

# ERL 放射光源の概要と加速器の開発状況

坂中章悟

高エネルギー加速器研究機構 放射光源研究系

## Outline of the ERL-based Synchrotron Light Source and Status of R&D Efforts

Shogo Sakanaka

Light Source Division, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

### <Synopsis>

The Energy Recovery Linac (ERL) is a very promising next-generation synchrotron light source, which can provide both highly brilliant X-rays of  $10^{21} - 10^{23}$  photons/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%bw and ultra-short X-ray pulses having widths of 100 fs (rms). The ERL is also expected to be a driver for the proposed X-ray Free Electron Laser (XFEL) based on an oscillator mechanism [1,2], which is hopefully capable of producing both temporally and spatially coherent X-rays. The KEK is making efforts to realize the 5-GeV-class ERL in collaboration with the other institutes (JAEA, Univ. of Tokyo, UVSOR, AIST, Hiroshima Univ. and so on). The key technologies are under development. A photocathode DC gun, which can produce ultra-low emittance beams of 0.1-1 mm·mrad with a high beam current of 10-100 mA, is under development at the Japan Atomic Energy Agency (JAEA). The other key technology, the superconducting cavities which are specially designed for both CW and high-current operations, is also under development. To demonstrate these key technologies together, as well as to investigate the beam dynamics issues with experiments, we planned to build a 65-85 MeV Compact ERL.

エネルギー回収リニアック(ERL)に基づく放射光源は、蓄積リングでは到達困難な超低エミッタンスあるいは超短パルス電子ビームを発生可能な方式として注目を集めており、現在コーネル大学、アルゴンヌ国立研究所等で開発研究が進められている。ERL ベースの X 線光源では、ビームエネルギー 5 GeV においてビームエミッタンス 10-100 pm·rad、ビーム電流 10-100 mA (超低エミッタンスの場合は低めの電流) を目標としており、バンチ長は通常モードで 1-2 ps 程度、バンチ圧縮モードで 100 fs 程度である。ビームの性能が達成されれば、アンジュレータからの放射光輝度として  $10^{21}$ - $10^{23}$  photons/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%bw が期待される。ビームエ

ミッタンスが回折限界エミッタンスに近いこと放射光の空間コヒーレンスが高く、SPring-8 アンジュレータ光に比べ 2-3 桁高いコヒーレント・フラックス[3]が期待される。最近ではさらに、ブラッグ結晶をミラーとして用いる共振器型の X 線自由電子レーザー(XFEL)の可能性が提案されており[1]、そのための駆動ビームとして ERL が最適であるとの指摘がなされている[2]。共振器型の XFEL では、長さ数十メートル程度のアンジュレータで発生した X 線をブラッグ散乱ミラーでアンジュレータの上流に戻し、それを種光としてアンジュレータ内の電子ビームと光との相互作用を通じて増幅する。これを繰り返すことで、時間コヒーレンスを持った X 線を成長させることができる。この方式では、時間的にもフルコヒーレント（光パルス幅の範囲内で時間的にコヒーレント）な X 線が得られ、かつ繰り返しがよく（1 MHz 程度）、ピーク強度は適度に抑えた”X 線レーザー”が実現できる可能性があるため、注目を集めている。そのためには、超低エミッタンスかつ超低エネルギー広がりを持つ ERL ビームを実現することが本質的である。（もう一つの課題としてミラー系の実現が挙げられる）。

ERL 型の X 線光源を実現するためには、超低エミッタンス（規格化エミッタンス：0.1-1 mm-mrad）かつ大電流（10-100 mA）のビームを発生できるフォトカソード DC 電子銃の開発が必要である。その実現にむけ、原子力機構（JAEA）の ERL グループがまず 250 kV, 50 mA 電子銃を開発中である。また、大電流、連続（CW）ビームの加速に最適化した 1.3 GHz 超伝導空洞の開発も重要テーマである。加速空洞は、入射器用と主リニアック用の 2 種類の開発が進められており、主リニアックについては試験用単セル空洞の高電界試験が既に行われ、性能試験用 9 セル空洞についても製作中である。また、これらの重要コンポーネントを組み合わせ、低エミッタンスかつ大電流のビームを実際に加速し、評価することを目的とするコンパクト ERL の建設計画を立案しており、その概念設計レポートを出版した[4]。

## References

- [1] “Fully Coherent X-Ray Pulses from a Regenerative-Amplifier Free-Electron Laser”, Phys. Rev. Lett. **96**, 144801 (2006).
- [2] “1 Å FEL Oscillator with ERL Beams”, K.-J. Kim, S. Reiche, Y. Shvyd’ko, FEL Frontiers 07 Workshop, Elba Island-La Biodola, Italy, September 8-14, 2007, <http://www.lnf.infn.it/conference/elba07/>
- [3] “Next-Generation Synchrotron Light Source and Applications Using Their Coherent Properties”, Trans. Materials Research Society of Japan **28**, 43-46 (2003).
- [4] “コンパクト ERL の設計研究”, 羽島良一、中村典雄、坂中章悟、小林幸則（編集）、KEK Report 2007-7/JAEA-Research 2008-032 (2008).