

ノイズ変調に基づく低コヒーレンス BOCDR の空間分解能の検討

Study on spatial resolution in low-coherence BOCDR based on noise modulation

○大坪 謙太¹、野田 康平^{1,2}、高橋 央¹、李 ひよん³、中村 健太郎²、水野 洋輔¹
¹横浜国立大学 工学研究院 ²東京工業大学 未来研 ³芝浦工業大学 工学部

OKenta Otsubo¹, Kohei Noda^{1,2}, Hiroshi Takahashi¹, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura², and Yosuke Mizuno¹
¹Yokohama National University ²Tokyo Institute of Technology ³Shibaura Institute of Technology
 E-mails: otsubo-kenta-wv@ynu.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

光ファイバに沿った歪や温度の分布を測定する技術として、ブリルアン散乱に伴う周波数シフトの歪や温度に対する依存性を利用した手法が広く研究されている。種々の方式が知られているが、ここでは相関領域法に注目する。

相関領域法は通常の構成でも空間分解能が高く、mm オーダーでの歪分布検出が実証されている[1,2]。しかし、導路診断など、さらに高い空間分解能が必要となる場面も少なくない。そこで、低コヒーレンス光源を利用した、ブリルアン光相関領域解析法 (BOCDA) が提案された[3,4]。この方式では、空間分解能が光源のコヒーレンス長で決定され、すでにサブ mm オーダーの空間分解能が実現されている。しかし、BOCDA 特有の問題点である両端光入射の必要性和、プローブ光生成やロックイン検出に伴うコストは依然として問題であった。

これらの欠点を克服するため、我々は最近、片端入射型で比較的低コストであり、かつ、高い空間分解能を有する新技術「低コヒーレンスブリルアン光相関領域反射計 (BOCRR)」を提案した。すでに本システムによる基本動作を実証したものの[5]、システムの性能に直結するノイズ変調レーザの線幅、および、線幅に依存する空間分解能についての詳細な検討は行われていなかった。

そこで本研究では、まず、ノイズ変調強度に対するレーザ線幅 (空間分解能) の関係について定性的に評価した。次に、擬似的な歪として分散シフトファイバ (DSF) を用いた分布測定を行い、本システムにおいて 4 cm の空間分解能を実証した。

2. 原理と実験系

今回用いた低コヒーレンス BOCRR の実験系を Fig. 1 に示す。光源は狭線幅の半導体レーザであるが、ファンクションジェネレータ (FG) によって直流バイアスと振幅が可変のノイズ変調を施すことで、線幅可変の低コヒーレンス光源として利用できる。この出力光はコヒーレンス長が短いため、測定ファイバ (FUT) 中のあらゆる位置から戻ってくる自然ブリルアン散乱光のうち、参照光との光路差がゼロとなる位置 (等光路点=測定点=0 次の相関ピーク) からの散乱光のみが干渉し、観測されるブリルアン利得スペクトル (BGS) に寄与する。また、参照光路に設置された可変遅延線を用いて光路長を制御することで、FUT における等光路点の位置を掃引し、分布測定を実現できる。なお、本システムの空間分解能は、FUT における光のコヒーレンス長で決定されるため、ノイズ変調が印加された光源の線幅が広がるほど、コヒーレンス長が短くなり空間分解能が向上する。

3. 実験

まず、ノイズ変調強度 (a) 直流バイアスと (b) 振幅) と光源の線幅の依存性について調査した。各パラメータをそれぞれ変化したときの光源の線幅を、光スペクトルアナライザ (OSA) で測定した。線幅が 4.0 GHz 以上の場合のみ、OSA で実測が可能であった (周波数分解能の制約による)。振幅を 6.0 V_{p-p} に固定し、直流バイアスを変化させたときの光源の線幅を Fig. 2(a) に示す。直流バイアスが大きくなるにつれて、線幅はおおよそ線形に増大した。5.2 V 以下となる範囲において測定結果が不安定となった理由は、電圧区間がレーザの閾値電圧を含むためと考えられる。次に、直流バイアスを 7.0 V に固定し、ノイズ振幅を変化させたときの光源の線幅を Fig. 2(b) に示す。振幅が大きくなるにつれて、線幅は増大した。このとき、ノイズ変調を印加しない場合の線幅は仕様書から既知 (3 MHz) であるので、4 GHz 以下の場合の線幅は、この値と各測定値をフィッティングして推定した。これは、理論空間分解能を決定するための基礎データである。

次に、本実験系で実現可能な空間分解能を確かめるため、DSF を用いた分布測定を行った。変調電圧は、先の実験結果を考慮し、直流バイアス : 7.0 V, 振幅 : 6.0 V_{p-p} に設定した (このときの理論空間分解能は 1.6 cm であった)。FUT の構造を Fig. 3 に示す。全長 4 cm の DSF の両端を単一モードファイバ (SMF) に融着接続した。DSF とは異なったブリルアン周波数シフト (BFS) を有するため、その長さを歪区間とみなすことができる。DSF の

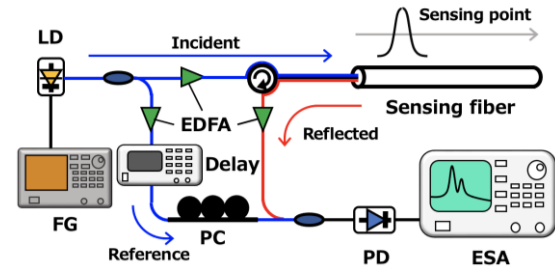


Fig. 1. Experimental setup of low-coherence BOCRR.

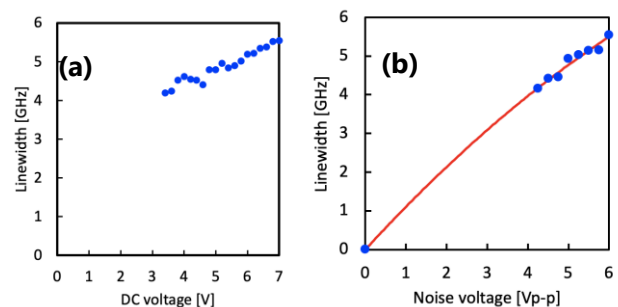


Fig. 2. Laser linewidths plotted as functions of (a) the DC voltage and (b) the peak-to-peak noise voltage.

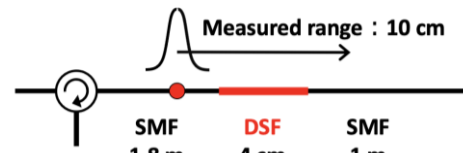


Fig. 3. Structure of the fiber under test.

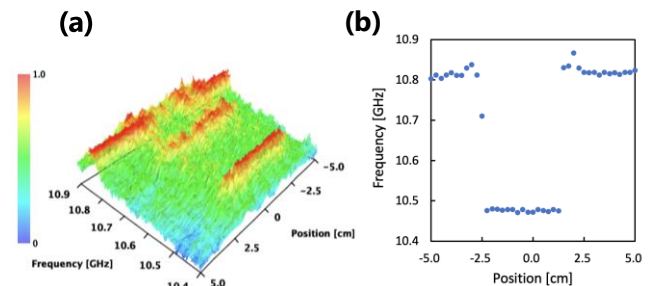


Fig. 4. Measured distributions of (a) BGS and (b) BFS.

区間を中心に周囲 10 cm を測定区間とし、全体で 40 点の BGS および BFS を取得した。

観測された BGS 分布の結果を Fig. 4(a) に示す。BGS の光パワーは各測定点において正規化されている。10.65 GHz 付近に強いノイズが現れたが、これは DSF 中の高次ピークであることが確認されている。また、観測された BFS 分布の測定結果を Fig. 4(b) に示す。実際の DSF 長に相当する 4 cm の区間において BFS の急峻な変化が観測された。以上より、ノイズ変調に基づく低コヒーレンス BOCRR を用いて、空間分解能 4 cm を実証した。

参考文献

- [1] K. Y. Song, Z. He, and K. Hotate, Opt. Lett. **31**, 2526 (2006).
- [2] H. Lee, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 020303 (2018).
- [3] J. Zhang, et al., Opt. Lett. **43**, 1722 (2018).
- [4] A. Zarifi, et al., APL Photon. **3**, 036101 (2018).
- [5] 大坪 他, 2022 秋応物, 23p-C302-5.