

# ディスポロシウム 中赤外ファイバレーザによる 3 μm 超ピコ秒パルス生成を実現する 周波数シフト法の再発見

短パルスファイバレーザをより長波長に拡張することは、大きな挑戦である。長波長化によって、レーザ手術、防衛、呼気分析などの新しいフォトニクアプリケーションが可能になることは間違いない。中赤外 (mid-IR) 域では、エルビウム (Er) ホロミウム (Ho) 添加フッ化物ガラスが利得媒体として使われてきた。これによりモード同期可飽和吸収体を使いピコ秒パルスの 2.7 ~ 2.9 μm ファイバレーザが実現する。しかし、3 μm 超で超短パルスファイバ発振の達成は、材料の限界により成功していない。

豪マッコリー大 (Macquarie Univer-

sity) の研究者は中赤外短パルス光源需要の認識に基づき、2.97 ~ 3.30 μm 可変、33ps パルスファイバレーザの開発に成功した。ここでは、ディスポロシウム添加利得ファイバと初期のレーザ開発から復活させた周波数シフトフィードバック (FSF) 構成の AOTF を用いている<sup>(1)</sup>。研究者によると、これは、これまでに実証されたなかで、最長波長、最も広い可変モード同期中赤外ファイバレーザである。

## FSFの再発見

標準モードロックレーザは、キャビティ変調器 (可飽和吸収体) を使ってい

る。これは、位相コヒーレンスを確立するファイバキャビティ内で一連のラウンドトリップにより、連続波 (CW) 動作で優先的にパルスを生成する。しかし FSF (周波数シフトフィードバック) ファイバレーザは大きく違っている。キャビティ周波数シフトがそれに含まれているので、キャビティ光の波長は、ラウンドトリップごとにシフトする。この周波数シフトは、縦モード構造の発展を不安定にし、さらに低励起光では、インコヒーレント放出の原因となる。生成された光が繰り返し自然放出光から増え、さらに多数ラウンドトリップ後に周波数シフトによって利得帯域の

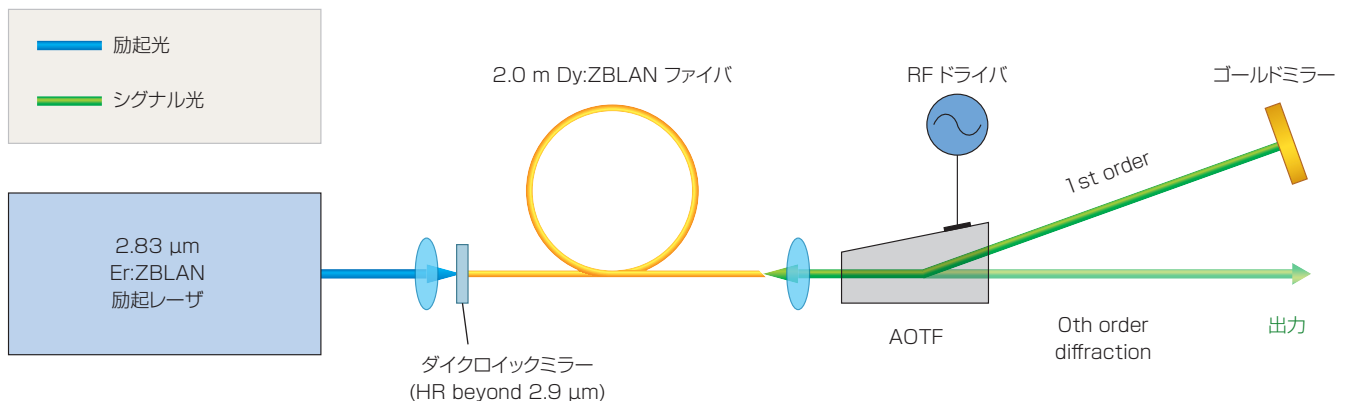
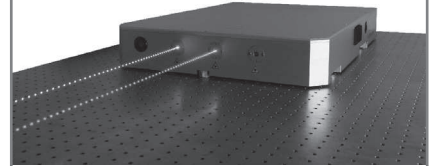


図1 可変、波長 3 μm 超ディスポロシウム添加 ZBLAN ファイバレーザの物理的セットアップ。(画像提供: マッコリー大)

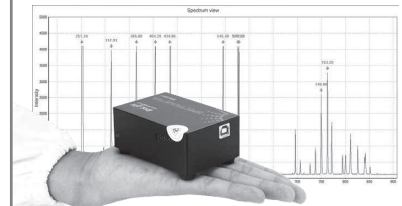
# 創業50年 日本最大級の レーザー専門商社



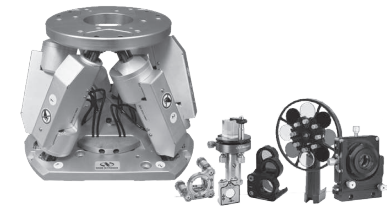
レーザー光源



光計測器・測定器



光学関連部品・光周辺機器



検査装置・イメージング機器



加工装置



光技術に関するご相談は

<https://www.japanlaser.co.jp/>

E-mail: [jlc@japanlaser.co.jp](mailto:jlc@japanlaser.co.jp)



本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0861

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711

外に掃き出されるからである。これは、コヒーレンスがない、ノイズの多い時間出力となる。

しかし、非線形効果がこの出力をコヒーレントピコ秒パルス状態に変換する。励起パワーが増加するにしたがい、キャビティ光の強度が増し、自己位相変調やスペクトル広がりになり（ファイバ固有のカー非線形性に起因）、これが周波数シフト効果を平衡させる。この平衡によりキャビティ光は利得帯域の外に掃き出されず、コヒーレント放出が生ずる。事実上、その平衡メカニズムが、高強度波形、一連の短パルスの生成に優先的に有利に働く。

FSF技術は1960年代に生まれた。ここでは、動くキャビティミラーによって、位相同期レーザにつながるドップラ周波数シフトの導入となり、これが後に1990年代早期にファイバレーザに拡張された。しかし、それは以降ほとんど注目されなかった。半導体可飽和吸収体が、近赤外(NIR)でパルス生成の優位技術として登場したからである。しかし、もっと長い中赤外波長では、可飽和吸収体は、十分に開発されていないので、FSF技術は、次世代パルス光源開発には非常に有用となり得る。

## ディスポロシウム添加ZBLAN

FSFファイバレーザの物理的セットアップは、エルビウム添加ジルコニア・バリウム・ランタン・アルミニウム・ナトリウム・フッ化物(ZBLAN)レーザ、Er:ZBLANで構成されている。Er:ZBLANレーザは、ディスポロシウム添加ZBLAN(Dy:ZBLAN)光ファイバ長

を励起する(図1)。研究者によると、ディスポロシウムは、ファイバレーザには比較的新しい利得材料であり、ErやHoよりも放出光はかなり長波長よりになる。キャビティは、励起出力にダイクロミックミラーと利得ファイバ出力にゴールドミラーを持つAOTFがある。AOTFは、進行音響波を使って動作し、それは、これらの波が与えるドップラシフトであり、これが周波数シフトを起こす。

前に説明したように、FSFは、約33psパルス幅のパルスを出力する。AOTFへの印加RF周波数を変えることで、そのフィルタの中心波長は変えられ、2.97~3.30μmまでレーザは可変である。この範囲のすべての波長で、2.7nJまでの安定したピコ秒パルスを生成できる。

「このパルス動作は、実は偶然に発見された」とマッコリー大研究フェロー、ロバート・ウッドワード氏(Robert Woodward)は言う。「AOTFの用途を調べているとき、当初、我々は生成されたパルスを見て驚いたが、歴史的なレーザ文献にさかのぼって調査をし、詳細なシミュレーションを行った後、FSFがこれを説明できることを発見した」。達成した波長は、多くの重要な分子の吸収フィンガープリントをカバーしている。また、研究者はアンモニアガスセンシングアプリケーションを調査している。ウッドワード氏の結論は、「ディスポロシウムとFSFの組合せは、以前に中赤外ファイバレーザ技術を妨げていた、現在の材料限界を克服するための素晴らしいステップである」である。(Gail Overton)

## 参考文献

(1) R. I. Woodward, M. R. Majewski, and S. D. Jackson, "Mode-locked dysprosium fiber laser: picosecond pulse generation from 2.97 to 3.30 μm," accepted for publication in APL Photonics, 3, 11 (2018).