

## Autocorrelators

# リアルタイム測定 高性能スキャンニング オートコリレータ

### pulseCheck NX

- フレキシブル設計と高分解能  
page 3



### pulseCheck SM 2000

- 広帯域オートコリレータ
- 高コントラスト  
page 10



## 利点と技術

### 光学系と検出器

さまざまな検出器と光学系セットにより、幅広いアプリケーションに対応。光電子増倍管（PMT）検出器は高感度のため、低パルスエネルギーパルス計測に最適。フォトダイオード（PD）検出器は、高ピーク出力レーザーのパルス計測に最適。最適な光学系セットを組み合わせることにより、200 nmから12  $\mu$ mまでの広い波長域計測が可能。

### コリニアと ノンコリニア計測

本製品は、コリニアとノンコリニアの計測モードを簡易的に切り替えることが可能。コリニアモードは、干渉モードまたはフリンジ分解モードと呼ばれ、パルスのチャープと中心波長に関する追加の定性的情報を取得可能。ノンコリニアモードは、強度自己相関とも呼ばれ、バックグラウンドフリーで高ダイナミックレンジの自己相関測定。

### 自動位相整合

pulseCheckシリーズは、各波長域に対する位相整合角度調整をソフトウェアでサポートし、手動調整フリーで正確かつ高速測定可能。検出器と非線形光学機能が1つの素子に統合されたTPA検出器を使用する場合、計測はさらに容易。TPA測定方式の場合、位相整合調整必要なし。

### ネットワークインター フェースによる プラグ&プレイ

pulseCheck NXは、USB接続を介した使いやすいプラグ&プレイ機能を提供。Ethernet接続（TCP/IP経由のSCPI）により、従来機よりも簡単にオートコリレータを自動試験や計測環境に統合することが可能。また、ネットワーク接続を介しどこからでも直接pulseCheckを制御可能。



## pulseCheck NX モジュール式オートコリレータ

### APEの多才な機能による 完璧なパルス計測

pulseCheckプラットフォームは、お客様のタスクに合わせて拡張可能。市販されているほぼすべての超短パルスレーザーの特性評価に適し、幅広い波長とパルス幅測定に対応。非線形結晶と専用検出器モジュールで構成される簡易交換可能な光学系セットを採用し、柔軟性を達成。



- 交換可能な光学系セットによって200 nm~12  $\mu$ mの波長域をカバー
- PMT、PD、TPAによって幅広い感度レベルに対応
- 50アト秒までの高い時間分解能(サンプリング分解能)を達成
- 干渉モード(コリニアモード)と強度自己相関モード(ノンコリニアモード)の間の簡易切換え可能
- データ取得、データフィッティング、高速FPGAデータ処理用のコントローラを内蔵
- 結晶の波長チューニング(位相整合)をソフトウェアでサポート
- DIN 58175-2:2021-04(自己相関計測方法)に完全準拠
- NX-Software、USB、Ethernet接続をサポート
- 標準化されたコマンドセットによるTCP/IPリモート制御で、簡単にプログラミング可能
- オプション:FROG(完全なパルス特性評価用)

## pulseCheck NX 概要

pulseCheck	NX 50	NX 150	SM 2000
パルス幅	5 fs ~ 15 ps	10 fs ~ 40 ps	20 fs ~ 500 ps
波長域	200 nm ~ 12 μm 光学系セットに因る		
推奨繰返し周波数	PD、TPA: >10 Hz、PMT: >250 kHz 光学系セットに因る		
感度* (標準値)	1 W <sup>2</sup> ~ 10 <sup>-6</sup> W <sup>2</sup> 光学系セットに因る		
最大入力パワー、エネルギー	0.5 W (疑似CWレーザー) 5 μJ (kHzレーザー)		
入力ビーム偏光	直線、水平 偏光回転子 (オプション)		
入力ビーム方式	自由空間入力 (開口6 mm) ファイバ入力オプション (FC/PCまたはFC/APC)		
入力ビーム高さ	76 mm		
計測更新レート	10 Hz	7.5 Hz	120 ps/sec
遅延分解能	50アト秒	200アト秒	1フェムト秒
コントラスト	10 <sup>-4</sup>		
計測モードの種類	PMT、PD: ノンコリニア強度モードとコリニア干渉モード簡易切替え可能 TPA: ハイブリッドコリニア強度モード		
利用可能な検出器の種類	交換可能: 光電子増倍管 (PMT)、フォトダイオード (PD)、二光子吸収 (TPA)		
キャリブレーション	NISTトレーサブルキャリブレーション証明書付き		
エレクトロニクス	装置内蔵		
トリガーモード	TTL <50 kHz		TTL <10 kHz
位相整合	自動		ソフトウェアでサポート
強度分解能	18ビット		
接続性	Ethernet、USB、TCP/IP (SCPIコマンドセット)		
リモート制御	APIを介してプログラム可能		

\* 感度は、 $(P_{\text{average}} * P_{\text{peak}}) = (P_{\text{average}}^2 / (\text{frep.rate} * \tau \text{ pulse duration})) = W^2$ で計算。 $W^2$ の計算値は、仕様値以上が必須。  
注記: ビームパラメータやパルス品質などの他の要因を考慮していないため、感度は、1桁以内の誤差を持つ近似値想定。

# 実験に対する柔軟性

## 高い分解能と強力な処理性能

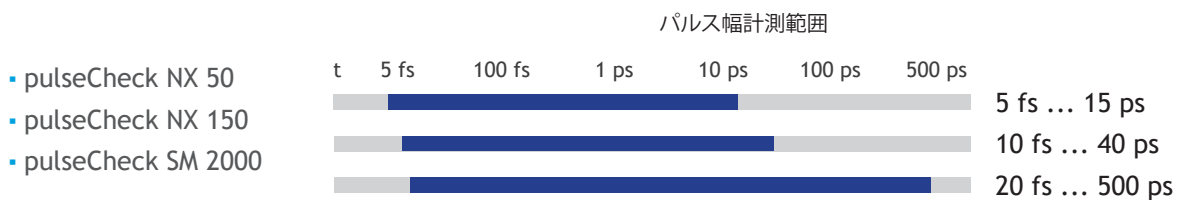
先進的なシステムオンチップ (SoC) ベースのアーキテクチャにより、50アト秒までの高い時間分解能、18ビットの強度ダイナミックレンジでの計測が可能。これによって、非常に微小な自己相関特性をも完全取得。

## モジュール式设计によって最大限の機能を提供

最大限の機能と柔軟性ニーズに応えるためモジュール交換による波長測定領域拡張、FROGオプション機能追加可能。

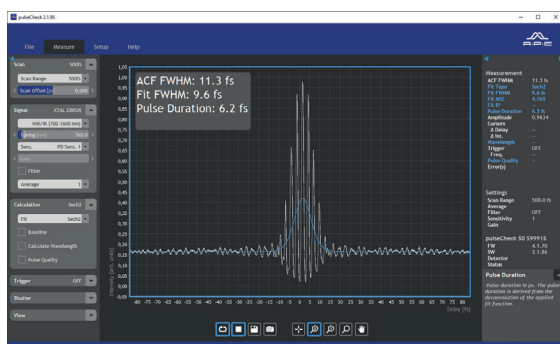
## 超短パルスから長パルスまで

パルス幅計測の個々のニーズに合わせて、様々なpulseCheck NX構成が選択可能。最大500 psの非常に長いパルスの計測には、pulseCheck SMが最適。



## 3種類の検出器で高感度と低ノイズを実現

- フォトダイオード (PD)      標準感度 (最大  $1 \text{ W}^2$ )
- 光電子増倍管 (PMT)      最高感度 (最大  $10^{-6} \text{ W}^2$ )
- 二光子吸収 (TPA)      高感度 (最大  $10^{-2} \text{ W}^2$ )



pulseCheck NXのソフトウェアGUI



# pulseCheck NX

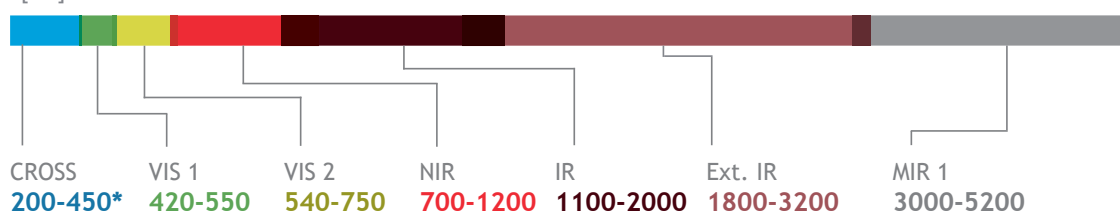
## 光学系セット

交換可能な様々な種類の光学系セットにより、UV(紫外域:200 nm)からMid-IR(中赤外域:12  $\mu\text{m}$ )までの広い波長域に対応。

## フォトダイオード (PD)

- 標準感度:  $1 \text{ W}^2$
- 繰返し周波数:  $> 50 \text{ kHz}$  (トリガーモード  $> 10 \text{ Hz}$ )
- 計測モード: コリニアとノンコリニア

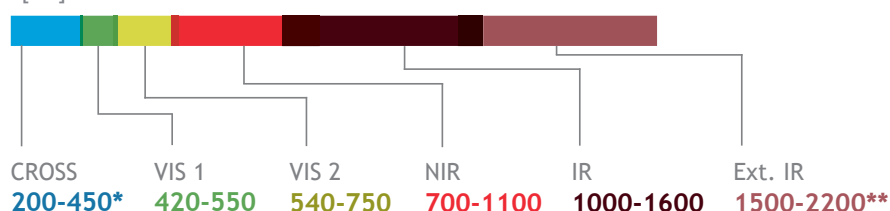
$\lambda[\text{nm}]$



## 光電子増倍管 (PMT)

- 標準感度: 最大  $10^{-6} \text{ W}^2$
- 繰返し周波数:  $> 250 \text{ kHz}$  (トリガーモード  $> 10 \text{ Hz}$ )
- 計測モード: コリニアとノンコリニア

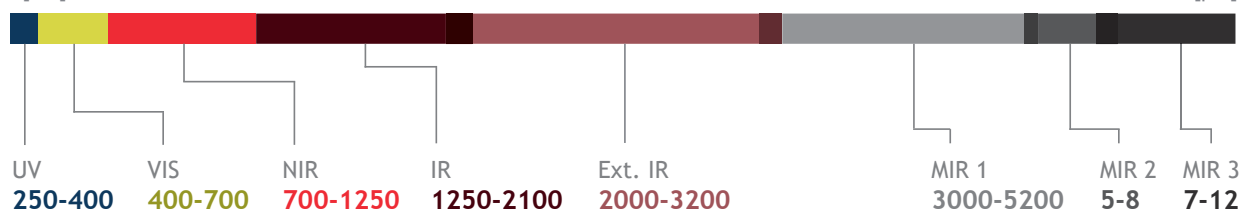
$\lambda[\text{nm}]$



## 2光子吸収 (TPA)

- 標準感度:  $< 0.1 \text{ W}^2$  (NIR/IR)
- $< 1 \text{ W}^2$  (VIS)
- $< 100 \text{ W}^2$  (UV)
- 繰返し周波数:  $> 50 \text{ kHz}$  (トリガーモード  $> 10 \text{ Hz}$ )
- 計測モード: コリニア強度

$\lambda[\text{nm}]$



\* クロス相関の場合: 実際の波長域は、お客様の仕様に基づいて定義。

\*\* 1500~2200 nmの波長域に対しては、高感度のIR検出器「Extended IR PD SELECTED」を使用することを推奨。

# FROG

## pulseCheck NXと FROGオプションによる 完全なパルス特性評価

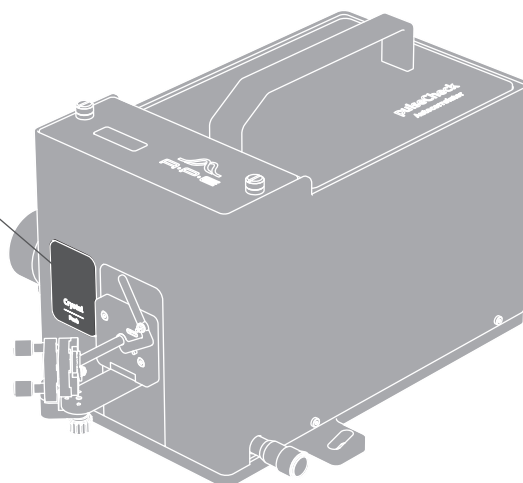
第二高調波発生FROGは、分光器を使用しない最も一般的な周波数分解光ゲート法（Frequency Resolved Optical Gating：FROG）。APEのpulseCheck NXオートコリレータは、オプションでFROGを追加できパルス特性評価が可能。このオプションにより、完全なスペクトル的・時間的パルス計測可能。



クリスタル（結晶）  
モジュール

FROGの設定：

1. 結晶をpulseCheck内部に装着
2. 集光ミラーをFROG用ミラーへ交換
3. FROGソフトウェアをアップグレード



VIS I  
420-550



VIS II  
550-700



NIR  
700-900



IR I  
900-1200



IR II  
1200-1600



Ext. IR I  
1800-2200

様々な波長域に対して異なる結晶モジュールを提供。

- 完全なスペクトル的特性・時間的パルス特性評価が可能
- 複数の異なる結晶モジュールにより、420～2200 nmの波長域をカバー
- 付属ソフトウェアによる、FROGトレースデータの処理と視覚化
- 20 fs～6 psのパルス幅に対応
- 最小0.1 nmの高いスペクトル分解能
- pulseCheck NX オートコリレータ\*に対応

\* 10 kHzを超えるレーザー繰り返し周波数が必須。

# FROGパルス特性評価ソフトウェア

## FROGトレース

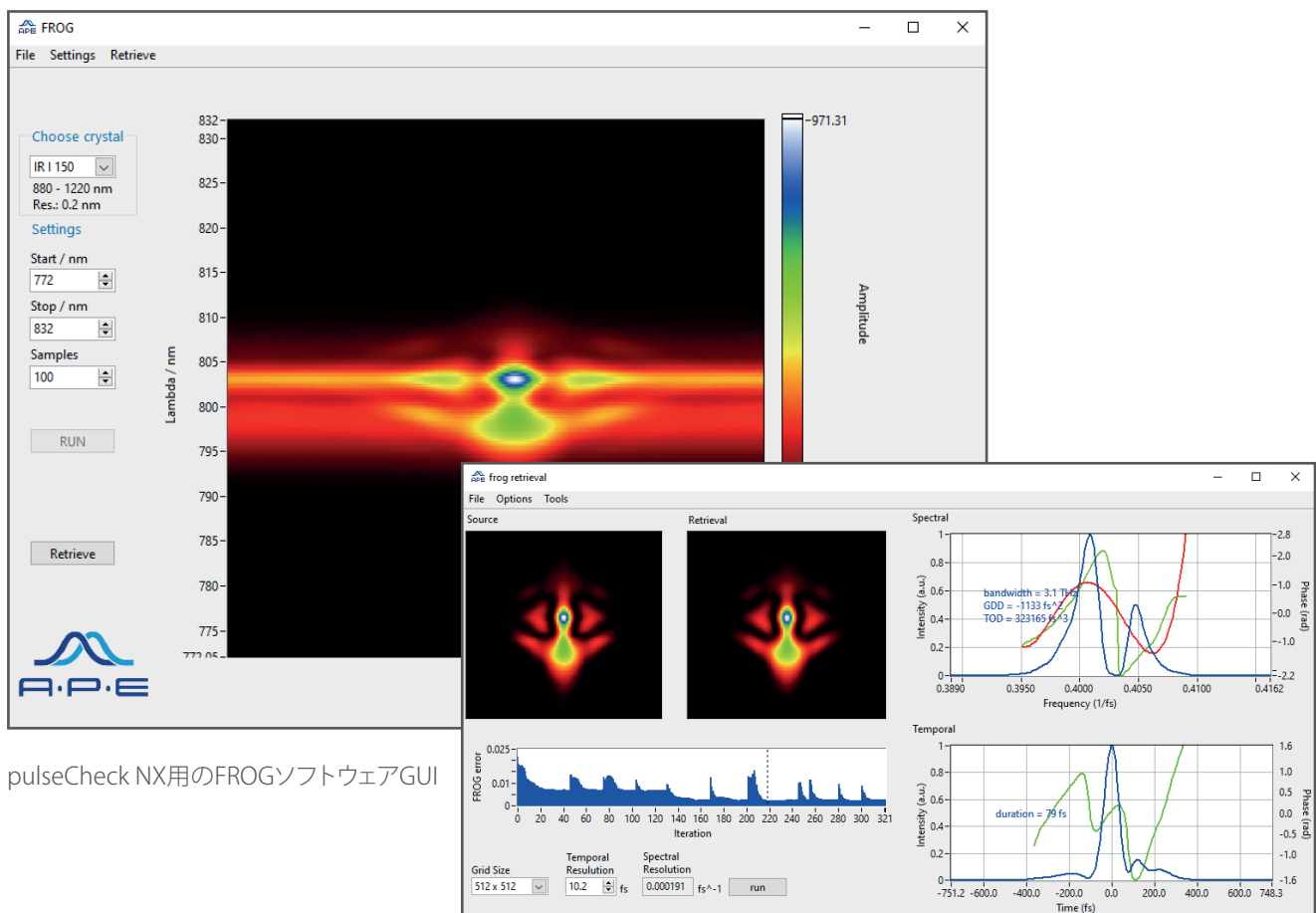
レーザパルス強度を時間と周波数（波長）の関数で示し、測定結果は、FROGトレースダイアグラムに加え、パルス波形とスペクトルの形式を視覚化。

解析に必要な位相整合チューニング角度をわずか数秒で自動的に検出。

## 波長とパルス幅の対応範囲

様々な結晶によって、420 nm～2200 nmの波長と20 fs～6 psのパルス幅への対応可能（数値はフーリエ変換限界パルスに対するもの）。最小0.1 nmの高いスペクトル分解能をサポート。

FROGオプションは、10 kHzを超えるレーザ繰り返し周波数を対象に設計されpulseCheck NXオートコリレータシリーズ（pulseCheck SM 2000を除く）に対して提供可能。



pulseCheck NX用のFROGソフトウェアGUI

## FROG結晶

FROG結晶	波長域	パルス幅範囲	スペクトルバンド幅	スペクトル計測分解能
VIS-I-200	420 nm … 550 nm	>200 fs	>1 nm	0.1 nm
VIS-I-50	420 nm … 550 nm	50 fs … 200 fs	>3 nm	0.3 nm
VIS-I-20	420 nm … 550 nm	20 fs … 70 fs	>10 nm	1.0 nm
VIS-II-150	550 nm … 700 nm	>150 fs	>1 nm	0.1 nm
VIS-II-50	550 nm … 700 nm	50 fs … 200 fs	>3 nm	0.3 nm
VIS-II-20	550 nm … 700 nm	20 fs … 60 fs	>20 nm	2.0 nm
NIR-200	700 nm … 900 nm	>200 fs	>1 nm	0.1 nm
NIR-50	700 nm … 900 nm	50 fs … 500 fs	>2 nm	0.2 nm
NIR-20	700 nm … 900 nm	20 fs … 50 fs	>30 nm	3.0 nm
IR-I-150	900 nm … 1200 nm	>150 fs	>2 nm	0.2 nm
IR-I-60	900 nm … 1200 nm	60 fs … 200 fs	>10 nm	1.0 nm
IR-I-30	900 nm … 1200 nm	30 fs … 60 fs	>50 nm	5.0 nm
IR-II-100	1200 nm … 1600 nm	>100 fs	>5 nm	0.5 nm
IR-II-50	1200 nm … 1600 nm	50 fs … 100 fs	>20 nm	2.0 nm
IR-II-30	1200 nm … 1600 nm	30 fs … 50 fs	>90 nm	9.0 nm
Ext. IR-I-50	1800 nm … 2200 nm	>50 fs	>190 nm	19 nm

FROG結晶は、「パルス幅範囲」が一致するもの、あるいは、「必要スペクトルバンド幅」がレーザーの実際のスペクトルバンド幅よりも狭いものが適する。

## pulseCheck SM 2000 広帯域オートコリレータ

### 最大500 psまでの パルス幅計測

pulseCheck SMは、広帯域遅延技術の改良により、前世代の広帯域モデルと比べて、スキャンレンジは3倍に拡大し、計測速度は5倍高速。また、高性能コントローラがpulseCheck SM本体に内蔵。

pulseCheck SMは、最大500 psの特に長いパルス幅に適する一方、20 fsまでの短いパルス幅の測定も可能。計測範囲全体で、1 fsの分解能と1 MHzのサンプリングレートを提供。



- 20 fs～500 psのパルス幅に対応
- 光学系セットによって200 nm～12 μmの波長域をカバー
- 計測速度は120 ps/秒
- 高性能コントローラを内蔵
- 干渉モード(コリニアモード)と強度自己相関モード(ノンコリニアモード)簡易切換え可能
- PMT、PD、TPAによって幅広い感度レベルに対応
- USBおよびEthernet接続とTCP/IPリモート制御をサポート
- ガウス型、Sech2型、ローレンツ型のフィッティングルーチン
- NISTトレーサブルキャリブレーション

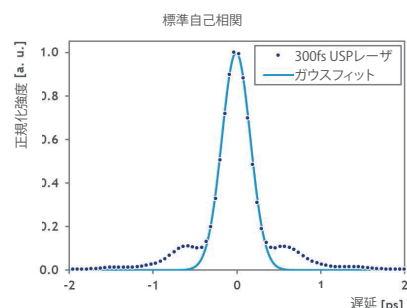
# pulseCheck SM Type 2

## 高コントラストを実現する 高ダイナミックレンジのオートコリレータ

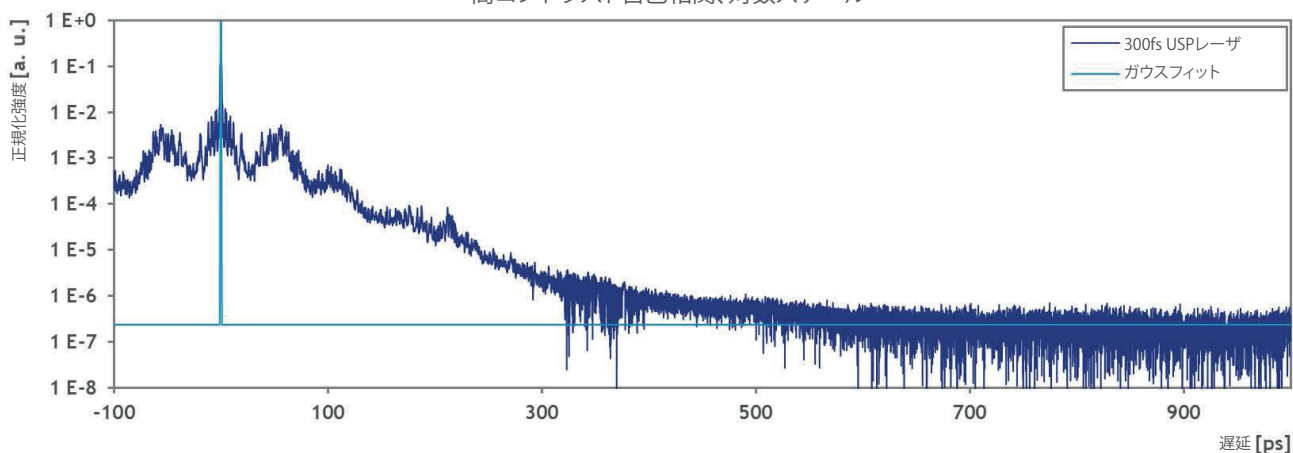
プリパルス & ポストパルス、  
ペDESTAL、サテライトを  
明らかに

pulseCheck Type 2オートコリレータを使用した高コントラスト計測により、メインパルスに伴うプリパルス、ポストパルス、ペDESTALの時間と強度に関する情報取得。

10<sup>7</sup>という高いダイナミックレンジを備えるpulseCheck SM Type 2は、材料加工や、超高強度の光と物質の相互作用の実験などに適用される、高強度で高繰返し周波数のレーザパルスの特性評価に最適。



高コントラスト自己相関、対数スケール



図：産業用フェムト秒ファイバレーザ（公称パルス幅：約280 fs）に対するSM Type 2による高コントラスト自己相関計測結果（計測スケールがpsであることに注意）。  
計測条件：約1030 nm、35 mW、1 MHz

- 高強度パルスとそのプリパルス、ポストパルス、ペDESTALを測定
- 高ダイナミックレンジ計測
- 非常に高精度な遅延分解能
- 自動位相整合
- NISTトレーサブルキャリブレーション
- 使いやすいソフトウェアとUSBインターフェース
- 標準化されたコマンドセットによるTCP/IPリモート制御で、簡単にプログラミング可能

## pulseCheck SM Type 2 High Contrast 仕様

pulseCheck	SM Type 2
パルス幅	<100 fs ~ 400 ps
波長域	700 nm ~ 1100 nm
推奨繰返し周波数	>10 Hz
最大入力パワー、パルスエネルギー	0.5 W (疑似CWレーザー) 5 μJ (kHzレーザー)
入力ビーム偏光	直線 水平、向きは任意
入力ビーム結合	自由空間 (開口6 mm)
入力ビーム高さ	76 mm
計測更新レート	120 ps/sec スキャンレンジに因る
遅延分解能	1 fs (通常動作時) 25 fs (高コントラスト動作時)
コントラスト	レーザー繰返し周波数によって異なり、>100 kHzの場合は $10^{-7}$ 、>10 Hzの場合は $10^{-6}$
計測モードの種類	ノンコリニア強度モードとコリニア干渉モードで切り替え可能
利用可能な検出器の種類	波長域固定のフォトダイオード (PD)
キャリブレーション	NISTトレーサブルキャリブレーション証明書付き
トリガモード	TTL <100 kHz
位相整合	ソフトウェアでサポート
強度分解能	18ビット
接続性	Ethernet、USB、TCP/IP (SCPIコマンドセット)
リモート制御	APIを介してプログラム可能

