

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)
実施状況報告書(平成 24 年度)**

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・工学系研究科・教授
氏名	山下 真司

1. 当該年度の研究目的

本研究の目的は、申請者が最近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。これらの超高速・超広帯域光ファイバ光源を Swept-Source OCT (SS-OCT) または Spectral-domain OCT (SD-OCT)システムにおいて用いれば、他の光源では為し得なかった超高速・超高分解能でのリアルタイム OCT システムを実現でき、超高速・超高分解能での断層計測が必要とされている医用分野への応用が期待できる。

第一のテーマ、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については、目下の最大の問題である高速波長スキャン時の干渉特性の劣化の対策に力を入れ、これにより高速 SS-OCT システムの実証を行なう。別の波長帯での超高速・広帯域波長可変光発生についても試みる。第二のテーマ、ナノカーボン受動モード同期レーザーによる超短パルス発生については、カーボンナノチューブ(CNT)またはグラフェンモード同期光ファイバレーザーの高出力化と高繰り返し周波数化を引き続き進めるとともに、別の波長帯での動作を実現する。また、これらのレーザーをシードとした広帯域スーパーコンティニウム(SC)光による SD-OCT システムを導入し、実証を行なう。

さらに、医療分野の共同研究者とともに、これらの SS/SD-OCT システムの耳鼻科領域への応用を検討してゆく。

2. 研究の実施状況

第一のテーマの高速・広帯域分散チューニング光ファイバ光源については、共振器中に用いる分散媒質として短尺のチャープ光ファイバグレーティング(CFBG)を利用することに加え、通常の半導体増幅器(SOA)に代えて反射型 SOA(RSOA)を利用することで短共振器化し、かつ偏波維持光ファイバにすることで安定なスキャンを実現した。これを超高速処理が可能な SS-OCT システムの光源として応用することで、250kHz での高速掃引で OCT 画像を取得することにも成功した(図1)。さらに、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ており、また光源のシミュレータを構築してパラメータの最適化を図っている。現在はより深く画像を得ることができるよう改善を進めている。波長 1 μ m 帯の分散チューニング光源の実現にも成功している。

第二のテーマのナノカーボン短パルス光源については、特に高強度な短パルスを生ずることのできる散逸モード同期光ファイバレーザを中心に研究を進めた。窒素封止したカーボンナノチューブを利用した8の字光ファイバレーザ構成にすることで、波長 1.55 μ m 帯でパルスエネルギー2nJで 200fs まで圧縮可能な安定な散逸ソリトンチャープパルスを得ることができた(図2)。これをシードパルスとして用いて超広帯域(SC)光を生ずさせるためのシミュレータを構築してパラメータを最適化し、平坦な SC 光の発生に成功した。これを光源として用いて前年度に構築した高速処理が可能な SD-OCT システムにより OCT 画像を取得できた。波長 1 μ m 帯のナノカーボン短パルス光源も実現している。

また、これらの OCT システム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ている。正常および内耳障害モルモットの蝸牛を観察し、両者での蝸牛内構造の相違の描出が可能であることを示すことができた。

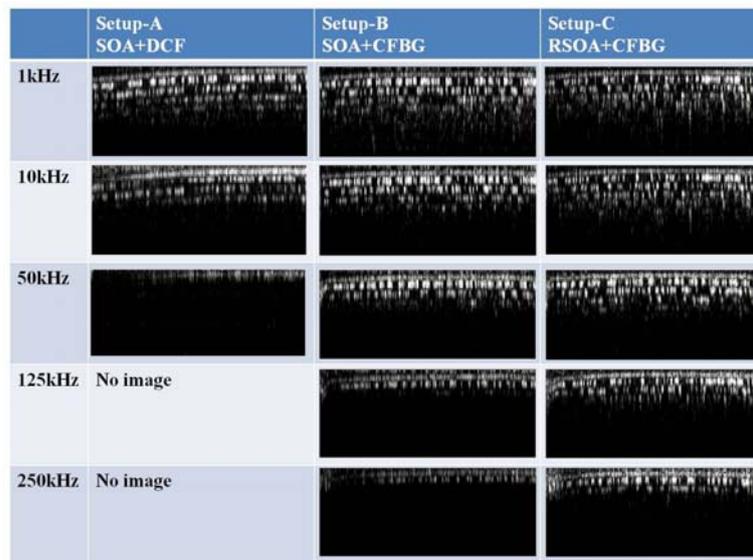


図1 種々の構成の光源での種々のスキャン速度で取得した SS-OCT 画像(粘着テープ)

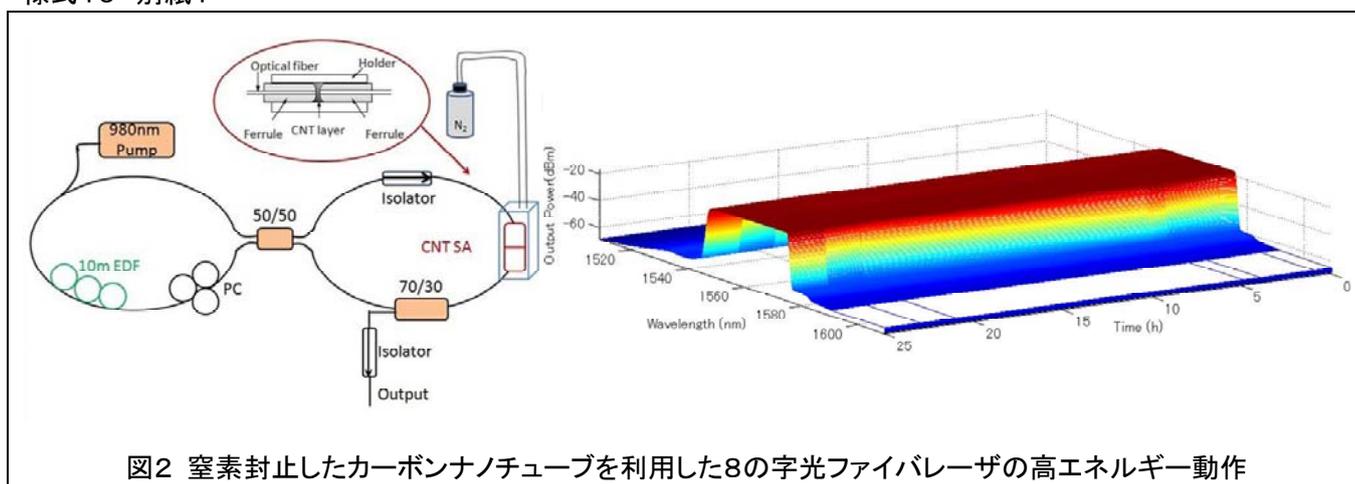


図2 窒素封止したカーボンナノチューブを利用した8の字光ファイバレーザの高エネルギー動作

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 11 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 8 件</p> <p>[1] Y. Takubo and S. Yamashita, "In-vivo OCT imaging using wavelength swept fiber laser based on dispersion tuning," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 24, no. 12, pp.979-981, June 2012.</p> <p>[2] A. Martinez and S. Yamashita, "10GHz fundamental mode fiber laser using a graphene saturable absorber," Applied Physics Letters, vol.101, no. 041118, July 2012.</p> <p>[3] 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," IEEE Photonics Journal, vol. 4, no. 5, pp.1542-1552, Oct. 2012.</p> <p>[4] B. Xu, A. Martinez, and S. Yamashita, "Mechanically exfoliated graphene for four wave mixing based wavelength conversion," IEEE Photonics Technology Letters, vol.24, no.20, pp.1792-1794, Oct., 2012.</p> <p>[5] L. Jin, B. Xu, and S. Yamashita, "Alleviation of additional phase noise in fiber optical parametric amplifier based signal regenerator," Optics Express, vol.20, no.24, pp.27254-27264, Nov. 2012.</p> <p>[6] 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," Optics Express, vol.21, no.3, pp.3651-3657, Feb. 2013.</p> <p>[7] A. Martinez, K. Fuse, and S. Yamashita, "Enhanced stability of nitrogen-sealed carbon nanotube saturable absorbers under high-intensity irradiation," Optics Express, vol.21, no.4, pp.4665-4670, Feb. 2013.</p> <p>[8] Y. Takubo and S. Yamashita, "High-speed dispersion-tuned wavelength-swept fiber laser using a reflective SOA and a chirped FBG," Optics Express, vol.21, no.4, 5130-5139, Feb. 2013.</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 3 件</p> <p>[1] 山下真司, "ナノカーボンのフォトニクス応用," O plus E, vol.35, no.1, 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, 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, Feb. 2013.</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 34 件</p>	<p>専門家向け 計 30 件</p> <p>[1] 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>[2] 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>[3] 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</p>

2012.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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ーの 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.

[19] 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.

[20] 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ー **(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.

[21] 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ー," 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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, 山嵜達也, "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.

[25] 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ー **(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.

様式19 別紙1

	<p>[26] 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.</p> <p>[27] 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.</p> <p>[28] 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.</p> <p>[29] 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.</p> <p>[30] 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.</p> <p>一般向け 計 4 件</p> <p>[1] 山下真司, “光の導波 – 光ファイバを中心に –,” 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>[2] 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>[3] 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>[4] 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>図書</p> <p>計 1 件</p>	<p>[1] 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拡がる応用」中の一節)”, フロンティア出版, Jul. 2012.</p>
<p>産業財産権 出願・取得状 況</p> <p>計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/yamalab/oct/index.html</p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>『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)、東京大学電気系学科研究室公開(2012 年 5 月 18 日)、東京大学五月祭「EEIC 近未来体験」(2012 年 5 月 19,20 日)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。</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載</p> <p>計 2 件</p>	<p>[1] “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.</p> <p>[2] Y. Takubo and S. Yamashita, “FIBER LASERS: Swept fiber laser uses dispersion tuning to target OCT imaging,” Laser Focus World, Aug. 1, 2012.</p>
<p>その他</p>	<p>[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.</p> <p>[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.</p>

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	122,000,000	65,356,000	33,532,000	23,112,000	0
間接経費	36,600,000	19,606,800	10,059,600	6,933,600	0
合計	158,600,000	84,962,800	43,591,600	30,045,600	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	587,816	33,532,000	0	34,119,816	34,119,816	0	0
間接経費	19,606,800	10,059,600	0	29,666,400	0	29,666,400	0
合計	20,194,616	43,591,600	0	63,786,216	34,119,816	29,666,400	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	16,282,595	SOA、LDドライバ、PMファイバ、高非線形ファイバ
旅費	4,314,956	研究成果発表旅費(CLEO、OFS)等
謝金・人件費等	10,441,451	特任研究員及び事務補佐員人件費
その他	3,080,814	学会誌投稿料(IEEE、Optics Express)等
直接経費計	34,119,816	
間接経費計	0	次年度に繰越したため
合計	34,119,816	

4. 当該年度の主な購入物品(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
B-MAC-V型クリーンベンチ	日本エアーテック精製・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