

ESTIMATION OF THE E-GUN TIMING-JITTER INFLUENCE IN AN ENERGY-RECOVERY LINAC

R. Nagai¹, M. Sawamura, R. Hajima, N. Kikuzawa, H. Iijima, T. Nishitani, E. Minehara
Free-Electron Laser Laboratory, Advanced Photon Research Center, Japan Atomic Energy Research Institute
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

Abstract

Characteristics of the electron beam are jittered due to the e-gun timing-jitter. The e-gun timing-jitter influences should be reduced in an energy-recovery linac light-source for femto-second resolved experimentation. The influences are estimated by using PARMELA. In result of the estimation, the influences are sufficiently reduced in the case of less than 1 ps of the e-gun timing-jitter.

エネルギー回収型リニアックにおける電子銃時間ジッタの影響の評価

1. はじめに

原研FELグループでは次世代放射光源用加速器としてエネルギー回収型リニアックの基礎研究を行っている^[1-3]。エネルギー回収型リニアックの大きな特徴はリニアックの特徴を生かし、フェムト秒バンチ長、高輝度の電子ビームを生成出来る点にある。この電子ビームにより発生される放射光はフェムト秒、高コヒーレンスであり、これまでの放射光では実験が困難であった生物、化学分野のフェムト秒分解能での実験が期待されている。

エネルギー回収型リニアックでは蓄積リングと異なり、電子ビームの性能は電子銃を含む入射器の性能に大きく左右される。電子ビームの時間ジッタや輝度に電子銃の時間ジッタが影響を及ぼすと考えられる。特に時間ジッタについてはフェムト秒分解能の実験の観点からも数10fs以下にする必要がある。ここでは光陰極電子銃を前提として考えているので、電子銃での時間ジッタは光陰極駆動用のレーザーの時間ジッタである。必要とされる電子ビームの特性を得るために許容される電子銃時間ジッタの評価を行い、光陰極駆動用レーザー(同期システム)の必要な性能(時間ジッタ)を明確にしておく必要がある。

そこで、電子銃から打ち出される電子ビームの時間ジッタにより放射光を出す部分の電子ビームの時間ジッタ、バンチ長、輝度、エミッタンス、エネルギー広がりがどのような影響を受けるかの評価を、設計例の入射器^[3]を基にしてPARMELA^[4]により行った。

2. 評価モデル

評価モデルとしては昨年の本学会での発表した設計例^[3]を採用した。このモデルは図1に示すように500kVのDC電子銃で光陰極により電子を生成しバンチャ、入射boosterで圧縮、加速された電子ビームを3-dipole合流器で回収ビームラインと合流するとい

うものである。ただし、基となるパラメータについては7.7pCの電荷量で約70MeVまで加速した位置(9-cell×5台通過後)での輝度が最大となるようにシミュレーテッドアニーリングによる最適化^[5]を行った。このときのPARMELAでの計算結果のバンチ長(rmsとFWHM)とエネルギーを図2に示す。電子ビームはbuncherで速度変調を受け入射器で緩やかに圧縮され、合流器で磁気圧縮され、さらに主加速器1台目でvelocity bunchingにより圧縮されている様子が分かる。

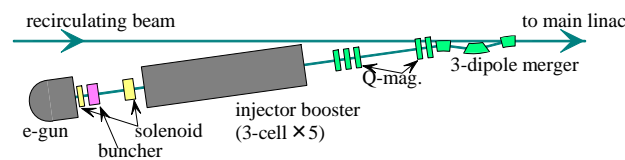


図1：評価モデルとした入射器

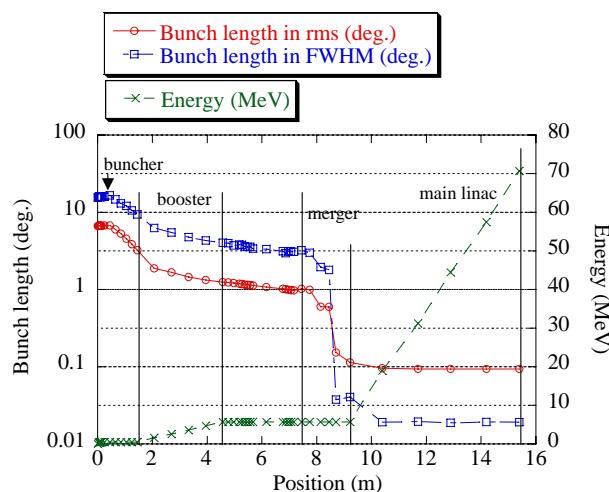


図2：PARMELAの計算結果

このパラメータを基にして電子銃からの出射のタイミングを変えた時の電子ビームの特性を計算し評

¹ E-mail: r_nagai@popsvr.tokai.jaeri.go.jp

価を行った。

3. 評価の結果

図3に電子銃時間ジッタの変化による70MeV位置での時間ジッタの変化の様子を示す。ただし、到着時刻はバンチのピーク的位置としている。この位置での時間ジッタはフェムト秒時間分解能への影響と同時に、主加速での加速位相ジッタにもなり、電子ビームのエネルギージッタにつながってしまうので、十分小さい必要がある。この図から電子銃時間ジッタが1ps以下であれば70MeV位置時間ジッタは約36fs以下となる。これは1300MHzの位相では0.016度であるので、これによるエネルギージッタは 4×10^{-8} 以下となる。時間ジッタが電子銃位置に対して70MeV位置で小さくなっているのはバンチを圧縮する過程において時間ジッタも圧縮されているためである。ここで評価モデルではバンチ長が70分の1に圧縮されているのに対して、時間ジッタは28分の1に圧縮されている。

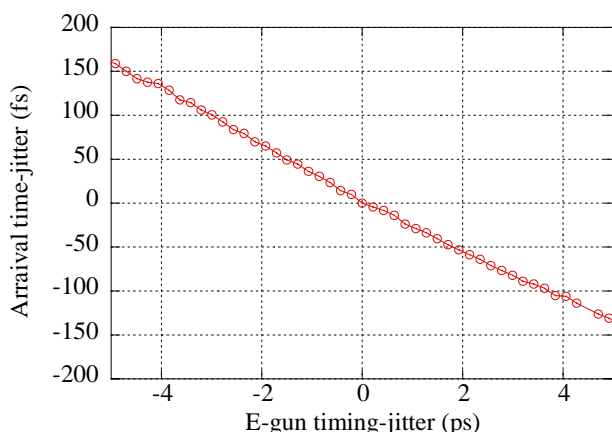


図3：電子銃時間ジッタに対する70MeV位置での時間ジッタ

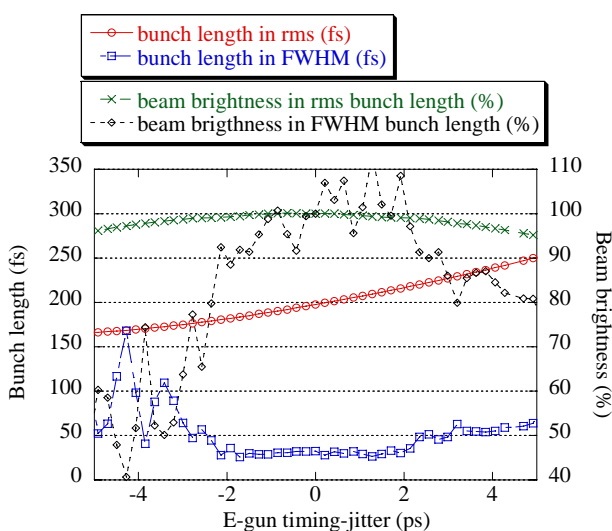


図4：電子銃時間ジッタに対する70MeV位置でのバンチ長とビーム輝度

図4に電子銃時間ジッタの変化による70MeV位置

でのバンチ長とビーム輝度の変化の様子を示す。それぞれrmsとFWHMの両方の場合を示す。電子銃時間ジッタが1ps以下であればビーム輝度(rms)の変化は0.5%以下となる。FWHMでバンチ長をみた際にはrmsでみた際よりも大きな影響を受けているので、バンチの形状が影響するような放射光利用の場合には電子銃時間ジッタに対する要求は更に厳しくなると言える。

図5に電子銃時間ジッタの変化による70MeV位置でのエネルギージッタ、エネルギー広がり、図6にエミッタンスの変化の様子をそれぞれ示す。最終エネルギーを6GeVとするとエネルギー広がり、エネルギージッタとも 10^{-4} 程度であるので目標とする性能に達している。エミッタンスについては目標値である0.1 mm-mradより数倍大きいので更なるパラメータの探索が必要である。電子銃時間ジッタの影響については電子銃時間ジッタが1ps以下であれば問題ない範囲である。

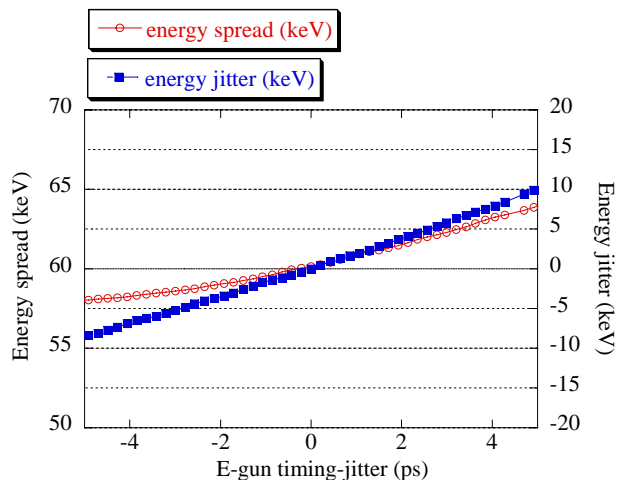


図5：電子銃時間ジッタに対する70MeV位置でのエネルギージッタとエネルギー広がり

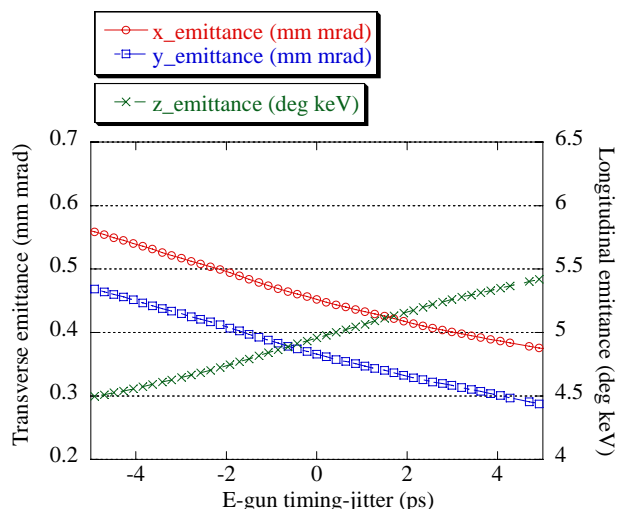


図6：電子銃時間ジッタに対する70MeV位置でのエミッタンス

4. まとめ

PARMELAによってエネルギー回収型リニアックにおける電子銃時間ジッタの影響の評価を行った。その結果、電子銃時間ジッタが1ps以下であれば時間ジッタが36fs以下、電子ビーム輝度のジッタが0.5%以下となることが分かった。

幸いにも、現在のレーザーとRFの同期技術において1ps以下の同期を行うことは比較的容易であり、短時間であれば5fs以下で同期可能であるという報告^[6]もある。従って、エネルギー回収型リニアックにおける電子銃時間ジッタについての問題はなんら障害にならないと言える。

参考文献

- [1] 西谷智博、他、 Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2004) 380-382.
- [2] 羽島良一、 Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2004) 432-434.
- [3] 羽島良一、他、 Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2004) 447-449.
- [4] Parmela ver. 3.34; L. M. Young, LA-UR-96-1835.
- [5] 永井良治、他、 Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2004) 422-424.
- [6] T. Yanagida, et al., Proceedings of SPIE Vol. 5194 (2004) 149-156.