

多モードポンプ・プローブによる誘導 Brillouin 散乱の誘起と 高感度ファイバセンサ応用

Stimulated Brillouin Scattering excited by multimode pump and probe and its application to highly sensitive fiber optic sensor

東京農工大¹, 国立天文台², ○尾崎裕太¹, 田中洋介¹, 黒川隆志^{2,1}

Tokyo University of Agriculture and Technology¹, National Astronomical Observatory of Japan²,

○Yuta Ozaki¹, Yosuke Tanaka¹, Takashi Kurokawa^{2,1}

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

光ファイバ内の Brillouin 散乱を利用した様々な温度センサ, 歪みセンサが研究されている. 特に, 光ファイバ長手方向に分布する温度や歪みを測定する分布型センサ [1], [2] は, 橋梁, 堤防, ビル等の大型構造物のヘルスマニタリングへの応用が期待されている. Brillouin センサは, Brillouin 利得スペクトル (Brillouin gain spectrum: BGS) の周波数を与える Brillouin 周波数シフト (Brillouin frequency shift: BFS) が, 光ファイバの温度や歪みにより変化することを利用して, これまで, 分布型 Brillouin センサでは, より高い分解能の達成が1つの大きな課題であり, 様々な検討が進められてきた. 一方, BFS の温度依存性や歪み依存性をより高感度で測定する検討はあまりない. これは BFS が光ファイバの材質や構造で決まっていることが一因として考えられる. BFS の温度係数や歪み係数を変えるために特別な光ファイバを使用すると, 安価で高性能な通信用光ファイバを利用するメリットが失われる. 本発表では, BFS を高感度測定する手法として, 光ファイバに対向入射するポンプ光, プローブ光に多モードの光を用いた新手法を考案したので報告する.

Fig.1 に多モードポンプ・プローブによる誘導 Brillouin 散乱の生成と BFS 高感度測定の原理を示す. 多モードポンプ光のモード間隔は一定値 $\Delta\nu_{\text{pump}}$ で, 各モードの強度は等しい. ポンプ光の各モードに対して, それぞれ BFS ($=\nu_B$) だけ低い周波数 (波長 $1.5\mu\text{m}$ であれば $\nu_B \sim 11\text{GHz}$) を中心に BGS が発生する. ここで, $\Delta\nu_{\text{pump}}$ は $\nu_B < \Delta\nu_{\text{pump}} < 2\nu_B$ の範囲とする. プローブ光もまた各モードの強度が等しく, 等間隔の多モード光だが, モード間隔がポンプ光と $\delta\nu$ だけ異なる (Fig. 1 は小さい場合). また, プローブ光スペクトルは, BGS 内に入るように合わせる. このとき, 生成する誘導 Brillouin 散乱によるストークス光のスペクトルは, 包絡線形状が BGS を周波数軸方向に $\Delta\nu_{\text{probe}}/\delta\nu$ だけ拡大したものとなる. したがって, BFS が Δf 変化すると, 包絡線の周波数は $(\Delta\nu_{\text{probe}}/\delta\nu)\Delta f$ 変化することになり, BFS の高感度測定が実現する. なお, $\Delta\nu_{\text{pump}} > \Delta\nu_{\text{probe}}$ ならば, BGS に対し包絡線は左右反転し, $\Delta\nu_{\text{pump}} < \Delta\nu_{\text{probe}}$ ならば反転しない.

原理確認実験として, 波長 $1.5\mu\text{m}$ の光源と強度変調器, およびスペクトル整形器により, 3モードで平坦なポンプ光, プローブ光を生成し, 光ファイバ内で誘導 Brillouin 散乱を発生させた. ポンプ光, プローブ光のモード間隔は $\Delta\nu_{\text{pump}} = 12.50\text{GHz}$, $\Delta\nu_{\text{probe}} = 12.48\text{GHz}$ とし, $\delta\nu = 0.02\text{GHz}$ とした. 光ファイバは, 恒温器内に設置し, 5°C から 45°C の範囲で 10°C 間隔で温度を変化させた. Fig. 2 にストークス光スペクトルの包絡線について測定した周波数シフトを示す. 得られた直線の傾きは, $0.65\text{GHz}/^\circ\text{C}$ で, 一般的な BFS の温度係数 $1.08\text{MHz}/^\circ\text{C}$ [3] の約 600 倍である. この値は, 感度向上の理論値 $\Delta\nu_{\text{probe}}/\delta\nu = 624$ とよく一致しており, 提案手法の原理と有効性が確認された. 今後, 本手法の Brillouin optical time domain analysis 等への適用を検討する.

本研究は, 日本学術振興会科学研究費補助金 (16H04374) の助成を受けた.

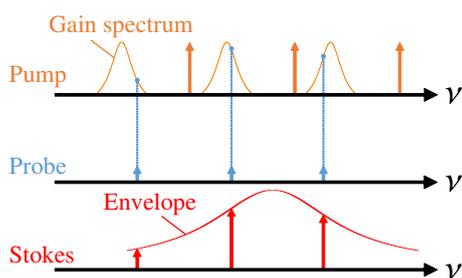


Fig.1 Stimulated Brillouin scattering by multispectral pump and probe

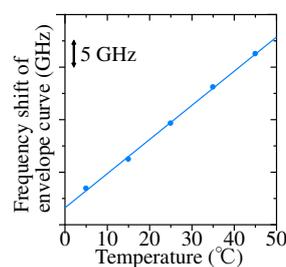


Fig.2 Center frequency shift of the envelope curve for multimode Stokes spectra as a function of temperature

参考文献

- [1] Horiguchi T, Shimizu K, Kurashima T, Tateda M, and Koyamada Y. Development of a Distributed Sensing Technique Using Brillouin Scattering. *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol. 13, No. 7, pp. 1296–1302, 1995.
- [2] Mizuno Y, He Z, and Hotate K. Measurement range enlargement in Brillouin optical correlation-domain reflectometry based on temporal gating scheme. *OPTICS EXPRESS*, Vol. 17, No. 11, pp. 9040–9046, 2009.
- [3] C. A. Galindez-Jamioy and J. M. López-Higuera. Brillouin Distributed Fiber Sensors: An Overview and Applications. *Journal of Sensors*, Vol. 2012, , 2012.