

状態監視保全のための光ファイバ機器監視システム

Optic fiber of apparatus surveillance system with Condition based maintenance

(株)東芝	隅田晃生	Akio SUMITA	非会員
(株)東芝	新井良一	Ryoichi ARAI	非会員
(株)東芝	園田幸夫	Yukio SONODA	非会員
(株)東芝	瀧澤洋二	Yoji TAKIZAWA	非会員
(株)東芝	清水俊一	Shunichi SHIMIZU	会員

We have been developing a system equipped with a mixture of hundreds of sensors for temperature, strain, and vibration. Previously, we confirmed that the system could interrogate 192 points FBG sensors using a combination of time division multiplexing (TDM), wavelength division multiplexing (WDM), and an algorithm to measure the static and dynamic signal with one system. We a field test is performed and since it confirmed having formation nature as a multipoint apparatus surveillance system of 192 points corresponding to static/dynamic measurement, it reports.

Keywords: CBM, FBG, OPTIC, FIBER, SENSOR, TDM, WDM, ADC, PLD

1. 緒言

光ファイバを用いたセンサは、電磁誘導ノイズに強く、動作に電源が不要なことから周囲への安全性が確保し易いといった特徴を有している。また、耐放射線性についても性能が改善されており原子炉内での試験も行われるなど、過酷な環境下における適用性が向上している⁽¹⁾。中でも、近年注目されているFBG(Fiber Bragg Grating)は、光ファイバ素線に回折格子を設けた単純な構造と、温度や歪みに対して高い測定精度が得られることから防爆性やメンテナンス性に優れた物理量センサとして使われ始めている。一方で原子力プラントでも運転中の各種プロセス量、弁や回転体を多数点で監視する技術が求められており、格納容器内の配管や機器に加わる歪みの監視や温度変化による異常検知、あるいは回転機器の振動状態監視を目指した具体的なシステムの開発が望まれている。このため我々は原子力プラントにおける運転中の主要機器の状態を、多数のFBGセンサで監視できることを目的とした光ファイバ機器監視システムを開発してきた。これまでに温度、歪みなどのゆっくりした動き(静的)と振動などの速い動き(動的)に対応したFBGセンサを1つのシステム内に混在させ、波長・時分割多重を同時利用してFig.1に示した接続方法により192点

のFBGを接続した大規模監視を実現する方式を示した⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。192点の接続数は全てのFBG反射光量が、その光量を測定する光検出器の検出下限よりも減衰しない条件に基づいて設計してあり、それは図に示すように、12の分岐数と1分岐に接続するFBGを16個とした。本稿では、静的/動的量を測定するための原理を紹介し、信号処理をデジタル化した測定装置を用いてフィールド試験を行い、静的/動的測定に対応した192点の多点機器監視システムとして成立性を有することを確認したので報告する。

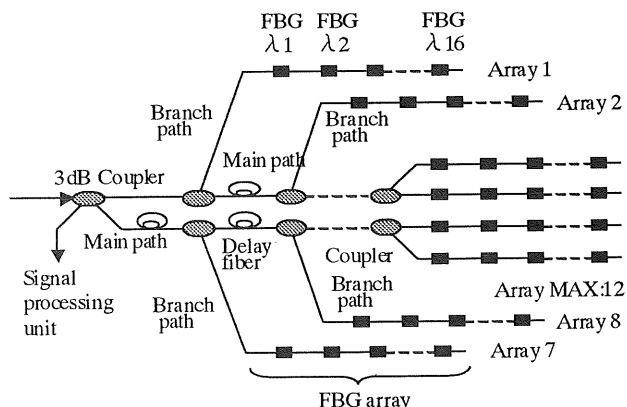


Fig.1 The schematic diagram of multiplexed FBG sensor system.

連絡先:隅田晃生、〒235-8523 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8、(株)東芝 電力・社会システム技術開発センター
TEL:045-770-2160 mail:akio.sumita@toshiba.co.jp

2. 測定原理

静的／動的測定に対応したシステムの装置構成を Fig.2 に示す。時分割・波長多重によって FBG 位置識別を可能にするため、広帯域光源から放出された連続光は AOM(Acoustic Optic Modulator)でパルス化、OTF(Optical Tunable Filter)で波長帯域を制限された参照光となる。参照光は 3dB カプラによって 2 つの幹

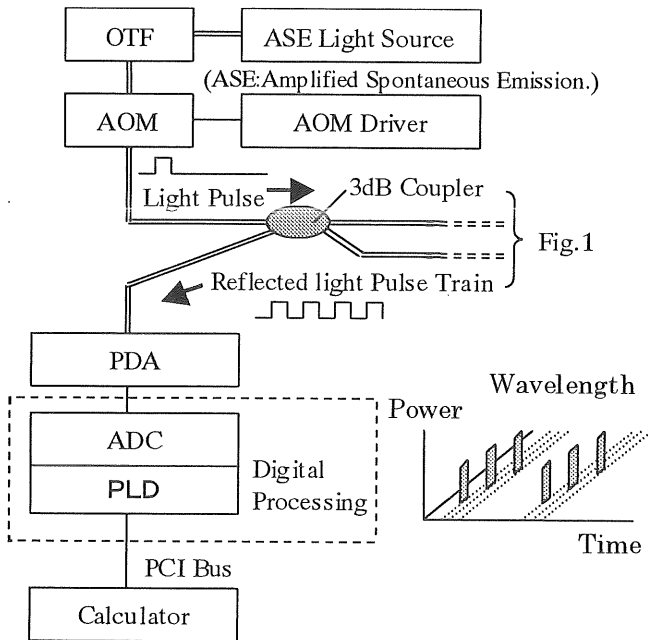


Fig. 2 A basic configuration of our system to interrogate both static and dynamic signal from FBGs

線に分かれ Fig.1 で示した多数点の FBG に入射／透過するとともに特定の波長帯の光だけが反射し、光パルス列として戻ってくる。観測される光パルス列は PDA(Photo Detector Amplifier)で電気パルス列に変換されて、100MS/s・12Bit 処理の ADC(Analog to Digital Converter)と、ADC が変換したデジタルデータを高速に演算する機能を組み込んだ PLD(Programmable Logic Device)とを併用したデジタル処理部によってパルスの波高値情報のみがデジタルデータとして処理され、計算機をベースとした解析装置に送られる。次に、静的量の測定原理の概要を Fig.3 に示す。波長を軸とした FBG の反射波形は一定の幅を持つ矩形のパワースペクトルで、静的測定の際にはこの反射波形は一定とみなせる。矩形のパワースペクトルに対して、OTF の波長を一定間隔で掃引すると、重なり合う領域に応じてフィルタを透過する光量に変化する。これ

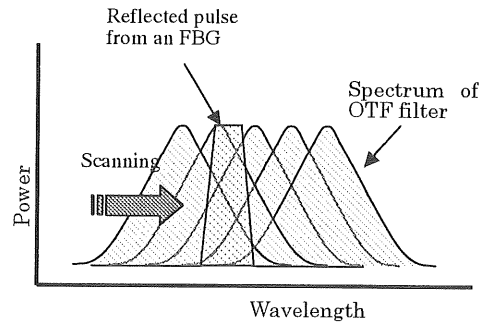


Fig. 3 The interrogation principle using tunable filter for static measurement.

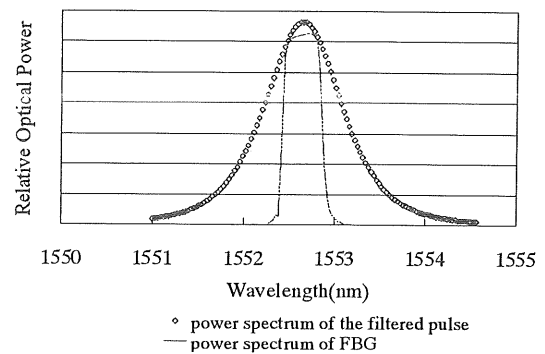


Fig. 4 The power spectrum of the filtered pulse when the filter is scanned for 0.03nm pitch and the reflected power spectrum measured by an optical spectrum analyzer

は Fig.4 に示すように反射波形のほぼ中心波長の位置に最大点をもった分布が得られる。FBG に印加された物理量は反射波長の変化量に比例するため校正式を用いることで容易に換算できる。従って、この最大点を FBG の反射波長として測定すれば温度や歪みの測定を行うことができる。Fig.5 に動的測定の測定原理の概要を示す。動的測定では、静的測定の場合とは逆に FBG の反射波形が時間的に移動するので、OTF

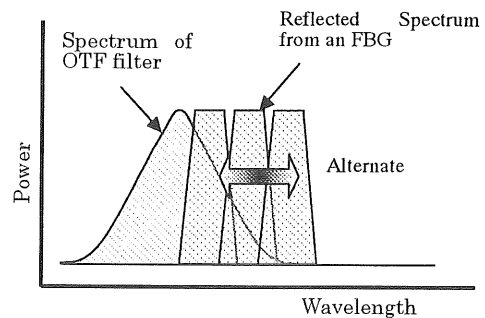


Fig. 5 The interrogation principle using tunable filter for dynamic measurement. The wavelength of the filter is fixed and the reflected spectrum alternates.

側の波長は固定しておく。反射波がフィルタの片側の傾斜部分を移動すると、この移動量に応じた光量が光検出器で観測されるため、この光量変化をFFT解析すれば、動的特性を把握することができる。

3. フィールド試験

温度、歪み、振動の各物理量に対応した3種類のFBGセンサを試作し、実際に建屋内の壁や鉄骨などの構造物に敷設して以下の連続測定試験を行った。Table.1にFBGの共通仕様を示す。FBGは各センサにおいて共通化し、リコート部には歪みや振動測定で効果が認められているポリイミドをコーティングした。Fig.6に試作したFBGセンサを示す。FBG温度測定用

Table.1 Common specification of the FBG

	specification
Fiber	Single Mode
3dB band Width	0.3 nm
10dB band Width	1 nm
Center wavelength tolerance	±0.1 nm
Reflectivity	≥ 95 %
Crosstalk	>25 dB
Recoating	Polyimide
Environmental temperature	-20~+80 °C

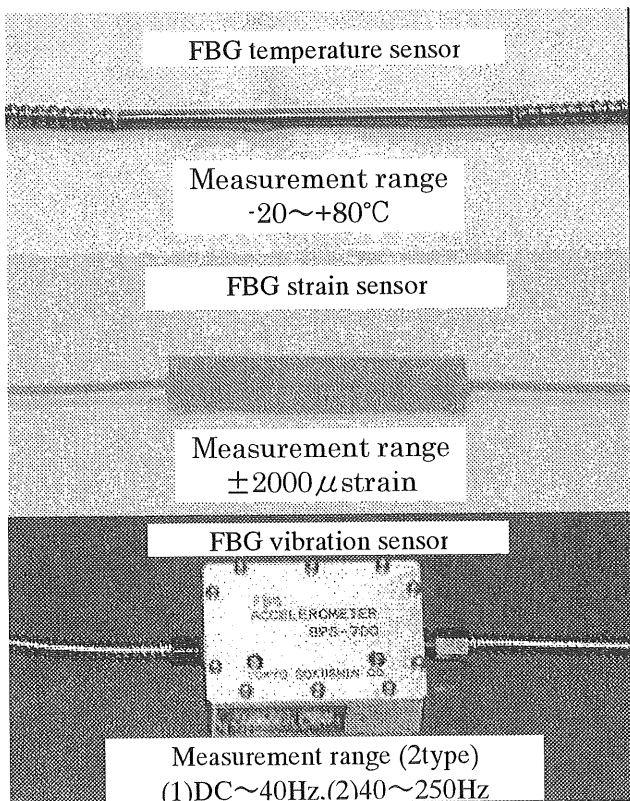


Fig.6 The manufacture of FBG sensor

センサはSUS管内にFBGを封入し光ファイバの耐熱性と防爆性を高めた構造とした。温度の設定には恒温槽を使い比較用に熱電対の測定値を用いた。試験では温度変動の大きい場所(壁側)を選び、近傍に比較用の熱電対を設置して連続測定を行った。FBG歪み測定用センサは、FBGをガラスファイバ板上に接着することで敷設性を高め、構造物からFBGへの歪み伝達性を向上させた。試験では約50cm長の配管中央近傍に比較用の歪みゲージと互いに並行位置となるように接着固定し、配管端部に歪みを発生し易くするためのターンバックルを装着して測定を行った。FBG振動測定用センサは、異なる測定周波数帯域毎に調整された2つのタイプを用意し、今回は40~250Hzのタイプを使用した。建屋内には振動機がないため、試験では模擬配管に本センサと比較用の加速度変換器を同じ位置で固定し、振動源は加振装置を使用して測定を行った。

4. 試験結果

Fig.7に温度測定結果の例を示す。図より日照による変動が10°C前後と顕著に現われていることがわかる。約10日間の連続測定で熱電対の測定値に対してFBGの測定値は±1°C以内に収まっており、熱電対と同等の測定ができたと考える。

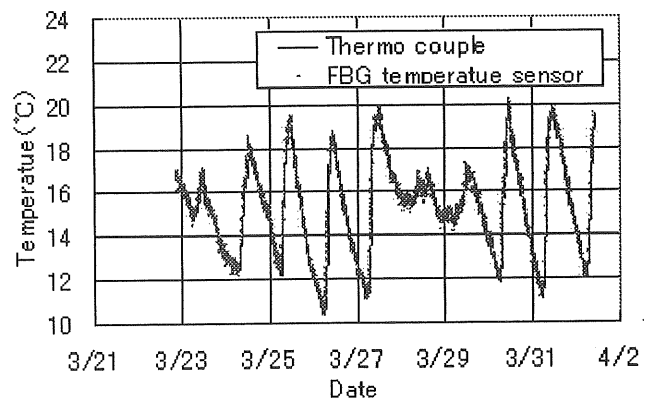


Fig.7 Experimental results of temperature measurement.

Fig.8に歪み測定結果の例を示す。歪みゲージの指示値を基準としてFBG歪みセンサの指示値を任意の測定点と比較したところ約5%以内で一致しており、一般に使用されている歪みゲージと同等の測定結果が得られることを確認した。Fig.9に振動試験結果の例を示す。印加した振動の周波数を50Hzに固定した状態で振幅を3段階に変更し、その時の加速度変換器が

示した測定値(Nonlinearity:1.00%RO)に対し、FBG の測定値は周波数、振幅ともによく追従できていることを確認した。

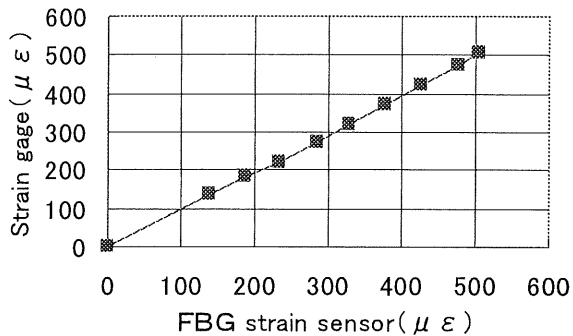


Fig.8 Experimental results of strain measurement.

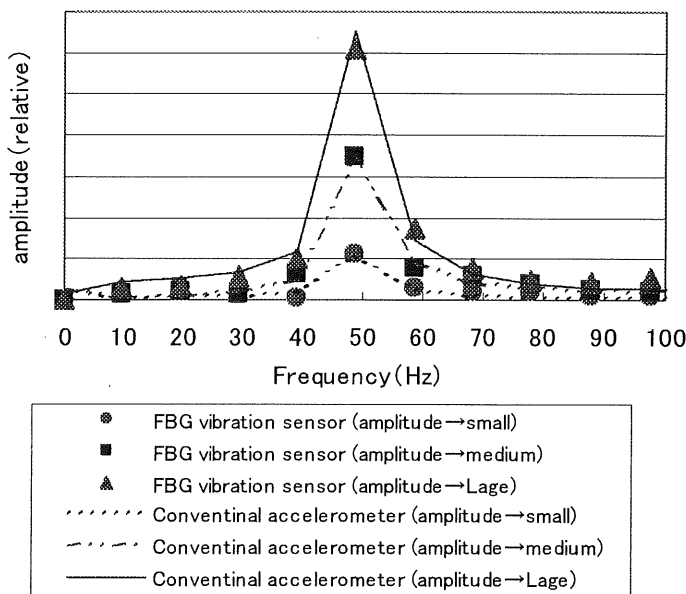


Fig.9 Experimental results of vibration measurement.

5. 結言

温度、歪み、振動の各物理量測定に対応した FBG センサを試作し、静的/動的測定に対応した測定装置を使用して FBG が 192 点と最大規模となる接続条件下で建屋内の壁や鉄骨などの機器構造物に FBG センサを敷設して連続測定を実施した。

その結果、温度、歪み、振動測定に対し、一般に使用されている既存のセンサと同等の測定ができることを確認し、本光ファイバ機器監視システムは、実機の機器構造物に対しても、静的/動的測定の適用が可能であることを示すことができた。今後は、測定装置の小型化や実機での測定に向けた検討を進めていく

予定である。

参考文献

- [1] F. Fernandez, et al., Optical Engineering, Vol.41, No.6, pp1246-1254 (2002)
- [2] 牧野 他、日本原子力学会 2002 年春の大会予稿集 H16 (2002)
- [3] 新井 他、電気学会原子力研究会 NE-02-8 (2002)
- [4] R. Arai, et al., PHOTONIC ASEA 2002, Proc. of SPIE (2002)
- [5] 新井ほか、電気学会 C 部門大会 GS5-1 (2003)
- [6] R. Arai, et al., proc. of NUTHOS-6 (2004)