

藤 貴 夫 (准教授) (2010年2月1日着任)

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス，レーザー物理，非線形光学，超高速分光

A-2) 研究課題：超短光パルスの研究

- a) 超短光パルスの超広帯域波長変換技術の開発
- b) 超短光パルスの位相制御，評価の研究
- c) 赤外ファイバーレーザーの開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 超短光パルスを発生できるレーザーの波長は限られている。それを様々な波長へ効率よく，パルス幅が短い状態で波長変換する技術は，超短光パルスの応用範囲を広げる上で，非常に重要である。この研究では，固体結晶と比べて透過領域が桁違いに広い気体を波長変換媒質として使用することで，様々な波長の超短光パルスを発生させることを目標としている。今年度の成果としては，チタンサファイアレーザーの基本波（800 nm）と二倍波（400 nm）を窒素ガス中に集光し，2 μm から 20 μm まで波長帯域の広がった超短光パルスを発生させることに成功した。パルスエネルギーは 500 nJ 程度であり，一般的な非線形分光に使用するには十分なエネルギーである。また，基本波と二倍波の位相関係によって，発生するスペクトルが変化することに着目し，それが2つの異なるパラメトリック過程から発生する赤外光の干渉によるものであることを示した。
- b) 前述の研究によって発生した広帯域中赤外光パルスのパルス幅を測定する実験を行った。2 μm から 20 μm まで波長帯域の広がったコヒーレント光について，すべての波長領域の光について位相関係を求めることは容易ではない。本研究では，発生と同様に窒素ガスを非線形媒質として，参照光パルスと赤外光の相互相関スペクトルを測定する手法をとった。窒素ガスを非線形媒質として使用することにより，広帯域な位相整合が可能となり，広帯域中赤外光に対応することができた。この方法によって，測定されたパルス幅は 6.9 fs となった。赤外光パルスの中心波長は 3.3 μm であり，単一サイクルよりも短いパルスとなっていることがわかった。また，赤外光パルスの位相の安定性を計測し，さらにその位相制御の実験を行った。赤外光パルスを発生させるために使用しているチタンサファイアレーザーの基本波と二倍波との遅延時間を制御することで，中赤外光パルスの位相を自在に制御できることを示した。さらに，超短光パルスの振動電場を計測する新しい手法を開発した。
- c) 一般的に，波長変換において，変換元と変換先との波長がなるべく近いほうが，変換効率の向上が見込まれる。2–20 μm の赤外光パルス発生を目的として，チタンサファイアレーザーよりも長波長の超短光パルスを発生するファイバーレーザーの開発を行った。ツリウムを添加した石英ファイバーをレーザー媒質として，150 fs 程度で 1.8 μm を中心波長としたパルスを連続的に発生する発振器を製作した。チタンサファイアレーザー（800 nm）に比べて，発振する波長が長いこと，長波長への波長変換に適していると同時に，チタンサファイアレーザーに比べて，大幅にコンパクトなレーザー発振器の設計が可能となり，産業や医療への応用が期待される。

B-1) 学術論文

P. ZUO, T. FUJI, T. HORIO, S. ADACHI and T. SUZUKI, "Simultaneous Generation of Ultrashort Pulses at 158 and 198 nm in a Single Filamentation Cell by Cascaded Four-Wave Mixing in Ar," *Appl. Phys. B: Lasers Opt.* **108**, 815–819 (2012).

Y. NOMURA, H. SHIRAI, K. ISHII, N. TSURUMACHI, A. A. VORONIN, A. M. ZHELTIKOV and T. FUJI, “Phase-Stable Sub-Cycle Mid-Infrared Conical Emission from Filamentation in Gases,” *Opt. Express* **20**, 24741–24747 (2012).

N. KUSE, A. OZAWA, Y. NOMURA, I. ITOH and Y. KOBAYASHI, “Injection Locking of Yb-Fiber Based Optical Frequency Comb,” *Opt. Express* **20**, 10509–10518 (2012).

N. ISHII, S. ADACHI, Y. NOMURA, A. KOSUGE, Y. KOBAYASHI, T. KANAI, J. ITATANI and S. WATANABE, “Generation of Soft X-Ray and Water Window Harmonics Using a Few-Cycle, Phase-Locked, Optical Parametric Chirped-Pulse Amplifier,” *Opt. Lett.* **37**, 97–99 (2012).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

Y. NOMURA, Y. ITO, A. OZAWA, X. WANG, C. CHEN, S. SHIN and S. WATANABE, “Coherent quasi-CW 153-nm light source at high repetition rate,” *SPIE Photonics West*, 8240-16, 82400H (2012).

T. FUJI, Y. NOMURA, H. SHIRAI, N. TSURUMACHI, A. A. VORONIN and A. M. ZHELTIKOV, “Phase-stable sub-single-cycle mid-infrared pulses generated through filamentation,” *HILAS2012*, HW3C.3. (2012).

T. FUJI, Y. NOMURA, H. SHIRAI and N. TSURUMACHI, “Frequency-resolved optical gating with electro-optic sampling,” *Ultrafast Phenomena 2012*, TUE.2B.5 (2012).

Y. NOMURA, T. FUJI, H. SHIRAI, N. TSURUMACHI, A. A. VORONIN and A. M. ZHELTIKOV, “Generation of phase-stable half-cycle mid-infrared pulses through filamentation in gases,” *Ultrafast Phenomena 2012*, MON.PI.9 (2012).

T. FUJI, Y. NOMURA, H. SHIRAI, K. ISHII, N. TSURUMACHI, A. A. VORONIN and A. M. ZHELTIKOV, “Generation of half-cycle mid-infrared pulses through filamentation in gases,” *LPHYS2012*, 5.2.1. (2012).

T. FUJI, Y. NOMURA, H. SHIRAI, K. ISHII, N. TSURUMACHI, A. A. VORONIN and A. M. ZHELTIKOV, “Phase-stable half-cycle mid-infrared pulses generated through filamentation in gases,” *COFIL2012* (2012).

B-3) 総説，著書

野村雄高，CHUANGTIAN CHEN，渡辺俊太郎，小林洋平，「コヒーレントな狭帯域準連続真空紫外光源の開発」*化学工業* **63**, 36 (2012).

B-4) 招待講演

Y. NOMURA, “Coherent quasi-CW 153-nm light source at high repetition rate,” SPIE Photonics West, San Francisco (U.S.A.), January 2012.

T. FUJI, “Generation of half-cycle mid-infrared pulses through filamentation in gases,” LPHYS2012, Calgary (Canada), July 2012.

T. FUJI, “Phase-stable half-cycle mid-infrared pulses generated through filamentation in gases,” COFIL2012, Tucson (U.S.A.), October 2012.

藤 貴夫，「超短光パルスの振動電場を測定する新しい方法」分子研研究会「新しい光の創成と物質科学——精密計測と操作への展開」分子研研究会，岡崎，2012年10月。

B-5) 特許出願

特願 2012-101276,「光パルスの強度と位相を測定する方法及び装置」藤 貴夫,野村雄高(自然科学研究機構)2012年.

B-6) 受賞,表彰

藤 貴夫,日本光学会奨励賞(1999).

藤 貴夫,大阪大学近藤賞(2008).

B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員等

CLEO/Europe 2007国際会議プログラム委員(2007).

化学反応討論会実行委員(2009).

CLEO/Pacific Rim 2009国際会議プログラム委員(2009).

HIRAS 国際会議プログラム委員(2011).

CLEO/Europe 2011国際会議プログラム委員(2011).

HILAS 国際会議プログラム委員(2012).

CLEO/Europe2013国際会議プログラム委員(2013).

CLEO/Pacific Rim 2013 国際会議プログラム委員(2013).

B-8) 大学での講義,客員

(独)理化学研究所,客員研究員,2010年2月-.

総合研究大学院大学物理科学研究科,「光物理」2012年前期.

B-10) 競争的資金

科研費奨励研究(A),「サブ5フェムト秒パルスによる位相敏感超高速分光」藤 貴夫(2000年-2001年).

(独)理化学研究所研究奨励ファンド,「搬送波包絡線周波数の安定した超短赤外光パルス発生」藤 貴夫(2006年).

科研費若手研究(A),「光電子イメージング分光のための10フェムト秒深紫外光パルス発生」藤 貴夫(2007年-2008年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携研究プロジェクト,「プラズマを使ったフェムト秒中赤外光パルス発生の研究」藤 貴夫(2010年-2011年).

科研費基盤研究(B),「超広帯域コヒーレント中赤外光を用いた新しい分光法の開拓」藤 貴夫(2012年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携研究プロジェクト,「超短中赤外パルスを用いた生細胞内分子の無染色ライブイメージング法の開発」藤 貴夫(2012年).

科学技術振興事業団先端計測分析技術・機器開発プログラム要素技術タイプ,「超広帯域コヒーレント赤外分光技術の開発」藤 貴夫(2012年-2015年).

科研費特別研究員奨励費,「高次高調波発生による高繰り返しの極端紫外光源の開発およびその応用」野村雄高(2010年).

豊秋奨学会海外渡航旅費助成,「153 nm におけるコヒーレントな高繰り返し準連続光源」野村雄高(2011年).

光科学技術研究振興財団 研究助成,「ツリウム添加ファイバーによるフェムト秒レーザーの開発」野村雄高(2012年-2013年).

C) 研究活動の課題と展望

ファイブレーションを用いた波長変換は、気体を媒質としながらも、高効率な超短光パルスの波長変換法として有効であり、これまで、近赤外光のチタンサファイアレーザーの出力を真空紫外や赤外への波長変換を実験的に示してきた。今後、これらの波長の光を同時に発生させ、それらを使ったユニークな分光を行うことを目指している。本年度は、3-20 μm にわたる広帯域な赤外光を発生させ、その詳しい評価を行うことができた。さらに、超短光パルスにおける振動電場の新しい計測法や、ファイバーレーザーの開発などを進めることができた。今後は、これらの光源の特徴をいかした新しいタイプの分光法を開発し、分子科学の発展や、生物、医療など異分野へ応用していくことを考えている。