

# Light Source Based on Multiturn Circulation Energy Recovery Linac

Takeshi NAKAMURA

Japan Synchrotron Radiation Research Institute / SPring-8

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, JAPAN 679-5198

## Abstract

Light source based on a nine-turn ring circulation energy recovery linac with bunch-by-bunch beam switch by RF deflection cavities is proposed and its performance is estimated including the degradation of the beam quality by radiation excitation. The application of the round to flat beam conversion at a injector, which was proposed for linear colliders, is discussed for a scheme to reduce the brightness degradation by radiation excitation.

## リング多重周回型 ERL による放射光源

### 1. はじめに

エネルギー回収型線形加速器 (Energy recovery linac (ERL)) の発生する高エネルギー高品質ビームを放射光源に用いる計画が各地で検討されている[1-4]。しかし、高品質・大平均電流・長寿命を同時に満たす電子銃や、大電流でのビーム不安定性への対処など、高度な開発が必要である。そして、装置の建設費を圧縮できる可能性のある、ERL の加速管を、何度も通過させて加速、減速する多重パス型ERLでは、大電流化がより困難と予想される。これに対し、ERL からのビームを、RF 偏向空洞を用いて、バンチごとに進行方向をスイッチすることにより、ビームをリングに多重周回させる方法が提案されている[5]。これにより、ERL、電子銃からのビーム電流を、多周回数だけ低減できる。ここでは、3周回

装置と、それを多段化し、9周回の手法を提案し、またそれによるエミッタンス、エネルギー広がり輝度への影響を調べた。

### 2. リング9周回 ERL

図1に、ERLからのビームをリングに9周回させる案を示す。後述する3周回装置4台を、入射用と出射用の2台をセットにして使い、それを2段化することにより9周回を可能としている。これにより、これまでに提案されたリングを周回させるシステム[5,6]とは異なり、各地の計画において提案されているような、周回部の直線部の一部をERLが占める形状での多重周回が可能となっている。

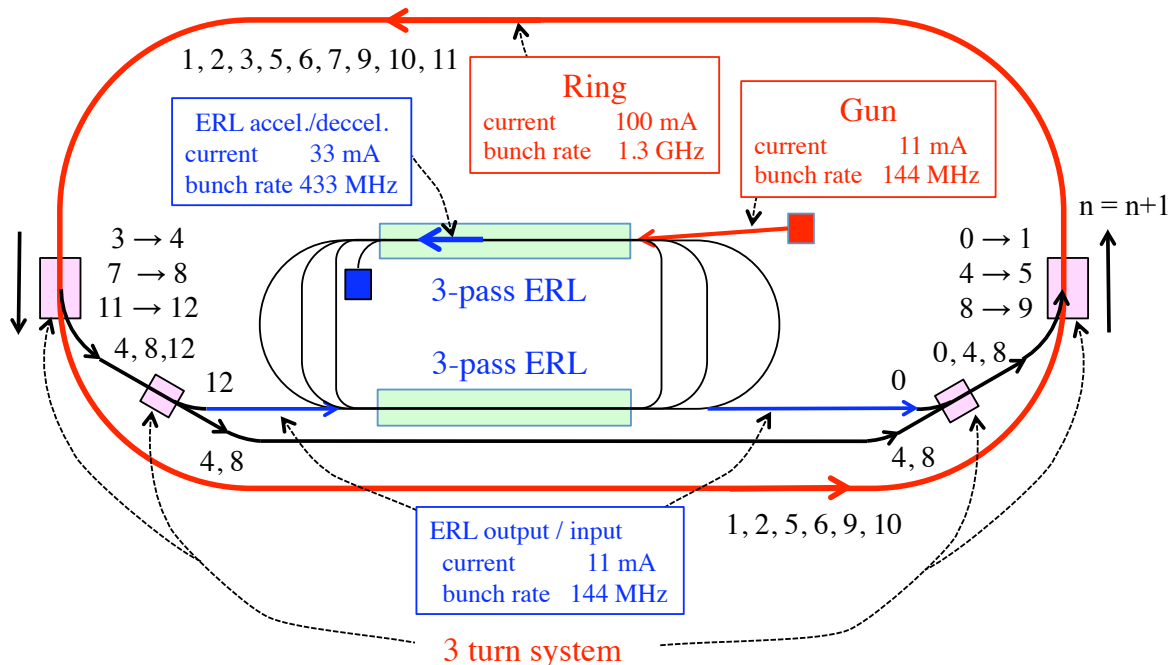


図1 ERLのビームを、リング(最外周)に9周回させる放射光源。リングを周回する電流の1/9を電子銃 (Gun) およびERLが出力する。そのときのバンチレートはリングの 1/9 となる。3周回装置(3 turn system) 4台は入射用、出射用の2台組で多段化されバンチ毎に“交通整理”を行う。ERLからのバンチは、0→1→2→3→...→12 と進む。なお、ここでは、リングに入射する前に3回ERLで加速しているが、多重周回によりバンチレートを下げることができるので、ERL内でのバンチの重複を避けて運転できる。

### 3. 3周回装置

ビームを3周回させるための装置の例を図2に示す。1台の周波数  $f_D$  のRF偏向空洞と2台の周波数  $2f_D$  のRF偏向空洞、および2台の磁石から構成される。RF偏向空洞は、KEKBで用いられている crab cavity と同じ機能の空洞である。この装置によるキックの時間変化を図3に示す。この装置を3周回装置として用いる場合には、 $f_D$  を、バンチが3周回ごとにキックを受けるように設定し、その際に入出射を行うようにする。

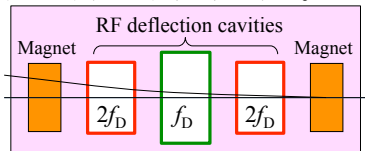


図2 3周回装置の構成例。1台の周波数  $f_D$  のRF偏向空洞および2台の周波数  $2f_D$  のRF偏向空洞そして、2台の磁石から構成される。

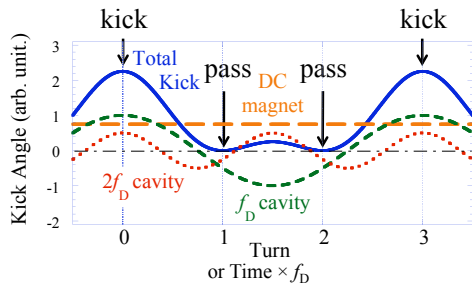


図3 3周回装置が発生するキック量の時間変化。磁石によるDCキック、周波数  $f_D$  および  $2f_D$  のRF偏向空洞によるキック、そして、装置全体の発生するキックを示す。周波数  $f_D$  は、バンチの通過する間隔にあわせて設定する。 $2f_D$  のRF偏向空洞は、バンチのクラブ運動を避けるために用いている。

### 3. エミッタンスおよびエネルギー広がり増大

ビームがリングを周回する際生じるエミッタンスおよびエネルギー広がり増大について、ここでは、コヒーレント放射などの寄与は小さいとして放射励起の寄与みを仮定し、文献[6]の手法を用いて評価した。

評価に用いたERLビームのパラメータを表1に示す。各所で検討されている典型的な値を用いている。また、周回リングのパラメータとして、表1に示すSPring-8蓄積リングの値を用い、8 GeVおよび6 GeVの場合について計算した。また、電子銃において、ビーム形状の円形—フラット変換[7,8]を用いることにより、水平、垂直エミッタンスの積を保ったまま、すなわちビームの輝度を一定として、水平、垂直エミッタンスを変化させることが可能であるので、水平エミッタンスを増やし、垂直エミッタンスを低減させることにより、水平エミッタンスの増大の寄与を低減できることを期待して、幾つかの水平・垂直エミッタンスの組について計算を行った。

得られたエミッタンスの増大を図4に示す。エミッタンスの増大率は、エネルギーの5乗に比例するので、6 GeVであれば9周回程度でもエミッタンスの増大は少ない。ここでは図示していないが、エネルギー広がり、10周回で0.03% (8 GeV) および0.023% (6 GeV) へとほぼ単調に増大する。リングのラティスとしては、挿入光源を設置する直線部にディスパージョンがない、アクロマートを仮定している。エミッタンスの増大を抑制する観点からは、アクロマートを崩したより低エミッタンスのラティスが好ましいが、ERLのビームは超低エミッタンスなので、ディスパージョンがあると、エネルギー広がりによるビームサイズの増大が大きくなり、輝度を大きく低減することになる。また、挿入光源を開閉することを許す場合、それによりエネルギー損失が変化するので、ビーム軌道が変動することになり、それを補正するためには挿入光源毎に加速空洞等が必要となる。

表1: SPring-8蓄積リングおよびERLビーム

Storage ring			
Energy	8	6	GeV
Revolution period	4.8		$\mu$ s
Radiation damping time (longitudinal / transverse)	4.2 / 8.3	9.8 / 19.7	ms
Natural emittance (rms)	6	3.4	nm rad
Natural energy spread (rms)	0.11	0.081	%
ERL beam			
Bunch length (rms)	2	ps	
Energy spread (rms)	0.02	%	
Normalized emittance	0.3	$\mu$ m rad	
ERL output/input current	11	mA	

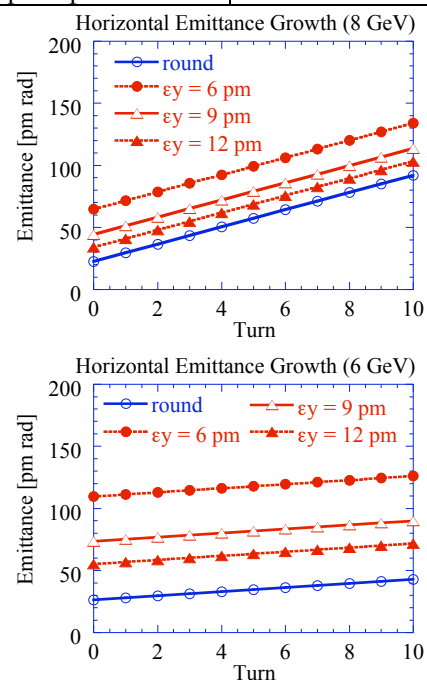


図4 周回ごとの水平エミッタンスの増大。上:8 GeV および 下:6 GeV。円形—フラット変換を用いて得られる異なる垂直、水平エミッタンスの組(電子ビームの輝度は一定)について計算している。

#### 4. 輝度の増大

評価したエミッタンス、エネルギー広がりを用いて、文献[9]をもとにした自作コードにより輝度の増大を計算した。放射光のエネルギーを、基本光の10keVおよび5次光の40keVとし、8GeVについては、SPring-8の標準型真空封止アンジュレータ[10](波長3.2cm、最大K値~3、長さ4.5m)を仮定し、6GeVについては8GeVと同等の波長を得るために、短周期アンジュレータ[11](波長1.8cm、最大K値~2、長さ4.5m)を仮定した。垂直、水平のベータ関数は長さ4.5mでの最適値の0.7mとしている。なお、25m長直線部のアンジュレータでの輝度は、超低エミッタンスビームのため、アンジュレータの長さにより輝度はほぼ比例するので、ここでの計算結果の6倍程度となる。なお、輝度の単位は、photons/sec/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%BWである。

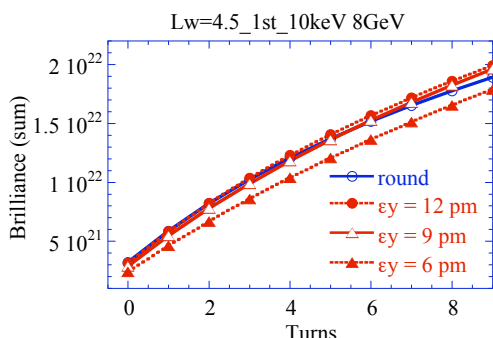


図5 8GeVでの周回回数と輝度の増大。基本波による放射光エネルギー10keV。

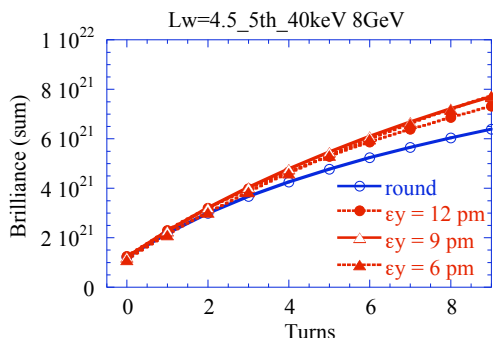


図6 8GeVでの周回回数と輝度の増大。5次光による放射光エネルギー40keV。

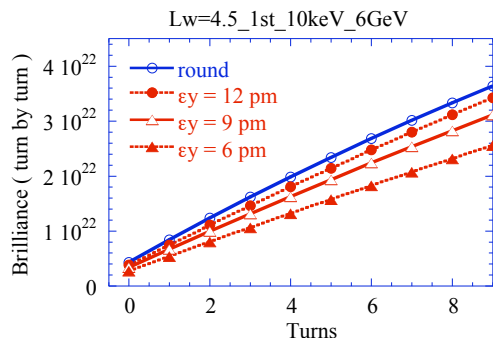


図7 6GeVでの周回回数と輝度の増大。基本波による放射光エネルギー10keV。

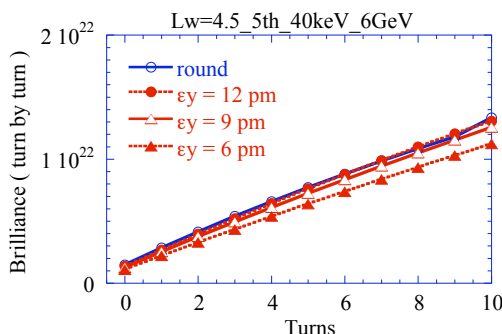


図8 6GeVでの周回回数と輝度の増大。5次光による放射光エネルギー40keV。

#### 6. 考察

8GeVでは、周回を重ねると、エミッタンスの増大に伴い、周回数に対する増大の割合が少なくなり、9周回では、周回数に比例する場合に比べて、6割程度となる。これに対して、6GeVでは、比例に比べて、8~9割程度となり、落ち方は8GeVに比べると小さく、多重周回の効果が大きいことがわかる。期待していたフラットビームの効果は、ほとんどみられず、今回の例では、8GeVでの40keVの場合にのみわずかに効果が確認することができる。

結論として、6GeVで、9周回を用いれば、ERLや電子銃での出力電流を一桁程度、低減することが可能となり、それにより、大電流に基づく困難やバンチレートを低減できるため、電子銃の負荷の低減や、多重パスERLの実現につながる。また、得られた輝度は、10<sup>22</sup>のオーダーであり、現状のSPring-8の数百倍の輝度が期待できる。但し、RF偏向空洞でoff-axisを通過するビームの挙動の検討や、周回ごとの軌道調整の方法など、種々の検討課題は残されている。

#### 参考文献

- [1] KEK ERL計画推進室 (<http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/>), S. Sakanaka, et al., Proc. of 加速器学会2008, p225 (2208).
- [2] Cornell Univ., <http://erl.chess.cornell.edu/>
- [3] APS, <http://www.aps.anl.gov/Upgrade/>
- [4] Daresbury, <http://www.4gls.ac.uk/ERLP.htm>
- [5] T. Nakamura, Phys. Rev. ST-AB 11, 032803, (2008).
- [6] T. Nakamura, Proc. of 加速器学会2008, p.710, (2008).
- [7] Y. Derbenev, University of Michigan Report No. UM-HE-98-04 (1998).
- [8] R. Brubjnabbbm T, Derbebev, K. Flottmann, PRST-AB, 4, 053501 (2001).
- [9] K. J. Kim, *AIP Conf. Proc.* 184, p. 565 (1989).
- [10] T. hara, T. Tanaka, T. Tanabe, X.-M. Marechal, S. Okada, H. Kitamura, J. Synchrotron Rad. 5, p.403 (1998).
- [11] T. Tnaka, T. Seike, H. Kitamura, TO05, Proc of 第5回加速器学会年会・第33回リニアック技術研究会 (2008).