

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成27年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分
平成27年3月25日現在

痛みの分る材料・構造の為の光相関領域法による
光ファイバ神経網技術の学術基盤の確立

Establishment of Scientific Basis for Fiber Optic
Nerve Systems with Optical Correlation Domain Technique
for Structures and Materials that can Feel Pain

課題番号：25220907

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

ビル、橋、航空機翼などにその痛みを感じる神経として光ファイバを張り巡らせて歪や温度を分布測定する手法として、当研究グループの独自技術である相関領域法を研究し、温度と歪の同時・分離・分布測定、分布量全体の時間分解高速測定、複数の任意測定点での高速・同時・動的歪測定、さらに痛みの分る構造の実証研究も進め、本独自技術の学術基盤の確立を図る。

研究分野：工学

キーワード：計測システム、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の情報を分布測定する「光ファイバ神経網」を、橋や航空機翼等に張り巡らせて「痛みの分る材料・構造」が実現できる。しかし、従来の時間分解法では、空間分解能等が不十分であった。

研究代表者らは、光波の周波数や位相を変調して干渉特性を任意に合成する「光相関領域法」を発明し、従来技術を凌ぐ性能の「光ファイバ神経網」を提案した。学術創成研究(04-08)・基盤研究S(09-13)を得て、mm分解能、kHz測定速度、ランダムアクセス機能等を実現、歪と温度の同時計測や分布情報全体の動的測定等の高次機能も提案・実証した。

2. 研究の目的

本研究では、最近発案した新機能の実現手法を実証するとともに、理論・シミュレーション研究も深めて、本独自センシング技術の学術基盤を確立する。

3. 研究の方法

下記サブテーマを推進して新機能を実証し、理論・シミュレーション研究も進めて、本技術の学術基盤を確立する。

- ・温度と歪の高精度・同時・分布計測での極限性能の実現
- ・分布情報全体の高速ダイナミック測定
- ・BOCDR法の総合機能の実現
- ・S-BOCDA法による温度と歪の分離・分布測定システム
- ・長尺FBG歪センシングシステムの機能進

化

- ・BOCDA法によるPLC光集積回路の評価技術
- ・痛みの分かる材料・構造の実証研究

4. これまでの成果

研究期間2年間での成果を纏める。「温度と歪の同時・分離・分布計測での極限性能の実現」では、ブリルアンダイナミックグレーティング(BDG)反射をBOCDA法の原理で分布測定する際の分解能劣化をシミュレーションで明示し、実験的に提案・実証してきた分解能向上策の精査を可能にした。系内諸パラメータの最適化も進展させた。「分布情報全体の高速ダイナミック測定」では、独自「軸方向掃引法」を30分布/秒と高速化した。ランダムアクセス速度も5000箇所/秒と25倍速め、測定レンジは20倍延伸した。

「BOCDR法の総合機能の実現」では、参照光への位相変調で背景光雑音の除去を可能にし(図1)、独自ダブル変調法も統合して分解能52mm、測定レンジ1250mを達成した。比24000は相関領域法の最高値である。温度と歪の分離機能の実現に向け、BOCDR系でのBDG反射の観測に世界で初めて成功した。BOCDRに初めてロックインアンプ機能を導入した。「S-BOCDA法による温度と歪の分離・分布測定システム」では、ポンプ、プローブ、反射読み取り光の3光を半導体レーザーから時分割発生させる技術を提案・稼働させ、

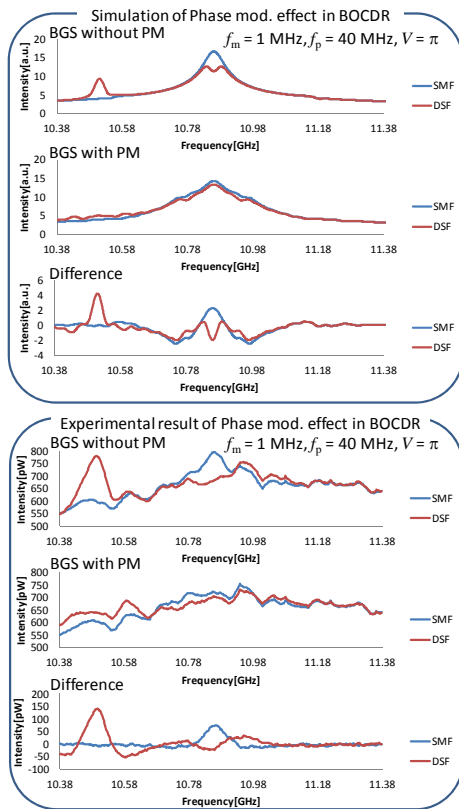


図1 BOCDR法で参照光に位相変調をON/OFF印加して両スペクトラム間の差から背景光雑音を除去する手法のシミュレーション(上)と実験(下)。大きな歪でも対応するスペクトラムピークが捉えられる。

温度と歪の分離・分布計測に成功した。3段階波形の精緻化補償法も進展した。「長尺FBG歪センシングシステムの機能進化」では、相関ピーク前後のサイドローブを抑圧できる周波数変調波形を考案し、本波形と相似な位相変調を参照光に施し、その振幅に比例した相関ピーク移動を実現する独自技術の実証にも成功した。「BOCDA法によるPLC光集積回路の評価技術」では、ポンプ・プローブ光を反転伝搬させて得た2つのBFS分布を平均することで真値を得る独自技術のシミュレーションを進めている。「痛みの分る材料・構造の実証研究」では、経産省プロジェクトで航空機構造診断用BOCDA機の第3試作、JSTのA-STEPではプラント・土木建設用等にBOCDR機の試作が進展している。

他手法の追従を許さない本技術の特色は世界的に注目され、代表者は本研究期間に応用物理学会光・量子エレクトロニクス業績賞を得て、院生にも2件の受賞がある。8件の英文論文、10件の国際会議招待講演、学会誌等での5編の解説記事がある。特許は、申請3件、公開7件、登録3件である。内外の機関でもBDG/BOCDA関連研究が見られる。

5. 今後の計画

BDG-BOCDA シミュレータにより空間分解能の最適化法を確立し、分布情報全体の測定系/ランダムアクセス測定系での各パラメータの最適関係理論を構築して高速化を実証し、BOCDR系に複数の測定レンジ延伸法と背景光雑音除去手法を導入し理論・実験研究により高機能化を図り、S-BOCDA系のレーザ駆動波形を最適化し温度・歪同時計測機能を高め、位相変調による相関ピーク掃引技術で準分布型FBGセンサを稼働させ、光回路の評価技術もシミュレータで最適化し、BOCDAとBOCDRの試作機で痛みの分る構造の実証研究を進展させる。理論と実験を並走させて本独自技術の学術基盤を確立する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

[主な学会誌論文]

1. C. Zhang, M. Kishi, and K. Hotate: "5,000 points/s high-speed random accessibility for dynamic strain measurement at arbitrary multiple points along a fiber by Brillouin optical correlation domain analysis", Applied Physics Express, in press.
2. R. K. Yamashita, Z. He, and K. Hotate: "Spatial resolution improvement in correlation domain distributed measurement of Brillouin grating," IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 26, No. 5, pp. 473-476, Mar. 2014.
3. W. Zou, Z. He, and K. Hotate: "Range elongation of distributed discrimination of strain and temperature in Brillouin optical correlation-domain analysis based on dual frequency modulations," IEEE Sensors Journal, Vol. 14, No. 1, pp. 244-248, Jan. 2014.
4. K. Hotate: "Fiber distributed Brillouin sensing with optical correlation domain techniques," Optical Fiber Technology (Elsevier Inc.), Vol. 19, No. 6, Part B, pp. 700-719, Dec. 2013 <Invited>.
5. K. Hotate, W. Zou, R. K. Yamashita, and Z. He: "Distributed discrimination of strain and temperature based on Brillouin dynamic grating in an optical fiber," Photonic Sensors, Vol. 3, No. 4, pp. 332-344, Dec. 2013 <Invited>.

[受賞]

1. 応用物理学会第15回光・量子エレクトロニクス業績賞(宅間宏賞), 保立和夫, "光ファイバーセンシングに関する先駆的・独創的研究" 2014年3月17日.

ホームページ等

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