

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 23 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。

平成 23 年度は、平成 22 年度に引き続き、第一のテーマについては短共振器化による超高速波長スキャンの研究を進めるとともに、高速スキャン時の干渉特性を短共振器化と分散量・変調周波数の最適化により改善する。短共振器長分散チューニング法レーザで SS-OCT システムを構成し、非線形性を補償しながら超高速でのデータ取得が可能なソフトウェアを開発し、超高速システムを実現する。第二のテーマについては、前年度に引き続きナノカーボンモード同期光ファイバレーザの利得媒質として用いている利得光ファイバについて見直しを進めながら高出力化と高繰り返し周波数化を進めるとともに、それによる 100nm 以上の波長帯域を有するスーパーコンティニウム(SC)光発生を確認する。また、SD-OCT システムを導入し、まずは市販の低コヒーレンス光源を利用して点像関数の評価など、OCT 画像取得に向けた基礎実験を進める。

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長尺の分散補償ファイバ(DCF)に代えて短尺のチャープ光ファイバグレーティング(CFBG)を利用することにより短共振器化を実現し、500kHz 近くまでの高速スキャンを実現することができることを確かめた。また、高速スキャン時の干渉特性は半導体光増幅器(SOA)の自己位相変調効果により劣化し、これは DCF のような正常分散ではなく逆の異常分散を用いることで打ち消すことができることを確かめた。更なる性能改善に向けて努力している。非線形性を補償しながら超高速処理が可能な SS-OCT システムを構成し、高速での OCT 画像を取得することにも成功した(図1)。

第二のテーマのナノカーボン短パルス光源については、カーボンナノチューブおよびグラフェンを利用した種々の受動モード同期光ファイバレーザを実現した。図2は長さ 10mm・繰り返し周波数 10GHz という世

様式19 別紙1

世界最小・最高速の短パルス光ファイバレーザである。このようなレーザからの短パルス光(パルス幅 1ps 以下)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)においてスーパーコンティニウム(SC)光の発生にも成功した。SC 光の平坦化・高出力化に向けて努力している。また、高速処理が可能なSD-OCT システムを構築し、市販の低コヒーレンス光源を利用して OCT 画像取得に向けた基礎実験を進めている。

また、これらの OCT システムを利用した医療分野(耳鼻科領域)の研究者との共同研究を進めている。図3はモルモットの内耳の OCT 断層画像であり、他の方法では見ることができない断層像を高い分解能で得られるため非常に利用価値が高いとの評価を得ている。

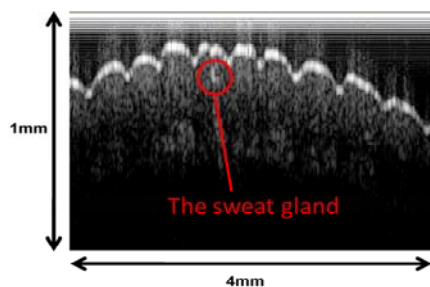


図1 高速SS-OCTによる手のひらのOCT断層画像

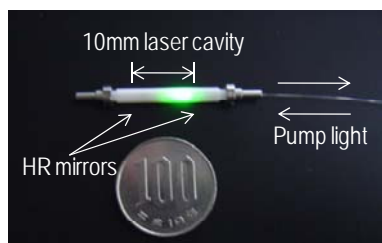


図2 CNTによる世界最小・最高速短パルス光ファイバレーザ

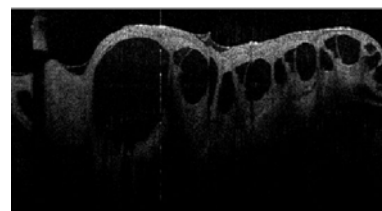


図3 モルモットの内耳のOCT断層画像

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計4件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計2件                  [1] A. Martinez and S. Yamashita, "Mechanical exfoliation of graphene for the passive mode-locking of fiber lasers," Applied Physics Letters, vol.99, no.121107, Sept. 2011.                  [2] S. Yamashita, "A tutorial on nonlinear photonic applications of carbon nanotube and graphene (<b>Invited Tutorial</b>)," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol.30, no.4, pp.427-447, Feb. 2012.</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計2件                  [1] Y. Takubo and S. Yamashita, "In-vivo OCT imaging using wavelength swept fiber laser based on dispersion tuning," IEEE Photonics Technology Letters, to be published.                  [2] B. Xu, A. Martinez and S. Yamashita, "Mechanically exfoliated graphene for four wave mixing based wavelength conversion," IEEE Photonics Technology Letters, submitted.</p>
<p>会議発表 計26件</p>	<p>専門家向け 計23件                  [1] 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.                  [2] S. Yamashita, "Nonlinear photonics in carbon nanotubes and graphenes (<b>Invited</b>)," European Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO-EU 2011), Munich, Germany, no.CD1.1, 22-26 May 2011.                  [3] 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.                  [4] 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.                  [5] 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>[6] 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>[7] A. Martinez and S. Yamashita, "Carbon nanotubes and graphene based fiber lasers <b>(Invited)</b>" International Conference on Advanced Infocomm Technology (ICAIT 2011), Wuhan, China, no.c11a343, 11-14 July 2011.</p> <p>[8] 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>[9] 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>[10] S. Yamashita, "Nonlinear photonic applications of carbon nanotube and graphene <b>(Invited)</b>," Asia Communications and Photonics Conference (ACP2011), Shanghai, China, no. 8307-41, 13-16 Nov. 2011.</p> <p>[11] 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>[12] 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>[13] 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>[14] 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>[15] 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&amp;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>[16] 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>[17] 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>[18] 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>[19] 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>[20] 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>[21] 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>[22] 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>[23] Amos Martinez, Shinji Yamashita, "Stretched-Pulse fiber laser using 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>一般向け 計3件</p> <p>[1] 山下真司, "光ファイバ通信と光 OCT," 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>
--	--

様式19 別紙1

<p>図書 計3件</p>	<p>[1] A. Martinez and S. Yamashita “Carbon nanotube-based photonic devices: Applications in nonlinear optics (A chapter in “Carbon Nanotubes Applications on Electron Devices”), pp.367-386, ISBN: 978-953-307-496-2011, InTech, 556p, Aug. 2011. [2] 山下真司, “フォトンクス(フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会編「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)”, コロナ社,368 ページ, 2011 年 9 月. [3] 山下真司, “光ファイバー通信(谷田貝豊彦編「光の百科事典」中の一節)”, 608 ページ, 2011 年 12 月.</p>
<p>産業財産権 出願・取得状 況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p><a href="http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/yamalab/oct/index.html">http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/yamalab/oct/index.html</a></p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>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)、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)、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)、および東京大学駒場祭「Encounter Optics!」(2011 年 11 月 25-27 日)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。</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計2件</p>	<p>[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.</p>
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

## 実施状況報告書(平成23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	0	56,644,000	0
間接経費	36,600,000	19,606,800	0	16,993,200	0
合計	158,600,000	84,962,800	0	73,637,200	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	54,840,250	0	0	54,840,250	54,252,434	587,816	0
間接経費	19,606,800	0	0	19,606,800	0	19,606,800	0
合計	74,447,050	0	0	74,447,050	54,252,434	20,194,616	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	45,945,665	SD-OCTシステム、光スペクトラムアナライザ等
旅費	2,982,887	研究成果発表旅費(CLEO,OFS)等
謝金・人件費等	3,624,700	事務補佐員人件費
その他	1,699,182	学会誌投稿料、学会参加費等
直接経費計	54,252,434	
間接経費計	0	
合計	54,252,434	

## 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
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