

# 光受動素子の分光感度 特性の評価

サブピコメートル分解能のCTP10を用いて

アプリケーション  
ノート

EXFO

# CTP10によるサブピコメータ分解能での 光受動素子の分光感度特性評価



アプリケーション  
ノート



掃引波長干渉計 (SWI)  
レーザー光源の  
ホモダイン検出、  
OFDRなど、より高度な  
測定が可能です。

## はじめに

このアプリケーションノートでは、CTP10プラットフォームに内蔵された高分解能機能を使用して、サブピコメータの波長分解能領域で分光測定を行う方法について説明します。

CTP10は、EXFOの連続掃引波長可変レーザーシリーズで動作する光受動部品検査用のモジュール式高性能マルチポート検出システムです。CTP10プラットフォームのモジュールセレクションの中でIL RL OPM2、IL PDL OPM2、SCAN SYNCモジュールは、高性能を維持しながら、20fm(フェムトメータ)までの優れた波長分解能で掃引挿入損失(IL)、偏波依存損失(PDL)、リターンロス(RL)測定を行うための包括的な統合ソリューションを提供します。

CTP10の標準波長検出モードを使用すると、達成可能な最高の分解能(すなわち2つのデータポイント間の波長間隔)は1pm(ピコメートル)であり、これは研究開発および製造における現在のニーズのほとんどをカバーしています。今日、フォトニック集積回路(PIC)デバイスには、高Q因子のリング共振器や超微細なスペクトル応答部品など、多くの新しい用途があります。したがってこれらのデバイスの正確な分光特性評価にはサブピコメータ分解能が必要であり、CTP10に高分解能の特殊波長検出モードを導入する動機となりました。

このような高分解能のスペクトル取得により、掃引波長干渉計(SWI)、レーザー光源のホモダイン検出、光周波数領域反射率測定(OFDR)など、より高度な測定が可能になります。このアプリケーションノートでは、概念実証実験を通じて最初の2つのアプリケーションを紹介します。CTP10によるOFDR測定の可能性については、EXFO.comのアプリケーションノートで詳しく説明しています。

## CTP10での高分解能測定の設定

CTP10でのIL測定には下図に示すように、SCAN SYNCモジュールとともに動作するIL RL OPM2モジュールまたはIL PDL OPM2モジュールが必要です。



サブpm領域での測定が可能になったことで、CTP10が大いに役立つ新たな用途への扉が開かれた。

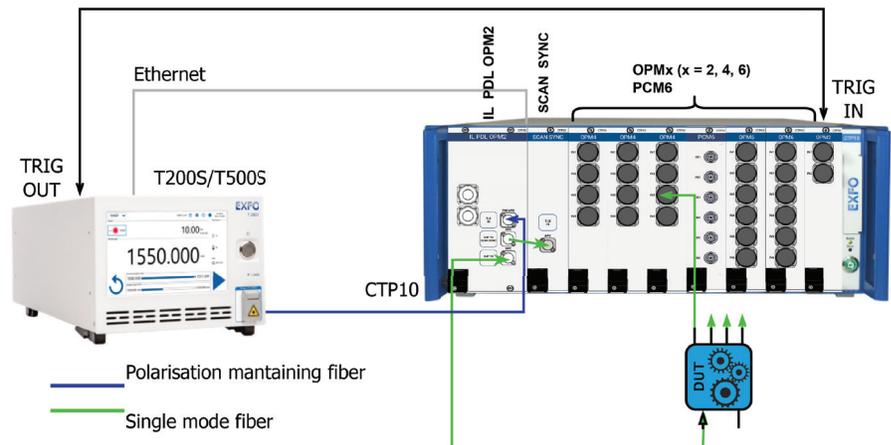


図1. IL PDL OPM2、SCAN SYNC、OPM (光パワーメータ)、PCM (光電流メータ) モジュールを使用して、CTP10でサブpmの分解能でILを掃引測定するための物理的接続です。

図1に示す構成例は、IL および PDL 測定のための標準的なCTP10の構成セットアップの回路図です。

- ・ 連続可変レーザーをイーサネットケーブルでCTP10本体に接続し、CTP10のインターフェースからレーザーの掃引を完全に制御することができます。
- ・ IL PDL OPM2モジュールは、波長掃引中のレーザーパワーの変動をリアルタイムでモニターし、補正します。IL PDL OPM2モジュールから、光の一部が被試験デバイス(DUT)に送られ、別の一部がSCAN SYNCモジュールに送られます。
- ・ SCAN SYNCモジュールは、サブピコメータ分解能でのダイナミック波長測定を可能にします。
- ・ テストされる光コンポーネントのさまざまな出力ポートは、OPMxモジュールのパワーメーターに接続されています。

特に高分解能モードでは、レーザー掃引時の同期を確保するため、レーザー側のTRIG OUTポートからCTP10背面のTRIG INポートへのBNC接続が必要です。

## CTP10インターフェースの高解像度コンフィギュレーション

サブピコメーターの設定も、CTP10のグラフィカル・ユーザー・インターフェース(GUI)で行う必要があります。ここでも一般的なCTP10構成との唯一の違いは、GUIのサブシステムタブに、レーザーからのTRIG OUTポートとCTP10のTRIG IN $\times$ ポート間の仮想リンクが追加されていることです(図2の左下 - TRIG IN 1を参照)。選択したTRIG IN $\times$ ポート( $\times$ は1から8まで)はCTP10背面の物理的接続に対応していなければなりません。

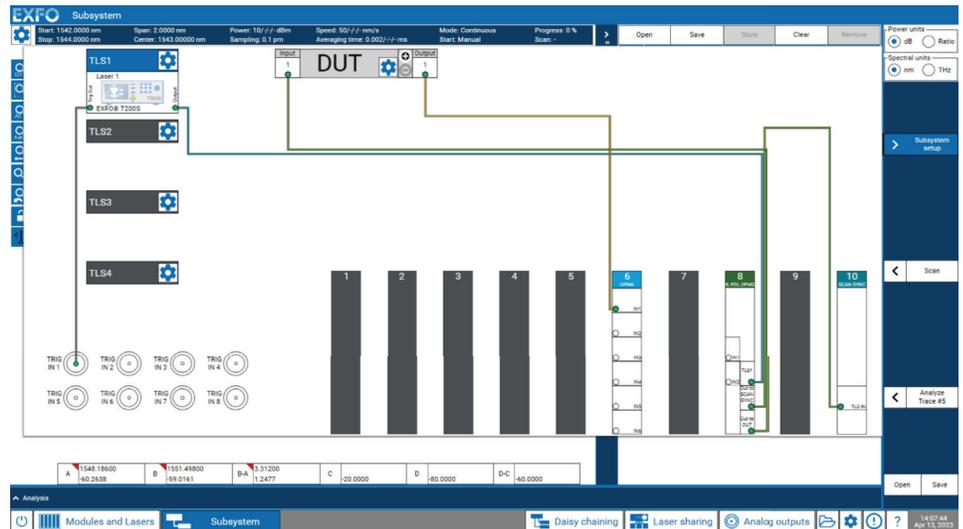


図2. CTP10 GUIでのハイレゾモードの設定。CTP10サブシステムは、IL PDL OPM2、SCAN SYNCおよびOPM6モジュールで構成されます。CTP10のTRIG IN $\times$ ポートは、CTP10 GUIのサブシステムタブの左下で選択できます。

仮想接続が完了すると、図3に示すように、GUIのScan タブにある高解像度サンプリングモードが使用できるようになります。高解像度メニューでは、0.5pmから0.02pmまで(つまり500fmから20fmまで)、最大5つの選択肢から選ぶことができます。必要な波長分解能を選択し、対応する分解能でディテクターを適切にレファレンシングすると、システムは測定を実行する準備が整います。

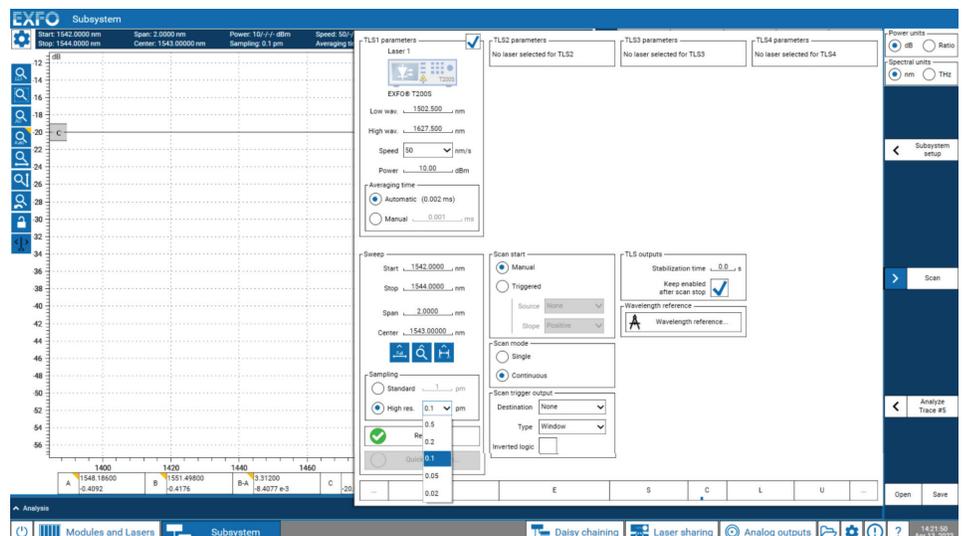


図3. CTP10 GUIのScanタブで高解像度モードのサンプリング解像度を選択します。

## アプリケーション

サブpm領域での測定が可能になったことで、CTP10が大いに役立つ新たな用途への扉が開かれました。例えば、スペクトル分解能が10倍向上すると、光周波数領域反射率測定セットアップの測定範囲は10倍向上します。

以下は、サブピコメータ分解能が試験対象デバイスの特性評価に不可欠な使用例です。

### 使用例1 - 集積フォトニックリング共振器の超微細応答の測定

IL測定においてより高分解能を用いることで、高Qリング共振器デバイスのスペクトル特性評価において顕著な利点が得られます。例えば図4は、1550.000nmで1pmと20fmの分解能を用いた、600万オーダーのQファクターを持つリング共振器のスペクトル応答の比較です。20fmの分解能を用いると、このデバイスの吸収線のローレンツ形状が明らかになりますが、1pmの分解能では、ピークの形状と最大損失を評価することは難しいです。

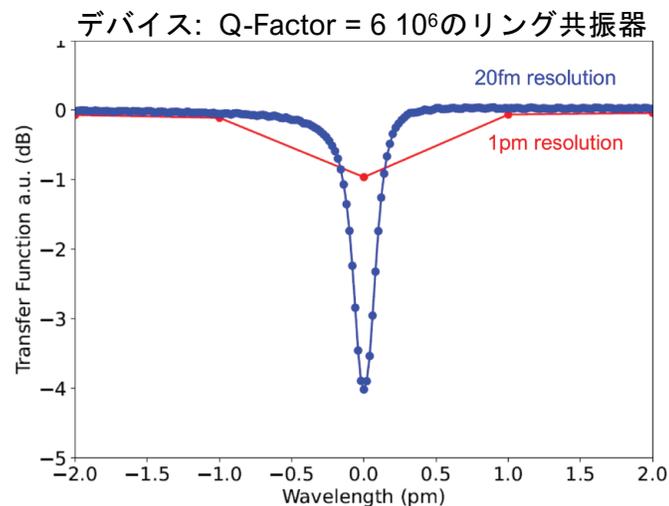


図4. CTP10で測定した1pm(赤)と20fm(青)の分解能を用いた高いQファクターリング共振器のスペクトル応答。デバイス提供: CEA-leti

スペクトル的に微細なデバイスのPIC特性評価に関しては、CTP10のサブピコメータ内蔵機能は、本装置の他の主要な利点に加えて追加されます。実際、高分解能モードでも、波長精度、再現性、光パワーのダイナミック・レンジ、パワー変化のトラッキングは維持され、他の掃引レーザー・ソリューションを凌駕しています。例えば、0.1pmの分解能でのスペクトル特性評価は、100nm/sの掃引速度で行われます。



500pmから20fmまでの  
サンプリング分解  
能を持つ。  
波長精度、再現性、  
光パワーダイナミック  
レンジ、パワー変化ト  
ラッキングを維持。

図5は、100nm/sの走査速度で0.1pmの分解能を用いた、別の高Qリング共振器のスペクトル特性を示しています。CTP10の測定では、リング共振器の吸収線を持つローレンツ形状の特徴を示し、波長再現性とダイナミックレンジは維持されます。

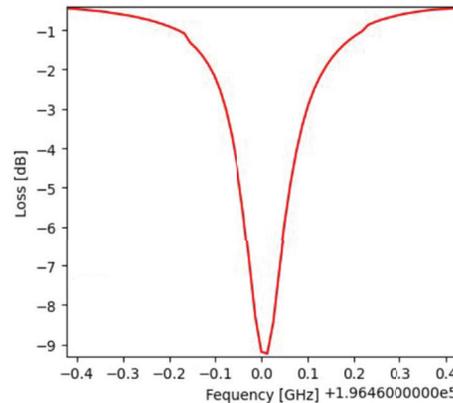


図5. 0.1pmの分解能を持つ高Qリング共振器のスペクトル応答。CTP10の応答は、100nm/sの走査速度で、期待されるローレンツ型の吸収線を示します。

### ユースケース2 - 掃引波長干渉計 (SWI)

SWIは、光学部品の伝達関数(TF)をシングルスキャンで高分解能スペクトル測定する周波数ベースのドメイン干渉計技術です。正確なスペクトル振幅と位相の測定値は、偏波平均群遅延、色分散、その他の線形パラメータの形で抽出することができます。本アプリケーションノートではCTP10で測定した干渉計の干渉波長から、マッハツェンダー干渉計の経路長差を求めることのみを行います。

下図は、ファイバーベースのマッハツェンダー干渉計のインターフェログラムを記録するための実験セットアップを示しています。干渉計の光路長差は時間遅れ  $\tau_0$  に対応し、 $1/\tau_0$  に等しいFSRを持つインターフェログラムを生成するためCTP10がこれを正しく測定するためには、ナイキスト・シャノンのサンプリング定理に基づき  $1/(2\tau_0)$  のオーダーのサンプリング分解能が必要です。分解能を0.02 pmに設定した場合、サンプリング周波数は2.56MHzのオーダーとなり、最大40mの測定範囲を可能にします。

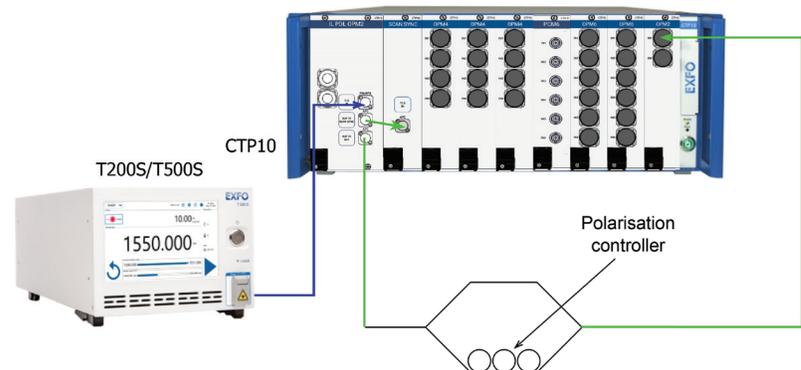


図6. ファイバーベースのマッハツェンダー干渉計のインターフェログラムを記録するための実験セットアップ。干渉縞の見え方を最適化するためには、偏光コントローラーが必要です。

周波数領域のインターフェログラムに高速フーリエ変換(FFT)を適用することで、干渉計の経路長差を正確に求めることができます(図7参照)。この干渉計の場合、時間遅延  $\tau_0$  は21.1ナノ秒であり、約4.3メートルの光路長差Lに相当します。  
 $(L = \tau_0 * c/n, c$ は光速、 $n$ は屈折率、光ファイバーでは $n = 1.469$ )

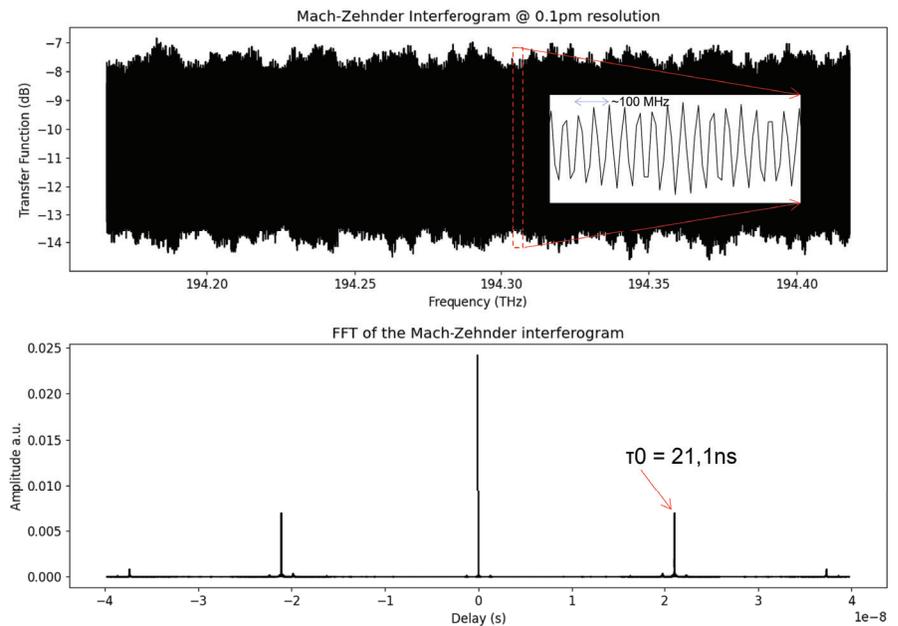


図7. ファイバーベースのマッハツェンダー干渉計のインターフェログラムと、FFTを用いた経路長差の決定。  
 上 - インターフェログラムを周波数領域でプロット。インターフェログラムのFSRは、約0.50 MHz。  
 下 - インターフェログラムの時間領域におけるフーリエスペクトル。

### 使用例3 - ホモダイン検出: 波高計のエミュレーション

レーザータイプの固定波長の被測定光源(SUT)と、連続的に掃引される波長可変レーザーを光検出器上で組み合わせる、または混合することからなるホモダイン検出技術を用いて、極めて正確な光源波長測定を達成することができます。これは、両方のソースがスペクトル的に同一である場合に干渉パターンを生成します。この干渉パターンを測定することにより、SUTの発光波長を決定することができます。

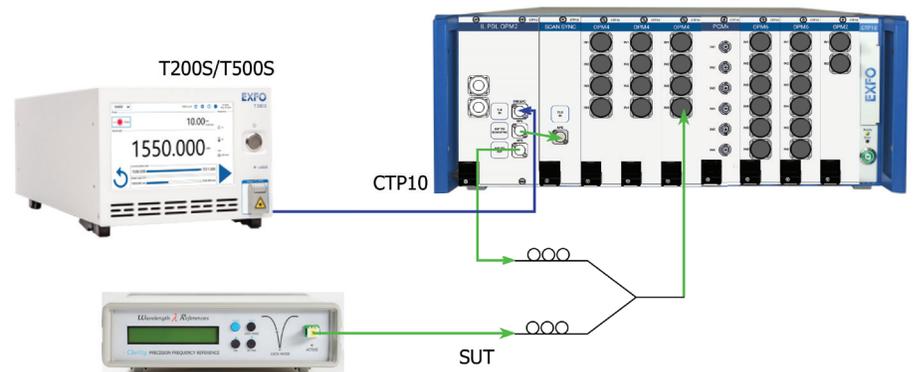


図8. CTP10に搭載されたホモダイン検出技術。SUTと掃引チューナブルレーザーを光検出器内で結合または混合すると、両方の光源がスペクトル的に同一である場合にインターフェログラムが発生します。この測定により、SUTの発光波長を決定することができます。

CTP10の枠組みでは、ホモダイン検出により、掃引レーザーが走査したSUTのピーク波長の値が得られます。掃引されたレーザー波長がSUTのピーク波長に近づくと、決定される公称波長に最も高いピークを持つ干渉縞が発生します。波長測定に使用した実験セットアップを図8に示します。

SUTとT200S掃引波長可変レーザーが組み合わせられた2×1光カプラで構成されます。カプラの出力はCTP10内の検出器の1つに接続され、その光出力は+10dBmに制限されます。最適な干渉を観察するためには、光カプラのSUTと掃引レーザー分岐の両方で、同じ偏光と同じ光パワーを発射するように注意しなければなりません。また、干渉縞を分解するために、20fmという高サンプリング分解能が設定されました。

波長測定の精度を高めるため、CTP10にC2H2ガスセルを装着して光波長リファレンスを行いました。このようなプロセスはCTP10のGUIに組み込まれており、実行に必要な時間はわずか数秒です。

下の図では、Wavelength References社の位相同期DFBレーザーのスペクトル線を1530.3686nmで10回測定した結果をプロットしています。これら10個の測定値のセットは、中心波長が位置する0.5pmのFWHMを定義しています(この場合は1530.3685nm)。SUTと掃引波長可変レーザーの光位相が互いにロックされていないため、メインピークの位置は測定ごとに異なります。また、可視フリンジの数が限られているのは、利用可能な検出帯域幅が10MHz程度であるためです。

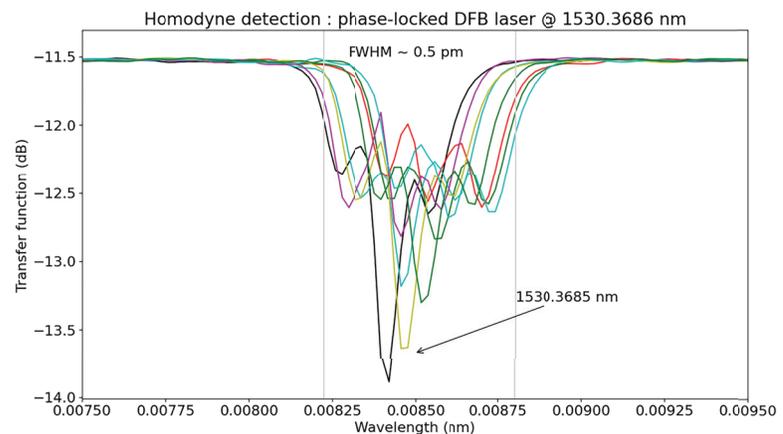


図9. 1530.3686nmの波長リファレンスからの位相同期DFBレーザーのスペクトル線の10回の測定

## 参考文献

参考 [www.exfo.com](http://www.exfo.com)重要情報 [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

## 結論

CTP10は、波長精度、再現性、光パワーのダイナミックレンジ、パワー変化のトラッキングを維持しながら、500fmから20fmまでのサンプリング分解能を提供することができます。[CTP10](#) コンポーネントテストプラットフォームとEXFOの連続可変掃引レーザー [T200S](#) および [T500S](#) シリーズを使用することで、高分解能のスペクトル測定が可能です。