

コンパクト ERL における CSR によるテラヘルツ光と レーザーコンプトン散乱によるパルス X 線の見積もり

原田 健太郎 (KEK-PF-Mag)

The Intense Terahertz Radiation and Laser-Compton X-ray Source at the Compact ERL

Kentaro Harada (KEK-PF-Mag)

<Synopsis>

The compact ERL (energy recovery linac) is planned at KEK as a joint project of the KEK, JAEA (Japan Atomic Energy Agency), and other institutes. The primary purpose of the facility is the demonstration of the key technologies that are essential to ERL-based light source. In this presentation, we show the great feasibility of the compact ERL for producing the intense terahertz radiation using coherent synchrotron radiation (CSR) and the pulsed hard X-rays generated by the Laser-Compton scattering. For the terahertz CSR, the electron bunch compression to about 0.1 ps is required to generate the CSR of the energy about 10meV. For the bunch charge of 100 pC, and the repetition rate 130MHz, the photon number is about $10^{16}\sim 10^{17}$ [photons/sec/mrad²/0.1%b.w] that is the square of the incoherent radiation. For the Laser-Compton scattering, we use the laser of the wavelength 800 nm and the power 10mJ. If the laser spot size and the electron beam size are about 50 μ m, the number of the photon is estimated to be about 10^6 [photons/pulse] and the pulse width about 260 fs.

<本文>

コンパクト ERL (図1) は周回部の周長約 70m、ビームエネルギー約 60MeV で放射光利用のための原理実証を目指す小型の ERL である。KEK つくばキャンパスの東カウンターホールに建設が予定されており、計画は KEK、JAEA、ISSP を中心に、全国の研究機関の共同計画として進められている。ここではコンパクト ERL で利用可能になるであろうと思われる CSR によるテラヘルツ放射と、レーザーコンプトン散乱によるパルス X 線の見積もりについて発表を行う。

コンパクト ERL の最終目標は電流 100mA (バンチ電荷 77pC で繰り返し 1.3GHz) であるが、放射線遮蔽の問題もあって実現は簡単ではない。そこで、現段階で (もちろん簡単ではないが) より確実なパラメータとして、CSR 利用に対してはバンチ電荷 100pC、繰り返し 130MHz (13mA)、または

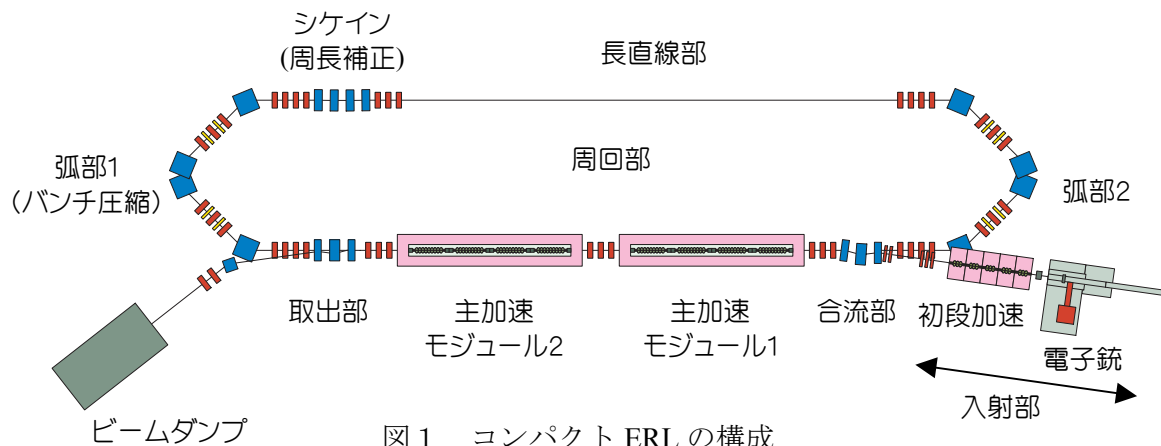


図1 コンパクト ERL の構成

13MHz(1.3mA)とし、レーザーコンプトン利用に対してはバンチ電荷 100pC、繰り返し 1kHz (0.1μA)、レーザー強度 10mJ/pulse として見積もりを行う。ビームの規格化エミッタンスは 1mm-mrad、バンチ長は通常 1ps、圧縮ありで 100fs とする。可能な範囲での最大スペックで単発的な利用実験を行っても新しい世界が開けることは間違いないが、本格的なユーザーランを行う為には責任を持って光を安定供給する為の運転調整に加え、冷凍機を含めた安全シフト体制を組む必要がある。ユーザーと共に計画に弾みを付け、安定的なユーザーランに繋がられるだけの予算と人員の確保に繋がればと願ってやまない。

CSR 放射の臨界波長は $\lambda_{c,csr} = 2\sigma_z$ と書ける。ここで、 σ_z [m] は電子バンチ長である。また、真空ダクトで遮蔽される cut-off 波長は $\lambda_{cu-off} = 2\sqrt{h^3/\rho}$ と書ける。ここで、 h [m] は真空ダクトの高さ、 ρ [m] は偏向電磁石の曲率半径である。放射光の強度は $P_{total}(\lambda) \approx P_{incoh}(\lambda) \left(1 + N \exp\left[-(2\pi\sigma_z/\lambda)^2\right]\right)$ と書ける。ここで、 P_{incoh} は通常のコヒーレントでない放射光の強度である。図 2 に CSR 放射の強さを示す。レーザーコンプトン散乱の見積もりでは、エネルギー ϵ_{las} のレーザーが電子ビームに対して垂直 (90°) に入射されるとする。電子ビームの進行方向に散乱される光子が最も高いエネルギー $\epsilon_{max} = 2\gamma^2 \epsilon_{las}$ となるが、その場合を考えることにする。レーザーをチタンサファイア(800nm)とすると散乱光のエネルギーは 42.7keV となる。散乱光のエネルギーと散乱角の関係を使うと ϵ_{max} に対するコンプトン散乱の散乱断面積は $\sigma_c = 4\pi r_0^2 \Delta\epsilon_{ph}/\epsilon_{max} = 1.0 \times 10^{-28} \Delta\epsilon_{ph}/\epsilon_{max}$ [m²] と書ける。ここで、 r_0 は電子の古典半径、 $\Delta\epsilon_{ph}/\epsilon_{ph,max}$ は考える光のエネルギー幅で光の取り込み立体角に関係がある。衝突によって実際に発生する光子数は衝突の幾何学から、 $F_c = (N_e N_p / wh) (L_{eff} / L_b) \sigma_c = 1.0 \times 10^6$ [photons/pulse] と書ける。ただし、 $N_e = 6.2 \times 10^8$ 個はバンチ中の電子数、 $N_p = 4.0 \times 10^{15}$ 個はレーザーの中の光子数、 $w, h = 50 \mu m$ は電子・レーザーの水平垂直方向のビームサイズ(一様な直方体を仮定)、 $L_{eff} / L_b = 1$ は実質的に衝突に関わる電子のバンチ長に対する割合である。この場合、光のパルス幅はおよそ 260fs となり、また、繰り返し 1kHz での平均光子数は $F_c = 1.7 \times 10^9$ [photons/s] である。

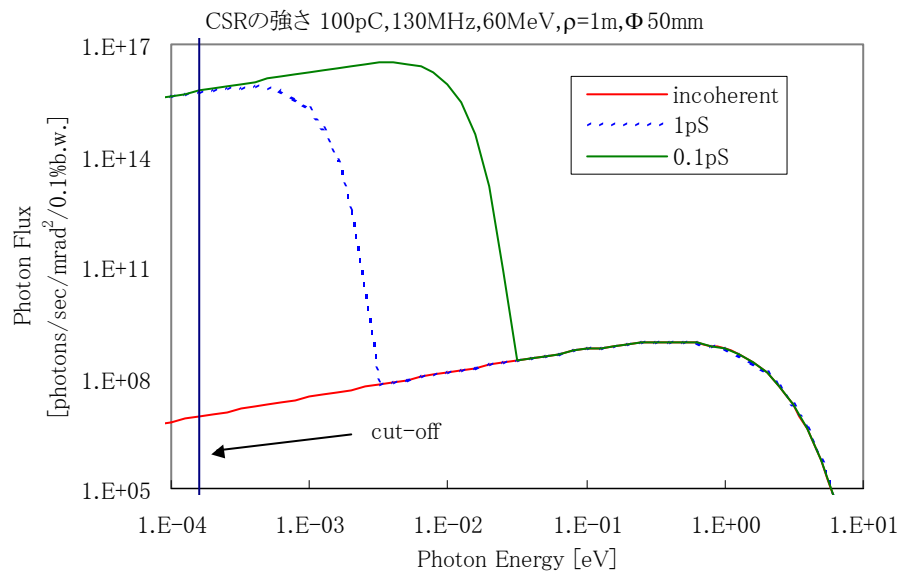


図 2 CSR 放射の Flux