

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目： 学術創成研究費  
 研究期間： 2004～2008  
 課題番号： 16GS0202  
 研究課題名（和文） 安全・安心の為のファイバセンサフォトニクス  
 - 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  
 研究者番号：60126159

研究成果の概要： 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。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	56,800,000	17,040,000	73,840,000
2005 年度	54,600,000	16,380,000	70,980,000
2006 年度	52,900,000	15,870,000	68,770,000
2007 年度	51,400,000	15,420,000	66,820,000
2008 年度	49,000,000	14,700,000	63,700,000
総計	264,700,000	79,410,000	344,110,000

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

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

同一波長 FBG の多重化技術

光ファイバ神経網のバリエーション拡大

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

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。

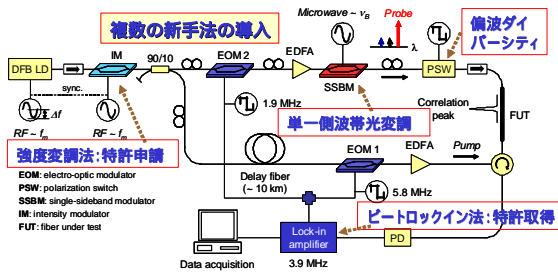


図 1 機能向上を図った BOCDA システム

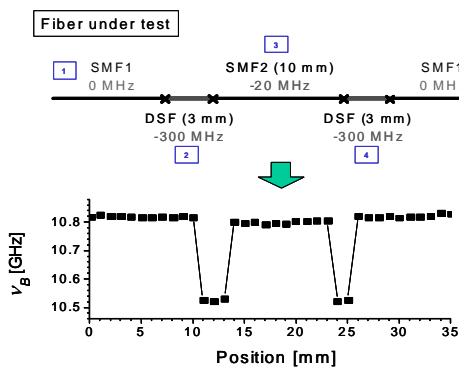


図 2 BOCDA 系による 1.6mm 分解能実現

同一ブラッグ波長の FBG を多重化する技術簡素化・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。

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・実現した(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なった。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。

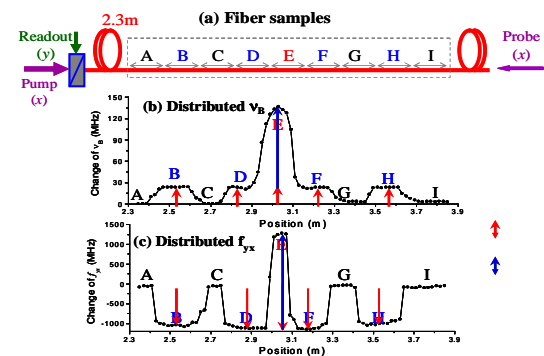


図 3 温度と歪の高精度・同時・分布計測

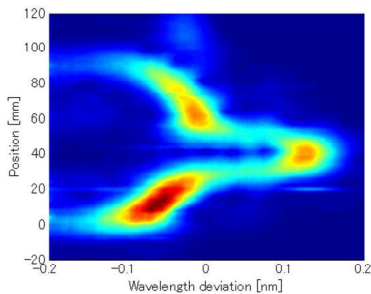
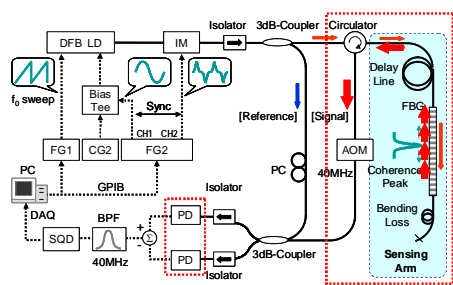


図4 長尺FBG内のブラッグ波長分布測定

#### 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. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計43件)

- 1 Y. Mizuno, Z. He and K. Hotate: "Measurement range enlargement in Brillouin optical correlation-domain reflectometry based on temporal gating scheme," *OSA Optics Letters*, 有, vol.17, pp.9040-9046.
- 2 K.-Y. Song, W. Zou, Z. He and K. Hotate: "Optical time-domain measurement of Brillouin dynamic grating spectrum in a polarization-maintaining fiber," *OSA Optics Letters*, 有, vol.34, pp.1381-1383, 2009.
- 3 W. Zou, Z. He, K.-Y. Song and K. Hotate: "Correlation-based distributed measurement of dynamic grating spectrum generated in stimulated Brillouin scattering in a polarization-maintaining optical fiber," *OSA Optics Letters*, 有, vol.34, pp.1126-1128, 2009.

- 4 M. Kashiwagi and K. Hotate: "Long range and high resolution reflectometry by synthesis of optical coherence function at region beyond the coherence length," *IEICE Electronics Exp*, 有, vol.6, pp.497-503, 2009.
- 5 Y. Mizuno, Z. He and K. Hotate: "Polarization beat length distribution measurement in single-mode optical fibers with Brillouin optical correlation-domain reflectometry," *Appl. Phys. Exp.*, 有, vol.2, pp. 046502:1-3, 2009.
- 6 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," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 有, vol.21, pp.474-476, 2009.
- 7 W. Zou, Z. He and K. Hotate: "Complete discrimination of strain and temperature using Brillouin frequency shift and birefringence in a polarization-maintaining fiber," *OSA Optics Express*, 有, vol.17, pp. 1248-1255, 2008.
- 8 K.-Y. Song and K. Hotate: "Brillouin optical correlation domain analysis in linear configuration," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 有, vol.20, pp.2150-2152, 2008.
- 9 W. Zou, Z. He and K. Hotate: "Investigation of strain- and temperature- dependences of Brillouin frequency shifts in GeO<sub>2</sub>-doped optical fibers," *J. of Lightwave Technol.*, 有, vol.26, pp.1854-1861, 2008.
- 10 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*, 有, vol.1, pp.271-274, 2008 <Invited>.
- 11 Y. Mizuno, W. Zou, Z. He and K. Hotate: "Proposal of Brillouin optical correlation-domain reflectometry (BOCDR)," *OSA Optics Express*, 有, vol.16, pp. 12148-12153, 2008.
- 12 X. Fan, Z. He, and K. Hotate: "Distributed strain sensor based on dynamic grating in polarization-maintaining erbium-doped fiber," *OSA Opt. Lett.*, 有, vol.33, pp.1647-1649, 2008.
- 13 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," *OSA Opt. Exp.*, 有, vol.16, pp.10006-10017, 2008.
- 14 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," *OSA Opt. Exp.*, 有, vol.16, pp. 7881-7887, 2008.

- 15 K.-Y. Song, W. Zou, Z. He and K. Hotate: "All-optical dynamic grating generation based on Brillouin scattering in Polarization-maintaining fiber," *OSA Optics Lett.*, 有, vol.33, pp.926-938, 2008.
- 16 K.-Y. Song, K.S. Abedin, and K. Hotate: "Gain-assisted superluminal propagation in tellurite glass fiber based on stimulated Brillouin scattering," *OSA Optics Express*, 有, vol.16, pp.225-230, 2008.
- 17 K.-Y. Song and K. Hotate: "Distributed fiber strain sensor at 1 kHz sampling rate based on Brillouin optical correlation domain analysis," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 有, vol.19, pp.1928-1930, 2007.
- 18 W. Zou, Z. He, A. D. Yablon and K. Hotate: "Dependence of Brillouin frequency shift in optical fibers on draw-induced residual elastic and inelastic strains," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 有, vol.19, pp.1389-1391, 2007.
- 19 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.*, 有, vol.25, pp.1238-1246, 2007.
- 20 W. Zou, Z. He, M. Kishi and K. Hotate: "Stimulated Brillouin scattering and its dependences on strain and temperature in a high-delta optical fiber with F-doped depressed inner cladding," *Opt. Lett.*, vol.32, pp.600-602, 2007.
- 21 K.-Y. Song and K. Hotate: "25 GHz bandwidth Brillouin slow light in optical fibers," *OSA Opt. Lett.*, 有, vol.32, pp.217-219, 2007.
- 22 K. T. Dinh and S. Yamashita: "Realization of channel-spacing-tunable multiwavelength fiber laser by tuning chirp rate of strongly chirped sampled fiber Bragg gratings," *Jpn J. of Appl. Phys.*, 有, Part 1, vol.46, pp. 3448-3451, 2007.
- 23 K. Hotate, K. Abe and K.-Y. Song: "Suppression of signal fluctuation in Brillouin optical correlation domain analysis system using polarization diversity scheme," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 有, vol.18, pp.2653-2655, 2006.
- 24 K. Hotate: "Fiber Sensor Technology Today," *Jpn. J. of Appl. Physics, special Issue for Microoptics*, 有, vol.45, pp.6616-6625, 2006.
- 25 W. Zou, Z. He and K. Hotate: "Two-dimensional finite-element modal analysis of Brillouin gain spectra in optical fibers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 有, vol.18, pp.2487-2489, 2006.
- 26 K.-Y. Song, Z. He and K. Hotate: "Distributed strain measurement with millimeter-order spatial resolution based on Brillouin optical correlation domain analysis," *OSA Opt. Lett.*, 有, vol.31, pp.2526-2528, 2006.
- 27 K. Hotate, K. Makino, Z. He, M. Ishikawa and Y. Yoshikuni: "High spatial resolution fiber-optic distributed lateral-stress sensing by stepwise frequency modulation of a super structure grating distributed Bragg reflector laser diode," *IEEE J. of Lightwave Technol.*, 有, vol.24, pp.2733-2740, 2006.
- 28 K. Hotate and Z. He. "Synthesis of optical coherence function and its applications in distributed and multiplexed optical sensing," *IEEE J. of Lightwave Technol.*, 有, vol.24, pp.2541-2557, 2006, <Invited>.
- 29 K.-Y. Song, K.-S. Abedin, K. Hotate, M.-G. Herráez and L. Thévenaz: "Highly efficient Brillouin slow and fast light using As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> chalcogenide fiber," *OSA Optics Express*, 有, vol.14, pp.5860-5865, 2006.
- 30 K.-Y. Song, Z. He and K. Hotate: "Optimization of Brillouin optical correlation domain analysis system based on intensity modulation scheme," *OSA Opt. Exp.*, 有, vol.14, pp.4256-4263, 2006.
- 31 S. Yamashita and M. Asano, "Wide and fast wavelength-tunable mode-locked fiber laser based on dispersion tuning," *OSA Opt. Exp.*, 有, vol.14, pp.9299-9306, 2006.
- 32 Z. He, T. Tomizawa, and K. Hotate: "High-speed high-reflectance-resolution reflectometry by synthesis of optical coherence function," *IEICE Electron. Exp.*, 有, vol.3, pp.122-128, 2006.
- 33 K.-Y. Song and K. Hotate: "Enlargement of measurement range in a correlation-based Brillouin sensing system using double lock-in amplifiers and a single-sideband modulator," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 有, vol.18, pp.499-501, 2006.
- 34 X. Fan, Z. He, and K. Hotate: "Novel strain- and temperature-sensing mechanism based on dynamic grating in polarization-maintaining erbium-doped fiber," *OSA Opt. Exp.* 有, vol.14, pp.556-561, 2006.
- 35 X. Fan, Z. He, Y. Mizuno and K. Hotate: "Bandwidth-adjustable dynamic grating in Erbium-doped fiber by synthesis of optical coherence function," *OSA Opt. Exp.*, 有, vol.13, pp.5756-5761, 2005.
- 36 K. Hotate and T. Yamauchi: "Fiber-optic distributed strain sensing system by Brillouin optical correlation domain analysis with a simple and accurate time-division pump-probe generation scheme," *Japanes J. of Appl. Phys.*, 有, vol.44, pp.L1030-L1033, 2005.
- 37 M. Enyama, Z. He, and K. Hotate: "Expansion

of spatial measurement range by use of vernier effect in multiplexed fibre Bragg grating strain sensor with synthesis of optical coherence function," *Meas. Sci. and Technol.*, 有, vol.16, pp.977-983, 2005.

- 38 M. Kashiwagi and K. Hotate: "Elongation of measurement range by successively shifting measurement window in a high spatial resolution reflectometry for optical subscriber networks by synthesis of optical coherence function," *Meas. Sci. and Tec.*, 有, 15, 1512-1518, 2004.
- 39 X. Fan, Z. He and K. Hotate: "A novel distributed fiber-optic strain sensor by localizing dynamic grating in polarization maintaining Erbium-doped fiber: Proposal and theoretical analysis," *Jpn. J. of Appl. Physics*, 有, vol.44, pp.1101-1106, 2005.
- 40 S. Yamashita and Y. Inoue: "Multiwavelength Er-doped fiber ring laser incorporating highly nonlinear fiber," *Jpn. J. of Appl. Phys.*, 有, vol.44, pp.L1080-L1081, 2005.
- 41 S. Yamashita, T. Baba and K. Kashiwagi, "Frequency-shifted multiwavelength FBG laser sensor," *Jpn. J. of Appl. Physics*, 有, vol. 43, pp.8322-8324. 2004.
- 42 Z. He, S.Yoshiyama, M. Enyama and K. Hotate, "High-reflectance-resolution optical reflectometry by synthesis of optical coherence function," *Jpn. J. of Appl. Physics*, 有 vol. 44, pp. L117 - L119, 2004.
- 43 S. Yamashita and A. Inaba, "FBG laser sensor with intracavity dispersive fiber based on mode-locking frequency interrogation," *Meas. Sci. and Technol.*, 有, vol 15, pp.1536-1538, 2004.

[学会発表](国際会議 計 86 件:招待講演のみ記す)

- 1 K. Hotate and Z. He: "Fiber-Optic Nerve Systems for Safety and Security," *4th Optoelectronics and Communications Conf.*, Hong Kong, July 13-17, 2009, <Invited>.
- 2 K. Hotate: "Fiber Optic Nerve Systems for Safety and Security," *SPIE Defense, Security, and Sensing*, Orland, April 15 (13-17), 2009 <Keynote>, <Invited>.
- 3 Z. He and K. Hotate: "Dynamic Grating in Optical Fiber: Synthesis and Sensing Applications," *1st Asia-Pacific Optical Fiber Sensors Conference (APOS-2008)*, Chengdu, China, Nov. 8(7-9), 2008, <Invited>.
- 4 K. Hotate e: "Fiber Optic Nerve Systems for Smart Materials and Smart Structures," *IEEE Topical Meeting on Microwave Photonics (NWP2008)*, Gold Coast, pp.31-34, Sept. 30 - Oct. 3, 2008, <Invited>.

- 5 K. Hotate: "Distributed optical fiber sensors and their applications," *19th Intern. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS-19)*, Tutorial workshops, Perth, Apl. 14-18, 2008, <Invited>.
- 6 K. Hotate: "Fiber optic nerve systems for materials and structures that can feel pain," *21st IEEE Intern. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2008)*, Tucson, pp.98-103, Jan. 15-18, 2008, <Invited>.
- 7 K. Hotate: "Fiber Optic Nerve Systems for materials and structures that can feel pain," *SMSST07*, Tokyo, July 21 -22 2007, <Invited>.
- 8 K. Hotate: "Fiber optic nerve systems for materials that can feel pain," *The European Conference on Lasers and Electro-Optics and the XIth European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-IQEC 2007)*, Munich, CH1-3, June. 16-20, 2007, <Invited>.
- 9 K. Hotate: "Fiber-Optic nerve systems for materials and structures that can feel pain," *World Forum on Smart Materials and Smart Structures Technol. (SMSST2007)*, Chonching, May 22-24, 2007 <Keynote>, <Invited>.
- 10 K. Hotate: "Fiber-optic nerve systems for non-destructive diagnosis of structures and materials," *Tenth Intern. Symp. on Contemporary Photonics Technology (CPT 2007)*, Tokyo, I-1, pp.127-128, Jan. 10-12, 2007, <Invited>.
- 11 A. Ohno, A. Kurokawa, T. Kumagai, S. Nakamura and K. Hotate: "Applications and technical progress of fiber optic gyros in Japan," *18th Intern. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS-18)*, Cancun, MA4, Oct. 23-27, 2006, <Invited>.
- 12 Z. He, S. Horie, K. Hotate, M. Ishikawa, and Y. Yoshikuni: "Unification of input and output ends in polarization-maintaining optical fiber stress sensor by synthesis of optical coherence function," *SPIE 6049, Intern. Symp. on Opto-mechatronic Technologies (ISOT 2005)*, Sapporo, Dec. 2005, <Invited>.
- 13 K. Hotate: "Photonic sensing," *11th Micro-optics Conference (MOC'05)*, TW2, Tokyo, Dec.-Nov. 2005 <Tutorial>, <Invited>.
- 14 Z. He and K. Hotate: "Distributed photonic sensing with synthesized optical coherence function," *SPIE 5952, Intern. Congress on Optics and Optoelectronics*, Warsaw, Aug.-Sept. 2005, <Invited>.
- 15 K. Hotate: "Distributed and multiplexed fiber optic sensors and their applications to smart structures and smart materials," *the 2005 Optical Amplifiers and Their Applications Meeting*, Budapest, TuA4, Aug. 2005, <Invited>.
- 16 K. Hotate: "Materials that feel pain – distri-

- buted strain sensing by optical fibers embedded in structures and materials,” *IEEE/ LEOS Intern. Conf. on Optical MEMs and Their Applications*, Oul, PLE2, Aug. 2005, <Invited>.
- 17 K. Hotate: “Correlation-based continuous-wave technique for optical fiber distributed strain measurement using Brillouin scattering,” *17th Intern. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS-17)*, Bruges, Tu-1, May, 2005, <Invited>.
- 18 K. Hotate: “Fiber optic nerve systems with optical correlation domain technique for smart structures and smart materials,” *North American Euro-Pacific Workshop on Sensing Issue in Civil Structural Health Monitoring*, Hawaii, Nov. 2004, <Invited>.
- 19 Z. He and K. Hotate: “Application of Synthesized Coherence Function to Distributed Optical Sensing,” *SPIE 5623, APOC 2004 Conference*, Beijing, Nov. 2004 <Tutorial>, <Invited>.
- 20 M. Enyama and K. Hotate: “Dynamic and random-access strain measurement by fiber Bragg gratings with synthesis of optical coherence function,” *SPIE 5589, Optics East 2004*, Philadelphia, Oct. 2004, <Invited>.
- 21 K. Hotate: “Correlation-based continuous wave technique for fiber Brillouin distributed strain sensing with a high spatial resolution,” *SPIE 5604, Optics East 2004*, Philadelphia, Oct. 2004, <Invited>.
- 22 M. Yokooji and S. Yamashita: “Multi wavelength fiber laser using channel spacing-tunable sampled fiber bragg grating,” *Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2005)*, no.8D1-2, July 2005, <Invited>.
- 23 K. Hotate: “Trend and prospects for optical distributed sensing - Fiber-optic nerve systems for smart materials and smart-structures -,” *Second European Workshop on Optical Fiber Sensors*, Santander, June 2004, <Invited>.

〔図書〕(計 3 件)

- 1 保立和夫: “光ファイバセンサ網の光測定「次世代センサハンドブック: 編 基礎 9章 光ファイバセンサ 9.6 次世代光ファイバセンサ技術 9.6.1 分布型センシング, 藍 光郎, pp.371-380, 培風館, 2008.

〔産業財産権〕

出願状況(計 3 件)

- 1 保立和夫, 鎗 孝志, 石岡昌人, 熊谷芳宏, 大石和司: “光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法,” 出願者: 保立和夫,

三菱重工業株式会社, 横河電機株式会社, 特許権, 特願 2008 - 039960, 2008年2月21日.

- 2 保立和夫, 何 祖源, 水野洋輔: “光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法,” 出願者: 東京大学, 特許権, 特願 2007 - 316440, 2007年12月6日.
- 3 保立和夫, 宋 光容, 何 祖源: “光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法,” 出願者: 東京大学, 特許権, 特願 2006-019705, 2006年1月27日(海外特許申請中).

取得状況(計 1 件)

- 1 保立和夫, 宋 光容: “光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法,” 出願者: 東京大学, 特許権, 特願 2005-348482, 2005年12月1日, 登録: 4100574, 2008年3月28日(海外特許申請中).

〔その他〕

- 1 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 保立・山下・何研究室 ホームページ: <http://www.sagnac.t.u-tokyo.ac.jp/>
- 2 東京大学電気系グローバルCOE「セキュアライフ・エレクトロニクス」ホームページ中の「ウェブマート」: <http://www.ee.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/webmart/index.shtml>

6 . 研究組織

(1)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  
研究者番号: 6 0 1 2 6 1 5 9

(2)研究分担者

下記 3 名は 2007 年度まで研究分担者

(3)連携研究者

山下 真司 (YAMASHITA SHINJI)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 4 0 2 3 9 9 6 8

何 祖源 (HE ZUYUAN)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 7 0 3 2 2 0 4 7

岸 眞人 (KISHI MASATO)  
東京大学・大学院工学系研究科・助授  
研究者番号: 0 0 1 5 0 2 8 5