

利得および損失スペクトルと2周波プローブによる 傾斜利用 Brillouin 時間領域解析

Slope assisted Brillouin optical time domain analysis employing dual frequency probe with gain and loss spectra

農工大工, °齋藤 大樹, 田中 洋介

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., °Daiki Saito, Yosuke Tanaka

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

分布型 Brillouin ファイバセンサは、光ファイバ内で発生する Brillouin 散乱の温度・歪み依存性を利用したセンサで、構造ヘルスマニタリング等への応用が期待されている。分布測定は、光ファイバ内の任意の位置における Brillouin 散乱を識別することで実現する。様々な分布測定手法の中で、ポンプ・プローブ法である Brillouin 時間領域解析 (BOTDA) は代表的な手法の一つであり、我々も検討を進めている。一方、温度・歪みの測定原理は、Brillouin 利得スペクトル (BGS) の中心周波数が光ファイバの温度・歪みに比例して変化することにある。一般に Brillouin センシングでは、プローブ光の周波数掃引を行い、BGS とポンプ光の周波数差である Brillouin 周波数シフト (BFS) を測定する。しかし、周波数掃引を行うことで短時間測定が制限されるという問題がある。この対策として、傾斜利用 (SA) 法が提案されている [1]。SA 法ではプローブ光の周波数を固定し、光ファイバを通過したプローブ光のパワーが BGS の変化に伴い変化することを利用する。しかし、BGS はローレンツ曲線であり、そのままでは線形な傾斜範囲が狭い。そこで、線形な傾斜範囲を拡大する手法が各種提案されている [2,3]。今回、我々は2つの周波数成分を持つプローブ光を用い、一方の成分を BGS で増幅し、他方を Brillouin 損失スペクトル (BLS) で減衰させることで、もとの BGS よりも広い線形領域を簡易的な構成で実現することに成功したので報告する。

Fig.1 に原理図を示す。周波数 ν_0 のポンプ光により、 $\nu_0 - \nu_{BFS}$ 付近に利得係数 $G(\nu - (\nu_0 - \nu_{BFS}))$ の BGS が、 $\nu_0 + \nu_{BFS}$ 付近に損失係数 $L(\nu - (\nu_0 + \nu_{BFS})) = -G((\nu_0 + \nu_{BFS}) - \nu)$ の BLS が生じる。但し、 ν_{BFS} は BFS である。2つの周波数成分 $\nu_0 - \Delta\nu \pm \nu_m$ からなるプローブ光は、ポンプ光と同じ波長のレーザー光を強度変調し、周波数シフト $\Delta\nu$ を加えて生成する。プローブ光の2つのスペクトルピーク強度は等しく、それぞれ BGS と BLS により増幅、減衰する。このとき光ファイバ伝搬後のプローブ光の規格化強度は

$$\begin{aligned} A(\nu_{BFS}) &= G((\nu_0 - \Delta\nu - \nu_m) - \nu_0 + \nu_{BFS}) + L((\nu_0 - \Delta\nu + \nu_m) - \nu_0 - \nu_{BFS}) \\ &= G(\nu_{BFS} - \nu_m - \Delta\nu) - G(\nu_{BFS} - \nu_m + \Delta\nu). \end{aligned} \quad (1)$$

で与えられる。Fig.2 に $A(\nu_{BFS})$ のシミュレーション結果を示す。 $\Delta\nu$ の調整だけで $A(\nu_{BFS})$ 内の線形領域の範囲や傾きを制御できることが分かる。更に、提案手法の SA-BOTDA により分布計測に成功したので当日報告する。

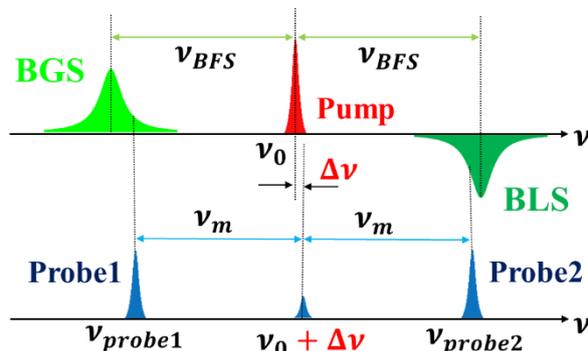


Fig.1 Principle of proposed method.

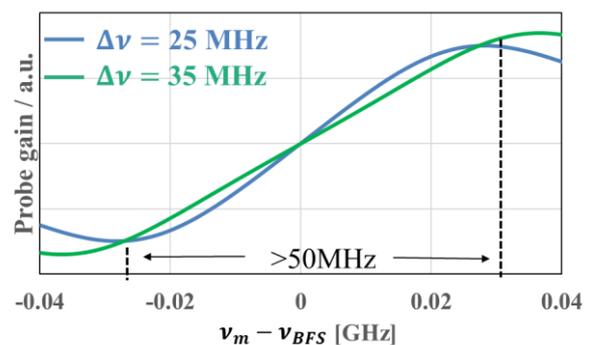


Fig.2 Amplified probe power (Simulation).

参考文献

- [1] Y. Peled, A. Motil, L. Yaron, and M. Tur, "Slope-assisted fast distributed sensing in optical fibers with arbitrary Brillouin profile," *Opt. Express* 19, 19845-19854 (2011). [2] H. Lee, N. Hayashi, Y. Mizuno, and K. Nakamura, "Slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry: proof of concept," *Photon. Jour.* 8, 6802807 (2016). [3] Y. Tanaka and T. Hasegawa, "Brillouin optical time domain analysis using spectrally reshaped 12-GHz spacing multimode pump and probe," *Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2020*, paper SF3P.7 (2020).