

光周波数領域反射測定法を用いたファイバブラッググレーティングの多点化の検討

Consideration of Multipoint Measurement of Fiber Bragg Gratings using Optical Frequency Domain Reflectometry

○新井雅人<sup>1</sup>, 山口達也<sup>1</sup>, 篠田之孝<sup>2</sup>

\*Masato Arai<sup>1</sup>, Tatsuya Yamaguchi<sup>1</sup>, Yukitaka Shinoda<sup>2</sup>

Abstract: We are planning construction of structural health monitoring system using fiber Bragg gratings (FBGs) that have the same reflection characteristics and FBGs that have different reflection wavelength to measure the static strain. This paper shows the measurement of reflected wavelength by multipoint installation FBGs using optical frequency domain reflectometry (OFDR).

1. はじめに

筆者らは橋梁等の人工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<sup>[1]</sup>の構築を企図している. 本文は光周波数領域反射測定法 (OFDR) を用いて同一光路に同一ブラッグ波長の FBG の多点化を行う際に, 参照用干渉計のファイバ長の差を長くすることにより, FBG の多点化の検討を行った報告である<sup>[2]</sup>.

2. 実験装置

図 1 は実験装置の構成である. 光学系は波長可変レーザ TL, 参照用及び測定用干渉計から構成されている. 参照用干渉計は 2 つの FRM (Faraday Rotator Mirror) のファイバ長の差 (以下, 距離と記す)  $\Delta L_r$  が 12.09m の不等光路型マイケルソン干渉計である. 測定用干渉計は参照アームの FRM<sub>m</sub> と低反射率の FBG を多点化した 2 つの測定アームからなるマイケルソン型の干渉計である. 測定アーム I, II には各々ブラッグ波長が  $\lambda_{Bk}$  ( $k=1,2$ ) が 1550nm, 1555 nm の FBG<sub>ki</sub> ( $k=1,2, i=1\sim 6$ ) を設置した. 2 つの測定アームの FBG<sub>ki</sub> と FRM<sub>m</sub> との距離  $\Delta L_i$  ( $i=1\sim 6$ ) は等しくした. ここで, 距離  $\Delta L_1$  は 3.17m, 距離  $\Delta L_4$  は 5.23m, FBG<sub>k1}~FBG<sub>k3</sub> 並びに FBG<sub>k4} ~ FBG<sub>k6</sub> の設置間隔は 0.15m である. FBG<sub>16</sub> 並びに FBG<sub>25</sub>, FBG<sub>26</sub> には各々パルス制御ステージ 1, 2 (以下, ステージ 1, 2 と記す) を取り付け, ステージの移動量  $\Delta X$  を制御することにより, ひずみの印加を行った.</sub></sub>

実験は TL の波長  $\lambda$  を 1548~1558 nm の範囲を掃引時間  $\Delta T_s=1s$ (繰り返し周期  $T_c=2s$ ) で直線状に掃引した.

図 2 は干渉信号の処理の流れである. 取得した干渉信号  $g(t)$  はフーリエ変換により, フーリエスペクトル  $G(f)$  を得る. フーリエスペクトルは距離  $\Delta L_i$  に依存した周波数フィルタ  $W_i(f)$  ( $i=1\sim 6$ ) を乗算した後, フーリエ逆変換する. フーリエ逆変換した時間領域の解析信号  $g_i^{an}(t)$  ( $i=1\sim 6$ ) が算出できる. 距離  $\Delta L_i$  からの反射スペクトル  $|S_i|^2$  ( $i=1\sim 6$ ) が解析信号  $g_i^{an}(t)$  から得られる.

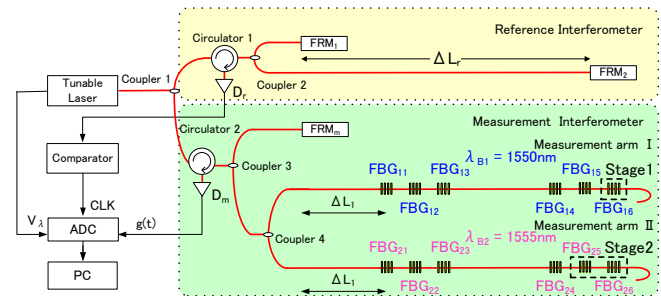


Figure 1. Experimental setup

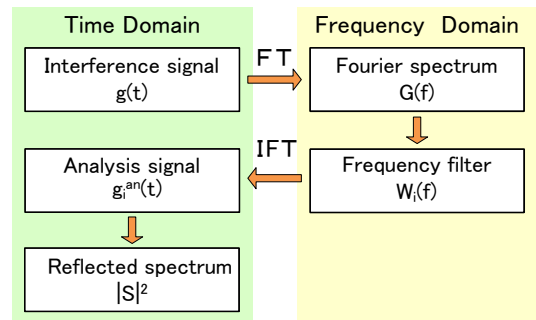


Figure 2. Flow of computation

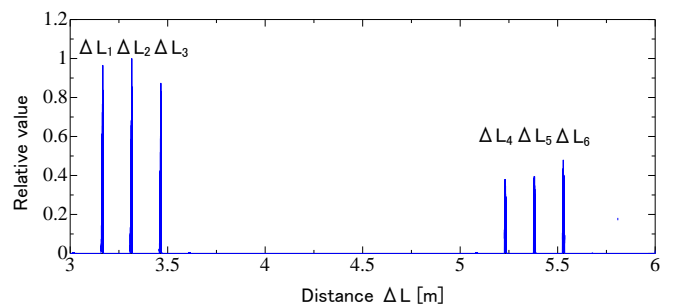


Figure 3. Fourier spectrum of interference signal

1 : 日大理工・院 (前)・電気 2 : 日大理工・教員・電気

3. 実験結果

図 3 は干渉信号のフーリエ変換の結果である。距離  $\Delta L_i$  が 3~6m の範囲に 6ヶ所設置した FBG の反射点が測定できていることがわかる。

図 4 は FBG の反射スペクトルの測定結果である。多点化した同一ブラッグ波長の FBG の反射スペクトルは距離毎に分離を行えている。また、各距離毎の反射スペクトルはブラッグ波長 1550nm, 1555nm の FBG を等距離に設置することにより、同時に得られている。ここで、FBG<sub>16</sub> 並びに FBG<sub>25</sub>, FBG<sub>26</sub> はステージ 1, 2 の移動量  $\Delta X=1000\mu\text{m}$  のひずみを印加しているため、反射スペクトルが長波長側へシフトしている。

図 5 は構築した測定システムのモニタ画面である。図中の左側の上段は波長モニタ出力、中段は取得した干渉信号である。図中の右側は上段から干渉信号のフーリエスペクトル、FBG の反射スペクトル、FBG の時系列の反射波長の結果を表示している。TL の波長掃引の繰り返し周期が  $T_c=2\text{s}$  であるため、本システムの測定並びに画面表示は 2s 毎に行う。

図 6 は測定アーム I, II の FBG の反射波長の測定結果である。実験はステージ 1, 2 を 1min 毎に  $100\mu\text{m}$  移動させ、FBG に周期的なひずみを印加した。図(a)は測定アーム I に多点化したブラッグ波長  $\lambda_{B1}$  が 1550nm の FBG の反射波長の結果である。FBG<sub>16</sub> はステージ 1 を用いたひずみの印加により、周期的に反射波長が変化している。ひずみを印加していない FBG<sub>11</sub>~FBG<sub>15</sub> の反射波長はほぼ一定となっている。図(b)は測定アーム II に多点化したブラッグ波長  $\lambda_{B2}$  が 1555nm の FBG の反射波長の結果である。FBG<sub>25</sub>, FBG<sub>26</sub> はステージ 2 を用いて同量のひずみを印加したため、ほぼ同量の反射波長の変化が測定できている。本システムで取得した FBG の反射波長の標準偏差は  $5 \times 10^{-3}\text{nm}$  未満となっている。

4. まとめ

本システムは参照用干渉計のファイバ長の差を長くすることにより FBG の多点化を行い、同一ブラッグ波長並びに異なるブラッグ波長の FBG の反射波長を 2s 毎に同時に測定できることを示した。

参考文献

[1] J.M.Lopez-Higuera ed. : Handbook of Optical Fibre Sensing Technology, Wiley(2002).  
 [2] 新井, 金井, 山口, 肥後, 篠田 : 平成 26 年電気学会全国大会, No.1-028 (2014)

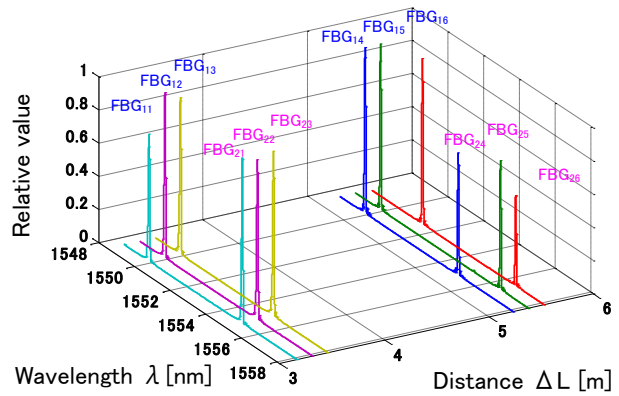


Figure 4. Results of reflected spectrum

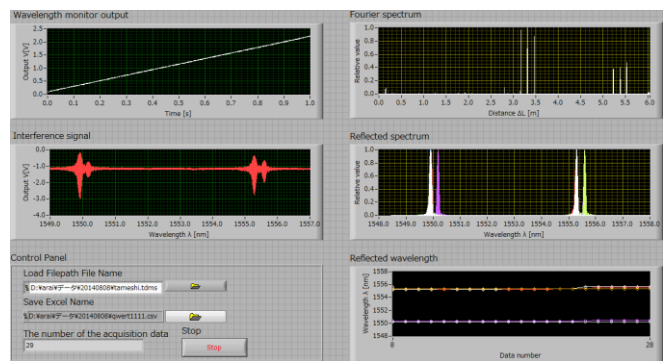
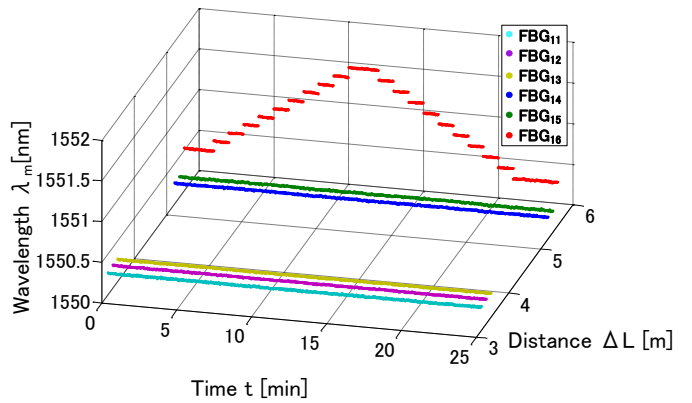
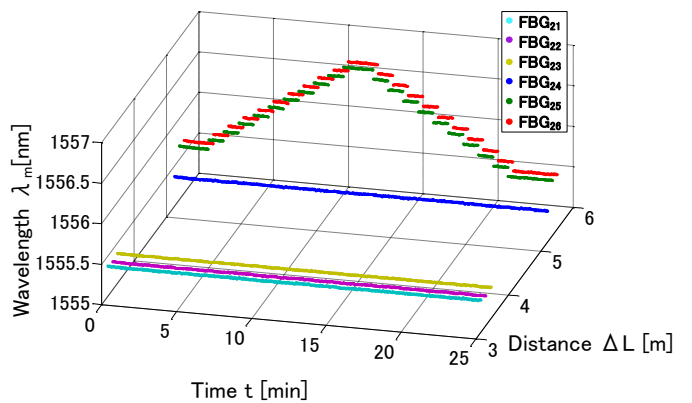


Figure 5. Screenshot of measurement system



(a)  $\lambda_{B1} = 1550[\text{nm}]$



(b)  $\lambda_{B2} = 1555[\text{nm}]$

Figure 6. Results of real-time measurement