

平成21年 5月15日現在

研究種目：特定領域研究
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17068010
 研究課題名（和文） 超短パルス光による超高速非線形光学効果を用いた高次機能光制御
 研究課題名（英文） Highly functional optical control using ultrafast nonlinear optical effects induced by ultrashort pulse
 研究代表者
 西澤 典彦 (NISHIZAWA NORIHIKO)
 大阪大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：30273288

研究成果の概要：本研究では、超短パルス光と光ファイバによって誘起される超高速非線形光学効果を用いた高次機能光制御技術の研究を行った。そして、1) 波長 1.06～1.7 μm における超高速広帯域波長可変超短パルス光源と、波長 1～2 μm における高精度スーパーコンティニューム光源の開発、2) パルス光整形用複屈折非線形偏波回転ミラーの開発、3) 領域内連携研究による単層カーボンナノチューブを用いた全偏波保持超短パルスファイバレーザの開発、4) 直交偏光パルス捕捉現象を用いた高機能全光制御技術の開発と評価、等を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	16,400,000	0	16,400,000
2006年度	19,600,000	0	19,600,000
2007年度	15,000,000	0	15,000,000
2008年度	12,000,000	0	12,000,000
年度			
総計	63,000,000	0	63,000,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：超短パルス光、ファイバレーザ、非線形光学効果、スーパーコンティニューム

1. 研究開始当初の背景

これまで代表者は超短パルスファイバレーザと光ファイバにおける超高速非線形光学効果を用いて、広帯域波長可変超短パルス光源や超広帯域スーパーコンティニューム光源の開発やパルス捕捉現象の発現など、世界をリードする研究を行ってきた。

2. 研究の目的

本研究では、超短パルスファイバレーザと光ファイバにおける超高速非線形光学効果をベースとし、次世代光通信において有用な、さまざまな新しい高次機能光制御技術を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 全偏波保持 CNT ファイバレーザの開発
 本特定領域内の産総研榊原氏との連携により、単層カーボンナノチューブ(SWNT)を分散したポリイミドフィルムと偏波保持型の光ファイバやファイバ増幅器を用いて、高安定な全偏波保持超短パルスファイバレーザの開発を行う。
- (2) 超広帯域超短パルス光源の開発
 Er や Yb 添加ファイバを用いて、受動モード同期高出力超短パルスファイバレーザを開発する。そして、それらの光源をベースとして、波長 1.0～1.7 μm における波長可変

超短パルス光源や超広帯域スーパーコンティニューム光源の開発を行う。

(3) 複屈折非線形偏波回転ミラーの開発

光ファイバにおける非線形効果による偏波回転現象を用いて、超短パルス光の時間波形整形器を開発する。

(4) 直交偏光パルス捕捉

申請者が見出した光ファイバにおける超短パルス光によるパルス光の捕捉現象の諸特性を解析し、新しい高次機能光制御技術の開発を行う。

4. 研究成果

(1) HiPco 法によって生成された SWNT を分散したポリイミドフィルムを用いて、全偏波保持型の超短パルスファイバレーザーを開発することに成功した。シングルパルスでの最大出力光強度は 4.8mW、繰り返し周波数は 41.3MHz であった。また、共振器出力の時間幅は 314fs であるが、非線形ファイバを用いて圧縮することで、107fs の超短パルス光を得た。また、RF 雑音も評価したところ、通常の固体レーザーと同程度に低雑音であることが分かった。

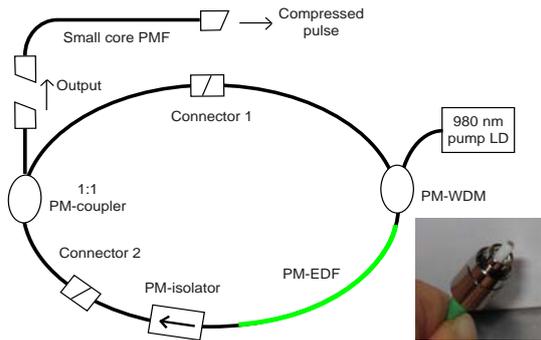


図1 SWNT フィルムを用いた全偏波保持超短パルスファイバレーザーの構成

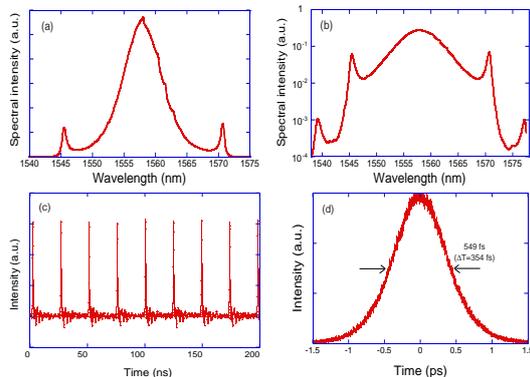


図2 出力パルスの諸特性。(a,b) 光スペクトル, (c) パルス列, (d) 自己相関波形

次に、共振器に分岐比可変カップラや波長フ

ィルタを用いて、出力パルスの高出力化を図った。又、過飽和吸収体には、レーザーアブレーション法を用いて生成した過飽和吸収特性に優れた SWNT を用いた。この構成により、取り出し効率が 98.3%の時に最大出力 12.6mW を得ることができた。

(2) Yb 添加ファイバを用いて受動モード同期高強度超短パルスファイバレーザーを開発した。共振器中に回折格子対を配置し、ストレッチパルスモード同期を実現し、中空のフォトニックバンドギャップファイバを用いて分散補償することにより、66fs の超短パルス光を生成した。このとき、出力光強度は 75mW、ピーク強度は 20kW に昇る。

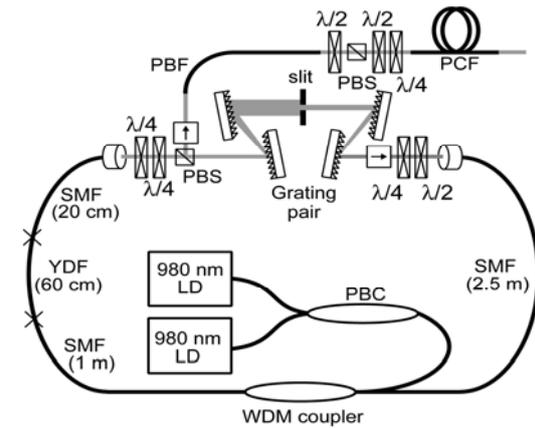


図3 受動モード同期 Yb 添加ファイバ超短パルスファイバレーザー

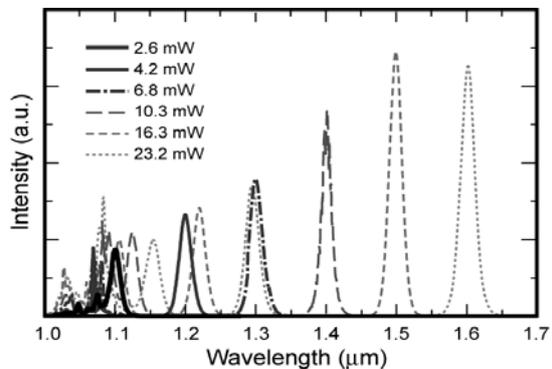


図4 1.06~1.7μm 波長可変超短パルス光のスペクトル

次に、このファイバレーザーからの出力パルス分散値を考慮したフォトニック結晶ファイバ 10m に入射し、ソリトン自己周波数シフトを用いて波長可変超短パルス光を生成した。図4に示すように、波長 1.06~1.7μm に渡る、長距離光通信帯をカバーする波長可変超短パルス光を生成することに成功した。

次に、波長 1.55μm で発振する Er 添加超短パルスファイバレーザーをベースとした超広帯域スーパーコンティニューム光源の開発を行った。先に、申請者らは波長 1.0~

2.0 μm まで広がるスーパーコンティニューム (SC) 光の生成を行った。しかし、これまでの SC 光源は、励起波長の近傍に零分散波長のある高非線形ファイバを用いたものであり、その後の解析によって、雑音が大きく、またスペクトルにも不安定な微細構造が伴うことが明らかになってきた。そのような SC 光はコヒーレンスも悪く、実用上、問題が多い。そこで、代表者は初めて高精度な SC 光源の開発を行った。



図5 高精度スーパーコンティニューム光源の構成

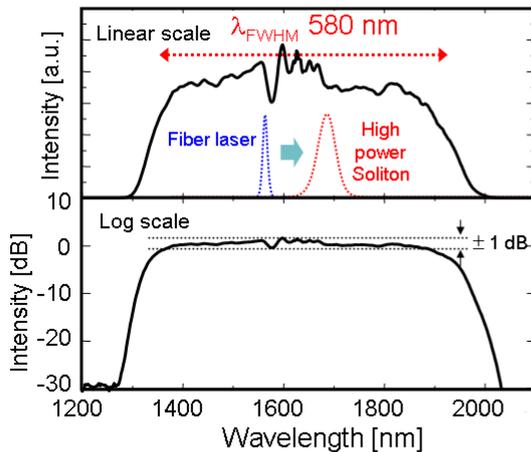


図6 高精度スーパーコンティニューム光のスペクトル

図5に光源の構成を示す。ファイバレーザーから出力される超短パルス光を増幅し、光ファイバを用いてペダスタルのない高強度超短ソリトンパルス光を生成する。更にこのパルス光を正常分散特性を示す高非線形ファイバに入射し、SC光の生成を行った。図6に示すように、半値全幅で580nmの帯域を持ち、また $\pm 1\text{dB}$ の平坦性を500nm以上の帯域に渡って有する平坦性に非常に優れたSC光を生成することができた。また、雑音やコヒーレンスの特性を評価したところ、低雑音でコヒーレンスがほぼ1の理想的なSC光であることが分かった。このような高精度なSC光の生成は世界で初めてである。

また、代表者は更に超短パルス光を増幅し、非線形性の低い大口徑フォトニック結晶ファイバを用いて高強度超短ソリトンパルス光を生成し、それを用いて1オクターブ以上

広がる高精度SC光の生成にも成功した。

SC光は光周波数コムとしての特性も有している。光周波数コムは、周波数情報が必要なこれからの光通信において非常に重要になってくると言われている。そこで、代表者は安定化した超短パルスファイバレーザーを開発し、光周波数コムとしての特性を保ちながら1オクターブ以上広がるスーパーコンティニューム光を生成し、長波長端の第2高調波と短波長端とのビートを検出することでfceoを観測することのできる、光通信帯における光周波数標準光源の開発を行った。そして、全ファイバ型のシステムを構築することに成功した。本光源は今後の絶対光周波数情報を用いた応用において、重要な役割を担うことが期待される。

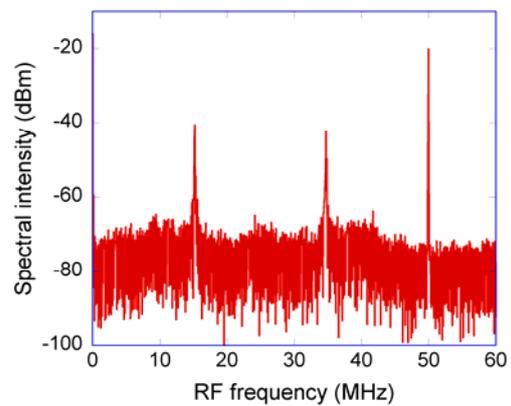


図7 観察されたfceoビートスペクトル

(3) 複屈折非線形偏波回転ミラーの開発

図8に今回開発した複屈折非線形偏波回転ミラーの構成を示す。複屈折ファイバ (PMF) の軸に偏光を傾けて入射すると、入射パルスは二つの直交成分に分かれて伝搬する。そのため、相互位相変調の影響を抑圧し、それぞれのパルスは自己位相変調によって、

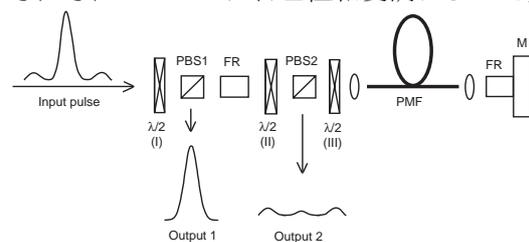


図8 複屈折非線形偏波回転ミラーの構成

ピーク強度に応じて位相がシフトする。PMFの出射端でパルス光はファラデー回転子を通り、ミラーで全反射し、偏光が90度回転してPMFに戻る。このため、往路と復路では偏光が逆転し、2つのパルスは往復で同じ光路を通ることになり、PMFの出射端で二つのパルス光は時間的に安定に重なり、干渉によって偏光が変化する。そして、PBS2からは強度が低く偏波の回転しない台座成分が取り

出され、また、PBS1 からは強度の高いパルス成分が出力される。このように、本構成では、非線形効果による偏波回転を PMF を用いて行うことで、安定な特性を得ることができる。

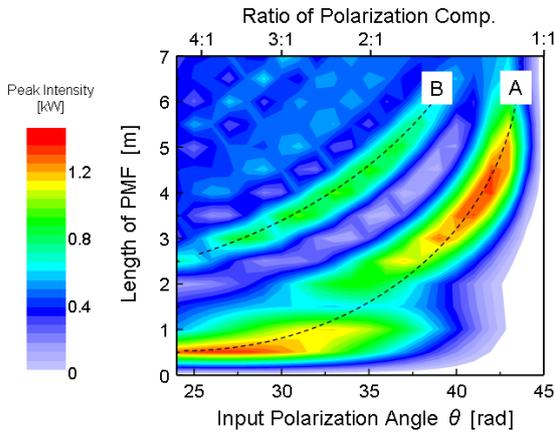


図9 ピーク強度マップ

図9に、PMF への入射パルスの偏光とファイバ長に対する出力パルスのピーク強度の変化の数値解析結果を図示する。入射角とファイバ長を変化させることで、高いピークを持ったパルス光を得ることができる。

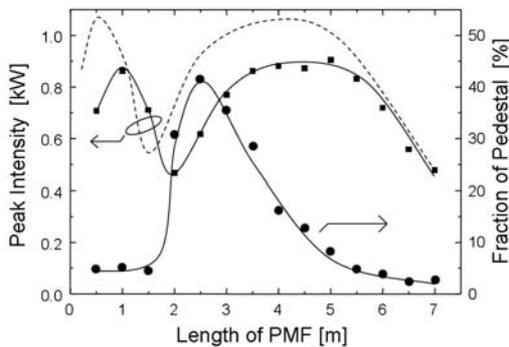


図9 ファイバ長に対するピーク強度とペダスタルの変化

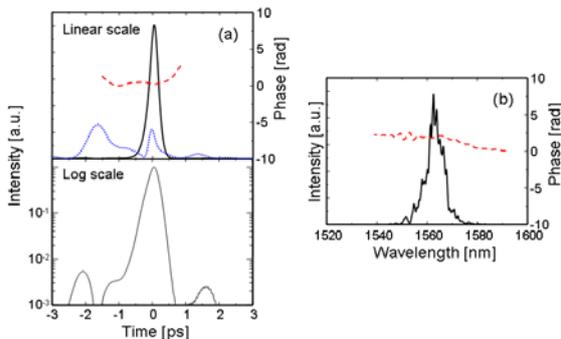


図10 出力パルスのスペクトル時間波形

図10に、出力パルスのスペクトルと時間波形を示す。パルスの主成分とペダスタルが綺麗に分離され、ペダスタルを25dBも抑えたパルス光を得ることができている。このように、複屈折非線形偏波回転ミラーを用いて、

パルス光の整形に成功した。

(4)直交偏光パルス捕捉

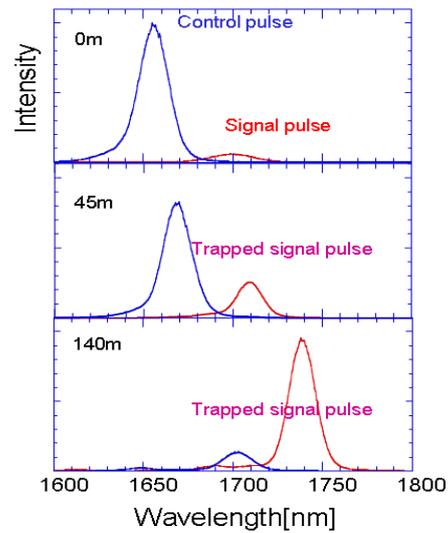


図11 パルス捕捉におけるスペクトルの変化

複屈折性のある光ファイバのそれぞれの軸に、波長分散と複屈折が相殺し、群速度が等しくなる超短パルス光を入射すると、相互位相変調によってパルス同士が捕まえるパルス捕捉の現象が現れる。パルス捕捉におけるスペクトルの変化を図11に示す。制御パルスによって捕捉された信号パルスは、ラマン利得によって増幅され、スペクトルや時間波形もソリトンパルス光となる。この現象を用いると、単一のデバイスで全光3R再生（整形、増幅、タイミング制御）が可能となる。

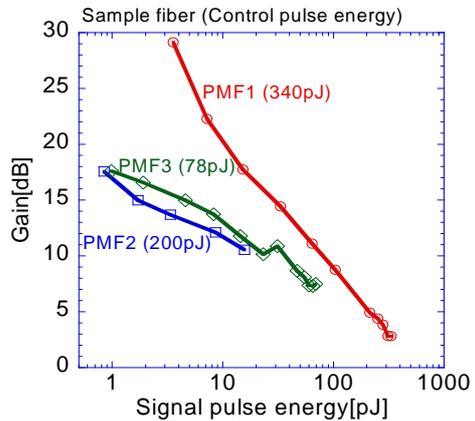


図12 パルス捕捉におけるスペクトルの変化

図12に、異なる複屈折ファイバにおける信号光エネルギーに対する利得の変化の測定結果を示す。100m程度のファイバでも最大約30dBの高い利得が得られた。パルス捕捉を用いた光増幅では、群速度整合を合わせることで、非常に広帯域に渡って光を増幅することができる。また、パルス捕捉には一般に波長シフトが伴うが、波長シフトを抑えたま

までも 7dB の利得を得ることができた。

5. 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 24 件)

① J. Takayanagi and N. Nishizawa, “Generation of widely and flatly broadened, low-noise and high-coherence supercontinuum in all fiber system,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol.45, L441-L443 (2006) (査読有)

② J. Takayanagi, T. Sugiura, M. Yoshida, N. Nishizawa, “1.0–1.7 μm wavelength tunable ultrashort pulse generation using femtosecond Yb-doped fiber laser and photonic crystal fiber,” IEEE Photon. Technol. Lett. Vol.18, 2284–2286 (2006) (査読有)

③ N. Nishizawa and J. Takayanagi, “Octave spanning high-quality super continuum generation in all fiber system,” J. Opt. Soc. Am. B, Vol.24, 1786–1792 (2007) (査読有)

④ N. Nishizawa and A. Murayama “Pedestal suppression of ultrashort pulses by using a birefringent nonlinear polarization rotation mirror,” Opt. Lett. Vol.32, 3516–3518 (2007) (査読有)

⑤ N. Nishizawa and M. Hori, “Octave spanning high quality super continuum generation using 10 nJ and 104 fs high energy ultrashort soliton pulse,” Appl. Phys. Exp. Vol.1, 022009 (2008) (査読有)

⑥ N. Nishizawa, Y. Seno, K. Sumimura, Y. Sakakibara, E. Itoga, H. Kataura, and K. Itoh, “All-polarization maintaining Er-doped ultrashort pulse fiber laser using carbon nanotube saturable absorber,” Opt. Exp. vol.16, 9429–9435 (2008) (査読有)

⑦ K. Sumimura, T. Ohta, and N. Nishizawa, “Quasi super continuum generation using ultrahigh speed wavelength tunable soliton pulses,” Opt. Lett. vol.33, 2892–2894 (2008) (査読有)

[学会発表] (計 105 件)

① N. Nishizawa, Y. Ukai and T. Goto, “Ultrafast all optical switching using pulse trapping by orthogonally polarized ultrashort soliton pulse,” Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO) 2005, Baltimore, USA, CThD5 (May, 2005)

② J. Takayanagi and N. Nishizawa, “Generation of low-noise and high-coherence, ultrabroad and flat supercontinuum using high-power Raman soliton pulse and highly nonlinear fiber,” Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO) 2006, Long Beach, USA, CMGG3 (May, 2006)

③ N. Nishizawa, “Octave spanning high quality super continuum generation using ultrashort pulse fiber laser,” IEEE LEOS Winter Topical Meeting, Innsbruck, Austria. (January, 2009) (Invited, Plenary Talk)

[図書] (計 3 件)

① 西澤典彦 (共著), 化学同人, 「フェムト秒テクノロジー (基礎と応用)」(2006) 40–45.

② 西澤典彦 (共著), サイエンス&テクノロジー, 「RGB3 原色・白色光レーザーの開発」(2007) 111–122.

③ N. Nishizawa and T. Goto (共著), Research Signpost, “Nonlinear Optics and Applications” (2007) 81–101.

[産業財産権]

○出願状況 (計 9 件)

名称: スーパーコンティニューム光源

発明者: 西澤典彦

権利者: 名古屋大学

種類: 特許権

番号: 特願 2007-055120

出願年月日: 2007 年 3 月 6 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 5 件)

名称: パルス光制御方法及びその装置

発明者: 後藤俊夫, 西澤典彦

権利者: 科学技術振興事業団

種類: 特許権

番号: 特許 3946536

取得年月日: 2007 年 4 月 20 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www-photonics.mls.eng.osaka-u.ac.jp/mlsphpg/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西澤典彦 (NISHIZAWA NORIHIKO)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30273288

(2)研究分担者

住村 和彦 (SUMIMURA KAZUHIKO)
大阪大学・大学院工学研究科・特任研究員
研究者番号：00452475

(3)連携研究者

()