

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

2021年度 年次報告書
-----------------

藤 貴夫

豊田工業大学 大学院工学研究科  
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

2021年度は、サブハーフサイクル中赤外光パルス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、 $2\mu\text{m}$ レーザーによる超広帯域中赤外光パルス発生、 $1800\text{nm}$ 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では、新規で設計した光学系によって、回折限界に近い空間分解能を達した。計測可能な中赤外波長領域は $2\text{--}18\mu\text{m}$ となり、指紋領域をカバーしている。波長測定点が1068波長、 $640\times 480$ 画素で1画素毎にスペクトル情報を記録し、 $2\text{--}18\mu\text{m}$ において波数のサンプリングピッチ約 $4\text{ cm}^{-1}$ のハイパースペクトル画像を5秒以内で取得できた。

$2\mu\text{m}$ 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のパルスを再生増幅器によって増幅し、それを励起光とした赤外光パラメトリック増幅を実現した。偏波保持のZBLANファイバーから $4\mu\text{m}$ 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、その白色光と $2\mu\text{m}$ の励起光を重ねわせて、同軸でセレン化ガリウム結晶に入射した。 $2.5\text{--}4\mu\text{m}$ までの白色光を増幅する(信号光)とともに、 $4\text{--}10\mu\text{m}$ までスペクトルの広がったアイドラー光も同軸で発生した。信号光とアイドラー光を合わせて $10\mu\text{J}$ のパルスエネルギーが得られ、前述のフィラメンテーション法よりも、50倍ほど高い効率が得られた。

$1.8\mu\text{m}$ 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。生きたマウスの脳の神経細胞に赤色蛍光タンパク質を発現させ、それについて3光子蛍光によるイメージングを行うことができた。浸透度は $0.7\text{ mm}$ まで達成した。標準的な光学部品の組み合わせで構築したファイバーレーザーを光源として、生きた動物に対する3光子蛍光イメージングができたことはレーザー工学の分野と脳科学分野にとって重要な成果である。

## § 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 大学院工学研究科 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) S. A. Rezvani and T. Fuji, “Millijoule 265 fs Tm:YAP regenerative amplifier for driving ultrabroad band collinear mid-infrared optical parametric amplifiers,” *Opt. Express* **30** 7332-7339 (2022).
- 2) S. Tomida, S. Kitagawa, S. Kitagawa, H. Kandori, and Y. Furutani, “Inverse Hydrogen-Bonding Change Between the Protonated Retinal Schiff Base and Water Molecules upon Photoisomerization in Heliorhodopsin 48C12,” *J. Phys. Chem. B* **125**, 30, 8331-8341, (2021).