

自由電子レーザーで駆動する高繰り返しアト秒光源の開発

Development of a high-repetition-rate attosecond pulse source based on a free-electron laser

*羽島良一¹, 永井良治¹, 川瀬啓悟¹, 大垣英明², 全 炳俊²,

早川恭史³, 境 武志³, 住友洋介³, 島田美帆⁴, 宮島 司⁴

¹量研, ²京大, ³日大, ⁴高エネ機構

波長可変かつ高平均出力が可能な自由電子レーザー (FEL) で中赤外のレーザー発振を行い、これを高次高調波発生 (HHG) に利用すれば、1 keV 以上のアト秒 X 線を MHz の繰り返しで生成できる。われわれは、FEL-HHG の実現に必要な基礎基盤技術の研究を今年度より開始した。本講演では、研究計画の概要を報告する。

キーワード：自由電子レーザー、高次高調波発生、アト秒、X 線

1. 緒言

高次高調波 (HHG) によるアト秒の極短パルス生成は、これまで、固体レーザーを用いた研究が行われてきたが、高次高調波の短波長化 (水の窓～軟 X 線～硬 X 線)、高繰り返し化 (kHz ~ MHz) といった要求に対して、固体レーザーの原理的な限界が制約となっている。自由電子レーザー (FEL) は、波長可変、高平均出力が可能であり、1 keV 以上の HHG に適した中赤外のレーザーパルスを MHz の高い繰り返しで作ることができるため、既存の固体レーザーベースの HHG を補完する技術となり得る[1]。われわれは、既設の FEL 装置を利用し、中赤外の波長領域で数サイクルパルスの生成とこれを利用した HHG を行い、高繰り返し極短パルス光源 (10MHz 以上) の実現に必要な基礎基盤技術の研究を今年度より開始した。

2. 研究計画

Q-LEAP プログラム (10 年間) の前半では、既存の FEL 施設である KU-FEL (京大)、LEBRA (日大) を利用して、FEL-HHG に必要な要素技術である、(1) 数サイクル FEL パルスの生成、(2) パルスエネルギーの増大、(3) 絶対位相の制御手法を確立し、後半で、FEL パルスのガスターゲットへの集光、アト秒 X 線の生成を行う計画である。KU-FEL では、電子バンチ繰り返しの動的変調、光共振器の低損失化などにより、数サイクル発振にてパルスエネルギー増大の限界を見極める。LEBRA では、外部共振器に FEL パルスを蓄積し、パルスエネルギーの増大を試みる。FEL 絶対位相の制御に必要なシード用の中赤外レーザーパルスは、ファイバーレーザー発振器の出力光を非線形結晶で波長変換することで実現を目指す。これらの技術が確立すれば、別途開発を行っている超伝導加速器を用いて、CW で運転する共振器 FEL を構築し、高繰り返しのアト秒 X 線源を実現できる。これに必要な電子ビームエネルギーは 50 MeV 程度であり、GeV 級の XFEL とは異なるアプローチによる先端加速器光源となる。

本研究は、光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) の支援を受けている。

参考文献

[1] R. Hajima and R. Nagai, Phys. Rev. Lett.

*Ryoichi Hajima¹, Ryoji Nagai¹, Keigo Kawase¹, Hideaki Ohgaki², Heishun Zen², Yasushi Hayakawa³, Takeshi Sakai³, Yosuke Sumitomo³, Miho Shimada⁴, Tsukasa Miyajima⁴

¹QST, ²Kyoto Univ., ³Nihon Univ., ⁴KEK