

光ファイバーコムの全光制御の実現

日大生産工（学部）○中村 優太 那須 栄一郎 松村 春輝
日大生産工 石澤 淳 野邑 寿仁亜

1. 背景

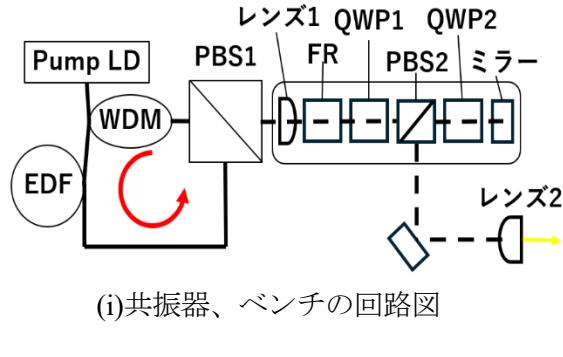
昨年、偏波保持ファイバー光コムの繰り返し周波数を制御する技術として、低速な光制御技術が実証された。そこでこれを発展させ、繰り返し周波数とオフセット周波数の高速かつ独立な制御を目指している。これにより、従来の機械的制御に比べ、制御の堅牢性が高められるため、衛星などの過酷な環境下で安定した動作が行えると同時に、超低雑音なマイクロ波信号が生成可能であるため、GPSの位置精度向上にも貢献できると考えられる。

2. Figure-9型のモード同期の概要

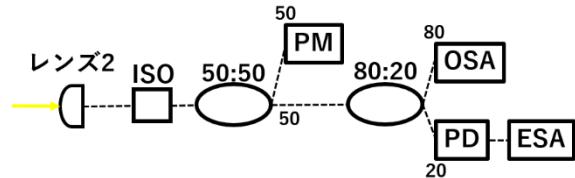
本研究で製作したFigure-9型共振器の装置構成を図1(i)に示す。本実験では、自作の空間系非相反位相シフターを導入したFigure-9型モード同期レーザーを構築した。1480 nm帯のPump LDから出た光がエルビウム添加光ファイバ(EDF)に入り、そこで光を励起する。そしてその増幅された光が共振器内の偏光ビームスプリッタ(PBS1)に入射しベンチ内にあるレンズ1、ファラデーローテタ(FR)、1/4波長板(QWP1)、空間系の偏光ビームスプリッタ(PBS2)を通過して空間系へと導かれ、もう一枚の1/4波長板(QWP2)を通過したのちミラーで反射されて再びレンズ1へ戻る。このとき、光はファラデーローテタ(FR)を通過する際に45°ずつ偏光方向が回転するため、往復で合計90°の偏光変化が生じる。その結果、入射時にP偏光であった光がS偏光へと変換され、共振器内の偏光ビームスプリッタ(PBS1)を介してWDM側へと戻る。この光の回転により、光は共振器内部で循環し、安定した光路が形成される仕組みとなっている。

つまり、エルビウム添加光ファイバ(EDF)によって励起された光が利得を生み出し、共振器内を周回する光を増幅している一方で、共振器によって光が一定周期でパルスとして出力され、 f_{rep} が生成される。これら2つの要素により、安定したパルス発振が実現される仕組みとなっている。

また、図1(ii)より空間系の偏光ビームスプリッタ(PBS2)から分岐された光は、非球面レンズでファイバーに結合され、アイソレータ(ISO)を通過した後50:50カプラーで分岐される。分岐された一方の光はパワーメータ(PM)に導かれ、もう一方は80:20カプラーを介してさらに分割される。ここで、80%の光は光スペアナ(OSA)へ、20%の光はフォトダイオード(PD)を経由して電気スペアナ(ESA)へ入力される構成となっている。



(i)共振器、ベンチの回路図



(ii)空間系PBS2の出力光を分岐した回路図

図1.モード同期レーザーの構成

3. 繰り返し周波数 f_{rep} の観測実験

図1に示す回路構成において、電気スペアナ(ESA)を用いて f_{rep} を観測した。図2はその観測結果を示しており、○の部分では等間隔にスペクトル線が並んでいることから、安定したモード同期発振が確認できる。一方、×の部分では一部の周波数間隔が不均一であるが、動作上大きな問題はないと考えられる。モード同期レーザーでは、光が共振器内を周回しながら増幅され、一定周期でパルスとして出力される。このときのパルスの f_{rep} は、光が共振器を1周するのに要する時間の逆数であり、共振器長 L 、屈折

Realization of All-Optical Control of a Fiber Comb

Yuta NAKAMURA, Eiitirou NASU, Haruki MATSUMURA
Atsushi ISHIZAWA and Junia NOMURA

率 n 、光速 c 、整数 m を用いて次式で表される。

$$f_{rep} = \frac{c}{nL} \times m$$

この式は、光が共振器内を1周する時間の逆数を表しており、観測された f_{rep} は光が共振器内を一定周期で周回していることを示す。したがって、安定したモード同期発振が成立していることを意味している。

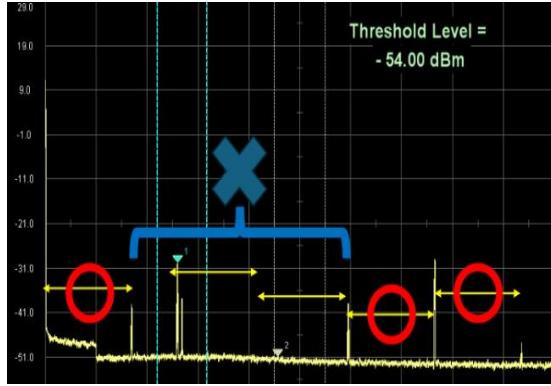
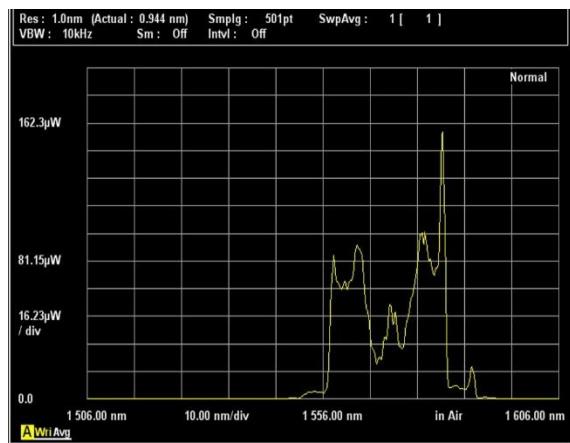


図2. 電気スペクトルアナライザ(ESA)の観測結果

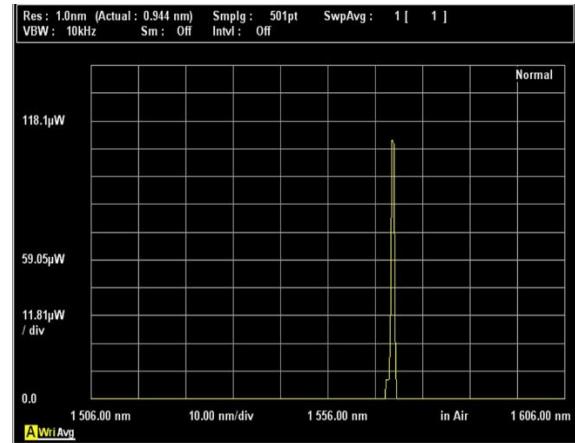
4. モード同期と電流変化の波形変化

共振器に微小な振動を与えたところ、光スペクトラム(OSA)上でモード同期のスペクトルを確認することができた。図3(i)(ii)に示すように、1/4波長板(QWP1)がある特定の回転角度のときのみ、モード同期がかかることを確認した。

次に、モード同期がかかることのPump LDの駆動条件を探索した結果、同期直前の駆動電流値の最小値は480 mAであった。モード同期後に駆動電流値を下げていくと、480 mA以下ではモード同期が維持できなくなることが確認された。この現象から、モード同期は同期直前の駆動電流値の大小には依存しないことが分かった。



(i) モード同期時の光スペクトル



(ii) モード同期ではない時の光スペクトル

図3. 1/4波長板QWPの回転角度の違いによるモード同期発生の有無

5. まとめ

本研究では、空間系に構成したFigure-9型共振器において、モード同期状態および f_{rep} の観測に成功した。これは、共振器内で光が安定して1周し続けていることを示し、安定したモード同期発振が実現していることを意味する。

今後は、この空間系のベンチに電気光学変調器(EOM)を組み込み、繰り返し周波数 f_{rep} の高速制御および長時間安定化をしていく予定である。電気光学変調器(EOM)を導入することで、高速なフィードバック制御が可能となり、周波数安定度の向上や雑音抑圧効果が期待される。

さらに、空間系の偏光ビームスプリッタ(PBS2)の出力ポートでは、out2の出力強度がout1よりも高いことが確認された[1]。そのため、今後はこの結果を検証しより高効率な出力光取得を目指して最適化を進める。

また、共振器全体を箱詰めすることで、温度変動、振動などの外的要因による雑音の低減を図り、より高い安定性を持つモード同期レーザーの実現を目指していく。

参考文献

- [1] “Dispersion management of a nonlinear amplifying loop mirror-based Erbium-doped fiber laser” Zbigniew Łaszczyk, grzegorz soboń (2020).