

## 波長掃引光源を用いたファイバブラッググレーティングによる振動の実時間測定の検討

## Real-time Vibration Measurement by Fiber Bragg Gratings using Swept Wavelength Light Source

○山口達也<sup>1</sup>, 篠田之孝<sup>2</sup>\*Tatsuya Yamaguchi<sup>1</sup>, Yukitaka Shinoda<sup>2</sup>

Abstract: We are planning construction of structural health monitoring system by using fiber Bragg gratings (FBGs) which are optical fiber sensor. We develop a real-time measurement system based on a swept wavelength light source. This paper shows the results that measured the reflected wavelength of FBGs every 0.1ms in real-time.

## 1. はじめに

本研究の目的は橋梁やビルなどの人工構造物並びに航空機などの稼働中の構造物の健全度を把握するためのファイバブラッググレーティング (FBG) を用いた構造ヘルスマニタリングシステムの構築である<sup>[1],[2]</sup>. 筆者らは発振波長を掃引できる波長掃引光源を構築し, FBG によるひずみの実時間測定システムを開発した<sup>[3]</sup>. 本文は FBG の反射光のピーク位置検出に重心法を用いて, 反射波長を 0.1ms 毎に実時間測定した結果の報告である.

## 2. 実験装置

図 1 は構築した波長掃引光源 TL の構成である. TL は半導体光増幅器 SOA, 波長可変光フィルタ OTF, 2 つの光アイソレータと光カップラにより構成した. SOA の片端から出射した光は光アイソレータ 1, OTF, 光アイソレータ 2 を介し, 再び SOA の他端に戻す. OTF は発振器 OSC の制御電圧により選択された波長のみを透過する. 出力光は OTF を透過した光の一部を光カップラにより取り出す. 波長の掃引は OSC の制御電圧に掃引周波数  $f_m$  の三角波波形を用い, OTF の透過波長を可変させることで行う.

図 2 は測定システムの構成である. 測定システムは光学系と測定系から構成される. 光学系は構築した TL, 2 つのひずみ測定用 FBG, 光サーキュレータ及び検出器により構成した. TL からの光は光サーキュレータを介し, FBG1, FBG2 で反射される. 反射した光は再びサーキュレータを介し, 検出器に入射する. FBG の反射波長  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$  は各々 1550, 1555nm であり, 反射スペクトルの半値幅は各々 0.09, 0.08nm である. 測定系はデータ集録装置 DAQ とコンピュータ PC により構成した. OSC は TL の制御信号に同期したトリガ信号と外部クロックを DAQ に入力し, TL の掃引と DAQ の集録を同期させて測定を行う. 実験は TL の掃引周波数  $f_m$  を 10kHz, DAQ の外部サンプリングクロック  $f_s$  を 20MHz とし, 複数の FBG の反射波長を 0.1ms 毎に実時間測定した.

図 3 は波長掃引方式による反射波長測定の概念図である. 図(a)は光源の波長掃引波形, 図(b)は検出器の反

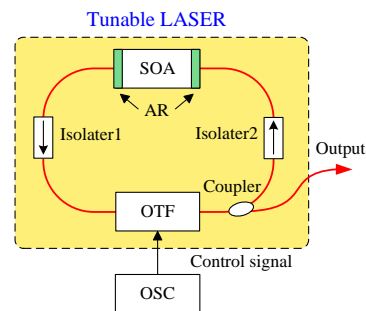


Figure 1. Tunable laser

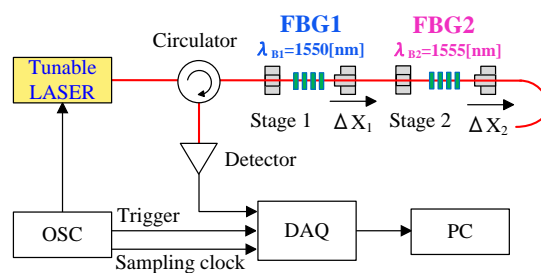


Figure 2. Experimental setup

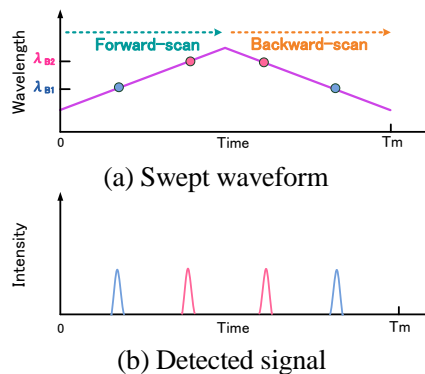


Figure 3. Swept waveform and detected signal

射信号を示している。波長掃引方式では光源からの掃引光により異なる反射波長の FBG が時系列で検出できる。

ここで、FBG からの反射信号が時系列に取得されるため、FBG の反射波長の分解能が DAQ のサンプリングクロック  $f_s$  に依存する問題がある。そこで、本測定システムでは取得した FBG の反射信号に対して重心法を用いて反射光のピーク位置検出を行い、反射波長の算出を行った。

実験では光源の光が長波長側にシフトする順掃引を用いて、時間間隔  $T_m (=1/f_m)$  秒毎に FBG の反射波長を測定する。

### 3. 実験結果

図 4 は波長掃引により、取得した FBG の反射信号  $V(t)$  の測定結果である。図(a)は光源の順掃引における FBG の反射信号の結果であり、各 FBG の反射信号が検出できている。図(b)は FBG1 の反射信号を拡大した結果であり、10 点前後で反射信号の検出ができています。ここで、重心法を用いた反射信号のピーク位置  $N_{gp}$  は取得した反射信号のピーク位置のデータ番号  $N_0$  を中心に式(1)により算出する。ただし、 $M_m$  は反射信号のピーク位置前後のデータ数である。

$$N_{gp} = \frac{\sum_{i=N_0-M_m}^{N_0+M_m} V(i) \times i}{\sum_{i=N_0-M_m}^{N_0+M_m} V(i)} \dots \dots (1)$$

図 5 は  $M_m$  に対する反射波長の標準偏差の結果である。 $M_m$  が 0 のときは反射信号のピーク位置のデータ番号  $N_0$  のみを用いており、ピーク位置前後のデータ数  $M_m$  により標準偏差が改善されていることがわかる。 $M_m$  が 5 以上のとき、各 FBG の標準偏差が  $2.0 \times 10^{-3}$  nm 未満となっている。

そこで、 $M_m$  の数を 5 とした重心法を用いて反射波長の測定を行った。測定は共振周波数 440Hz の音叉の側面に FBG1 を取り付けて行った。図 6 は反射波長を実時間測定した結果である。図(a)は音叉による反射波長の時間波形であり、時間経過と共に音叉の振動が減衰する様子が測定できている。図(b)は図(a)の時間領域  $t=4\sim 4.02$ s を拡大した結果であり、音叉による 440Hz の振動波形が測定できている。

### 4. まとめ

本システムは FBG の反射光のピーク位置を重心法を用いて算出し、0.1ms 毎に反射波長を実時間測定でき、共振周波数 440Hz の振動波形の測定が行えることを示した。

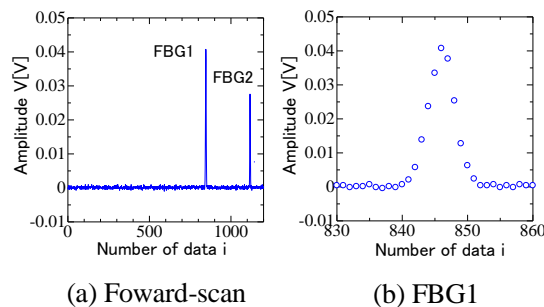


Figure 4. Results of reflected signal by FBGs

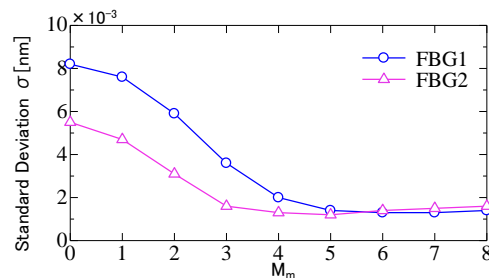


Figure 5. Results of standard deviation of reflected wavelength to  $M_m$

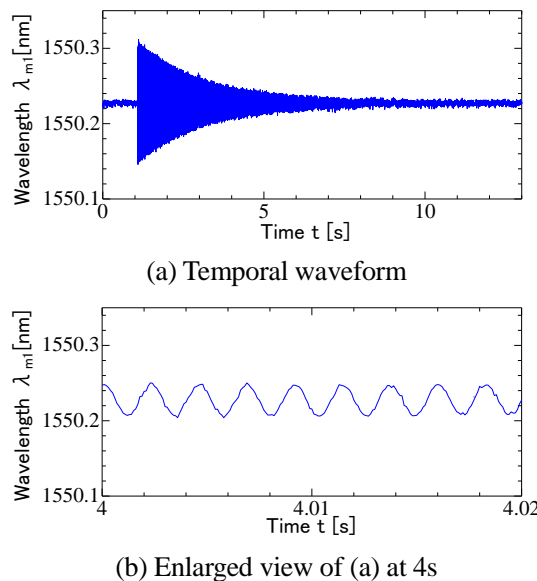


Figure 6. Results of real-time measurement of vibration with a tuning fork

### 参考文献

[1] J.M.Lopez-Higuera ed., *Handbook of Optical Fibre Sensing Technology*, Wiley (2002).  
 [2] T.Saitoh, K.Nakamura, Y.Takahashi, H.Iida, Y.Iki, K.Miyagi, "Ultra-Long-Distance Fiber Bragg Grating Sensor System", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.19, pp.1616-1618 (2007).  
 [3] 山口, 篠田, "高速波長掃引光源を用いたファイバブラッググレーティングの反射波長の実時間測定", 電気学会光応用・視覚研究会, LAV-14-012 (2014).