

広帯域相関計測解析研究部門

藤 貴 夫（准教授）（2010年2月1日～2019年3月31日）*）

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，そのスペクトルを可視光領域に変換することで，単一ショット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，この手法を赤外イメージングに応用することを行った。赤外像を可視領域に変換し，高性能な可視光用ハイスピードカメラで撮影した。赤外用カメラで直接計測する場合は，3000 ショット（3s）積算する必要があるが，可視光への波長変換によって，単一ショット（1 ms）でのイメージ撮影を実現した。
- b) 本研究室で開発された光電場波形計測技術では，赤外領域のパルスの波形を計測することを行ってきた。今年度は，可視から近赤外領域のパルスについて，波形計測を行うため，5 fs 以下の 800 nm のパルスを発生させることを行った。チタンサファイア増幅器出力を中空ファイバに入射して，600–1000 nm まで広がったスペクトルを得ることができた。そのパルスの波形を単一ショットで計測し，5 fs のパルスが出ていることを確認した。
- c) 前年度は，チャープパルス増幅を基本としたトリウム固体レーザー再生増幅器を開発し，1.4 mJ のパルスエネルギーをもった 360 fs のパルスを発生させることができた。このレーザーの出力を，YAG 結晶や偏波保持 ZBLAN ファイバに集光し，2.5–4 μm の帯域をもった白色光を発生できた。その白色光の位相について調べたところ，再生増幅の周回数を少なくすると，コヒーレンスが高くなることがわかった。今後は，前置増幅のファイバー増幅器をもう一段増やし，コヒーレンスの高いパルスを発生させることを行う予定である。

B-1) 学術論文

- S. A. REZVANI, Y. NOMURA and T. FUJI, “Generation and Characterization of Mid-Infrared Supercontinuum in Bulk YAG Pumped by Femtosecond 1937 nm Pulses from a Regenerative Amplifier,” *Appl. Sci.* **9**, 3399 (10 pages) (2019).
- S. A. REZVANI, Y. NOMURA, K. OGAWA and T. FUJI, “Generation and Characterization of Mid-Infrared Supercontinuum in Polarization Maintained ZBLAN Fibers,” *Opt. Express* **27**, 24499–24511 (2019).
- S. A. REZVANI, Y. NOMURA, K. OGAWA and T. FUJI, “White Light Generation with 2- μm Femtosecond Pulses from a Tm:YAP Regenerative Amplifier,” *レーザー研究* **47**, 644–649 (2019).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

S. A. REZVANI, Y. NOMURA, K. OGAWA and T. FUJI, “Generation and characterization of polarized supercontinuum pulses from ZBLAN fibers pumped by femtosecond 2 μm pulses from a regenerative amplifier,” *OSA Laser Congress 2019 (ASSL, LAC, LS&C)*, ATh2A.4. (2019).

Y. NOMURA, H. MURAKOSHI and T. FUJI, “Short-wavelength thulium-doped fiber laser for three-photon microscopy,” *OSA Laser Congress 2019 (ASSL, LAC, LS&C)*, ATh2A.7. (2019).

S. A. REZVANI, Y. NOMURA, K. OGAWA and T. FUJI, “Characterization of supercontinuum pulses generated using a 2 μm thulium-based regenerative amplifier,” *2019 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and European Quantum Electronics Conference*, ca-11.6 (2019).

Y. NOMURA, H. MURAKOSHI and T. FUJI, “Ultrafast light source at 1.8 μm based on thulium-doped fibers for three-photon microscopy,” *2019 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and European Quantum Electronics Conference*, cj-1.4 (2019).

Y. NOMURA and T. FUJI, “Ultrafast thulium-doped fiber laser system at 1.8 μm for multiphoton microscopy,” *CLEO: Science and Innovations*, SF2L.6 (2019).

F. KUMAKI, H. SHIRAI, Y. NOMURA and T. FUJI, “High harmonic generation in solids driven by sub-cycle mid-infrared pulses from laser filamentation,” *EPJ Web of Conferences*, **205**, 02023 (2019).

B-3) 総説, 著書

藤 貴夫, 「サブサイクル中赤外光パルスの発生と固体物理学への応用」, *固体物理* **54**, 693–704 (2019).

B-4) 招待講演

藤 貴夫, 「フェムト秒ツリウム固体レーザー再生増幅器の開発とそれを光源とした中赤外白色光発生」, 超高速光エレクトロニクス研究会第1回研究会, 電気通信大学, 調布, 2019年9月.

T. FUJI, “High harmonic generation in solids driven by sub-cycle mid-infrared pulses,” *IWTAQD 21*, Nagoya (Japan), June 2019.

藤 貴夫, 「サブサイクル中赤外光パルスによる固体からの高次高調波発生」, レーザー学会学術講演会第39回年次大会, 東海大学高輪キャンパス, 東京, 2019年1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

学協会役員等

レーザー学会「ファイバーレーザー技術」専門委員会委員 (2015–2017). (野村雄高)

電子情報通信学会超高速光エレクトロニクス時限研究専門委員会第4部会副査 (2017–2018).
電子情報通信学会超高速光エレクトロニクス時限研究専門委員会第4部会主査 (2019–).
電子情報通信学会超高速光エレクトロニクス時限研究専門委員会第2部会副査 (2017–). (野村雄高)
電子情報通信学会超高速光エレクトロニクス特別研究専門委員会第2部会副査 (2019–).
レーザー学会「ファイバーレーザー技術」専門委員会幹事 (2018–).

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).
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 (2014–2015).
レーザー学会学術講演会第 38回年次大会プログラム委員 (2017–2018). (野村雄高)
ICO24国際会議プログラム委員 (2017).
Ultrafast Optics 2017国際会議プログラム委員 (2017).
Advanced Solid State Lasers: Sources プログラム委員 (2018–). (野村雄高)
レーザー学会学術講演会第 39回年次大会プログラム委員, 座長 (2018–2019).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

文部科学省科学技術・学術審議会量子科学技術委員会・超短パルスレーザーに係るロードマップ検討グループ専門有識者 (2017–2018).

学術誌編集委員

Optics Express, Associate Editor (2018–).

B-10) 競争的資金

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,「ト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).

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).

科研費基盤研究(B),「光電場波形計測法の開発と新しい非線形光学の開拓」, 藤 貴夫 (2017年–2020年).

科学技術振興機構CREST 研究,「超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用」, 藤 貴夫 (2017年–2023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る。この光源を使った新規分光法が評価され、CREST のプロジェクトに採択された。この手法をさらに発展させて、分子科学のみならず、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、可視光領域へ拡張することを試みている。赤外パルスレーザーの開発では、ファイバーレーザー出力を、固体レーザーを基本とした増幅システムで増幅し、高強度パルスを得ることができた。また、そのパルスから発生させた白色光は、再生増幅器の周回数を少なくすることで、コヒーレンスが高くなることがわかった。今後、さらに再生増幅器の性能を高め、高強度赤外光パルス発生や、赤外ハイパースペクトラルイメージング装置の開発し、様々な分野へ応用することを考えている。

*) 2019 年 4 月 1 日豊田工業大学大学院工学研究科教授