

ブリルアン光相関領域解析法における 光源周波数変調波形の最適化による歪ダイナミックレンジの拡大 Optimization of optical frequency modulation waveform in Brillouin optical correlation- domain analysis for enhancing strain measurement dynamic range

豊田工大, °(M2)伊東 直紀, (P)大川 洋平, 保立 和夫

Toyota Technological Institute, °Naoki Ito, Youhei Okawa, and Kazuo Hotate

E-mail: sd19404@toyota-ti.ac.jp

ブリルアン散乱を用いた光ファイバセンサは、温度や歪の分布測定を高い性能で実現している[1]。特にブリルアン光相関領域解析法（BOCDA 法）は、様々な性能向上手法を導入することで高空間分解能、高速測定を可能にしている[2,3]。一方、高性能測定を実現するにあたり、複雑なシステム構成や高コスト化が問題になっている。我々のグループでは、光源周波数変調（FM）波形を工夫することで、従来手法では必須であった光強度変調器（IM）を用いずに背景光雑音の低減を行う手法を提案し、実験的に実証した[4]。しかし、光源であるレーザダイオード（LD）の直接 FM 特性により、背景光雑音の低減に効果的な FM 波形を追求するには理論的・実験的な検討が必要となっていた。そこで我々は、まず提案手法の数値シミュレーションを行い、歪ダイナミックレンジの拡大に効果的な FM 波形を構築した[5]。

本研究では、上記数値シミュレーションにより得られた効果的な FM 波形を活用して実験を行った。その波形は Fig. 1(a)の形の FM 波形である。これで FM が施されると、時間平均光源パワースペクトラム形状が背景光雑音スペクトラム形状を適切に整形できる形状となる[5]。しかし、このとき、光源の直接 FM における伝達特性を考慮して入力波形を補償する必要がある。Fig. 1(a)を入力電流波形とした場合、Fig. 1(a)は多くの高調波成分を含んでいるため、光源の伝達特性により FM 波形が Fig. 1(b)のように歪んでしまう。光源の FM 伝達特性 $H(\omega)$ は、システム为非線形性が無視できるとすると、Fig. 1(a)の入力波形を $I(\omega)$ 、Fig. 1(b)の出力波形を $O(\omega)$ としたとき $O(\omega) = H(\omega) \times I(\omega)$ と表すことができる。Fig. 1(a)と Fig. 1(b)から周波数特性 $H(\omega)$ を算出し、Fig. 1(a)をあらかじめ歪ませた Fig. 1(c)の波形を作成した。Fig. 1(c)の入力電流波形を光源へ入力すると、Fig. 1(d)に示す所望の FM 波形を取得することができた。Fig. 1(c)を光源への入力電流波形として使用し、測定箇所に理論空間分解能の長さの歪を加えたときの BOCDA 出力スペクトラムを Fig. 2 に示す。Fig. 2 で、破線は無歪位置を測定した BOCDA 出力スペクトラムで、そのピーク周波数（約 11 GHz）が歪量を与える。実線は歪部を測定した出力スペクトラムである。ここでは 3440 $\mu\epsilon$ の歪を与えており、背景光雑音の最大値（Noise level）より十分大きいスペクトルピーク値となっている。歪が増加してピーク値が Noise level となったところで歪ダイナミックレンジが制限される。Fig. 2 から、歪ダイナミックレンジは 7520 $\mu\epsilon$ と導かれ、FM 波形が正弦波のときに比べて、今回合成した FM 波形によっておよそ 3000 $\mu\epsilon$ だけ歪ダイナミックレンジが拡大されたことがわかる。

今後、本手法で開発した FM 波形をさらに改善しつつ、歪分布測定の実証実験を行う計画である。

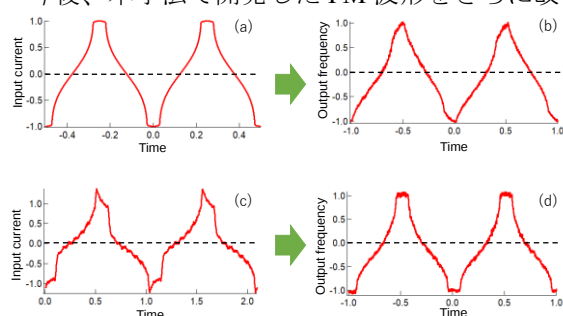


Fig. 1 Current waveform into LD and output FM waveform. (a) Input current waveform, (b) output FM waveform, (c) compensated input current waveform, and (d) compensated output FM waveform.

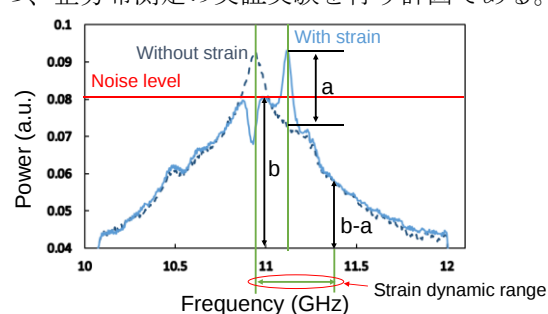


Fig. 2 BOCDA output spectrum using the compensated FM waveform.

[1] K. Hotate, *Appl. Sci.* **9** (1), 187 (2019).

[2] K. Y. Song, Z. He, and K. Hotate, *Opt. Lett.* **31** (17), 2526-2528 (2006).

[3] C. Zhang, M. Kishi, and K. Hotate, *Appl. Phys. Express* **8** (4), 042501-1-042501-3 (2015).

[4] N. Ito, M. Kishi, and K. Hotate, 24th MICROOPTICS CONFERENCE, P-7, Toyama, Japan (2019).

[5] 伊東直紀, 山下健二ホドリーゴ, 保立和夫, 第 80 回応物秋季学術講演会, 21a-E204-2, 札幌 (2019).