

XFEL を単一サイクル化する新たな原理と蓄積リングにおける実証計画

田中隆次

理化学研究所放射光科学研究センター

自由電子レーザー (Free Electron Laser: FEL) は、従来とは異なる原理で動作するレーザー光源であり、近年の加速器技術や理論の進展により、X線領域におけるレーザー発振が実現され (X-ray FEL: XFEL)、様々な分野へ応用されている。加速器で生成された高エネルギー電子ビームに、発振波長と同じピッチで密度の濃淡 (=マイクロバンチ) を誘起し、アンジュレータと呼ばれる周期的磁場を発生する装置に入射することによって、高強度のコヒーレント光を発生する。発振波長に原理的な制限が無く、かつ加速器やアンジュレータに特殊な機器を実装することによって様々なレーザー発振が可能であるため、その特性を生かした多種多様な成果が創出されている。一方、原理的にはアト秒以下に達する可能性のある最短パルス幅は、赤外レーザーと同等のフェムト秒に留まっている。この原因として、技術的側面と理論的限界があり、それぞれを克服するための研究開発が進められている。

技術的側面としては、現状で利用可能な加速器ハードウェアの性能や、レーザー発振に必要な短バンチ電子ビームに伴う物理現象 (空間電荷やウェイク場) などを挙げることができ、これらの要因によって、レーザー発振媒体であるマイクロバンチ領域の長さ (=FEL パルス長) が制限される。SACLA や LCLS などの XFEL 施設においては、加速器パラメータを最適化することにより、運転開始時点に比べて 1 桁以上短いパルス幅 (数フェムト秒) が実現されているが、さらなる短パルス化は困難な状況である。これは、上記の技術的側面に加えて、FEL の発振原理に短パルス化を阻害する要因が含まれているためである。特に、スリッページと呼ばれる現象によるパルス伸長効果が本質的である。我々はこの効果を抑制し、単一サイクル XFEL を実現するための新たな原理を提唱してきた[1,2]。また本原理の実証実験を、兵庫県立大学高度産業技術研究所が SPring-8 キャンパス内で運用するニュースバル放射光施設の蓄積リングで行う計画を進めている。本講演では、単一サイクル FEL の基本原理の概略と、実証実験の概要及び目的について報告する。

本研究は JSPS 科研費 JP18H03691 の助成を受けています。

[1] T. Tanaka, Phys. Rev. Lett. 114, 044801 (2015)

[2] Y. Kida, R. Kinjo and T. Tanaka, Appl. Phys. Lett. 109, 151107 (2016)