

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，2  $\mu\text{m}$  から 20  $\mu\text{m}$  まで波長帯域の広がった超短光パルスのスペクトル情報を失わずに，可視光領域に波長変換することに成功した。この波長変換によって，中赤外スペクトルの情報を，可視光用検出器を使って計測することができるので，この技術によって，高速な赤外分光を行うことが可能となる。
- b) 前述の広帯域中赤外光パルスの光電場波形を直接計測する手法を開発した。光電場波形を計測する手法としては，電気光学サンプリング法が有名だが，現在のところ，テラヘルツ領域など，周波数の低い光についてしか適応できなかった。本研究では，電気光学サンプリング法と周波数分解光ゲート法とを組み合わせることによって，原理的には，測定できる周波数に制限のない方法を確立した。具体的には，前述の 6.9 fs のパルスについて，上記の手法を適応させ，光電場の振動する様子を直接的に観測することに成功した。この手法はプレスリリースされ，新聞にも掲載された。
- 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  $\mu\text{m}$  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フッ化物ファイバーをレーザー媒質として，50 fs 程度で 1.8  $\mu\text{m}$  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いため，長波長への波長変換に適していると同時に，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

**Y. NOMURA, H. SHIRAI and T. FUJI**, “Frequency-Resolved Optical Gating Capable of Carrier-Envelope Phase Determination,” *Nat. Commun.* **4**, 2820 (11 pages) (2013).

**Y. NOMURA, Y.-T. WANG, T. KOZAI, H. SHIRAI, A. YABUSHITA, C. W. LUO, S. NAKANISHI and T. FUJI**, “Single-Shot Detection of Mid-Infrared Spectra by Chirped-Pulse Upconversion with Four-Wave Difference Frequency Generation in Gases,” *Opt. Express* **21**, 18249–18254 (2013).

**T. FUJI and Y. NOMURA**, “Generation of Phase-Stable Sub-Cycle Mid-Infrared Pulses from Filamentation in Nitrogen,” *Appl. Sci.* **3**, 122–138 (2013).

**M. YEUNG, B. DROMEY, D. ADAMS, S. COUSENS, R. HÖRLEIN, Y. NOMURA, G. D. TSAKIRIS and M. ZEPF,** “Beaming of High-Order Harmonics Generated from Laser–Plasma Interactions,” *Phys. Rev. Lett.* **110**, 165002 (5 pages) (2013).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

**Y. NOMURA and T. FUJI,** “Coherent control of mid-infrared pulse generation by using four-wave mixing through filamentation,” *UFO IX*, Tu3.6 (2013).

**T. FUJI, Y. NOMURA, Y.-T. WANG, A. YABUSHITA and C.-W. LUO,** “Single-shot detection of mid-infrared spectra by chirped-pulse upconversion with four-wave difference frequency generation in gases,” *CLEO/Europe-IQEC 2013 (Munich, Germany)*, CF/IE-12.3 (2013).

**T. FUJI, Y. NOMURA, Y.-T. WANG, A. YABUSHITA and C.-W. LUO,** “Carrier-envelope phase of ultrashort pulses generated by optical rectification process,” *CLEO/Europe-IQEC 2013 (Munich, Germany)*, CF/IE-P.38 (2013).

**T. FUJI and Y. NOMURA,** “Pulse characterization with absolute carrier-envelope phase value,” *CLEO-PR & OECC/PS 2013 (Kyoto, Japan)*, WB3-3 (2013).

**T. FUJI, Y. NOMURA, Y.-T. WANG, A. YABUSHITA, C.-W. LUO, T. KOHZAI and S. NAKANISHI,** “Chirped pulse upconversion of mid-infrared pulses with four-wave difference frequency generation in gases,” *CLEO-PR & OECC/PS 2013 (Kyoto, Japan)*, TuC1-5 (2013).

**T. FUJI and Y. NOMURA,** “Complete waveform characterization of ultrashort pulses,” *CLEO: Science and Innovations 2013 (San Jose, CA, U.S.A.)*, CW1H.8 (2013).

**T. FUJI, Y. NOMURA, Y.-T. WANG, A. YABUSHITA and C.-W. LUO,** “Mid-infrared chirped-pulse upconversion with four-wave difference frequency generation in gases,” *CLEO: Science and Innovations 2013 (San Jose, CA, U.S.A.)*, JM4K.4 (2013).

**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,” *EPJ Web of Conferences* **41**, 11003 (2013)

**T. FUJI, Y. NOMURA, H. SHIRAI and N. TSURUMACHI,** “Frequency-resolved optical gating with electro-optic sampling,” *EPJ Web of Conferences* **41**, 12001 (2013).

B-4) 招待講演

**T. FUJI and Y. NOMURA,** “Generation of ultrabroadband infrared continuum by using four-wave mixing through filamentation,” Short Pulse Strong Field Laser Physics International Symposium Honoring See Leang Chin, Quebec City (Canada), May 2013.

**T. FUJI and Y. NOMURA,** “Coherent control of mid-infrared pulse generation by using four-wave mixing through filamentation,” Fundamentals and Applications of Laser Filaments, Okazaki (Japan), April 2013.

野村雄高,「新しい赤外コヒーレント光源の開発」日本分光学会先端レーザー分光部会研究会, 岡崎, 2013年 2月.

藤 貴夫,「超短光パルスの測定方法」JP-NetS2013, 福井, 2013年 9月.

B-5) 特許出願

特願 2013-027042,「赤外光スペクトル計測装置及び方法」藤 貴夫,野村雄高(自然科学研究機構)2013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).

HILAS 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).

HILAS 国際会議プログラム委員(2014).

CLEO/USA2014国際会議プログラム委員(2014).

B-10) 競争的資金

(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,「ソ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).

科研費若手研究(B),「中赤外領域における高繰り返しフェムト秒パルス光源の開発」野村雄高(2013年-2014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  $\mu\text{m}$  にわたる広帯域な赤外光を高速な赤外分光に応用することができた。ファイバーレーザーの開発では、1.8  $\mu\text{m}$  を中心波長とした 50 fs のパルスを発振器から直接発生させることに成功した。今後は、これらの光源や分光法の特徴をいかし、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。