

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔事後評価用〕

平成16年度採択分

平成21年 3月31日現在

研究課題名（和文） 安全・安心の為にファイバセンサフォトンクス
— 光ファイバ神経網技術の極限性能追求 —
研究課題名（英文） Fiber Sensor Photonics for Safety and Security
- Realization of ultimate performance in fiber optic nerve systems -
研究代表者
保立和夫（Hotate Kazuo）
東京大学・大学院工学系研究科・教授



研究の概要：連続光波の相関を制御する独自技術により、光ファイバに沿う歪等の分布を測定する独自技術を提案・開発した。典型的な従来技術の性能を数桁凌ぐ、空間分解能 1.6mm や測定速度 1kHz を達成し、温度と歪の同時・分離計測等も実現した。本技術は、小型ジェット機に光ファイバ神経網を設置する共同研究に採用され、飛行時の動的・分布歪計測を実証した。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：光ファイバ、光ファイバセンサ、スマート材料・構造

1. 研究開始当初の背景

光ファイバに沿う歪や温度等の分布を計測する技術を開発し、橋梁やダム、航空機の翼などの構造物に光ファイバを神経のように張り巡らせて、「痛みの分かる材料・構造」を実現したいとの要求がある。しかし、従来技術では、空間分解能や測定速度が十分ではなく、新たな測定原理の提案と、それによる斬新な機能の実現が求められていた。

2. 研究の目的

当研究グループでは、上記の要求を満たすために、従来行なわれてきた光パルス入射・反射光時間分解測定法とは全く原理の異なる独自の「連続光波の相関特性の制御・合成技術」を提案した。歪分布を mm の空間分解能とミリ秒の速度で測定できる新技術の開拓、同一特性光ファイバグレーティング歪センサの多重化技術等、ならびに高機能な「痛みの分かる材料・構造」の実現に挑戦した。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために、以下の各独自技術の研究を展開した。

[I] 光ファイバ神経網の極限性能追求

1. ブリルアン光相関領域解析法（BOCDA 法）
 - * BOCDA 基本系の極限性能の実現
 - * BOCDA 簡素化系の高機能化
2. 同一波長 FBG の多重化技術
3. 光ファイバ神経網のバリエーション
4. センサ用光ファイバの解析・評価

[II] 痛みの分かる材料・構造の実証研究

1. 高機能な痛みの分かる材料・構造の実現
 - * 建設分野、航空機分野、等

4. 研究の主な成果

BOCDA 法は「連続光波の相関制御法」によって誘導ブリルアン散乱を光ファイバに沿うある 1 点でのみ誘起する技術である。ブリルアン散乱が示す周波数シフト量が光ファイバに加わる伸縮歪に比例するので、歪計測が可能となり、散乱誘起位置を掃引することで、分布計測を実現する。本研究では、複数の雑音低減法を提案して実装した（図 1）。1,000m を越える測定レンジ、従来法の典型値を 600 倍も凌ぐ 1.6mm の空間分解能（図 2）、偏波変動雑音除去技術等を実現した。

簡素化・低価格化 BOCDA 系も提案・実現した。これにより、7cm 分解能・1,000m レンジ、ならびに従来法の典型値を 10 万倍凌ぐ 1kHz 測定速度も実現した。

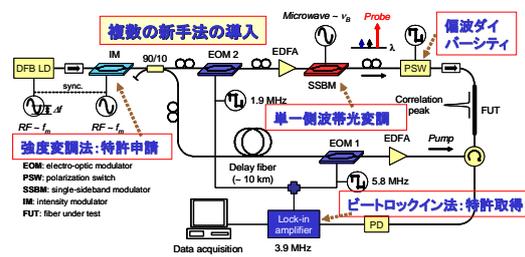


図 1 機能向上を図った BOCDA システム

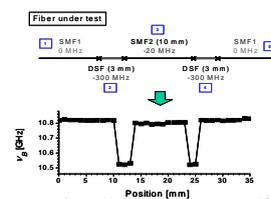


図 2 BOCDA 系による 1.6mm 分解能実現

〔4. 研究の主な成果 (続き)〕

同一ブラッグ波長のFBGを多重化する技術も、「連続光波の相関制御技術」により提案・実証した。10KHz サンプリング、ランダムアクセス機能、超可干渉長センシング等を実現した。光ファイバ加入者網診断技術、振動分布計測技術、独自高速波長掃引レーザによる高速FBGセンシング等、神経網のバリエーション拡大も進んだ。光ファイバの誘導ブリルアン散乱解析技術やその精緻な評価技術も稼働させた。

最近では、さらに新たな機能の発現を進めている。偏波維持光ファイバの一方の偏波モードで誘導ブリルアン散乱が生じている状態で、直交偏波も同様なブラッグ反射を受けることを発見した。さらに、両偏波の反射周波数の温度と歪依存性が逆符号であることも発見し、これにより、温度と歪の高精度・同時・分布計測を初めて実現した(図3)。自然ブリルアン散乱の分布測定を可能にする新たな技術(BOCDR法)も提案・実証した。13mm分解能、50Hzサンプリング等が実現している。長尺FBG内のブラッグ波長分布をmm空間分解能で分布測定する新たな技術も提案・実証した(図4)。長尺BFGを多重化する新手法も実証できた。

これら「光ファイバ神経網」技術により「痛みの分かる材料・構造」を実現する実験も行った。建設企業とは、BOCDA法により、コンクリート構造等の歪分布や振動計測を実施した。航空機企業、計測器企業と行った別プロジェクトにてBOCDA系が採用され、可搬型試作機を作成して、ビジネスジェット飛行時の胴体の歪分布や動的歪の計測に成功し、航空機ヘルスマニタリングへの適用可能性が示された。

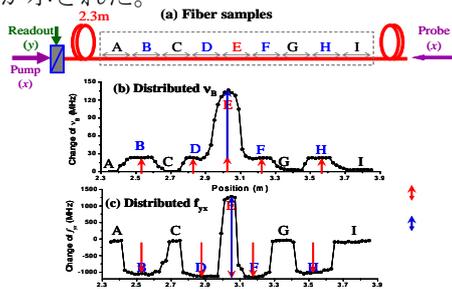


図3 温度と歪の高精度・同時・分布計測

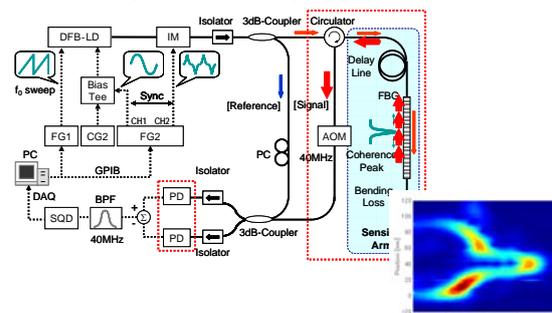


図4 長尺FBG内のブラッグ波長分布測定

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

独自の手法により、従来技術では実現不可能であった機能・性能を実現した研究であり、世界的にも大きなインパクトを与えた。応用物理学学会JJAP論文賞、米国SPIE学会功績賞、関連国際会議最優秀論文賞等、本研究期間に6つの受賞があり、23回の国際会議招待論文・プレナリー講演がある。また、「連続光波の相関制御技術」を採用した研究が、海外も含め複数の機関で実施されている。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

- 1 W. Zou, **Z. He** and **K. Hotate**: “Correlation-based distributed measurement of dynamic grating spectrum generated in stimulated Brillouin scattering in a polarization-maintaining optical fiber,” *Optics Letters*, vo.34, pp. 1126-1128, 2009.
- 2 Y. Mizuno, **Z. He** and **K. Hotate**: “One-end-access high-speed distributed strain measurement with 13-mm spatial resolution based on Brillouin optical correlation-domain reflectometry,” *Photon. Technol. Lett.*, vol.21, pp.474- 476, 2009.
- 3 **K. Hotate**, H. Arai and K.-Y. Song: “Range-enlargement of simplified Brillouin optical correlation domain analysis based on a temporal gating scheme,” *SICE J. of Control, Meas., and System Integration*. vol.1, pp.271-274, 2008 <Invited>.
- 4 W. Zou, **Z. He** and **K. Hotate**: “Acoustic modal analysis and control in w-shaped triple-layer optical fibers with highly-germanium-doped core and F-doped inner cladding,” *Opt. Exp.*, vol.16, pp.10006-10017, 2008.
- 5 **K. Hotate** and K. Kajiwara: “Proposal and experimental verification of Bragg wavelength distribution measurement within a long-length FBG by synthesis of optical coherence function,” *Opt. Exp.*, vol.16, pp. 7881- 7887, 2008.
- 6 K.-Y. Song and **K. Hotate**: “Distributed fiber strain sensor at 1 kHz sampling rate based on Brillouin optical correlation domain analysis,” *Photon. Tech. Lett.*, vol.19, pp.1928- 1930, 2007.
- 7 K.-Y. Song, **Z. He** and **K. Hotate**: “Effects of intensity modulation of light source on Brillouin optical correlation domain analysis,” *J. of Lightwave Technol.*, vol.25, pp.1238-1246, 2007.
- 8 K.-Y. Song, **Z. He** and **K. Hotate**: “Distributed strain measurement with millimeter-order spatial resolution based on Brillouin optical correlation domain analysis,” *Opt. Lett.*, vol.31, pp.2526-2528, 2006.
- 9 **K. Hotate** and **Z. He**, “Synthesis of optical coherence function and its applications in distributed and multiplexed optical sensing,” *J. of Lightwave Technol.*, vol.24, pp.2541-2557, 2006, <Invited>.

ホームページ等

<http://www.sagnac.t.u-tokyo.ac.jp/>