

2024 年度年次報告書

リアル空間を強靱にするハードウェアの未来

2023 年度採択研究代表者

徐 自聡

東京大学 大学院理学系研究科

東京大学特別研究員

誘導ハイパーラマン散乱顕微分光法の開発

研究成果の概要

本研究では、高感度な誘導ハイパーラマン散乱顕微分光法を開発し、高分解能な赤外振動分光イメージングと高速生体イメージングの実現を目指している。

今年度は所属異動に伴い、誘導ハイパーラマン散乱分光に関する研究計画を見直し、昨年度に構築した Figure-8 レーザーの調整に加え、分光計測の感度向上および分光イメージングの高速化に向けた検討を進めた。来年度は、引き続き誘導ハイパーラマン散乱顕微分光法の確立に向けて研究を推進する予定である。

高感度な分光計測を実現する手法として、本年度はスクイズド光と呼ばれる量子光を利用した感度増強手法を考案し、そのシミュレーションおよび実験系の構築に取り組んだ。レーザーを用いた分光計測では、感度は励起レーザーの光子数揺らぎに起因する強度ノイズにより制限される。特に、誘導ハイパーラマン散乱分光のような非線形分光法では、高ピークパワーのパルスレーザーが必要となるため、そのノイズは顕著となる。これを克服するため、量子雑音限界を下回るノイズ特性を有するスクイズド光を用いることで、原理的には計測感度を数倍向上させることが可能である。本年度は、光ファイバー内におけるカー効果を利用したスクイズド光の生成に取り組み、-1 dB 程度の雑音低減を実現した。さらに雑音低減レベルの向上を図るため、数値シミュレーションを開発し、最適な実験条件の探索を進めている。来年度は、さらなるノイズ低減の実現を目指すとともに、スクイズド光を用いた誘導ハイパーラマン散乱分光計測への応用を検討する予定である。

また、分光スペクトル取得およびイメージングの高速化を目的として、タイムストレッチ技術の導入を検討し、その実現に向けたレーザー光源の構築を行った。誘導ハイパーラマン散乱分光のような分光法では、より広帯域のスペクトル情報を取得することで、試料の化学的情報量を増加させることができる。しかし、従来法では波長掃引が必要となり、イメージング速度の制約が課題であった。タイムストレッチ分光は、光ファイバーなどの分散素子によってパルスを時間軸上に展開し、スペクトル情報を時間波形として取得する手法であり、高繰り返しパルスレーザーを使用することで、1 秒あたり数百万回の高速広帯域分光が可能となる。さらに、試料を二次元的に掃引することで、原理上、ビデオレートでの広帯域分光イメージングが実現可能である。本年度は、タイムストレッチ技術を用いた誘導ハイパーラマン散乱分光イメージングの高速化に向け、広帯域(10 フェムト秒級)の超短パルス光源を構築した。来年度は、この光源を用いて、ビデオレートでの広帯域分光イメージングの実証を行う予定である。