



taccor comb

1GHz モード間隔の高出力光周波数コム



Laser QUANTUM

- ・ ターンキー方式GHz フェムト秒 taccor レーザー
- ・ CEO(キャリアエンベロープオフセット)周波数検出と安定化のための拡張モジュール
- ・ TL-1000 を使用し繰り返しレート安定化
- ・ 1GHz の大きなモード間隔
- ・ モード当たり(典型値 $1 \mu W$) の高出力
- ・ 安定で堅牢

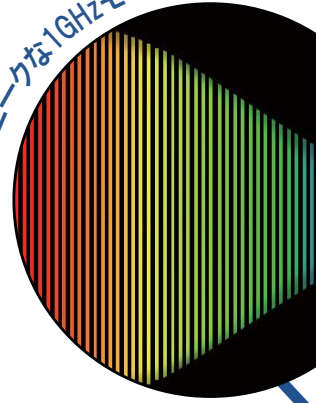
概要

光周波数コムとしての taccor のアプリケーションをサポートするために、Laser Quantum社は1GHz レーザーの標準機種コム拡張モジュールを加えたtaccor combをマーケットに投入しました。このコム拡張モジュールは最適化された分散補償モジュール、スーパーコンティニューム光発生と非線形 $\chi^{(2)}$ 干渉計で構成され、それらが密封された小型筐体に収められて、ターンキー方式のフェムト秒 taccor レーザーシステムと組み合わせられています。拡張モジュールは taccor の出力の内の約800mW を消費し、最高1Wにおよぶ出力が専用ポートから出射され実験に使用できます。またオプションの第二の拡張モジュールを使用してスーパーコンティニュームスペクトルまで広げることができます。

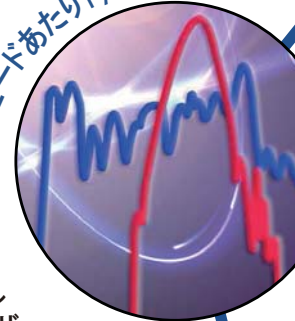
f_R での繰り返しレートRFシグナル以外に、taccor comb はキャリアエンベロープオフセット(CEO)周波数 f_{CEO} (図1)で35dB SN比(図2)を上回る長時間の安定した RF シグナルを提供します。 f_R と f_{CEO} を安定させるフィードバックエレクトロニクスが Laser Quantum社の TL-1000ユニットおよびパートナーであるMenlo Systems社製XPS800-Eに搭載されています。taccor comb は、筐体は密封され、プラグ・アンド・プレイ仕様で高いモード出力レベルを有し、可視光と近赤外のスペクトル範囲へ容易なアクセスが可能な光周波数コム発生源を求めているユーザーにとって理想的な製品です。1GHz の高い繰り返しレートは、広いモード間隔とスペクトル拡張後に典型値 $1 \mu W$ のオーダーで高いモード毎出力をもたらします。(図3)

非線形ノイズ増幅でかなりのコヒーレンスロスが発生してしまう前に、taccor comb の繰り返しレートでは、PCF (フォトニクス結晶ファイバー)におけるスーパーコンティニューム光の平均出力が、他の繰り返しレートより100MHz では100倍、あるいは 250MHz では16倍もの高い出力がえられます。(図4)。このことは、ヘテロダイニート計測やダイレクト周波数コム分光学アプリケーションにおいてすぐれたSN比をもたらします。

ユニークな1GHzモード間隔



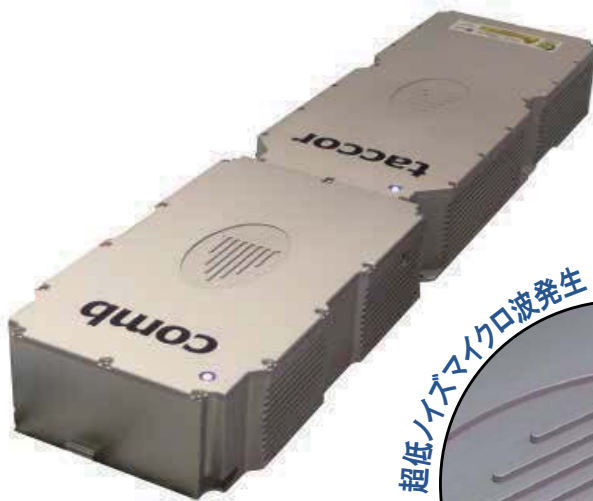
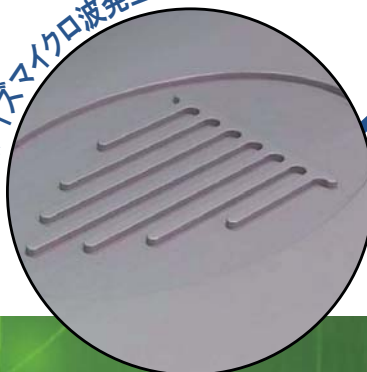
モードあたり $1 \mu W$ の標準



メトロロジー光周波数測定



超低ノイズマイクロ波発生



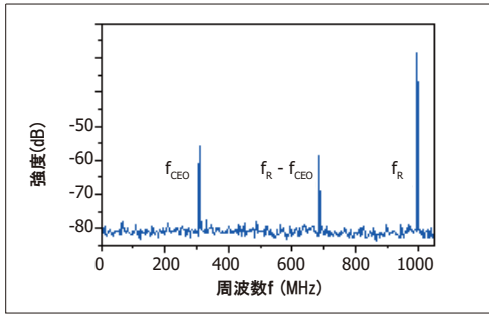


図1 周波数コムモジュール(増幅と f_{CEO} のフィルタリング前)のRFアウトプット

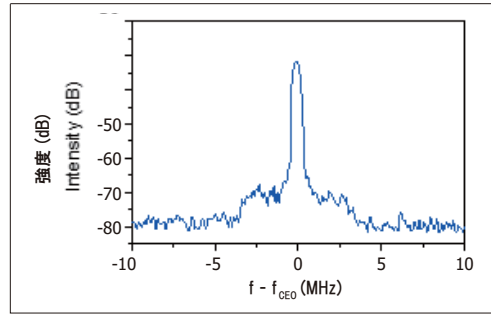


図2 増幅とフィルタリング後のロックされていない f_{CEO} 信号のクローズアップでSNRが100kHzの分解能帯域幅で測り35dBより大きいことを示す

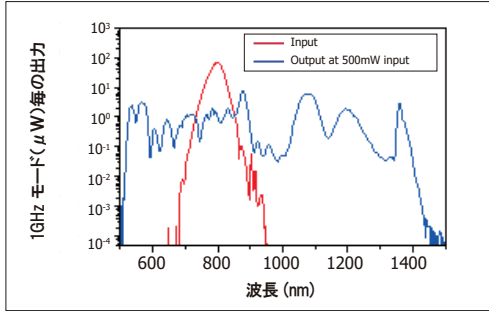


図3 赤: CEO検知と光コムアプリケーションで使われる典型的な taccor 出力スペクトル
青: 1m長フォトニック結晶ファイバー後の出力スペクトル

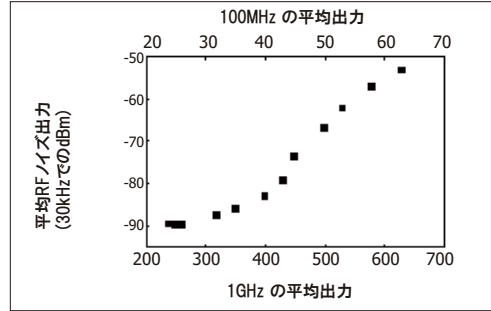


図4 100MHz レーザー(上部の目盛)と1GHz レーザー(下部の目盛)がスーパーコンティニューム光をPCFを通して発生させたときの、CEO検知での典型的な平均RFノイズ。
パルスエネルギーがおおよそ30pJの閾値以上で、非線形ノイズ増幅がPCFの出力を素早く非コヒーレント化するため、1GHzシステムの採用が強く推奨されます。参照から引用されたデータ[1]

安定したパフォーマンスのためのターンキー方式のデザイン

taccor combに搭載されている拡張モジュールは、ターンキー方式の taccor レーザーの長期的な安定を維持します。システムは再アラインメントや信号損失(図 5a)なしで何日間にも亘って f_{CEO} で安定したRF出力を提供します。

日ごとの使用ベースでは、taccor comb は最小のユーザー操作と15分未満のスタートアップ時間で f_{R} と f_{CEO} のロックを掛けることができます。 f_{R} と f_{CEO} のビートロックの長時間安定性が、図 5a と 5b に示されています。

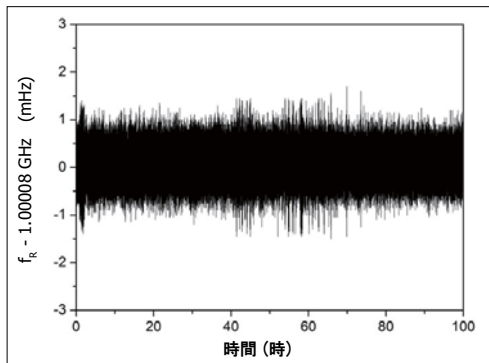


図5a 繰り返しレートで安定化されたtaccorの周波数の長時間偏差が100時間以上にわたり極めて小さいことを示す。(ただし、RF参照入力に制約される)

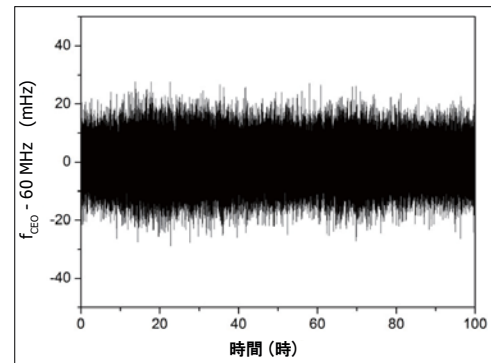


図 5b 60 MHz で安定化されたCEOビートのロックポイントからの長時間偏差が100時間以上にわたり極めて小さいことを示す。(ただし、RF参照入力に制約される)
数日間にわたる継続動作で再アラインメントは不要



CEP安定化

taccor内蔵の finesse pure CEP 励起レーザーは、Laser Quantum社の特許取得済みの CEPLoQ™ 技術を優れた特徴とし、532nm 励起光のダイレクト変調を可能にして、従来の手法、例えばAOM よりも速くてより安定した反応をもたらします。こうして非常に高いフィードバックバンド幅を適用して、CEO周波数を外部参照値に位相ロックできるようになります。(図6)

計測された f_{CEO} と所定の参照シグナル間の位相検出は、XPS800-E 安定化ユニット(Menlo Systems社製) を使って finesse pure CEP 入力へのフィードバックシグナルに変換されます。

大きなフィードバックバンド幅を持つ f_{CEO} の強固なロックにより、taccor combは300mrad以下の残余統合位相エラーにおさえることができます(図7参照)。

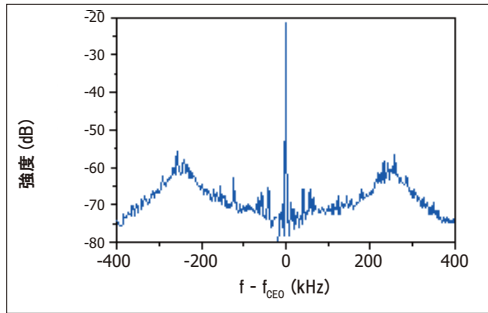


図6 位相ロックされた f_{CEO} のクローズアップデータは 200Hz 分解能帯域幅でえられ、搬送波の周りの対称ピークとして示されるサーボ帯域幅はおよそ 250kHz

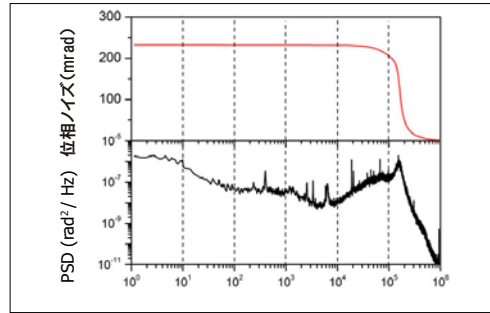


図7 安定化した f_{CEO} ビートの周波数分解および統合された残余総合位相ノイズは230mrad(1 MHz - 1 Hz)

繰り返しレート安定化

Laser Quantum社は高速のフェムト秒発振器の taccor シリーズにタイミング安定化ユニットであるTL-1000 をアクセサリとして提供しております。TL-1000 は、シンセサイザーや別のモードロックレーザーなどの外部参照値への発振器の繰り返しレートの位相ロックを100fs未満のタイミングジッタに押さえます。低タイミングジッタオプションが利用可能で、典型値10fs未満のタイミングジッタまで押さえることができます。(図8、9)適切な 10GHz 参照シンセサイザをユーザーが準備する必要があります。より高い高調波の繰り返しレートで安定化が達成できます。

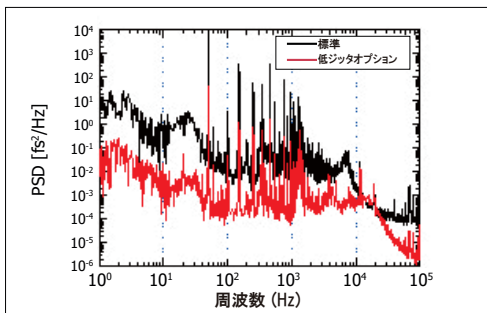


図8 TL-1000を使用して安定したtaccor 繰り返しレート f_r の位相ノイズ測定。黒色と赤色のグラフはTL-1000ユニットの標準ジッタ設定と低ジッタ設定による安定化に対応している

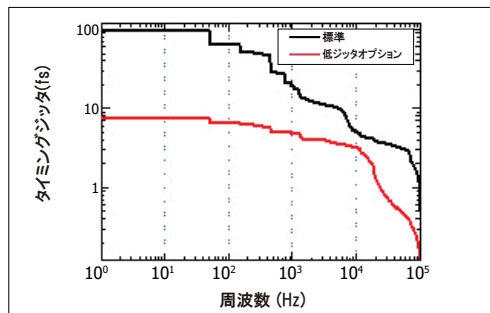


図9 図8から位相ノイズを統合することで得られたタイミングジッタ f_r の第10次高調波での安定化が 10fs未満のタイミングジッタを示す

アップグレード

特定のスーパーコンティニュームスペクトルが実験に必要な場合、taccor レーザー出力を拡張するためのフォトニック結晶ファイバー(PCF)を1、2本加える追加の拡張モジュールをtaccor combに付加することでアップグレードできます。



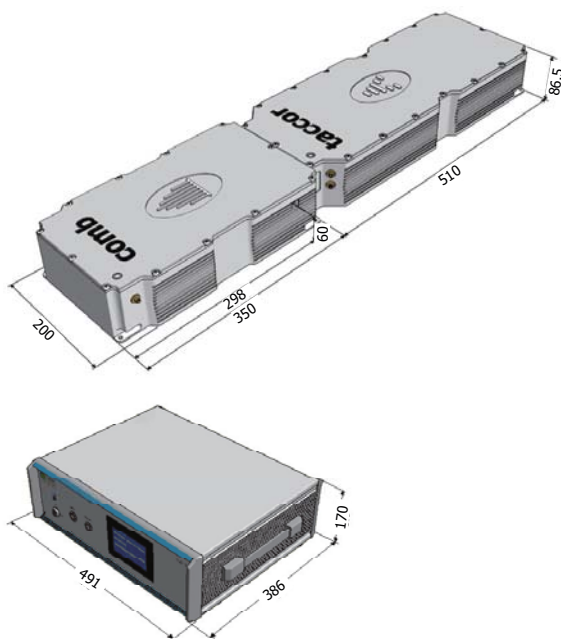
taccor comb

1GHz モード間隔の高出力光周波数コム



Laser QUANTUM

寸法(mm)



その他

- ・ 冷却システム内蔵
- ・ f-2f干渉計内蔵
- ・ f_{CEO} ロックエレクトロニクス内蔵
- ・ 重量:50kg



寸法図は説明だけを目的としています。
完全なエンジニア用図面については、お問い合わせください。

仕様*

	power 8	power 10
f_{CEO} 安定化後の有用な 800nm 出力	600 mW	1000 mW
f_{CEO} ビート信号-雑音(SN)比(100kHz バンド幅にて)	>35 dB	
繰り返しレート / コム間隔	1 GHz	
コムモード位置の波長選択性 (@375 THz)	最大20 GHz	
残余位相ノイズ(1Hz - 1MHz)	典型値 300 mrad	
モード毎のスーパーコンティニウムモジュール出力(典型値)*	100 nW ~ 1 μ W	
スーパーコンティニウム波長範囲(典型値)*	520 nm ~ 1200 nm	
安定性	1秒後に 5×10^{-13} ** または 1秒後に $< 2 \times 10^{-17}$ ***	
正確性	参照**と同様。 10^{-20} ***が例示されている。参考からの引用[2]	

* オプションのスーパーコンティニウムモジュールにて。このオプションでは、 f_{CEO} 安定化には不要な有用800nm 出力を消費します。

** f_{p} が RF 参照にロックされているとき。適切な RF シンセサイザーをユーザーが用意する必要があります。

*** f_{r} が光学式参照にロックされているとき。適切な光学式参照をユーザーが供給する必要があります。

参考

[1] L. Hollberg et al., "Optical frequency standards and measurements", IEEE J. Quantum Electron. **37**, 1502 (2001)

[2] L.-S. Ma et al., "Optical frequency synthesis and comparison with uncertainty at the 10^{-19} level", Science. **303**, 1843 (2004)

LASER QUANTUM LTD

tel: +44 (0) 161 975 5300

email: info@laserquantum.com

web: www.laserquantum.com

LASER QUANTUM INC

tel: +1 408 510 0079

email: info@laserquantum.com

web: www.laserquantum.com

LASER QUANTUM GmbH

tel: +49 7531 368371

email: info@laserquantum.com

web: www.laserquantum.com

VA4.0



プネウム株式会社

〒343-0845 埼玉県越谷市南越谷 5-15-3

TEL: 048-985-2720

FAX: 048-985-2721

http://www.pneum.co.jp

info@pneum.co.jp 1706