

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を使った分光法の開発
- 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) 本研究室において，2 から 20 μm までの波長領域で位相の揃ったコヒーレントな赤外光パルスを発生する技術と，そのスペクトルを単一ショット（1 ms）で計測できる方法を開発した。この波長領域の光は，多くの分子振動準位と共鳴しており，非破壊で分子のダイナミクスを研究するのに適している。今年度の成果としては，その高速赤外スペクトル分光法を化学反応ダイナミクスの研究に応用したことである。この装置によって，酢酸とマグネシウムの反応ダイナミクスを，赤外吸収スペクトルの変化によって観測することができた。酢酸とマグネシウムを混合することで，酢酸マグネシウムと水素が発生するが，酢酸の CO 二重結合に由来する吸収線が，反応が進むにつれて減少し，酢酸マグネシウムにおける COO^- の伸縮モードに由来する吸収線が増加する様子がリアルタイムに観測することができた。2 から 20 μm までの波長領域で化学反応ダイナミクスをリアルタイムで計測したのは，世界ではじめてのことである。
- b) 数年前に開発した超短光パルスの光電場波形を直接計測する手法を発展させ，自己参照による光電場波形計測に成功した。パルス幅 21 fs，中心波長 3.3 μm のパルスを二つに分け，その二倍波と自己回折光との干渉信号を測定することで，パルスのキャリア・エンベロープ位相を測定できた。それと同時に，第二高調波周波数分解光ゲート法によって，パルスの強度の時間変化も測定し，それらの情報を組み合わせることで，周期 11 fs で振動する光電場の波形を完全に再現することができた。自己参照によって光電場波形測定ができたことによって，測定したい光電場パルスに対して，測定用に別のパルスを用意する必要がなくなった。このことは，光科学の分野で画期的なことであり，今後の応用が期待される。
- 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において，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波長変換元の光源として使用すれば，より高効率に赤外光パルスを発生できると考えられる。前年度にはトリウム添加フッ化物ファイバーレーザー発振器を開発し，2 μm の波長で 41 fs のパルスを発生させることに成功した。今年度は，そのパルスを増幅するフッ化物ファイバー増幅器を製作した。発振器からの平均出力 36 mW を最大 6.9 W，すなわち約 200 倍に増幅することに成功した。さらに，この出力パルスをパルス圧縮光学系によって圧縮することにより，時間幅が 150 fs のパルスが得られた。一般的には，増幅媒質として，石英ファイバーを用いることがほとんどであるが，本研究では，フッ化物ファイバーを用いることによって，はるかに高い効率で増幅することができた。ZBLAN ファイバーは熱に弱いために増幅器には不向きと考えられてきたが，今回の結果は，超高出力が必要ない場合には ZBLAN ファイバーのほうが増幅に有利であることを意味しており，レーザー増幅のための新たな指針を示すことができた。

B-2) 国際会議のプロシーディングス

Y. NOMURA and T. FUJI, “Development of chirped-pulse amplifier based on Thulium-doped ZBLAN fibers,” *EuroPhoton2016*, FWG-5.7 (2016).

P. MALEVICH, C. LIVACHE, Y. NOMURA, A. BALTUŠKA and T. FUJI, “2 mJ ring cavity diode-pumped Tm:YAP regenerative amplifier,” *EuroPhoton2016*, PO-2.6 (2016).

H. SHIRAI, Y. NOMURA and T. FUJI, “Self-Referenced Waveform Measurement of Few-Cycle Mid-Infrared Pulses,” *International Conference on Ultrafast Phenomena 2016*, UTh2A-5 (2016).

T. FUJI, H. SHIRAI and Y. NOMURA, “Self-referenced frequency-resolved optical gating capable of carrier-envelope phase determination,” *CLEO: Science and Innovations 2016*, SM3I-7 (2016).

B-4) 招待講演

T. FUJI, “Sub-cycle mid-infrared pulse generation through filamentation,” COFIL2016, Quebec City (Canada), September 2016.

T. FUJI, “Self-referenced light wave measurement of few-cycle pulses,” International Symposium on Attosecond Science, Tokyo (Japan), July 2016.

T. FUJI, “Self-Referenced Waveform Characterization of Ultrashort Pulses,” LPHYS’16, Yerevan (Armenia), July 2016.

T. FUJI, “Generation and characterization of sub-cycle mid-infrared pulses using THz technologies,” EMN Meeting on Terahertz, San Sebastian (Spain), May 2016.

藤 貴夫, 「Development of infrared ultrafast lasers for molecular science」, 統合バイオリトリート2016, 西尾, 2016年11月.

藤 貴夫, 白井英登, 野村雄高, 「キャリア・エンベロープ位相も決定できる周波数分解光ゲート法」, 第13回エクストリームフォトニクス研究会, 蒲郡, 2016年11月.

藤 貴夫, 「サブサイクル中赤外光パルス発生とその応用」, 第3回超高速光エレクトロニクス研究会, 和光, 2016年4月.

藤 貴夫, 「超短赤外光パルスレーザー光源の最先端」, 高輝度・高強度赤外光源の現状と展望, 岡崎, 2016年2月.

野村雄高, 藤 貴夫, 「2 μ m 帯フェムト秒Tm添加ZBLANファイバレーザ」, レーザー学会学術講演会第36回年次大会, 名古屋, 2016年1月.

藤 貴夫, 「キャリア・エンベロープ位相も測定できる超短光パルス評価法」, レーザー学会学術講演会第36回年次大会, 名古屋, 2016年1月.

野村雄高, 「トリウム添加ファイバレーザによる2 μ m 帯超短パルスレーザーシステム」, 第47回極限コヒーレント光科学セミナー, 柏, 2016年11月.

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).

藤 貴夫, 野村雄高, 白井英登, レーザー学会業績賞(進歩賞) (2015).

野村雄高, 自然科学研究機構若手研究者賞 (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員等

CLEO/Europe 2005 座長 (2005).
CLEO/USA 2005 座長 (2005).
CLEO/Europe 2007 国際会議プログラム委員, 座長 (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, 座長 (2009).
CLEO/Europe 2009 座長 (2009).
ICONO 2010 座長 (2010).
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, 座長 (2012).
COFIL 2012 座長 (2012).
CLEO/USA2013 座長 (2013).
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, 座長 (2013).
HILAS 国際会議プログラム委員, 座長 (2014).
CLEO/USA2014 国際会議プログラム委員, 座長 (2014).
CLEO/USA2015 国際会議分科プログラム委員長 (2015–2016).
CLEO/Europe2015 国際会議プログラム委員 (2015).
レーザー学会学術講演会第35回年次大会プログラム委員会委員 (2014–2015).
CLEO/USA2015 座長 (2015).
CLEO/Europe2015 座長 (2015).
レーザー学会「ファイバーレーザー技術」専門委員会委員 (2015–). (野村雄高)
CLEO/USA2016 座長 (2016).
CLEO/USA2016 座長 (2016). (野村雄高)

B-8) 大学での講義, 客員

アジアコア冬の学校, 中国科学院化学研究所, 2016年2月27日.
総合研究大学院大学物理科学研究科, 「光物理」, 2016年7月1日–9月30日.

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–2014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).

科研費挑戦的萌芽研究,「自己参照による光電場の直接測定」, 藤 貴夫 (2014年–2016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,「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).

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).

光科学技術研究振興財団研究助成,「自己参照による光電場波形の直接計測」, 藤 貴夫 (2015年–2016年).

科研費若手研究(B),「単一サイクル赤外光パルスを用いた高速赤外吸収分光」, 白井英登 (2015年–2016年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携プロジェクト,「新規赤外フェムト秒レーザーによる超深部シナプス内分子活性化イメージング」, 藤 貴夫 (2015年–2017年).

天田財団一般研究開発助成,「高出力 2 μ m 超短パルスレーザー光源の開発」, 野村雄高 (2015年–2017年).

科学技術振興機構さきがけ研究「生命機能メカニズム解明のための光操作技術」領域,「長波長レーザーによる超深部顕微分光システムの開発」, 野村雄高 (2016年–2019年).

C) 研究活動の課題と展望

フィラメンテ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、分子研において、この手法による超広帯域コヒーレント赤外光発生を実証してきた。さらに、この光源を使用して、分光を行うことにも成功した。今後も、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。また、本研究室で独自に開発した新しい光電場波形計測法を用いて、自己参照による光電場波形計測に成功した。この手法によって、光電場波形計測において、波長による制限は原理的に無くなった。これまで、この手法が実証されたのは、赤外光パルスだけであるが、今後、可視光領域でも実証したいと考えている。また、光電場波形に敏感な現象を本手法で観測し、新しい光科学の知見を得ることに期待している。ファイバーレーザーの開発では、ファイバー増幅器の開発に成功した。今後、赤外光発生のためのさらなる増幅や、多光子顕微鏡など、様々な分野へ応用することを考えている。