

## 多周波ブリルアン散乱による分布型温度センシング -スペクトル整形技術による仮想的ブリルアン利得合成の導入

Distributed temperature sensing based on multi-frequency Brillouin scattering

-Introduction of virtual synthesis of Brillouin gain spectrum by spectral shaping technique

東京農工大 °遠藤 佑真, 長谷川貴大, 田中 洋介

Tokyo Univ. of Agri. and Tech., °Yuma Endo, Takahiro Hasegawa, Yosuke Tanaka

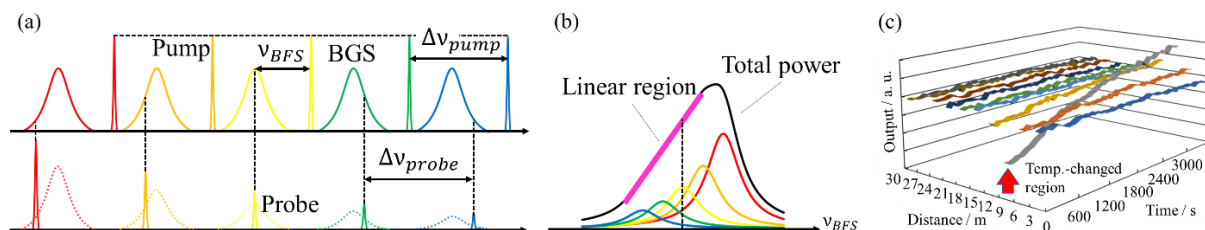
E-mail: s198144z@st.go.tuat.ac.jp

光ファイバ内で発生するブリルアン散乱の温度・歪み依存性を利用したブリルアンセンサは、構造ヘルスマモニタリング等への応用が期待されている。一般に、ブリルアンセンサは、ブリルアン利得スペクトル(BGS: Brillouin gain spectrum)の周波数シフト(BFS: Brillouin frequency shift)がファイバの温度・歪みに対して線形に変化することを利用する。BFS は、入射光の周波数掃引による BGS 測定から求めることが多いが、このことが測定時間の短縮化の障害にもなっている。この問題を解決する有効な手法として BGS の周波数軸上での移動を特定の周波数のプローブ光に対する利得の変化から検出する傾斜利用ブリルアン法が報告されている[1, 2]。傾斜利用ブリルアン法では、利得の傾斜が線形とみなせる領域が広いほど温度・歪の測定レンジを広くとれる。そこで、光源の周波数変調等により BGS を整形することが試みられている。一方、我々はこれまで短光パルス生成等に用いられる光スペクトル整形技術を応用した多周波ブリルアン散乱によるブリルアンセンサを検討してきた[3]。この手法では、単一波長の手法と異なり、原理的に周波数掃引をすることなく一括して利得スペクトルの取得ができる。今回、100 MHzにわたる BFS の変化に比例して多周波散乱光の合計パワーが変化する手法を考案したので報告する。

Fig.1(a)に本手法の原理を示す。中心波長 1.5  $\mu\text{m}$  の平坦なピークを持つ多周波ポンプ光の各周波数成分に対して、 $\nu_{BFS}$ (約 11 GHz)ダウンシフトした周波数を中心に BGS が発生する。ポンプ光より周波数間隔がわずかに大きく、概形を予め計算した適切なパワー比にスペクトル整形した多周波プローブ光を対向入射すると、プローブ光の各周波数成分は、それぞれ対応する BGS によって増幅され、BFS の変化に対して合計パワーが線形に変化するような仮想的な BGS が形成される(Fig1.(b))。各周波数成分の間隔は単一波長光源の変調周波数を変えることで正確に設定できる。各周波数成分の間隔は約 12 GHz と広く、不要な非線形効果の発生が抑えられる。また、スペクトル強度比は時空間変換法によるスペクトル整形技術により容易に制御可能である。これらにより、温度・歪みの測定レンジと感度は高い自由度での調整ができる。

30 m の被測定ファイバを用いた確認実験により、100 MHz の領域で BFS と散乱光パワーの間の線形性が確認された。また、空間分解能 3 m の領域における 20°C~50°Cの温度変化をリアルタイムで測定することに成功した(Fig.1(c))。

本研究は、科学研究費補助金(JP16H04374, JP18K18852)による助成を受けた。



**Fig. 1 (a) Spectra of reshaped multi-frequency pump, probe and Brillouin gain, (b) relationship between BFS and total power of amplified probe light, and (c) distributed temperature measurement result.**

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 Y. Ozaki, "Brillouin frequency shift measurement with virtually controlled sensitivity," *Appl. Phys. Exp.* **10**, 062504 (2017).