

課題番号	LR012
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	超高速・超広帯域光ファイバ光源を用いたリアルタイム光断層計測とその医用応用
	Real-time optical coherence tomography using ultrafast and ultrabroad fiber sources for medical applications
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東京大学・先端科学技術研究センター・教授
	The University of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology, Professor
氏名 (下段英語表記)	山下 真司
	Shinji Yamashita

研究成果の概要

(和文):

光コヒーレンストモグラフィ(OCT)は赤外光を用いて生体の断層画像を高分解能で取得する技術であり、さらなる医用応用を進めるためには測定の高速度化が不可欠である。本研究は、新しい光ファイバ光源を用いて超高速・超高分解能 OCT システムを構築し、その医用応用を進めた。既存の光源より数十倍の速度をもつ超高速分散チューニング波長掃引光ファイバ光源を開発し、かつカーボンナノチューブ・グラフェンによる安定な超短パルス光ファイバレーザによる超広帯域(SC)光ファイバ光源を開発し、OCTシステムに活用した。さらに、医師と共同で耳鼻科領域への応用を検討し、OCTにより内耳蝸牛内構造の描出ができることを実証した。

(英文):

Optical coherence tomography (OCT) is a noninvasive cross-sectional imaging technique using infrared light, which can be used to obtain images of the tissue with high resolution. High imaging speed is needed for further medical applications. In this project, we constructed high-speed and high-resolution OCT systems using novel optical fiber sources for medical applications. We developed dispersion-tuned wavelength-swept fiber lasers that have the sweep speed of a few tens of times faster than the existing swept lasers, and ultra-broadband supercontinuum (SC) fiber sources based on stable ultra-short-pulse fiber lasers using carbon nanotube and graphene,

様式21

and used them in the OCT systems. We made otological applications of the OCT systems with otologists, and succeeded in imaging the cochlear structures of the inner ear.

1. 執行金額 158,600,000 円
 (うち、直接経費 122,000,000 円、 間接経費 36,600,000 円)
2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

本研究の目的は、申請者が進めてきた独創的な新しいモード同期法による超高速・超広帯域光ファイバ光源を利用して光コヒーレンストモグラフィ(OCT)による超高速・超高分解能リアルタイム光断層計測システムを構築し、さらにその医用応用を図るものである。ここでの新しいモード同期法とは以下の2つ、

- ① 共振器内の分散を利用した分散チューニング法による超高速・広帯域波長可変光発生
- ② ナノカーボン可飽和吸収素子による受動モード同期による超短パルス発生

であり、どちらも申請者が最近提案した独自技術である。

本研究の第一の柱は、申請者のオリジナル技術である分散チューニングによる波長掃引OCT(SS-OCT)用の超高速・超広帯域波長可変モード同期光ファイバレーザである。本研究では、従来からある波長可変レーザ光源では実現し得なかった波長チューニング速度と帯域を両立させることを目指す。さらに、実現した超高速・超広帯域波長可変レーザ光源をSS-OCTシステムに応用してその優れた性能を実証してゆく。本研究の第二の柱は、申請者がこれまで進めてきたカーボンナノチューブ(CNT)受動モード同期光ファイバレーザからの高安定・高繰り返し短パルスを非線形光ファイバと組み合わせることで、超広帯域かつ低雑音なスーパーコンティニウム(SC)光を発生させ、それをスペクトル領域OCT(SD-OCT)システムに応用することである。

4. 研究計画・方法

(1) 高速・広帯域分散チューニング光ファイバレーザ

分散チューニングレーザは、高分散媒質を共振器中に挿入して強度変調により能動モード同期をかけ、その周波数を変化させることによって発振波長を選択するものである。分散媒質として、まず分散補償光ファイバ(DCF)を用いた光源を試作した。ただし、DCFでは短くとも数10mの長さが必要なため、高速化に難があった。そこで、分散媒質として数10cmの長さで済むCFBGを、利得媒質として片端がミラーとなっている反射型SOA(RSOA)を用いた構成を評価した。これらの光源をSantec社と共同で開発した高速SS-OCTシステム(図1(a))の光源として使い、OCT光源としての性能を評価した。さらに短共振器化を目指すために、CFBGに代えて回折格子対を利用することで更なる高速化を図った。また、分散チューニングの特長として波長によらない事があり、波長1 μm 帯でも分散チューニングレーザを検討した。

また分散チューニングレーザのシミュレータを構築した。高速波長掃引と高コヒーレンスとの両立を図るためのパラメータの最適化を進めた。分散と変調だけでなく非線形性を取り入れた分散チューニングレーザの正確なモデルを初めて提案し、そのモ

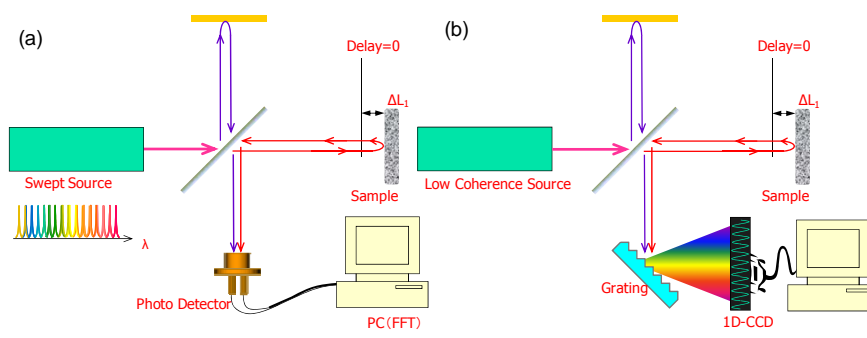


図1 OCTシステム (a)SS-OCT (b)SD-OCT

デルを元にシミュレーションを行ない、パラメータの最適化を進めた。

(2) ナノカーボン短パルスレーザとそれによる広帯域光発生

吸収飽和は、高強度の光により媒質が透明化する、つまり吸収が減少する現象であり、このような媒質を可飽和吸収体(Saturable absorber, SA)と呼ぶ。高速で低飽和強度をもつ可飽和吸収体はレーザからの短パルス発生法である受動モード同期を実現するための素子として重要である。我々は超高速の可飽和吸収素子として、グラフェンやカーボンナノチューブ(CNT)といったナノカーボンをを用いた短パルス光ファイバレーザの研究を進めてきた。本研究はその短パルス光ファイバレーザの出力パワーと安定性をさらに上げて、非線形光ファイバ中での SC による広帯域光を安定かつ低雑音で発生させ、それを SD-OCT に応用するものである。

グラフェンや CNT は薄膜状の SA で非常に小さいという特長がある。これを生かし、超小型で安定な短パルス光ファイバレーザを検討した。受動モード同期では繰り返し周波数は共振器長に反比例するので、このような超小型レーザは繰り返し周波数が高くなり、OCT 応用だけでなく通信や計測用途の楯状(コム)光源としても重要である。また、SC 光を光ファイバレーザ出力短パルスから増幅なしで発生させるためには高出力化が欠かせないが、これには2つの問題がある。一つはグラフェンや CNT が高強度光によりダメージを受ける点、もう一つは通常の異常分散領域でのソリトンモード同期光ファイバレーザではパルスエネルギーに限界がある点である。本研究では、正常分散領域での散逸モード同期技術を組み合わせることにより高強度短パルスを目指した。

このようなナノカーボン短パルス光ファイバレーザからの出力をシードパルスとして用いることにより、高非線形光ファイバ(HNLF)において SC 光の発生とその SD-OCT 応用を検討した。SC 光発生のシミュレータを構築して HNLF の分散特性や非線形性を平坦な SC 出力スペクトラムが得られるよう設計した。この HNLF を用いて SC 光源を実現し、Santec 社と共同で開発した高分解能 SD-OCT システム(図1(b))の光源として、高分解能な OCT 画像取得を目指した。

(3) OCT の耳鼻科領域への応用

OCT を利用した耳鼻科領域の医療分野の研究者との共同研究を進めた。臨床応用の可能性を探るため、モルモットの内耳を OCT により観察し、非侵襲的に蝸牛内構造の描出して障害の有無を調べることを目指した。

5. 研究成果・波及効果

(1) 高速・広帯域分散チューニング光ファイバレーザ

まず DCF を用いて波長 1.3 μ m 帯で分散チューニング光ファイバレーザを実現した。図2はこれを SS-OCT の光源として使い、測定対象をミラーとして遅延をかけた場合の点像関数、および手のひらの皮膚の OCT 画像である。この場

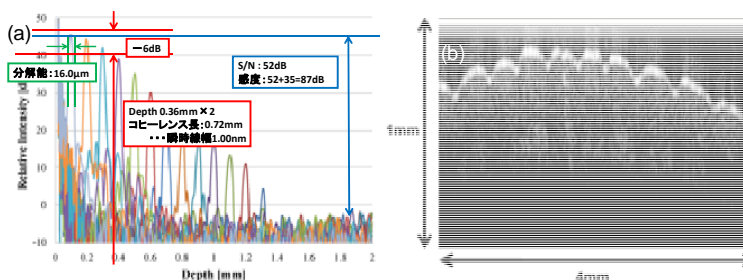


図2 DCFを用いた分散チューニングレーザとそのSS-OCT応用 (a)点像関数 (b)OCT画像(皮膚)

合の掃引レートは 1kHz で、掃引帯域は約 140nm である。分解能はおよそ 16 μ m、コヒーレンス長は 0.72mm、感度は約 90dB であった。掃引レートを上げると特性の劣化が見られ、長い共振器長(約 100m)に起因している。図3のように CFBG と RSOA を利用することで、共振器長を 4m 程度まで短くすることができた。OCT 画像(透明テープ)に示すように、従来の DCF を用いた構成では掃引レート 50kHz ではコヒーレンスの劣化が顕著でそれ以上では画像が取れないのに対し、短共振器構成ではコヒーレンスの劣化は見られるものの掃引レート 250kHz でも画像が取得できていることがわかる。

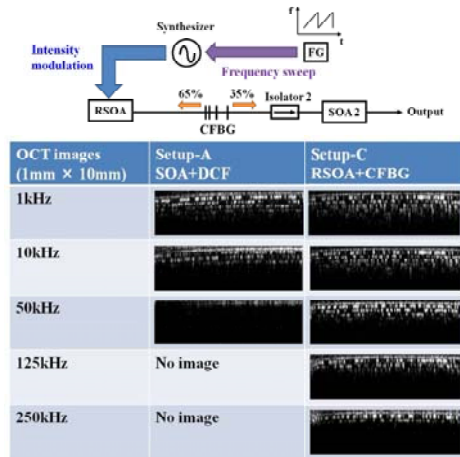


図3 CFBGとRSOAによる短共振器高速分散チューニングレーザとそのSS-OCT応用

分散チューニングレーザのシミュレーションの結果、共振器長を短くし、さらに正弦波変調の代わりに外部変調器でパルス変調を利用して異常分散領域で変調周波数を下げていく方向に波長掃引を行うことにより、80kHz 以上の波長掃引レートで 5mm 以上のコヒーレンス長(瞬間線幅 0.5nm 以下)が得られることがわかった(図4)。この結果を元に、短尺のチャープ光ファイバレーティング(CFBG)を異常分散

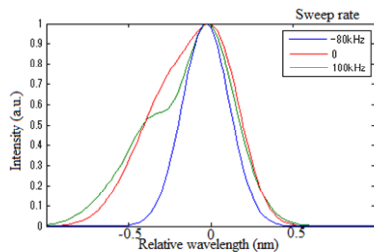


図4 パルス変調分散チューニングレーザの瞬時スペクトルのシミュレーション

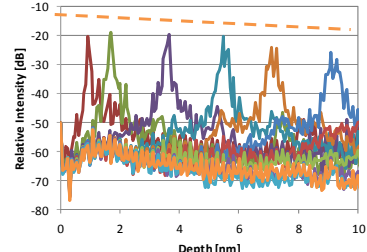


図5 パルス変調分散チューニングレーザの実験結果(点像関数)

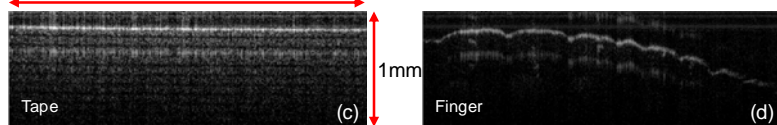
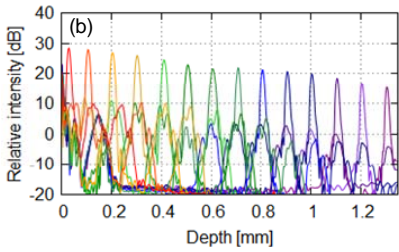
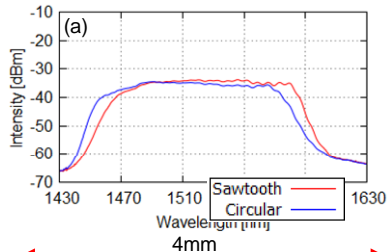


図6 分散チューニングレーザのSD-OCTへの応用 (a) 光スペクトル (b) 点像関数 (c)(d) OCT画像(透明テープと皮膚)

領域で用いてパルス変調を利用することにより、より広い掃引帯域が得られ、かつより深くまで SS-OCT 干渉信号が取れることを確認した(図5)。波長 1 μ m 帯の分散チューニングレーザにも成功している。また、分散チューニングレーザを広帯域光源として SD-OCT に用いることにも成功している(図6)。

(2) ナノカーボン短パルスレーザとそれによる広帯域光発生

高利得 Er:Yb 光ファイバと CNT およびグラフェン SA を用い、図7のように長さ 10mm・繰り返し周波数 10GHz という世界最小・最高速の短パルス光ファイバレーザを実現した。波長 1562nm で出力は約 2dBm 程度、パルス幅は約 865fs である。この出力短パルス光をシードパルスとして増幅し

て用いることにより、HNLF での SC 光の発生にも成功している。高強度光ファイバレーザについては、窒素封止することにより光ダメージ限界を向上させた SA を用い、散逸ソリトンモード同期光ファイバレーザとすることでパルスエネルギーを向上

できることを示した。波長 1.55 μm 帯で正常分散領域の8の字光ファイバレーザ構成にすることで、特徴的な四角いスペクトルが得られている。この時の繰り返し周波数は 10MHz、パルスエネルギーは 2.75nJ まで向上

した。出力パルス幅は 590fs で線形にチャープしており、分散補償により 230fs まで圧縮

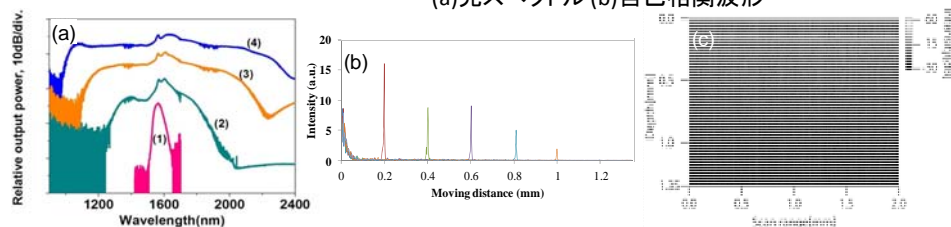


図9 散逸ソリトン8の字光ファイバレーザによるSC光発生とそのSD-OCT応用 (a)SC光スペクトル(b)点像関数(c) OCT画像(透明テープ)

可能であった(図8)。波長 1 μm および 2 μm 帯のナノカーボン短パルス光源も実現した。

光源を短パルスモード同期光ファイバレーザとして SC 光発生のシミュレーションを行なった結果、正常分散領域で分散が平坦な HNLF を用いれば平坦な SC 出力スペクトラムが得られることがわかった。これを元に HNLF を設計し、開発した高強度短パルス8の字光ファイバレーザを用いた超広帯域(SC)光源を実現した。シミュレーションにより SC 光発生のための非線形光ファイバの最適化を図り、波長 1 μm から 2 μm 以上に広がった SC 光を得た。これを SD-OCT システムの光源とすることで、高分解能(約 4 μm)な OCT 画像を取得できた(図9)。

(3) OCT の耳鼻科領域への応用

SS-OCT を用いて正常および内耳障害モルモットの側頭骨を採取し顕微鏡型のプローブを用いて蝸牛を観察し、パラフィン切片を用いた染色組織標本と比較した。図10に示すように正常群では染色標本で見られるのと同様の形態が認められたのに対し、内耳障害群ではコルチ器が傷害され扁平化し、血管条萎縮に伴いらせん靭帯の菲薄化が認められこれは染色標本でも確認された。さらに生体モルモットの蝸牛内部構造を観察し、ある程度の構造の描出が可能であることも判明した。非侵襲的に蝸牛内を観察できる可能性を示すもので、臨床応用が期待できる。

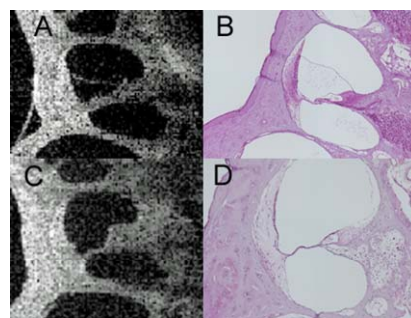


図10 蝸牛OCT画像(A,C)と染色画像(B,D)

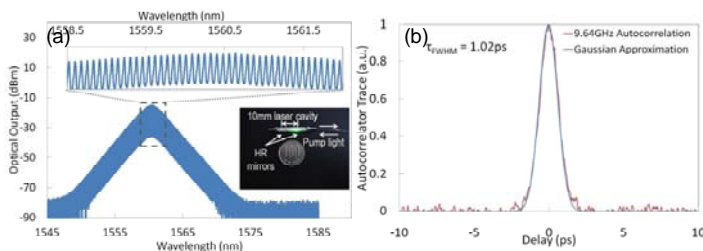


図7 世界最小・最高繰り返し短パルス光ファイバレーザ (a)光スペクトル(b)自己相関波形

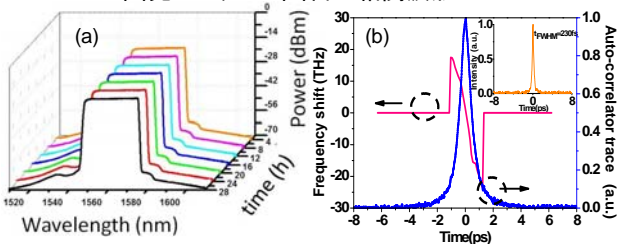


図8 CNTを用いた散逸ソリトン8の字光ファイバレーザ (a)光スペクトル(b)自己相関波形

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 24 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 17 件</p> <p>[1] A. Martinez and S. Yamashita, "Multi-Gigahertz repetition rate passively modelocked fiber lasers using carbon nanotubes," <i>Optics Express</i>, vol.19, no.7, pp.6156–6163, Mar. 2011.</p> <p>[2] A. Martinez and S. Yamashita, "Mechanical exfoliation of graphene for the passive mode-locking of fiber lasers," <i>Applied Physics Letters</i>, vol.99, no.121107, Sept. 2011.</p> <p>[3] S. Yamashita, "A tutorial on nonlinear photonic applications of carbon nanotube and graphene (Invited Tutorial)," <i>IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology</i>, vol.30, no.4, pp.427–447, Feb. 2012.</p> <p>[4] Y. Takubo and S. Yamashita, "In-vivo OCT imaging using wavelength swept fiber laser based on dispersion tuning," <i>IEEE Photonics Technology Letters</i>, vol. 24, no. 12, pp.979–981, June 2012.</p> <p>[5] A. Martinez and S. Yamashita, "10GHz fundamental mode fiber laser using a graphene saturable absorber," <i>Applied Physics Letters</i>, vol.101, no. 041118, July 2012.</p> <p>[6] K.-N. Cheng, Y.-H. Lin, S. Yamashita, and G.-R. Lin, "Harmonic order dependent pulsewidth shortening of a passively mode-locked fiber laser with carbon nanotube saturable absorber," <i>IEEE Photonics Journal</i>, vol. 4, no. 5, pp.1542–1552, Oct. 2012.</p> <p>[7] B. Xu, A. Martinez, and S. Yamashita, "Mechanically exfoliated graphene for four wave mixing based wavelength conversion," <i>IEEE Photonics Technology Letters</i>, vol.24, no.20, pp.1792–1794, Oct., 2012.</p> <p>[8] L. Jin, B. Xu, and S. Yamashita, "Alleviation of additional phase noise in fiber optical parametric amplifier based signal regenerator," <i>Optics Express</i>, vol.20, no.24, pp.27254–27264, Nov. 2012.</p> <p>[9] B. Xu, M. Omura, M. Takiguchi, A. Martinez, T. Ishigure, S. Yamashita, and T. Kuga, "Carbon nanotube/polymer composite coated tapered fiber for four wave mixing based wavelength conversion," <i>Optics Express</i>, vol.21, no.3, pp.3651–3657, Feb. 2013.</p> <p>[10] A. Martinez, K. Fuse, and S. Yamashita, "Enhanced stability of nitrogen-sealed carbon nanotube saturable absorbers under high-intensity irradiation," <i>Optics Express</i>, vol.21, no.4, pp.4665–4670, Feb. 2013.</p> <p>[11] Y. Takubo and S. Yamashita, "High-speed dispersion-tuned wavelength-swept fiber laser using a reflective SOA and a chirped FBG," <i>Optics Express</i>, vol.21, no.4, pp.5130–5139, Feb. 2013.</p> <p>[12] H. H. Liu, K. K. Chow, S. Yamashita, S. Y. Set, "Carbon-nanotube-based passively Q-switched fiber laser for high energy pulse generation," <i>Optics & Laser Technology</i>, vol.45, pp.713–716, Feb. 2013. (H24 実施状況報告書への記載漏れのため追加)</p> <p>[13] L. Jin, A. Martinez, and S. Yamashita, "Optimization of output power in a fiber optical parametric oscillator," <i>Optics Express</i>, vol.21, no.19, pp.22617–22627, Sep. 2013.</p> <p>[14] A. Kakigi, Y. Takubo, N. Egami, A. Kashio, M. Ushio, T. Sakamoto, S. Yamashita, and T. Yamasoba, "Evaluation of the internal structure of normal and pathological guinea pig cochleae using optical coherence tomography," <i>Audiology and Neurotology</i>, vol.18, no.5, pp.335–343, Oct. 2013.</p> <p>[15] S. Yamashita, and Y. Takubo, "Wide and fast wavelength-swept fiber lasers based on dispersion tuning and their application to optical coherence tomography (Invited)," <i>Photonic Sensors</i>, vol.3, no.4, pp.320–331, Dec. 2013.</p> <p>[16] B. Xu, A. Martinez, S. Y. Set, C. S. Goh, S. Yamashita, "A net normal dispersion all-fiber laser using a hybrid mode-locking mechanism," <i>Laser Physics Letters</i>, vol.11, no.2, Jan. 2014.</p> <p>[17] B. Xu, A. Martinez, S. Y. Set, C. S. Goh, S. Yamashita, "Polarization maintaining, nanotube-based mode-locked lasing from figure of eight fiber laser," <i>Photonics Technology Letters</i>, vol.26, no.2, Jan. 2014.</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 4 件</p> <p>[1] 山下真司, "ナノカーボンのフォトニクス応用," <i>O plus E</i>, vol.35, no.1, pp.63–65, Jan. 2013.</p>
------------------------	---

	<p>[2] 山下真司, “総論 —グラフェンとカーボンナノチューブ—,” オプトロニクス, no.2, pp.60-64, Feb. 2013.</p> <p>[3] 山下真司, “カーボンナノチューブ・グラフェンを利用した短パルスレーザ,” オプトロニクス, no.2, pp.87-93, Feb. 2013.</p> <p>[4] 山下真司, “グラフェンを用いた超短パルスファイバーレーザ,” 光学, vol.42, no.9, pp.446-452, Sept. 2013.</p> <p>(未掲載) 計 3 件</p> <p>[1] S. Yamashita, A. Martinez, and B. Xu, “Short pulse fiber lasers mode-locked by carbon nanotube and graphene (Invited),” Optical Fiber Technology, to be published.</p> <p>[2] A. Martinez, B. Xu and S. Yamashita, “Nanotube based nonlinear fiber devices for fiber lasers (Invited),” Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, to be published.</p> <p>[3] 山下真司, “グラフェンの超短パルスファイバーレーザ応用,” レーザ研究, 2014, 掲載予定.</p>
<p>会議発表 計 96 件</p>	<p>専門家向け 計 86 件</p> <p>[1] S. Yamashita, “Carbon-nanotube and graphene photonics (Tutorial),” Optical Fiber Communication Conference (OFC 2011), no.OThL1, Mar. 2011.</p> <p>[2] 山下真司, “カーボンナノチューブ・グラフェンの光非線形性を利用した短パルスレーザおよび光機能デバイス(招待講演),” 電気学会光・量子デバイス研究会, no.OQD-11-021, Mar. 2011.</p> <p>[3] B. Xu, A. Martinez, K. Fuse, and S. Yamashita, “Generation of Four Wave Mixing in Graphene and Carbon Nanotubes Optically Deposited onto Fiber Ferrules,” 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no.B-10-95, Mar. 2011.</p> <p>[4] 田久保勇也, 山下真司, “分散チューニングを利用した高速・広帯域波長可変ファイバレーザの OCT 応用,” 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no. B-13-47, Mar. 2011.</p> <p>[5] 高橋和也, 山下真司, “広帯域波長掃引光ファイバパラメトリック発振器,” 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no. C-3-18, Mar. 2011. (H22 実施状況報告書への記載漏れのため追加)</p> <p>[6] 布施数元, A. Martinez, 山下真司, “窒素封入カーボンナノチューブを用いたモード同期ファイバレーザの安定性向上,” 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no. C-4-7, Mar. 2011.</p> <p>[7] S. Yamashita, and Y. Takubo, “Fast wavelength-swept dispersion-tuned fiber laser over 500kHz using a wideband chirped fiber Bragg grating,” International Conference on Optical Fiber Sensors (OFS2011), Tronto, Canada, no.7753-196, 15-19 May 2011.</p> <p>[8] S. Yamashita, “Nonlinear photonics in carbon nanotubes and graphenes (Invited),” European Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO-EU 2011), Munich, Germany, no.CD1.1, 22-26 May 2011.</p> <p>[9] A. Martinez and S. Yamashita, “Fiber Fabry-Pérot laser mode-locked by graphene for the generation of supercontinuum with 0.08nm mode spacing,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2011, Baltimore, USA, no.CMAA4, 1-6 May 2011.</p> <p>[10] K. Fuse, A. Martinez, and S. Yamashita, “Stability enhancement of carbon-nanotube-based mode-locked fiber laser by Nitrogen sealing,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2011, Baltimore, USA, no.CMK5, 1-6 May 2011.</p> <p>[11] B. Xu, A. Martinez, K. Fuse, and S. Yamashita, “Generation of four wave mixing in graphene and carbon nanotubes optically deposited onto fiber ferrules,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2011, Baltimore, USA, no.CMAA6, 1-6 May 2011.</p> <p>[12] A. Martinez, K. Fuse, B. Xu, and S. Yamashita, “Mechanical exfoliation of graphene for mode-lock laser applications” 16th Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2011), no.8B1_4, Kaohsiung, Taiwan, 4-8 July 2011.</p> <p>[13] A. Martinez and S. Yamashita, “Carbon nanotubes and graphene based fiber lasers (Invited)”</p>

	<p>International Conference on Advanced Infocomm Technology (ICAIT 2011), Wuhan, China, no.c11a343, 11-14 July 2011.</p> <p>[14] B. Xu, M. Omura, M. Takiguchi, A. Martinez, T. Ishigure, S. Yamashita, T. Kuga, "Four-wave-mixing based wavelength conversion in a tapered fiber coated with carbon nanotubes/polymer composite," Micro-optics Conference (MOC2011), Sendai, Japan, no.H-16, 30 Oct. - 2 Nov. 2011.</p> <p>[15] A. Martinez and S. Yamashita, "Stretch-pulse mode-locking employing a carbon nanotube saturable absorber," Micro-optics Conference (MOC2011), Sendai, Japan, no.J-4, 30 Oct. - 2 Nov. 2011.</p> <p>[16] S. Yamashita, "Nonlinear photonic applications of carbon nanotube and graphene (Invited)," Asia Communications and Photonics Conference (ACP2011), Shanghai, China, no. 8307-41, 13-16 Nov. 2011.</p> <p>[17] 山下真司, "マルチコア伝送に向けた光信号処理技術(招待講演)," 光通信インフラの飛躍的な高度化に関する時限研究専門委員会研究会, とかちプラザ, 北海道, 2011年8月25日.</p> <p>[18] 山下真司, "カーボンナノチューブ/グラフェンを利用した光学デバイス(招待講演)," 光産業技術振興協会 第2回光材料・応用技術研究会, 機械振興会館, 東京, 2011年8月26日.</p> <p>[19] 尾村美香, 徐博, 滝口雅人, Amos Martinez, 石樽崇明, 山下真司, 久我隆弘, "カーボンナノチューブポリマーコンポジットを用いた非線形光学デバイス," 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), 機械振興会館, 東京, no.OPE2011-135, 2011年11月18日.</p> <p>[20] 山下真司, "カーボンナノチューブ/グラフェンの非線形光学とその応用(招待講演)," 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会「非線形光学50年 その基礎と材料・デバイスおよび応用」, 上智大学軽井沢セミナーハウス, 長野, 2011年12月9-11日.</p> <p>[21] 山下真司, "カーボンナノ材料を用いた光源とセキュアライフ応用(招待講演)," 電子情報通信学会研究会「グリーン&ライフイノベーションに向けた次世代ナノ材料・デバイス」, 産業技術総合研究所・臨海副都心センター, 東京, 2012年1月16日.</p> <p>[22] 山下真司, "カーボンナノチューブ/グラフェンの光学特性とその応用(招待講演)," 光産業技術振興協会マンスリーセミナー, 光産業技術振興協会, 東京, 2012年2月21日.</p> <p>[23] A. Martinez and S. Yamashita, "Stretch-pulse mode-locking employing carbon nanotubes and graphene," 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), 機械振興会館, 東京, no.OPE2011-204, 2012年3月2日.</p> <p>[24] 山下真司, "カーボンナノチューブ/グラフェンの非線形フォトニクス応用(依頼講演)," 電子情報通信学会 2011年ソサエティ大会, 北海道大学, 北海道, no. C-4-1, 2011年9月13-16日.</p> <p>[25] 田久保勇也, 山下真司, "チャープFBGを利用した高速・広帯域分散チューニングファイバレーザ," 電子情報通信学会 2011年ソサエティ大会, 北海道大学, 北海道, no. B-13-21, 2011年9月13-16日.</p> <p>[26] Bo Xu, Amos Martinez, Shinji Yamashita, "Four-wave-mixing based tunable wavelength conversion in mechanically exfoliated graphene," 電子情報通信学会 2011年ソサエティ大会, 北海道大学, 北海道, no. B-10-44, 2011年9月13-16日.</p> <p>[27] Amos Martinez, Kazuyuki Fuse, Shinji Yamashita, "Fiber lasers modelocked by mechanical exfoliated graphene," 電子情報通信学会 2011年ソサエティ大会, 北海道大学, 北海道, no. C-4-35, 2011年9月13-16日.</p> <p>[28] 田久保勇也, 山下真司, "反射型SOAとチャープFBGを用いた分散チューニングファイバレーザのOCT応用," 電子情報通信学会 2012年総合大会, 岡山大学, 岡山, no.B-13-33, 2012年3月20-23日.</p> <p>[29] Amos Martinez, Shinji Yamashita, " Stretched-Pulse fiber laser using</p>
--	---

	<p>mechanically exfoliated graphene,” 電子情報通信学会 2012 年総合大会, 岡山大学, 岡山, no.B-13-17, 2012 年 3 月 20-23 日.</p> <p>[30] S. Yamashita, “Carbon nanotube and graphene photonics for ultrafast pulse generation and signal processing (Invited),” 16th European Conference on Integrated Optics (ECIO 2012), Barcelona, Spain, 18-20 Apr. 2012.</p> <p>[31] A. Martinez and S. Yamashita, “Stretched-pulse mode-locking using a mechanically exfoliated graphene saturable absorber,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2012, no. CF1N.5, San Jose, USA, 6-11 May 2012.</p> <p>[32] Y. Takubo and S. Yamashita, “In-vivo OCT imaging using wavelength swept fiber laser based on dispersion tuning,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2012, no.JTh2A.32, San Jose, USA, 6-11 May 2012.</p> <p>[33] S. Yamashita, “Short-pulse fiber lasers using CNT and graphene (Invited),” OSA Topical Meeting on Specialty Optical Fibers & Applications (SOF), Colorado Springs, USA, no. SW2F.5, 17-20 June 2012.</p> <p>[34] A. Martinez and S. Yamashita, “Multi-solitons in a dispersion managed fiber laser using a carbon nanotube-coated taper fiber,” OSA Topical Meeting on Nonlinear Photonics (NP), Colorado Springs, USA, no. JTu5A.29, 17-20 June 2012.</p> <p>[35] B. Xu, A. Martinez, S.Y. Set, C. S. Goh, and S. Yamashita, “Dissipative solitons in a dispersion mapped, carbon nanotubes-based figure of eight fiber laser (Postdeadline paper),” Opto Electronics and Communications Conference’ 2012 (OECC’ 2012), Busan, Korea, no.PDP2-4, 2-6 Jul. 2012.</p> <p>[36] S. Yamashita, “Nanocarbon photonics for ultrafast pulse generation and signal processing (Invited),” JSAP-OSA Joint Symposia, Matsuyama, Japan, no.12a-G2-2, 11-14 Sept. 2012.</p> <p>[37] Y. Takubo and S. Yamashita, “Dispersion-tuned wavelength-swept fiber laser using a chirped FBG and a reflective SOA for OCT applications,” Int. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS2012), Beijing, China, no. PO2-10, 15-19 Oct. 2012.</p> <p>[38] S. Yamashita, “Photonic and optoelectronic applications of carbon nanotube and graphene (Invited),” Asia Communications and Photonics Conference (ACP2012), Guangzhou, China, no. AS1A.1, 7-10 Nov. 2012.</p> <p>[39] B. Xu, A. Martinez, S.Y. Set, C. S. Goh, and S. Yamashita, “Generation of dissipative solitons and noise-like pulse from figure of eight fiber laser,” Asia Communications and Photonics Conference (ACP2012), Guangzhou, China, no. ATh2A.2, 7-10 Nov. 2012.</p> <p>[40] S. Yamashita, “Photonic and optoelectronic applications of carbon nanotube and graphene (Invited),” Optics & Photonics Taiwan, International Conference 2012 (OPTIC 2012), Taipei, Taiwan, 6-8 Dec. 2012.</p> <p>[41] S. Yamashita, “Photonic applications of carbon nanotube and graphene (Invited),” International Conference on Fiber Optics and Photonics (Photonics 2012), Chennai, India, no.T3B-IT1, 9-12 Dec. 2012.</p> <p>[42] S. Yamashita, “Carbon nanotube and graphene for photonic and optoelectronic applications (Invited),” Photonics Global Conference (PGC 2012), Singapore, no.2-4E-2, 13-16 Dec. 2012.</p> <p>[43] Y. Takubo and S. Yamashita, “Fast wavelength sweep in dispersion-tuned fiber laser using a chirped FBG and a reflective SOA for OCT applications,” SPIE Photonics West, San Francisco, USA, no.8571-104, 1-6 Jan. 2013.</p> <p>[44] A. Kakigi, Y. Takubo, N. Egami, A. Kashio, M. Ushio, T. Sakamoto, S. Yamashita, T. Yamasoba, “Evaluation of the internal structure of the normal and pathological guinea pig cochleae using optical coherence tomography,” The Association for Research in Otolaryngology, 36th MidWinter Meeting. Baltimore, Maryland, USA. 16-20 Feb. 2013.</p> <p>[45] B. Xu, A. Martinez, S.Y. Set, C. S. Goh, and S. Yamashita, “Passive mode-locked lasing by carbon nanotube-based polarisation maintaining figure of eight fiber laser,” Ultrafast Optics Conference, Davos, Switzerland, no. MoP.26, 4-8 Mar. 2013.</p> <p>[46] 山下真司, “ナノカーボンを用いた短パルス光ファイバレーザーとその応用(招待講演),”第4回超高速光エレクトロニクス研究会, 慶応大学, 2012 年 6 月 8 日.</p>
--	---

- [47] 田久保勇也, 山下真司, “分散チューニングを用いた高速・広帯域波長可変ファイバレーザの OCT 応用,” 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), 東北大学電気通信研究所, 宮城, no.OPE2012-74, 2012 年 8 月 23,24 日.
- [48] Lei Jin, Bo Xu, Shinji Yamashita, “Alleviation of additional phase noise in saturated optical parametric amplifier based signal regenerator,” 電子情報通信学会光通信システム研究会(OCS), サンリフレ函館, 北海道, no. OCS2012-40, 2012 年 8 月 30,31 日.
- [49] 山下真司, “光コヒーレンストモグラフィ応用に向けた光ファイバレーザ(招待講演),” 電子情報通信学会 2012 年ソサエティ大会, 富山大学, 富山, no.BI-6-7, 2012 年 9 月 11-14 日.
- [50] 永井宏和, 山下真司, “CFBGとEDFを用いた分散チューニングレーザ,” 電子情報通信学会 2012 年ソサエティ大会, 富山大学, 富山, no. B-13-33, 2012 年 9 月 11-14 日.
- [51] Bo Xu, Martinez Amos, Set Sze, Goh Chee, Shinji Yamashita, “Generation of dissipative solitons from figure of eight fiber laser with carbon nanotubes,” 電子情報通信学会 2012 年ソサエティ大会, 富山大学, 富山, no. C-4-19, 2012 年 9 月 11-14 日.
- [52] Lei Jin, Shinji Yamashita, “Alleviation of the additional phase noise in a saturated fiber optical parametric amplifier,” 電子情報通信学会 2012 年ソサエティ大会, 富山大学, 富山, no.B-10-87, 2012 年 9 月 11-14 日.
- [53] 柿木章伸, 山下真司, 田久保勇也, 樫尾明憲, 江上直也, 牛尾宗貴, 坂本幸子, 山岨達也, “Optical Coherence Tomography を用いた蝸牛形態の検討,” 第 22 回日本耳科学会総会・学術講演会, 名古屋, 10.4-6. 2012 年 10 月 4-6 日.
- [54] 山下真司, “カーボンナノチューブを用いた超短パルスファイバレーザ(レーザー学会賞受賞記念講演),” レーザー学会学術講演会第 31 回年次大会, 姫路商工会議所, 姫路, 2013 年 1 月 28-30 日.
- [55] 山内智裕, 山下真司, “CNT モード同期光ファイバレーザ励起 SC 光源を用いた SD-OCT,” 電子情報通信学会 2013 年総合大会, 岐阜大学, 岐阜, no.B-13-28, 2013 年 3 月 19-22 日.
- [56] 田久保勇也, 山下真司, “射型 SOA とグレーティングペアを用いた分散チューニングファイバレーザの OCT 応用,” 電子情報通信学会 2013 年総合大会, 岐阜大学, 岐阜, no.B-13-34, 2013 年 3 月 19-22 日.
- [57] 王宇, 山下真司, “高パルスエネルギー全正常分散モード同期ファイバレーザ,” 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 神奈川, no. 27p-PA3-2, 2013 年 3 月 27- 30 日.
- [58] 金磊, 山下真司, “ストークス光を抑圧した広帯域波長掃引光ファイバパラメトリック発振器,” 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 神奈川, no. 28a-B3-4, 2013 年 3 月 27- 30 日.
- [59] 長谷川雄大, 山下真司, “モード同期ファイバレーザの共振器長によるパルス波形・スペクトル変化,” 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 神奈川, no. 28p-PA5-4, 2013 年 3 月 27- 30 日.
- [60] B. Xu, A. Martinez, S.Y. Set, C. S. Goh, and S. Yamashita, “Passive mode-locked lasing by carbon nanotube-based polarisation maintaining figure of eight fiber laser,” Ultrafast Optics Conference, Davos, Swizerland, no. MoP.26, 4-8 Mar. 2013.
- [61] Y. Wang, A. Martinez, and S. Yamashita, “High-pulse-energy all-normal, all-fiber passively mode-locked laser at 1.06 μ m,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2013, San Jose, USA, no.CW1M.7, 9-14 June 2013.
- [62] Y. Hasegawa and S. Yamashita, “Impact by fiber dispersion, nonlinearity, and saturable absorption in short-cavity mode-locked fiber lasers,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2013, San Jose, USA, no. JTu4A.18, 9-14 June 2013.
- [63] Y. Takubo and S. Yamashita, “Dispersion-tuned wavelength-swept fiber laser using a reflective SOA and a grating pair for OCT application,” Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2013, San Jose, USA, no.JTu4A.109, 9-14 June 2013.
- [64] L. Jin, and S. Yamashita, “Optimization of Multi-Watt Output Power in a Narrowband Fiber Optical Parametric Oscillator,” 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR 2013), Kyoto, Japan, no.TuA1-3, 30 June - 4 July 2013.
- [65] S. Yamashita, A. Martinez and B. Xu, “Carbon nanotube and graphene for short-pulse lasers

	and all-optical signal processing (invited),” 7th International Conference on Materials for Advanced Technologies, ICMAT 2013, Singapore, 30 June – 5 July 2013.
[66]	S. Yamashita, A. Martinez and B. Xu, “Carbon nanotube and graphene for photonic applications (invited),” SPIE-Active photonic materials V, San Diego, USA, no.8808-25, 25-29 Aug. 2013.
[67]	B. Xu, A. Martinez, S.Y. Set, C. S. Goh, and S. Yamashita, “Turnkey, high power dissipative soliton all fiber laser using a hybrid modelocking mechanism,” Micro-optics Conference (MOC2013), Tokyo, Japan, no.G3, 27-30 Oct. 2013.
[68]	S. Yamashita, A. Martinez and B. Xu, “Nonlinear optical fiber devices using carbon nanotube and graphene for short-pulse fiber lasers (invited),” International Optical Convergence Technology Conference (IOCTC 2013), Gwangju, Korea, 2 Oct., 2013.
[69]	山下真司, “カーボンナノチューブ・グラフェンを用いた光ファイバレーザ(招待講演),”レーザー学会ファイバーレーザ技術専門委員会, 大阪大学, 2013年4月19日.
[70]	Lei Jin, 山下真司, “2.4W output power from a fiber optical parametric oscillator by optimizing output coupling ratio,” 電子情報通信学会 2013年ソサエティ大会, 福岡工業大学, 福岡, no. C-4-5, 2013年9月17-20日.
[71]	白畑卓磨, 山下真司, “分散チューニングを用いた1 μ m帯高速・広帯域波長可変レーザ,” 電子情報通信学会 2013年ソサエティ大会, 福岡工業大学, 福岡, no. C-4-32, 2013年9月17-20日.
[72]	長谷川雄大, 山下真司, “分散チューニングレーザの波長掃引によるスペクトル線幅広がり,” 電子情報通信学会 2013年ソサエティ大会, 福岡工業大学, 福岡, no. C-4-33, 2013年9月17-20日.
[73]	永井宏和, 山下真司, “パルス変調による分散チューニングレーザの狭線幅化,” 電子情報通信学会 2013年ソサエティ大会, 福岡工業大学, 福岡, no. C-4-34, 2013年9月17-20日.
[74]	長谷川雄大, 山下真司, “分散チューニングレーザの波長掃引による波長幅の広がり,” フォトニックセンシング最前線, 東京大学, no.P-04, 2013年9月30日.
[75]	田久保勇也, 山下真司, “分散チューニングファイバレーザにおける波長可変帯域とスペクトル線幅の定量的評価,” フォトニックセンシング最前線, 東京大学, no.P-05, 2013年9月30日.
[76]	永井宏和, 山下真司, “パルス変調を用いた分散チューニングレーザ,” フォトニックセンシング最前線, 東京大学, no.P-06, 2013年9月30日.
[77]	田久保勇也, 長谷川雄大, 永井宏和, 山下真司, “分散チューニングを用いた高速・広帯域波長可変ファイバレーザの高性能化,” レーザ学会ファイバーレーザ技術専門委員会第2回公開研究会, 名古屋大学, 2013年11月22日.
[78]	柿木章伸, 田久保勇也, 江上直也, 坂本幸士, 山下真司, 山嵜達也, “Optical Coherence Tomography による蝸牛内部構造のリアルタイム観察,” 第23回日本耳科学会総会・学術講演会, 宮崎シーガイアコンベンションセンター, 宮崎, no.123, 2013年11月24-26日.
[79]	山下真司, “カーボンナノチューブ・グラフェンによる超短パルス光ファイバレーザ(招待講演),” 先端光量子科学アライアンスセミナー, 電気通信大学, 2013年11月29日.
[80]	山下真司, “光ファイバによる増幅と非線形性,” 日本光学会(応用物理学会)第40回冬期講習会「光ファイバ技術の最前線」, 東京大学, 2014年1月16-17日.
[81]	山下真司, “カーボンナノチューブ・グラフェンを用いたモード同期光ファイバレーザ(招待講演),” レーザ学会学術講演会第34回年次大会, 北九州国際会議場, 福岡, 2014年1月20-22日.
[82]	Y. Wang and S. Yamashita, “Numerical studies on generation of high energy pulses in an all normal dispersion mode-locked fiber laser with and without a physical bandpass filter,” 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), ネストホテル那覇, 沖縄, no.OPE2013-234, 2014年2月27-28日.
[83]	長谷川雄大, 山下真司, “分散チューニングレーザの高速波長掃引時の動作解析,” 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), ネストホテル那覇, 沖縄, no.OPE2013-235, 2014年2月27-28日.
[84]	永田翼, 徐博, 山下真司, “8の字型モード同期光ファイバレーザ励起 SC 光源を用いた

	<p>SD-OCT,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会, 新潟大学, 新潟, no.B-13-20, 2014 年 3 月 18-21 日.</p> <p>[85] 長谷川雄大, 山下真司, “分散チューニングレーザの波長掃引時の新しい計算手法,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会, 新潟大学, 新潟, no.C-4-24, 2014 年 3 月 18-21 日.</p> <p>[86] 田久保勇也, 山下真司, “分散チューニング波長掃引ファイバレーザのスペクトラルドメイン OCT への応用,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会, 新潟大学, 新潟, no.C-4-25, 2014 年 3 月 18-21 日.</p> <p>一般向け 計 10 件</p> <p>[1] 山下真司, “光ファイバ通信と光 CT,” 電子情報通信学会主催: 科学教室「東京大学工学部電気系を訪問しよう!」における講演, 東京大学, 東京, 2011 年 5 月 14 日.</p> <p>[2] 山下真司, “光コヒーレンストモグラフィ,” 東京大学工学系研究科主催: 「ご父母のためのオープンキャンパス」における講演, 東京大学, 東京, 2011 年 5 月 28 日</p> <p>[3] 山下真司, “光ファイバ光源による光コヒーレンストモグラフィ(OCT)の高性能化,” 東京大学病院耳鼻咽喉科における講演, 東京大学, 東京, 2011 年 10 月 13 日.</p> <p>[4] 山下真司, “光の導波 ー光ファイバーを中心にー,” 第 17 回微小光学特別セミナー「微小光学の基礎と応用」, 東京大学生産技術研究所, 東京, 2012 年 6 月 25,26 日.</p> <p>[5] 山下真司, “超高速・超広帯域光ファイバ光源を用いたリアルタイム光断層計測とその医用応用,” 最先端・次世代研究開発支援プログラム「国民との科学・技術対話」ポスター展示, 東京大学, 東京, 2012 年 8 月 3 日-10 月 18 日.</p> <p>[6] 山下真司, “超高速・超広帯域光ファイバ光源を用いたリアルタイム光断層計測とその医用応用,” 最先端・次世代研究開発支援プログラム「国民との科学・技術対話」ポスター展示, 文京シビックセンター, 東京, 2013 年 1 月 16,17 日.</p> <p>[7] 山下真司, “光ファイバを使った光断層計測(光 CT)システム,” 『東京大学の研究室をのぞいてみよう!』プログラムでの研究室見学における講演, 東京大学, 東京, 2013 年 3 月 29 日.</p> <p>[8] 山下真司, “カーボンナノチューブ・グラフェンによる超短パルス光ファイバレーザ(招待講演),” 最先端の光・レーザ技術勉強会 2013 (ファイバーレーザーセミナー・レーザ応用セミナー), パシフィコ横浜, 2013 年 10 月 16,17 日.</p> <p>[9] 山下真司, “光ファイバで何ができるのか?,” マイクロオプティクス特別技術セミナー, 東京都立産業貿易センター浜松町館, 2013 年 11 月 26-28 日.</p> <p>[10] 山下真司, “超高速・超広帯域光ファイバ光源を用いたリアルタイム光断層計測とその医用応用,” 2013FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」ポスター展示, ベルサール新宿グランド, 東京, 2014 年 2 月 28 日・3 月 1 日.</p>
<p>図書 計 7 件</p>	<p>[1] A. Martinez and S. Yamashita, “Carbon nanotube-based photonic devices: applications in nonlinear optics,” (A chapter in the book “Carbon Nanotubes Applications on Electron Devices” edited by Jose Mauricio Marulanda), ISBN 978-953-307-496-2, InTech, 総ページ数 556, pp.367-386, Aug. 8, 2011.</p> <p>[2] 山下真司, “フォトリクス(「カーボンナノチューブ・グラフェンハンドブック」中の一節),” ISBN: 978-4-339-06621-0, コロナ社, 総ページ数 368, pp.261-267, Sep. 2011.</p> <p>[3] 山下真司, “光ファイバー通信(「光の百科事典」中の一節),” ISBN978-4-621-08463-2, 丸善, 総ページ数 786, Dec. 2011.</p> <p>[4] 山下真司, “グラフェンの光可飽和吸収特性と超短光パルスレーザー応用(「グラフェンの最先端技術と広がる応用」中の一節),” ISBN978-4-902410-24-2 フロンティア出版, 総ページ数 242, Jul. 2012.</p> <p>[5] S. Yamashita, Y. Saito, and J. H. Choi (ed.), Carbon Nanotube and Graphene for Photonic Applications, ISBN 978-0-85709-417-9, Woodhead Publishing, 総ページ数 398, 2013.</p> <p>[6] A. Martinez and S. Yamashita, “Carbon nanotube and graphene based fiber lasers,” (A chapter in the book “Carbon Nanotube and Graphene for Photonic Applications” edited by S. Yamashita, Y. Saito, and J. H. Choi), ISBN978-0-85709-417-9, Woodhead Publishing, 総ページ数 398, pp.121-143, 2013.</p>

	[7] 山下真司, “超短パルス光ファイバレーザのためのカーボンナノチューブ/グラフェン可飽和吸収素子の設計(「ナノ・マイクロスケール機械工学」中の一節)”, ISBN978-4-13-062836-5, 東京大学出版, 総ページ数 266, pp.208-213, Mar. 2014.
産業財産権 出願・取得 状況	(取得済み) 計 0 件 (出願中) 計 0 件
計 0 件	
Webページ (URL)	最先端・次世代研究開発支援プログラム「超高速・超広帯域光ファイバ光源を用いたリアルタイム光断層計測とその医用応用」 http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/yamalab/oct/index.html
国民との科学・技術対話の実施状況	平成 23 年度: 電子情報通信学会主催: 科学教室「東京大学工学部電気系を訪問しよう!」(2011 年 5 月 14 日、対象: 小中学生、参加者数: 約 50 名)、東京大学工学系研究科主催: 「ご父母のためのオープンキャンパス」(2011 年 5 月 28 日、対象: 東大生父母、参加者数: 約 100 名)、東京大学五月祭「EEIC 近未来体験」「研究室公開」(2011 年 5 月 28,29 日、対象: 一般、参加者数: 約 1,000 名)、および東京大学駒場祭「Encounter Optics!」(2011 年 11 月 25-27 日、対象: 一般、参加者数: 約 300 名)において、光に関する講義やOCTのデモを行った。さらに、本プロジェクトのホームページを開設し、研究内容のわかりやすい解説と研究成果の継続的な発信に務めた。 平成 24 年度: 『東京大学の研究室をのぞいてみよう!』プログラムでの研究室見学(2013 年 3 月 29 日、対象: 小中学生、参加者数: 約 200 名)、東京大学電気系学科研究室公開(2012 年 5 月 18 日、対象: 一般、参加者数: 約 200 名)、東京大学五月祭「EEIC 近未来体験」(2012 年 5 月 19,20 日、対象: 一般、参加者数: 約 1,000 名)において、光に関する講義やOCTのデモを行った。また、最先端・次世代研究開発支援プログラム「国民との科学・技術対話」において東大病院および文京シビックセンターでポスター展示を行なった。さらに、本プロジェクトのホームページを開設し、研究内容のわかりやすい解説と研究成果の継続的な発信に務めた。 平成 25 年度: 東京大学電気系学科研究室公開(2013 年 5 月 17 日、対象: 一般、参加者数: 約 300 名)、東京大学五月祭「近未来体験 2013」(2013 年 5 月 18,19 日、対象: 一般、参加者数: 約 1,000 名)において、光に関する講義やOCTのデモを行った。また、2013FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」(2014 年 2 月 28 日・3 月 1 日、対象: 一般、参加者数: 約 200 名)においてポスター展示を行なった。さらに、本プロジェクトのホームページを開設し、研究内容のわかりやすい解説と研究成果の継続的な発信に務めた。
新聞・一般雑誌等掲載 計 4 件	[1] “New fiber lasers deliver pulses at tens of gigahertz (A. Martinez and S. Yamashita, “Multi-Gigahertz repetition rate passively modelocked fiber lasers using carbon nanotubes,” Optics Express, vol.19, no.7, pp.6156-6163, Mar. 2011.についての紹介記事),” Physics Today, p.15, May. 2011. [2] “Our choice from the recent literature ([1]と同じ論文についての紹介記事),” Nature Photonics, vol.5, no.6, pp.326-327, June 2011. [3] “分散チューニングや CNT の SC 光を利用—高速・高分解能 OCT の実現へ,” 研究室探訪, Laser Focus World Japan, Aug. 2012. [4] Y. Takubo and S. Yamashita, “FIBER LASERS: Swept fiber laser uses dispersion tuning to target OCT imaging,” Laser Focus World, Aug. 1, 2012.
その他	[1] 第 36 回(平成 24 年)レーザ学会論文賞, レーザ研究論文(山下真司, “カーボンナノチューブを用いた超短パルスファイバレーザ,” レーザ研究, vol.38, no.11, pp.882-888, Nov. 2010.) に対して, 2012 年 4 月. [2] Asia Communications and Photonics Conference (ACP2012) Best Student Paper Award, 口頭発表(B. Xu, A. Martinez, S.Y. Set, C. S. Goh, and S. Yamashita, “Generation of dissipative solitons and noise-like pulse from figure of eight fiber laser,” Asia Communications and Photonics Conference (ACP2012), Guangzhou, China, no. Ath2A.2, Nov. 2012.) に対して, 2012 年 11 月.

様式21

7. その他特記事項

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	超高速・超広帯域光ファイバ光源を用いたリアルタイム光断層計測とその医用応用
研究機関・ 部局・職名	東京大学・先端科学技術研究センター・教授
氏名	山下 真司

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	122,000,000	122,000,000	0	122,000,000	122,000,000	0	0
間接経費	36,600,000	36,600,000	0	36,600,000	36,600,000	0	0
合計	158,600,000	158,600,000	0	158,600,000	158,600,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	10,515,750	45,945,665	16,282,595	9,633,397	82,377,407
旅費	0	2,982,887	4,314,956	2,651,426	9,949,269
謝金・人件費等	0	3,624,700	10,441,451	9,735,259	23,801,410
その他	0	1,699,182	3,080,814	1,091,918	5,871,914
直接経費計	10,515,750	54,252,434	34,119,816	23,112,000	122,000,000
間接経費計	0	0	0	36,600,000	36,600,000
合計	10,515,750	54,252,434	34,119,816	59,712,000	158,600,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
OCTシステム	IVH-2000T	1	9,765,000	9,765,000	2011/3/22	東京大学
光ファイバアンプ	PMFA-30	1	514,500	514,500	2011/3/9	東京大学
OCTシステムプログラム一式	IVP-2000T	1	8,610,000	8,610,000	2011/5/19	東京大学
10GB/Sシリアルビット誤り率測定器	SeBERT-100E	1	997,500	997,500	2011/11/29	東京大学
SD-OCTシステム	IVS-2000-SD	1	23,999,850	23,999,850	2012/2/3	東京大学
光スペクトラムアナライザ	AQ6370C-20-M/FC/RFC	1	3,439,800	3,439,800	2012/2/17	東京大学
ゲインチップ SOAパッケージ	GC-1220-CM-100	1	537,600	537,600	2012/3/28	東京大学
B-MAC-V型クリーンベンチ	日本エアーテック 株式会社製・B-MAC-1300V	1	512,400	512,400	2012/4/6	東京大学
ファラデーアイソレータ	QIOPTIQ PHOTONICS GMBH & CO.KG・ DLI 2	1	544,320	544,320	2012/6/11	東京大学
Short Pulse Autocorrelator	HAC-320-FS	1	2,598,750	2,598,750	2012/6/29	東京大学
特殊光ファイバ融着接続機	FSM-100P+	1	4,935,000	4,935,000	2013/11/28	東京大学
電気パルスジェネレーター	EPG-200B-0050	1	777,000	777,000	2013/12/18	東京大学
APE社製高性能スキャンング オートコリレーター	Short pulseCheck- 50ps/PMT-IR	1	2,623,425	2,623,425	2014/2/18	東京大学

5. 研究成果の概要

光コヒーレンストモグラフィ(OCT)は赤外光を用いて生体の断層画像を高分解能で取得する技術であり、さらなる医用応用を進めるためには測定の高速化が不可欠である。本研究は、新しい光ファイバ光源を用いて超高速・超高分解能OCTシステムを構築し、その医用応用を進めた。既存の光源より数十倍の速度をもつ超高速分散チューニング波長可変光ファイバ光源を開発し、かつカーボンナノチューブ・グラフェンによる安定な超短パルス光ファイバレーザによる超広帯域(SC)光ファイバ光源を開発した。さらに、医師と共同で耳鼻科領域への応用を検討し、OCTにより内耳蝸牛内構造の描出ができることを実証した。