



## (0) 研究分野

分科会: 化学

キーワード: 超短パルス電子線、電子線イメージング、  
非線形光学、アト秒科学、原子衝突

## (1) 研究背景と研究目標

当チームでは、最先端のレーザー光と電子線の技術を組み合わせることで、極限的なアト秒（1アト秒は100京分の1秒）の精度で時間構造を制御された電子線を発生させ、化学反応の観測と制御に応用する。具体的には、以下の2つの目標達成を目指す。(1)物質内の電子密度分布がアト秒の超高速で変化する様子を動画撮影できる手法を開発する。物質内の電子の運動が撮影されれば、電子の運動がどのようにして原子の運動を誘起し、そして最終的に化学結合の生成あるいは切断に繋がるかが明らかになると期待される。更に、(2)電子線照射によって開始される原子や分子の反応確率を、電子線のアト秒時間構造によって制御することにも挑戦する。電子線の時間構造によって化学反応が制御できれば、電子顕微鏡での試料損傷の低減や電子線の医学応用に繋がる可能性がある。このように、アト秒精度で整形された電子線を用いることで、化学反応機構、光物性、原子分子衝突過程を探求する。

## (2) 2021年度成果と今後の研究計画

当チームは、2021年10月に発足した。2021年度には、実験室の工事や装置の設計といった研究室の整備を行った。遅くとも2023年度中には実験結果が得られるよう、今後も実験の準備を進める。以下には、2021年度に行った理論研究の成果を記す。

### グラフェン内部の超高速電子ダイナミクス

計算機の性能を比較的に向上させる次世代技術の1つとして、ペタヘルツ・エレクトロニクスが注目を集めている。この研究分野では、物質の性質（例えば、電気伝導率や磁性）を光電磁場によって超高速で制御することで、光周波数（ペタヘルツ）での演算を可能とすることを目的としている。ペタヘルツ・エレクトロニクスのより一層の発展には、その基礎物理、つまり、光と物質の超高速の相互作用を原子レベルで理解する必要がある。我々は、東京大学、エアランゲン・ニュルンベルグ大学と共同で、ペタヘルツ・エレクトロニクスにおいて代表的な物質であるグラフェン内の電子が、高強度数サイクルレーザーパルスに応答する様子を理論的に明らかにした。

我々は、グラフェン内電子のダイナミクスを明らかにするために、強結合近似と半導体ブロッホ方程式を組み合わせた独自の理論モデルを使用した。そして、数サイクルレーザーパルスの照射によって流れる電流（残余電流）が、グラフェン内のどの部分を流れているかを明らかにした。光電場の振動方向（偏光方向）に依らず、電流は偏光方向と並行な結合上を主に流れることが分かった。更に、数サイクルレーザーパルス照射によるグラフェン内の電子密度分布の変化を調べたところ、興味深いことに、炭素原子間の電子密度分布の量が、照射するレーザー強度に対して変化し、振動することが発見された。我々は、観測された振動を、高強度レーザーに誘起されたラビ振動に由来すると結論付けた。本研究は、電子ダイナミクスを原子レベルで観測することで、光と物質の相互作用に関する多くの情報が得られ、そして、将来的なパルス電子線を用いた実験観測が重要であることを示した。

### 今後の計画

今回の理論研究の予測を実証するために、実験を行う。

(3) 研究室メンバー

(2021年度)

(理研白眉研究チームリーダー)

森本 裕也

(4) 発表論文等

1. “Atomic real-space perspective of light-field-driven currents in graphene”, Yuya Morimoto, Yasushi Shinohara, Kenichi L. Ishikawa, Peter Hommelhoff, **New. J. Phys.** **24**, 033051 (2022).
2. 「レーザー光による電子線制御技術の開発とアト秒イメージングへの応用：アト秒電子パルスの発生と検出」, 森本 裕也, しょうとつ, **18**, 125-141 (2021).
3. “Attosecond Electron Beams generation, detection and potential applications”, Yuya Morimoto, The 4th Workshop of the Reaction Infography, November 5, 2021, Online.
4. 「アト秒電子パルスの発生と超高速イメージング応用への試み」, 森本裕也, 日本顕微鏡学会 超高分解能顕微鏡法分科会 研究会, 2022年2月18日, オンライン

**Laboratory Homepage**

<https://epulse.riken.jp>