

レーザー加速電子によるEUV-FEL計画

量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 神門 正城 かんど まさき

はじめに

X線自由電子レーザー(XFEL)は、高輝度で極短パルス、単色のX線領域のレーザーであり、高速の現象を捉えるのに適しており、生体分子の構造や、高速な現象のダイナミクスを解明することができる新しい強力な道具です。このような装置は、アメリカのLCLSに続き日本にはSACLA、欧州にはEuroXFELなど世界各地で建設され、ユーザーに供給されています。しかし、XFELを発生させるには高エネルギーかつ高品質の電子ビームが必要なため装置が巨大化してしまっています。さらに、同時に使えるユーザー数がリング型の放射光に比べて極めて少ないため、気軽に使える装置ではありません。XFELをもし小型化でき、研究室や工場などに設置することができれば、科学・産業に大きな変革を与えるに違いありません。私たちは、レーザープラズマ加速技術を用いて巨大な加速器部を小型化し、同時に光を発生させるアンジュレータと呼ばれる装置や電子を加速する元となるレーザー装置も小型化を図って全体を小型化しようと取り組んでいます。

開発目標

2026年の最終目標として、図1のようなレーザープラズマ電子加速と小型アンジュレータを用いた全長18 m程度の実証機を製作し、10 keV領域のXFELが実現できることを示す予定です。そのために

- (1) レーザープラズマ電子加速技術
- (2) 小型アンジュレータ開発
- (3) ビーム計測技術
- (4) 診断用線形加速器開発

などの要素技術開発をこれまでに行ってきました。

要素技術開発は重要ですが、それらを統合する試験も重要で、組み合わせで初めて分かる不具合などもあり得ます。そこで、2023年度にEUV(極短紫外光)領域のFEL光を実証し、ビーム性能などが順調に進捗しているかを確かめる計画としました。具体的には、波長 50 nm程度のEUV光を、330 MeVの電子ビームを生成して、5 m程度のアンジュレータに入射させ、レーザープラズマ電子加速としては世界初となるFELの増幅を実証します。世界でもEUV領域のFELを目指して開発競争が進められています。

方法

EUV-FELを発生させるためのパラメータの最適化は現在も進めているところですが、おおよそのパラメータについてお話ししたいと思います。通常の平行型アンジュレータを用いる場合やレーザー電子加速特有のチャープした(時間毎にエネルギーが変わる)ビームを積極的に用いたり、チャープに適合させて磁場の強さを変化させるテーパ型アンジュレータについても検討しています。現在設計に用いている電子ビームのパラメータは、エネルギー 330 MeV、スライス相対エネルギー分散 0.1%、電荷量 10-100 pC、規格化エミッタンス 1 mm mrad、アンジュレータは、周期長 2 cm、K値 1.46、長さ 5mです。いかに品質の良い(エネルギーの揃った)電子をたくさん生成することができるかが成功の鍵を握っています。

研究開発の現状

これまでにレーザー加速により高品質の電子ビームを生成することができ、小型アンジュレータ(周期長 10 mm、K値 0.446-0.069、長さ 0.5 m)を用いて60-75 MeV電子による紫外～可視光(～300-500 nm)、180-220 MeV電子を用いたEUV光(～35 nm)の計測に成功しています。

協力をお願い

本プロジェクトでは、レーザープラズマによる安定で高品質の電子ビーム生成が必須であり、上の(1)～(4)で述べた技術の他に、システム化、光学部品、除振台、徐熱技術、制御技術、放電技術、高圧パルス技術、など様々な要素技術から成り立っており、一緒に開発して下さる方、ビームやEUV、X線などを利用してみたい方をお待しております。こんなビームが欲しいという意見もよろしくお願いいたします。

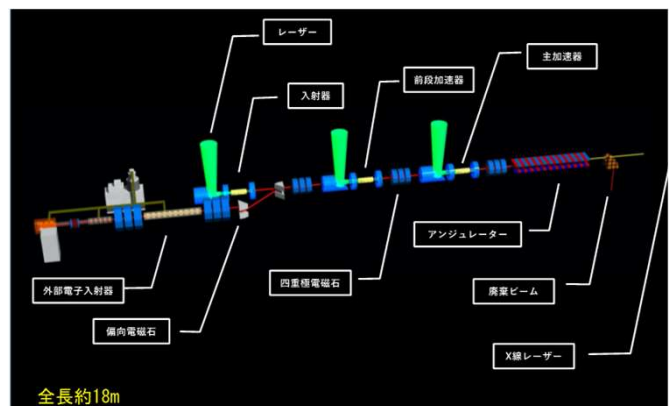


図1 2026年に実証するXFEL実証機の概念図