

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの中盤技術
2017年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

藤 貴夫

豊田工業大学 工学研究科
教授

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

§ 1. 研究成果の概要

2020年度は、サブハーフサイクル中赤外光パルス発生とそれを用いたハイパースペクトラルイメージング装置の開発、 $2\mu\text{m}$ レーザーによる中赤外白色光発生、 1800nm を中心波長としたフェムト秒パルスレーザーを光源とした多光子顕微鏡の開発などで成果を上げた。サブハーフサイクル中赤外光パルス発生では、大気圧の窒素ガス中にチタンサファイアレーザー出力の基本波と二倍波を集光し、生成されたフィラメントから、キャリア・エンベロープ位相(CEP)の安定した波長 $10.2\mu\text{m}$ のサブハーフサイクルパルスを発生させることに成功した。中赤外光パルスの波形は、基本波と二倍波の入力パルス間の遅延時間をアト秒の精度で変えることによって制御することができる。中赤外光パルスのパルス幅は 13.7fs であり、これは 0.402 サイクルに相当する。発生したサブハーフサイクルパルスの CEP の絶対値は、単純な 1 次元の 4 光波差周波発生モデルで説明できた。 $2\mu\text{m}$ レーザーを基本とした赤外光パラメトリック増幅器の開発においては、トリウムファイバーレーザーシステムから $1.2\mu\text{J}$ のエネルギーをもった 285fs のパルスを 1MHz の周波数で発生させ、そのうち $0.5\mu\text{J}$ のパルスを偏波保持の ZBLAN ファイバーに入射することで、 $4\mu\text{m}$ 程度までスペクトルが広がった中赤外の白色光を発生させることができた。この白色光の周波数コヒーレンスが高いことを、周波数分解光ゲート法によって確かめた。この白色光を、光パラメトリック増幅器で増幅すれば、高強度のフェムト秒中赤外光パルスを得られることが期待される。 $1.8\mu\text{m}$ を中心波長としたトリウムファイバーレーザーを開発し、それを 3 光子顕微鏡の光源として利用した。赤色蛍光タンパク質を発現させた HeLa 細胞およびマウスの海馬のスライス標本について、3 光子蛍光によるイメージングを行うことができた。

§ 2. 研究実施体制

(1) 藤グループ

- ① 研究代表者: 藤 貴夫 (豊田工業大学 工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・赤外ハイパースペクトラルイメージング装置の開発
 - ・赤外光パラメトリック増幅器の開発
 - ・ファイバーレーザーおよび顕微鏡システムの改良
 - ・3光子顕微鏡による細胞のイメージング

(2) 古谷グループ

- ① 主たる共同研究者: 古谷 祐詞 (名古屋工業大学 大学院工学研究科、准教授)
- ② 研究項目
 - ・膜タンパク質試料の調製および活性確認
 - ・膜タンパク質-リガンド相互作用解析法の開発

(3) 村越グループ

- ① 主たる共同研究者: 村越 秀治 (自然科学研究機構 生理学研究所、准教授)
- ② 研究項目
 - ・3光子顕微鏡の開発
 - ・3光子顕微鏡用蛍光タンパク質の開発
 - ・3光子蛍光寿命イメージング顕微鏡の開発

(4) ファイバーラボ社グループ

- ① 主たる共同研究者: 堀田 昌克 (ファイバーラボ株式会社、代表取締役)
- ② 研究項目
 - ・超短赤外パルスファイバーレーザーの製品化
 - ・フッ化物(ZBLAN)ファイバーの試作製造

【代表的な原著論文情報】

- [1] W.-H. Huang, Y. Zhao, S. Kusama, F. Kumaki, C.-W. Luo, T. Fuji: "Generation of sub-half-cycle 10 μm pulses through filamentation at kilohertz repetition rates," Opt. Express 28, 36527-36543 (2020).
- [2] Seyed Ali Rezvani, Kazuhiko Ogawa, Takao Fuji: "Highly coherent multi-octave polarization-maintained supercontinuum generation solely based on ZBLAN fibers," Opt. Express 28, 29918-29926 (2020).
- [3] Y. Nomura, H. Murakoshi, T. Fuji, OSA Continuum. 3, 1428-1435 (2020)

[4] Masanori Hashimoto, Kota Katayama, Yuji Furutani, Hideki Kandori: Zinc Binding to Heliorhodopsin, *J. Phys. Chem. Lett.* 11, 8604–8609 (2020).