

光周波数コムを光源としたブリルアンセンサ長距離化の検討 Measurable distance elongation for Brillouin sensors using frequency comb lightsource

農工大工, °澤口 光, 柏木 謙, 田中 洋介, 黒川 隆志

Tokyo Univ. of Agri. and Tech., °H. Sawaguchi, K. Kashiwagi, Y. Tanaka, T. Kurokawa

E-mail: kkash@cc.tuat.ac.jp

1. はじめに

環境モニタリングのための分布型ブリルアンファイバセンサが注目されている。電磁雑音の影響がなく比較的安価なシステムであり、耐環境性に優れているといった点で有用である。

分布的に光ファイバの歪・温度を測定するためには、パルス光を入射して散乱光の到達時間から計測するタイムドメイン法が一般的である。パルス光に対してプローブ光を対向伝搬する BOTDA 法とパルス光のみを入射する BOTDR 法とがあり、前者は信号強度が強く得られ、後者は片側入射のため信頼性が高いという利点がある。しかし、測定ファイバが長距離になると、遠方からのブリルアン散乱光が微弱になり測定が困難になる。このとき入射光強度を大きくしても、入射端付近で散乱光が集中してしまい遠方まで到達しない。そこで我々は、光源に光周波数コムを用いた長距離化の手法を提案した[1]。

今回、光周波数コムを光源とする BOTDA 法において、20 m 空間分解能で 100 km の測定に成功したので報告する。

2. 光周波数コムによるセンサ長距離化の原理

光周波数コムを光源とすることで、ブリルアン散乱の閾値を高めて長距離化を図ることができる[2]。我々はさらに、コム間隔をブリルアン周波数シフト量 (BFS) の 2 倍に設定することで、一層の長距離化を図れることを見出した。丁度 2 倍に設定することで、隣接コムが生成するブリルアン利得スペクトルと損失スペクトルが相殺され、高周波側のコムから低周波側のコムへブリルアン散乱を介してパワーが移行する。このため遠方まで高強度の光を伝搬させることができ、長距離測定が実現できる。

3. 実験結果と考察

3.1. 反射光・透過光特性測定

100 km の SMF を測定対象として反射光・透過光強度の入射光強度依存性を測定し、単一周波数光源・コム光源について比較した。測定ファイバの BFS は 30 °C で 10.86 GHz であり、光周波数コムは強度変調器によって、コム間隔を BFS の 2 倍 (21.72 GHz) とそれ以外 (20 GHz) の 2 通りにおいて生成した。Fig. 1 にコムのスペクトルを、Fig. 2 に測定結果を示す。

単なるコム光源 (20 GHz) の場合、ブリルアン閾値は単一周波数光源に比べて 3.8 dB 増加した。コム間隔を BFS の 2 倍 (21.72 GHz) とすると、単なるコム光源 (20 GHz) に比べてさらに 4 dB 閾値が増加した。結局、コム間隔が BFS の 2 倍の場合は、単一周波数光源と比べて 7.8 dB 増加した。透過光は単一周波数光源と比べて 9.3 dB 増加した。以上の結果より、コム光源を用いることで入射端付近の散乱光抑圧と、遠方まで高強度の透過光伝搬を確認できた。

3.2. 測定距離 100 km における BOTDA 分布測定

100 km の SMF を用いた BOTDA 距離分布測定の実験系を Fig. 3 に示す。コム発生器 (OFCG) による入射光を増幅し、

9:1 カプラで分波した。10 %側をポンプ光とし、パルス幅 200 ns (空間分解能 20 m) に強度変調し、偏波スクランブルを施した後に 4.3 dBm に増幅して測定ファイバに入射した。90 %側は単側波帯 (SSB) 変調器で BFS 付近に周波数シフトし、-6.3 dBm に増幅後にポンプ光と対向伝搬させた。散乱光は -6.4 dBm に増幅して、BPF で最も低周波の散乱光を取り出し、平均化した波形をオシロスコープで観測した。

プローブ光の周波数を掃引すると、ファイバの各位置での BFS でピーク信号強度が現れる。このときの距離分布を Fig. 4 に示す。下側 (青) と上側 (赤) のデータでは、ポンプ光を入射する方向を逆にした。長距離においては数 MHz の揺らぎがあるものの、両者とも図中左端付近の特徴的な BFS 分布を捉えており、距離 100 km の分布測定が実現できた。

4. まとめ

光周波数コムを用いたブリルアン散乱の閾値上昇効果を確認し、BOTDA 分布測定実験において 20 m 空間分解能で 100 km の長距離測定が可能であることが確認できた。本手法は片側入射の BOTDR 法にも適用可能であり、長距離測定を目指している。

本研究は JST A-STEP (AS232Z02748B) の助成による。

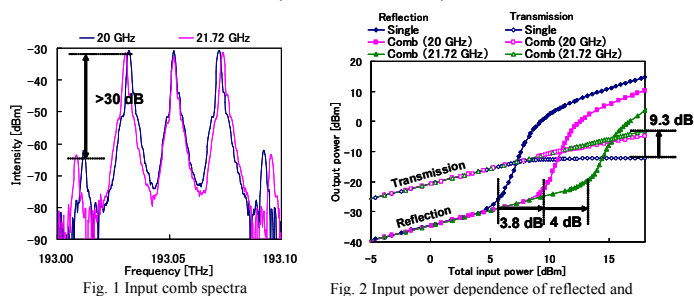


Fig. 1 Input comb spectra

Fig. 2 Input power dependence of reflected and transmitted light

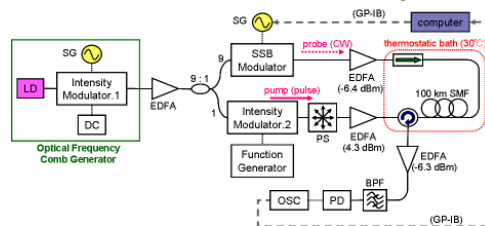


Fig. 3 Experimental setup for distributed measurement in BOTDA scheme

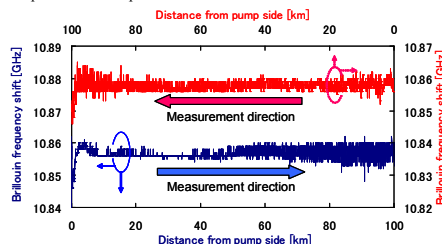


Fig. 4 BFS distribution along 100-km-long SMF

参考文献

- [1] 臼井ら, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 15p-B9-11, 2012.
- [2] 小菅ら, 2011 通信学会総大会, 通信(2),329,2011.