

BOCDR 分布型光ファイバセンサにおける位相変調による背景光雑音の低減手法

Suppression of Background Noise in BOCDR with Phase Modulation

松岡 大 岸 真人 保立 和夫
Ora Matsuoka Masato Kishi Kazuo Hotate

東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻

Department of Electrical Engineering and Information Systems, School of Engineering, The University of Tokyo

1. はじめに

構造物に光ファイバを張り巡らせ、歪・温度を分布的に測定できる構造物ヘルスマニタリングシステムが近年注目されている。このような測定系の一つとして、当研究室では Brillouin 光相関領域リフレクトメトリ（Brillouin Optical Correlation Domain Reflectometry: BOCDR）を提案・研究している。BOCDR においては二重周波数変調法を用いて高い空間分解能を維持しつつ広い測定レンジを得ることができた[1]が、同時に生じる背景光雑音の増大が歪ダイナミックレンジの低下等を招いていた。

本研究では、Brillouin Optical Correlation Domain Analysis (BOCDA) において近年提案された位相変調による背景光雑音の低減法[2]と二重周波数変調法を BOCDR に適用した系において、シミュレーションによって位相変調法に適したパラメータを探索した。これにより、1km 超の被測定光ファイバ（FUT）において高空間分解能と高歪ダイナミックレンジを比較的高い SN 比で実現した。

2. 二重周波数変調法と位相変調法を用いた BOCDR システム

BOCDR は光ファイバ中の自然 Brillouin 散乱のスペクトル (Brillouin Gain Spectrum: BGS) を観測することにより、そのピーク周波数シフト (BFS) からファイバの歪や温度を測定できる。BOCDR の測定系は干渉計であり、干渉計の光源を正弦波状に周波数変調すると可干渉度の高い相関ピークが光ファイバに沿って周期的に現れる [3] という性質を用いて分布測定を行う。FUT には一つだけ相関ピークが立つように調整する必要があり、測定距離が長いと空間分解能が悪化する。そこで、光源の変調にもう一つ整数倍の周波数の変調も施すと、遅い変調周波数で相関ピーク位置が決まり、速い変調周波数で空間分解能が決まる。これを二重周波数変調法[1]という。しかし、この技術のみでは相関ピーク周辺のサイドローブによる背景光雑音が増大するという欠点があった。

本稿ではこの背景光雑音を抑制する手法として位相変調法[2]を適用した。干渉計で何れかの光路に位相変調をかけると、ビートスペクトルは複数の線スペクトルに変化する。線の間隔や強度はそれぞれ位相変調の変調周波数 f_p および変調振幅 V の 2 つのパラメータで決まる。BOCDR では光源が周波数変調されており、相関ピークでは局所的に細くて強度の高いビートスペクトルが存在するのに対し、サイドローブではやや広がった強度の低いビートスペクトルとなる。これに位相変調を加えると、相関ピークは大きく影響を受けて広がってしまうのに対し、サイドローブはもともとスペクトルが広がっているためにあまり影響がない。従って、位相変調をかけることで、相関ピークのみ除去された BGS を取得できる。これと位相変調しない時の BGS

との差 (Differential BGS: D-BGS) を取ることで、有効に背景光雑音の低減が図れる。位相変調には最適な f_p と V の値があり、これにより D-BGS の SN 比を向上できる。

3. 1km 超の FUT における高空間分解能・高歪ダイナミックレンジの実現

二重周波数変調法と位相変調法を組み合わせたときの実験結果は、速い変調周波数のみの変調に位相変調法を施したときのシミュレーション結果と酷似しているため、これによって位相変調に適した f_p と V を探索した。そのシミュレーション結果と実験結果が図 1 と図 2 である。FUT は 1100m のシングルモードファイバ (SMF) とし、光源の変調周波数 f_m を 70kHz と 20 倍の 1.4MHz、 f_p を 40MHz、 V を π としている。更に 1050m の地点に、鉄の弾性限界程度の歪が生じた時を再現できる分散シフトファイバ (DSF) を 15cm 融着し、D-BGS のピーク周波数を分布的に測定したのが図 3 であり、DSF 部分が 18cm と検出された。このとき、ダブルモジュレーションは 50 倍 (f_m は 70kHz と 3.5MHz) であり、シミュレーションによる最適化で f_p を 40MHz、 V を 2π としている。速いダブルモジュレーションを行うと SN 比が劣化するため 8 回平均をとっている。理論上の空間分解能は 5.2cm、測定レンジは 1250m なので 24038 点の観測が可能で、これは BOCDR では最良の結果である。

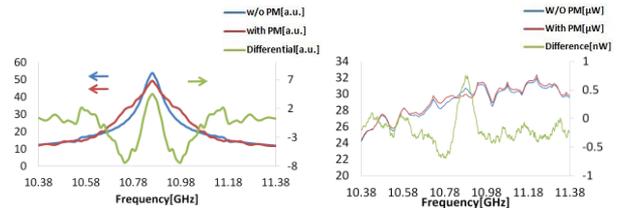


図 1 シミュレーション結果



図 2 実験結果

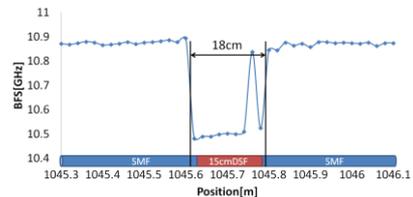


図 3 歪分布測定結果

参考文献

- [1] Y. Mizuno, Z. He and K. Hotate, *Opt. Lett.*, 18(6), 2010.
- [2] J. H. Jeong, K. Lee, K. Y. Song, J. M. Jeong and S. B. Lee, *Opt. Lett.*, 20(24), 2012.
- [3] K. Hotate and Z. He, *J. of Lightwave Technol.*, 24(7), 2006.