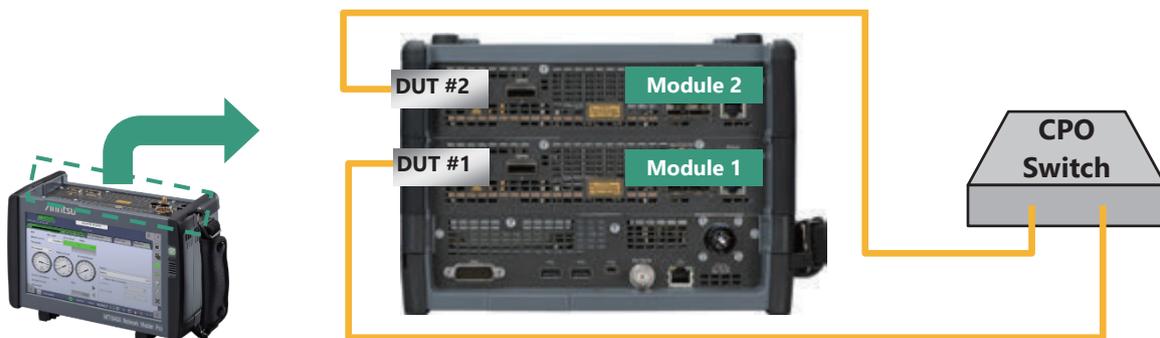


図8 : FEC分布測定

図9に、MT1040Aで400G 測定ポートを2ポート使用したCPOスイッチの対向イーサネット試験を示します。MT1040Aは400G光モジュールを2つ使用することで、1台で対向試験ができます。CPOスイッチのあるポートからの光信号出力がユーザのDUT #1に入力されます。この入力を受けてDUT #2からの光信号出力がCPOスイッチの別のポートに入力されることで、フレームロス試験、エラーフレーム試験、レイテンシ試験などのスイッチング能力測定ができます。また、FEC コードワードエラーを識別し、受信したFEC コードワード全体のCodeword (CW) エラー分布を測定できます。図8に示すように、ユーザはグラフ上の結果をリアルタイムで監視可能なだけでなく、任意のシンボルエラーのしきい値を設定することで緑/黄/赤の色分けで視覚的に結果を把握できます。



ネットワークマスタ プロ MT1040A

図9 : CPOスイッチの対向イーサネット試験

## 7. 結論

CPOに必要な試験として、スイッチASICの電気信号、Optical Engineの光信号、CPOスイッチのイーサネット信号の3種類を紹介しました。CPOはこれまで以上に集積化が進み、相互接続のための試験や評価が重要になります。

アンリツは、これまでBERT、サンプリングオシロスコープ、光計測器、イーサネットテスタなど多彩なソリューションを提供してきました。CPOについても、性能や互換性をテストするために必要となる電気/光信号を測定するソリューションを提供し、これらの需要に応えてまいります。今後も、ネットワーク製品やサービスの品質を保証するために、常に最新の測定ソリューションをお客様に提供してまいります。

## アンリツ株式会社

<https://www.anritsu.com>

本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1 TEL 046-223-1111  
厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5  
通信計測営業本部 TEL 046-296-1244 FAX 046-296-1239  
通信計測営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248  
仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 S S 3 0  
通信計測営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529  
名古屋 〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル  
通信計測営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485  
大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル  
通信計測営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118  
福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア  
通信計測営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699

ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

2104

■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。

通信計測営業本部 営業推進部

TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX: 046-296-1248  
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)  
E-mail: SJPost@zy.anritsu.co.jp

■計測器の使用法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)  
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)  
E-mail: MDVPOST@anritsu.com

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。  
また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

このカタログの記載内容は2023年2月21日現在のものです。