

## ニューラルネットワークを用いた光ファイバFBG 歪計測システムの検討

株式会社 エーティック 正会員 ○日向 洋一  
 株式会社 エーティック 正会員 共 放鳴  
 室蘭工業大学 佐藤 信也  
 室蘭工業大学 今井 正明

### 1. はじめに

本研究ではファイバブラッググレーティング (FBG) を使用した歪み計測法を低コストで実現するため、ニューラルネットワークを用いて従来必須であった光スペクトルアナライザを用いない歪み計測法を提案し、数値解析シミュレーションによって検討する。

### 2. 原理

本研究で提案する手法は、歪みによるグレーティング反射波長の変化を、特定波長における反射率の変化として捉えるものである（図1）。

任意の波長 $\lambda$ におけるFBGの反射率 $P_R$ は以下の式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$P_R = \frac{\kappa^2 \sinh^2(sL)}{s^2 \cosh^2(sL) + \delta^2 \sinh^2(sL)} \quad (1)$$

$$\kappa = \frac{\pi \Delta n}{\lambda} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{2\pi n_0}{\lambda} - \frac{\pi}{\Lambda} \quad (3)$$

$$s^2 = \kappa^2 - \delta^2 \quad (4)$$

ここで $L$ はグレーティング長、 $\Delta n$ は屈折率変化量、 $\lambda$ は入射波長である。

FBGは外部からの張力により伸長した場合、屈折率変化の周期 $\Lambda$ が増加し反射スペクトルが長波長側にシフトする。このときの特定波長におけるグレーティング伸長量に対する反射率を求めた。結果を図2に示す。

またFBGは温度変化に対しても反射スペクトルが変化するため<sup>2)</sup>、反射率から歪みを計測する本手法では、光源の波長を固定すると温度変化によってFBGからの反射率が変化し、算出する歪み量に誤差が生じる。これを解決するために歪み計測用FBGと同一特性をもつ温度補償用FBGを測定系に設ける。温度補償用FBGからの反射パワーが一定値を保つように、測定波長を変化させることによって温度変化による反射率の変化を防ぎ、歪みによる反射率の変化のみを測定する<sup>3)</sup>。

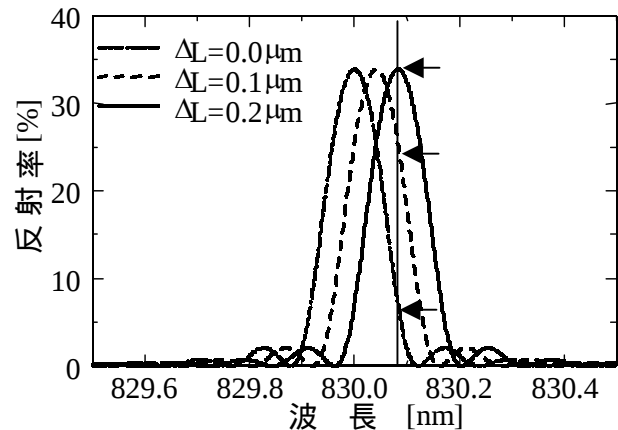


図1. グレーティングの伸長量に対する反射波長の変化

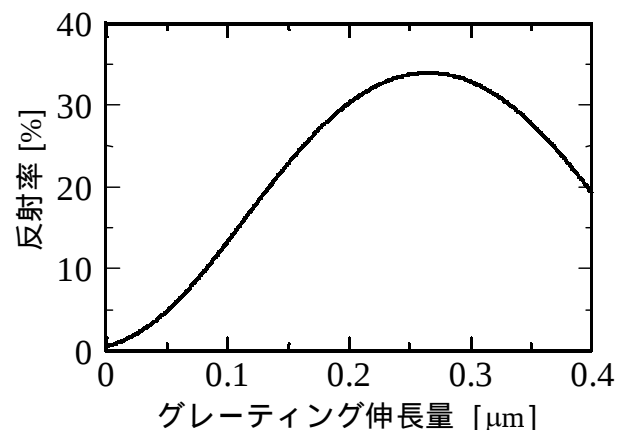


図2. 特定波長における伸長量に対する反射率の変化

キーワード： ファイバブラッググレーティング、歪計測、ニューラルネットワーク

連絡先：札幌市西区二十四軒1条5丁目6番1号(株)エーティック TEL011 - 644 - 2876 FAX011 - 644 - 2890

### 3. シミュレーション

ニューラルネットワークを用いたFBGによる歪み計測シミュレーションを行う前に、想定した光学系を図3に示す。歪み計測シミュレーションを行う前に、ニューラルネットワークに反射率とグレーティング伸長量の間に存在する未知関数を近似させる必要がある。図3に示した光学系及び、歪み計測用FBGの反射率とグレーティング伸長量の間に存在する未知関数を近似するニューラルネットワークを用いて、温度変化がない場合の歪み計測シミュレーションの結果を図4に示す。得られた計測値の誤差は、 $10\text{ }\mu\text{m/m} \sim 107\text{ }\mu\text{m/m}$ の範囲において $\pm 2\text{ }\mu\text{m/m}$ 以内であった。この範囲以外での誤差が増加しているのは、反射率の極小点及び極大点では歪み計測値が不連続になるためである。ニューラルネットワークは連続関数の足し合わせによって関数の近似を行うので、不連続点付近では近似精度が低下することが原因である。

図5は歪み計測用FBG及び温度補償用FBGにそれぞれ基準温度から $+20$ の温度変化を与えた場合の計測シミュレーション結果である。この結果から温度が基準値から変化した場合においても、温度補償によって歪み計測値に影響が無いことが確認できる。

また、 $\pm 20$ の範囲で時間的に温度が変化し、さらに歪み量が時間と共に変化した場合でも、温度変化がない場合と同様に $10\text{ }\mu\text{m/m}$ から $107\text{ }\mu\text{m/m}$ の範囲において誤差は $\pm 2\text{ }\mu\text{m/m}$ である。

### 4. まとめ

ニューラルネットワークによってFBGの反射率と歪みの関係を学習させることにより、スペクトルアナライザを使用せずに、パワーメータのみで歪み計測が可能であることを示した。温度補償用FBGからの反射光が一定となるように光源波長を制御することによって温度補償が可能であり、FBGの歪み量が $10\text{ }\mu\text{m/m} \sim 107\text{ }\mu\text{m/m}$ の範囲で誤差 $\pm 2\text{ }\mu\text{m/m}$ の精度が得られた。

### 5. 今後の課題

想定した光学系の測定チャンネル数は1チャンネルであるため、多点測定が可能な光学系を研究する。本研究の結果から、歪み量測定範囲は $10\text{ }\mu \sim 107\text{ }\mu$ と小さいため、測定範囲を広くする研究を行う。

## 文 献

- 1) Shyh-Lin Tsao, Jingshown Wu, "Highly accurate of temperature sensor using two fiber bragg gratings," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 2, No.4, pp.894-897, 1996.
- 2) G. W. Yoffe, Peter A. Krug, F. Ouellette, and D. A. Thorncraft, "Passive temperature compensating package for optical fiber gratings," Optics Letters, vol. 22, pp. 790-792, 1997.
- 3) Shyh-Lin Tsao, Jingshown Wu and Bih-Chyun Yeh, "High-resolution neural temperature sensor using fiber bragg gratings," IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.35, No.11, 1999.

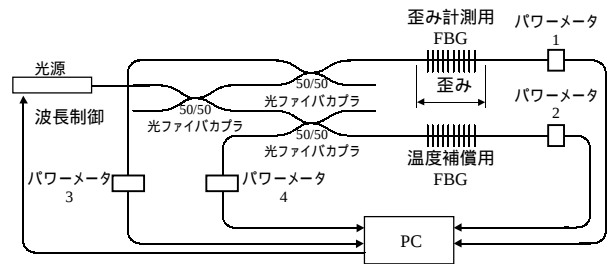


図3. シミュレーションにおいて想定した光学系

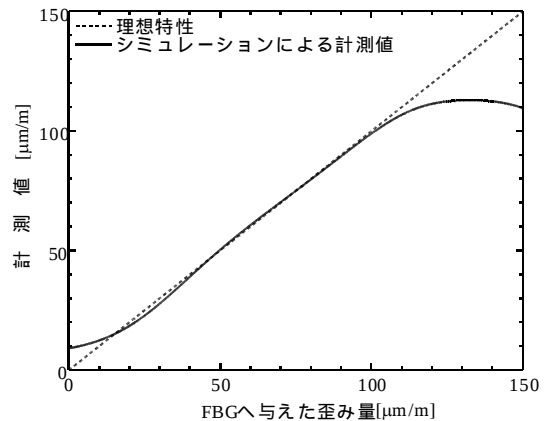


図4 シミュレーション結果（温度20 一定）

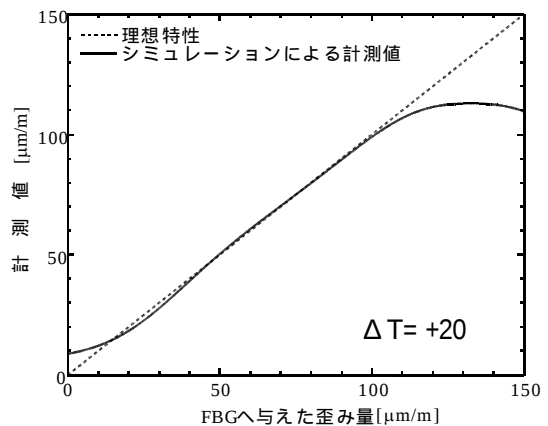


図5. シミュレーション結果  
基準温度から $+20$  一定