

PRESENT STATUS OF SYNCHROTRON RADIATION SOURCES IN KEK

Tohru Honda¹

Photon Factory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

In KEK, the Photon Factory storage ring (PF-ring, 2.5 GeV) and the Photon Factory advanced ring (PF-AR, 6.5 GeV) are operated as dedicated synchrotron radiation sources. Both rings continue stable operation about more than 5000 hours every year except the time of various reconstructions. Following the straight-sections upgrade in 2005, construction of new insertion-device beamlines is promoted at the PF-ring. For the X-ray region, short-period small-gap undulators are to be installed at the newly created short straight sections. And for the VUV-SX region, a fast polarization-switching beamline is under construction at one of the elongated straight sections. In 2008 spring shutdown, one circular/linear polarized undulator with a fast switching orbit bump system was installed. Top-up operation of the PF-ring will start in 2009. A pulsed bending magnet as the first bend of the PF beam-transport line was installed for the pulse-by-pulse beam sharing with the KEKB. Recently, a novel beam injection scheme using a pulsed multi-pole magnet has been successfully demonstrated using a pulsed quadrupole at the PF-AR and a pulsed sextupole at the PF-ring, respectively.

KEKの放射光源リングの現状

1. はじめに

KEKでは蓄積エネルギー2.5 GeVのPF-ringと同じく6.5 GeVのPF-ARの二つの放射光源リングが稼動している。

PF-ARは1996年にトリスタン加速器のブースターとしての使命を終え、放射光源専用リングとなった。2001年にリング全周のビームダクトと真空系を更新し[1]、放射光実験ホールの大規模な増築を行なった。リング真空の改善により著しくビーム蓄積寿命が改善され、蓄積電流値も増加した。改造前は2時間毎の入射が常態であったが、現在は一日2回の入射で以前より高い平均電流値を保持している。多連のRF空洞の特性か、ウェーク場によるビーム不安定性が強く、蓄積可能なバンチのフィルパターンは単バンチないし間隔を開けた数バンチモードに限定されている。ユーザー運転は専ら単バンチで行われており、逆にその特徴を生かして時間分解パルスX線実験の光源としても積極的に利用されている。

PF-ringは1997年にエミッタンスをそれまでの4分の1にまで改善する高輝度化改造を行った。2005年には直線部のラティスを改造し、新たに1.5 mの短直線部を4か所創り出すとともに既存直線部の大幅な延長を行った[2]。蓄積リングの直線部増強を受けて、挿入光源ビームラインの新設が推進されている。PF-ringでは2009年度にトップアップ運転を開始する予定である。KEKBと共有する入射器(LINAC)ではPF-ringへのビーム輸送経路を変更し、また振分ベンドをパルス電磁石に変更するなどの準備が進んでいる[3,4]。蓄積リング側でも入射インターロックの整備、横方向および進行方向バンチフィードバックの整備[5]、パルス六極電磁石による新入射方式の開発

など準備を進めてきた。

Table 1: Main Parameters of the PF-ring and the PF-AR.

Parameters	PF-ring	PF-AR
Beam energy	2.5/3.0 GeV	6.5 GeV
Circumference	187 m	377 m
Natural emittance	35/50 nm-rad	293 nm-rad
RF frequency	500.1 MHz	508.6 MHz
Injection energy	2.5 GeV	3.0 GeV
Typical num. of bunches	280/280/1	1
Initial stored current	450/200/50 mA	60 mA
Beam lifetime (at init.cur.)	50/75/1.3 hours	20 hours
Num. of insertion devices	9	6

2. PF-RING

2.1 Operation

2005年の直線部増強ではラティスの変更に伴い、約半周分のビームダクトが更新された。PF-ringのビームダクトはアルミ合金製であり、冷却水チャンネルを備えたダクトの内壁で直接放射光パワーを吸収している。従来は無酸素銅製であったクロッチャブゾーバや挿入機器を保護する放射光アブゾーバはその多くがアルミナ分散強化銅(GlidCop)製に更新されつつある。改造後約2年半経過する間の、リング真空とビーム寿命と蓄積電流値の積($I\tau$)の推移を図1に示す。横軸は積分電流値(A h)である。電流値で規格化した平均真空はすでに 10^{-8} Pa/A台に到達している。これはガス放出の光刺激脱離係数 η (molecules/photon)に換算すると 10^{-7} 台の値となり、

¹ E-mail: tohru.honda@kek.jp

ほぼ改造前の値に回復している。

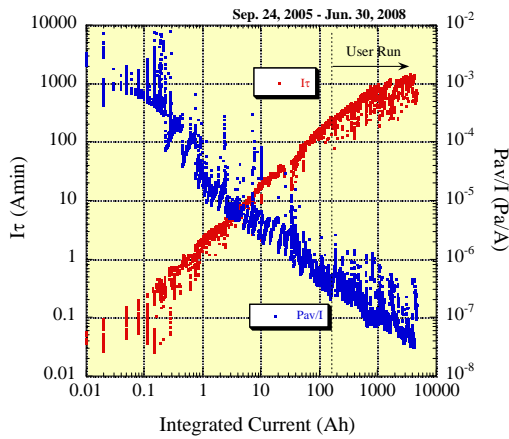


図1 直線部増強後2年半の真空と $I\tau$ の推移(PF-ring)。

2007年度の当初にはビーム寿命が初期電流値450mAで50時間に達し ($I\tau \sim 1350$ A min)、年間を通して一日一回入射でユーザー運転を行った。グラフ上で $I\tau$ が1000 A minを超えたあたりで伸びが鈍っている原因は2006年、2007年に3回発生した放射光アブソーバの真空漏れと、対策として数多くの放射光アブソーバを更新したためである。一方でPF-ringで推定される Touschek 寿命は $I\tau \sim 1400$ A min である。したがって真空の改善による寿命の伸びはほぼ限界が近づいている。現に進行方向バンチフィードバックにより完全に不安定性が抑制され実効的なバンチ体積が小さくなると、明らかな寿命短縮が観測される。今後はやはりすみやかにトップアップ運転に移行することが得策である。



図2 円偏光アンジュレータU#16-1 (奥)と軌道スイッチング用キッカー電磁石 (桃色)。写真中央のダミー管部がU#16-2号機の設置スペース。

2.2 Insertion Devices

直線部改造によって新しく創り出された全長1.5 mの短直線部は、極小ギャップのアンジュレータ設置に対応するため垂直方向の β 関数が0.4 mまで絞り込まれている。この短直線部に磁石長500 mmの短周期アンジュレータ (SGU) を置くと数keV \sim 10 keVの高輝度X線の発生が可能となる。現在SGU#03とSGU#17[6]の2台が稼働中で、最小ギャップ4 mmで運用されている。2009年には3台目の短周期アンジュレータSGU#01を設置する予定である。

PF-ringで最長の直線部は2005年の改造によって、5 mから9 mに延長された。この長直線部を利用して高速スイッチング可変偏光アンジュレータの設置が進んでいる[7]。2台のAPPLEII型アンジュレータをタンデムに配置し、5台のキッカー電磁石を用いて軌道を振ることによって偏光のスイッチングを行う。想定されるスイッチング周波数は10 Hzである。2008年春に一台目の円偏光アンジュレータU#16-1とキッカー電磁石の設置が行われ (図2)、バンプ軌道のスイッチングや高速軌道フィードバックの準備を開始している。2台目のアンジュレータを2010年に設置して全システムが完成する計画である。

Table 2: Parameters of the IDs at the PF-ring. U, MPW, SCW, CLPU and EMPW denote a planar undulator, a multi-pole wiggler, a superconducting wiggler, a circular/linear polarized undulator and an elliptical multi-pole wiggler, respectively. The revolver has magnetic configurations of four different periods. The λ_u , N, L, and G indicate a period length, a number of period, a total length of insertion devices and a minimum gap.

Name	λ_u (mm)	N	L (m)	Gy (Gx) (mm)
U#02	60	60	3.60	28.0
SGU#03	18	26	0.50	4.0
MPW#05	120	21	2.52	26.4
U(MPW)#13	180	13	2.34	27.1
VW(SCW)#14			1.20	50.0
U(CLPU)#16-1	56	44	2.56	21.0
SGU#17	16	29	0.50	4.0
U#19 (Revolver)	50,72, 100,164	46,32, 23,14	2.30	30.0
U(EMPW)#28	160	12	1.92	30.0 (110.0)

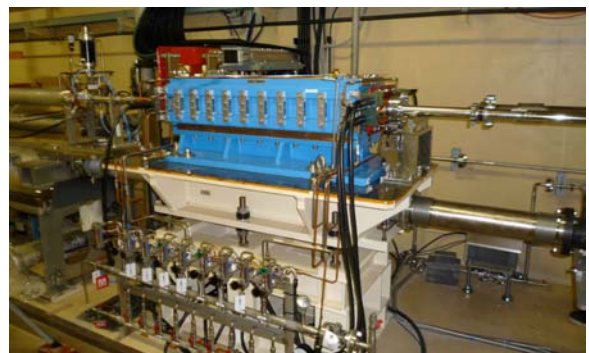


図3 LINACからPF-ringへのビーム輸送路の最上流に設置されたパルス偏向電磁石。

2.3 Top-up Operation

PF-ringでは2009年からトップアップ運転を開始する予定で準備を進めている。ビームシャッター開放での入射に対応するためのインターロック改造が2006年に行われ、Top-up Injection Modeが新しく作られた。トップアップ入射を許可する条件として一定以上の蓄積電流が存在する条件を取り入れ、蓄積リングの全電磁石やRF系の正常動作を担保している。2007年夏には入射ビーム輸送路の終端部にビームダンプとビームスリットが新設された。2008年1

月にはLINACからPF-ringへの振分バンドとしてパルスバンド（図3）が設置された。LINACは同一のオプティクスで8 GeVと2.5 GeVの電子を加速し、パルス毎に振分けることによってKEKBとPFへの同時連続入射に対応する。

PF-ringでは最近パルス六極電磁石を用いた新しい入射方式の実証に成功した[8]。入射効率やその安定性も通常入射と遜色なく、蓄積ビームにほとんど影響を与えない入射方式として、トップアップ運転に向けての実用化が期待されている。

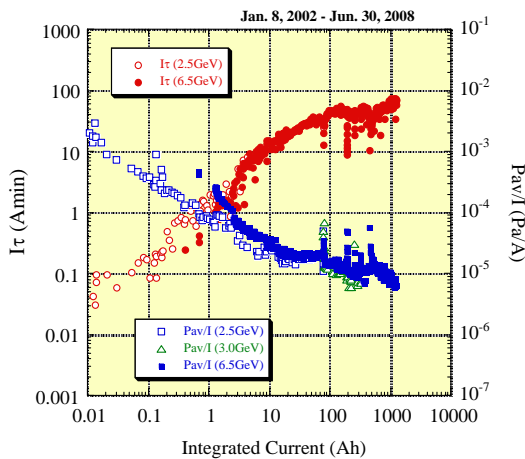


図4 真空系改造後5年半の真空と $I\tau$ の推移(PF-AR)。



図5 PF-ARのRF空洞を保護するための稼動マスク。

3. PF-AR

3.1 Operation

2001年の真空改造でPF-ARのビームダクトは無酸素銅製、放射光アブソーバはGlidCop製となった。図4に改造後現在まで5年半のリング真空と $I\tau$ の推移を示す。積分電流値がようやく1000 Ahに達したところで、PF-ringの図1と比較すると積分電流値の積算が遅く、結果として平均真空 Pav/I は約2桁劣っている。蓄積エネルギーが6.5 GeVと高くダクト内壁に照射される光子数が多いことを差し引いても、まだ真空と蓄積寿命に改善の余地があると考えている。常時シングルバンチ運転ではあるが、計算上PF-ARの寿命は主として残留ガス散乱で制限されている。2006年から2008年にかけてスパッタイオンポンプを約60台増設して、その数を3倍増し総排気速度の増強を図っている。

2003年にRF空洞の故障が発生し、一部のRF空洞内壁への放射光照射が問題となった。問題のRF空洞を完全に保護するアブゾーバを挿入すると入射ビームに対する開口が確保できないため、可動アブゾーバが設計された[9]。RF空洞の間近に設置するので1 kW超のHOMパワーの流入が予測され、対策として水冷したSiC吸収体を備えている。2007年の設置以来、一日2回の入射時に良好に動作している。

3.2 Insertion Devices and Beamlines

2001年に新しく北西実験ホール（NW棟）が建設されてビームライン増設に伴って4台の真空封止アンジュレータが製作された。2008年には開業以来の北東実験ホール（NE棟）において、アステラス製薬との共同事業でU#NE03ビームラインを蛋白構造解析ビームラインに作り変えるなど、実験ホールとビームラインの再整備が進められている。

Table 3: Parameters of the IDs of PF-AR. The U and EMPW denote an undulator and an elliptical multi-pole wiggler, respectively.

Name	λ_u (mm)	N	L (m)	Gy (Gx) (mm)
EMPW#NE1	16	21	3.36	30.0 (110.0)
U#NE03	40	90	3.60	10.0
U#NW02	40	90	3.60	10.0
U#NW12	40	95	3.80	10.0
U#NW14-36	36	79	2.84	10.0
U#NW14-20	20	75	1.50	8.0

3.3 Injection using a Pulsed Quadrupole Magnet

はじめにパルス四極電磁石を設置し、キッカー電磁石のパルスバンチを用いない新入射方式の実証を行ったのはPF-ARであった[10,11]。PF-ARでは通常の蓄積電流値まで到達可能な条件が限定され、パルス四極による蓄積ビームのプロファイル変動も観測された。いっそう蓄積ビームへの影響の少ない入射方式の開発を目指して、前述のようにPF-ringでパルス六極の実験が開始され、良好な結果を得ている。

参考文献

- [1] Y. Tanimoto, et al., Proc. PAC2003, p809 (2003).
- [2] T. Honda, et al., AIP Conf. Proc. **879**, p87 (2007).
- [3] Y. Ohnishi et al., Proc. LINAC2006, p46 (2006).
- [4] N. Iida et al., Proc. EPAC2006, p1505 (2007).
- [5] 帯名崇, “KEK-PFにおける進行方向バンチ結合型ビーム不安定性の抑制”, in these Proceedings, TP023.
- [6] S. Yamamoto et al., AIP Conf. Proc. **879**, p384 (2007).
- [7] 山本樹, “KEK-PFにおける高速偏光切り替え光源の開発”, in these Proceedings, TO09.
- [8] 高木宏之, “PFリングにおけるパルス6極電磁石を用いた入射試験”, in these Proceedings, TP038.
- [9] T. Takahashi, et al., Proc. PAC2007, p248 (2007).
- [10] K. Harada and Y. Kobayashi, Phys. Rev. ST Accel. Beams **10**, p123501 (2007).
- [11] 高木宏之, “PF-ARにおけるパルス4極電磁石を用いた入射システムの現状報告”, in these Proceedings, TP039.