

PRESENT STATUS OF PF AND PF-AR ACCELERATORS

Hiroshi Miyauchi ^{1,A)}

^{A)} 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/ e-) and the Photon Factory advanced ring (PF-AR, 6.5 GeV/e-) 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, in-vacuum short gap undulators are to be installed at the newly created short straight sections. In 2009 summer shutdown, the third in-vacuum short gap undulator SGU#01 will be installed. Top-up operation of the PF ring started in April 2009.

PFおよびPF-AR加速器の現状

1. はじめに

KEKでは蓄積エネルギー2.5 GeVのPFリングと蓄積エネルギー6.5 GeVのPF-ARの2つの放射光源リングが稼働している。

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リングは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。

近年、世界の放射光研究施設において” Top-up運転”と呼ばれる、連続入射を行い蓄積電流値を一に保ちながら放射光利用実験を行う運転が、放射光ビーム安定化に大きく寄与すると期待され、各放射光施設で行われている。PFリングでは2007年2月から単バンチでのTop-up運転が、2009年1月から多バンチでのTop-up運転が、入射器がKEKBへの入射を行っていない時期を選んで行われた。2009年4月から入射器が3リング同時入射可能となり、PFリングでは、随時Top-up運転が可能となった[3]。

Top-up運転を実現した次のステップとして連続入射による蓄積ビームの振動をどれだけ抑え込むことができるかが、さらなる放射光ビーム安定化への鍵となっている。



PFリングとPF-AR

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
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
Num. of insertion devices	10	6

¹ E-mail: hiroshi.miyauchi@kek.jp

2. PFリング

PFリングは、入射器の3リング (PF (2.5GeV/e⁻), HER (8GeV/e⁻), LER (3.5GeV/e⁺)) 同時入射 [3] の成功に伴い、2009年4月から連続Top-up運転を開始した。多バンチ・ユーザ運転時の蓄積電流値は、繰返し0.5Hzの入射で450mA±0.05mAに維持されている。1日2回のPF-AR入射時は、およそ15分程度の中断となるものの、多バンチ運転時は2~3mA程度の電流減少にとどまり、繰返し0.5Hzのまま450mAまで回復させている。ただしビームダンプ発生時は、繰返しを12.5Hzに上げて、できるだけ早く電流を回復させてユーザ運転再開をさせている。図1に典型的な1日の蓄積電流値の経過を示す。図2は図1の拡大図で、蓄積電流値の安定度を示す。

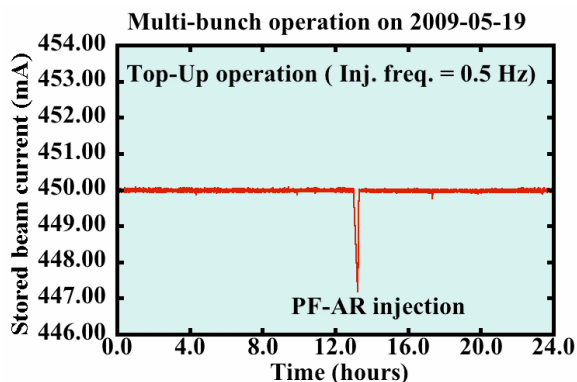


図1：多バンチTop-up運転24時間の蓄積電流値

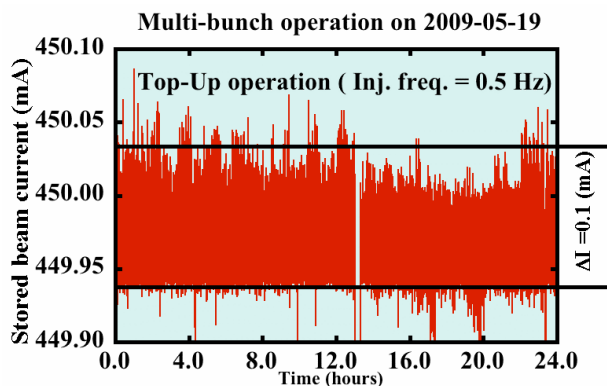


図2：多バンチTop-up蓄積電流値の安定度 (24時間)

2009年6月には3リング同時入射を行いながら、連続Top-up単バンチ運転を行い、問題なく運用できることを確認した。単バンチ・ユーザ運転時の蓄積電流値は、繰返し2Hzの入射で51mA±0.05mAに維持されている。単バンチ運転時には、多バンチ運転時に比べて寿命が非常に短い。1日2回のPF-AR入射時の約15分の入射中断中に約10mAの電流が減少する。そこで繰返し12.5Hzで51mAまで回復させてから繰返し2Hz入射に戻している。図3に典型的な1日の蓄積電流を示す。

3リング同時入射およびPFリングTop-up運転を実現するためにPFリング側ではこれまでに以下に述べる準備を着実に進め、3リング同時入射への対応を行った。

Single-bunch operation on 2009-06-18

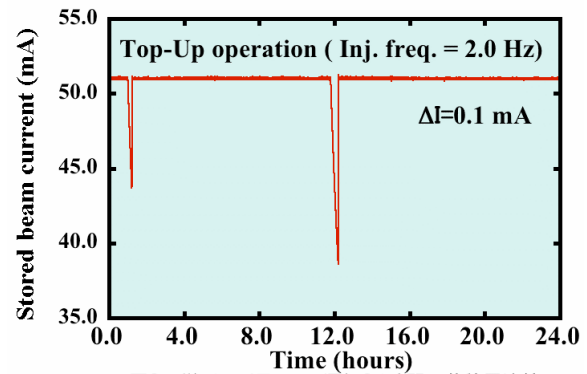


図3：単バンチTop-up運転24時間の蓄積電流値

(1) PF入射タイミング・システムの変更：これまで25Hz入射でしか対応していなかったPFリング入射のタイミングを、入射器から送られてくるPF用入射トリガー信号によって入射できるように変更し、25Hz以下の周波数ならば、任意の周波数で入射器からの電子ビームを入射、蓄積できるようにタイミング・システムの変更を行った。(2) 入射インターロック・システムの変更：放射光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を新しく設定した。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。(3) ビームダンプとビームスリットの設置：放射光シャッターを開放での入射時にユーザ実験ホールに漏出する放射線量を極力抑えるためには、なるべく質の良い電子ビームをPFリングに入射し、ビームを取りこぼすことなく確実に蓄積することが必要である。そのために、2007年夏に入射ビーム輸送路の終端部にPF入射電子ビーム調整用のビームダンプと質の高い電子ビームだけを通過させる目的のビームスリットを新設した。さらなるユーザ実験ホール内への漏洩放射線量低下を目的に、2009年夏にPF偏向電磁石B23-B24間にもビームスリット (図4) の設置を行い、運用の準備を進めている。

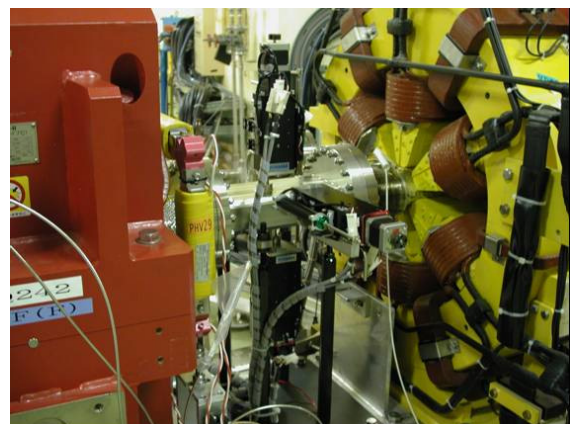
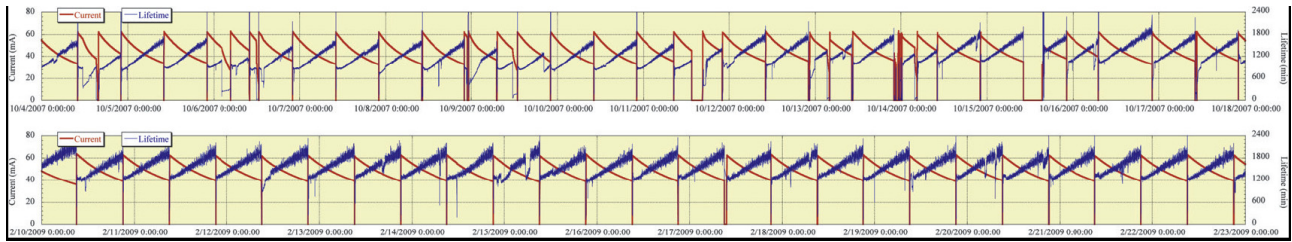


図4：B23-B24間に設置されたビームスリット



↑図5：PF-ARの蓄積電流（赤）と寿命（青）の一週間分。上列は真空度改善前（2007年10月）。下列は真空度改善後（2009年2月）。

入射時の蓄積ビームの振動の抑制を目的に、2008年春にPFリング北長直線部U#02の下流にパルス六極電磁石(PSM)を設置した。従来のキッカー電磁石によるパルスバンプを用いることなしに、PSMだけでPFリングに入射、蓄積ができることを実証している。しかも入射時の蓄積ビームの振動をキッカー電磁石やパルス四極電磁石使用時よりも小さくできるという特徴を持つため、Top-upユーザ運転に適していると期待されている。

進行方向のビーム不安定性の抑制を目的に、進行方向の個別バンチ・フィードバックシステムがPFリングに導入されている。信号処理システムはKEK, SLAC, LNF-INFN共同で開発した”General Purpose Signal Processor”(iGp)が使用されている。これによりバンチの重心振動を抑制することに成功した。しかしバンチが伸縮する四極振動が観測されている。これを抑える為に現在の時点では個別バンチ・フィードバックシステムとRF位相変調を併用している。

PF直線部増強によって新しく創り出された全長1.4m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の真空封止型短周期アンジュレータ(SGU)を置くと数keV~12keVの高輝度X線の発生が可能となる。現在SGU#03とSGU#17[4]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9月にPFリングの1.4m短直線部に、3台目の真空封止型短周期アンジュレータ(SGU#01)が設置される。このアンジュレータは周期長12mm, 周期数39となっており、電子エネルギー2.5GeVにおいて、1次光で約4keV, 3次光で約12keVのX線を発生させることができる。この光源を用いるタンパク質構造解析専用ビームラインBL-1Aが建設が行われている。

Table 2: Parameters of the IDs at the PF ring.

Insertion Device	λu (mm)	N	L (m)	Gy (Gx) (mm)
SGU#01	12	39	0.5	4
U#02	60	60	3.6	28
SGU#03	18	26	0.5	4
MPW#05	120	21	2.52	26.4
U(MPW)#13	180	13	2.34	27.1
VW(SCW)#14			1.2	50
U(CLPU)#16-1	56	44	2.56	21
SGU#17	16	29	0.5	4
U#19(Revolver)	50,72,100,164	46,32,23,14	2.3	30
U(EMPW)#28	160	12	1.92	30 (110)

3. PF-AR

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。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。イオンポンプの増設によって、平均真空度が増強前に比べて約10%程度良くなった。これに伴い、ビーム寿命が10%程改善された。その結果、現在では蓄積電流値とビーム寿命の積が約80A・minになるとともに、寿命急落現象の頻度が減ってきている(図5)。新設ビームラインとしては、2009年夏に高圧とイメージングの研究を行う目的の放射光ビームラインAR-NE7の建設が行われている。

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

Insertion Device	λu (mm)	N	L (m)	Gy (Gx) (mm)
EMPW#NE1	16	21	3.36	30 (110)
U#NE03	40	90	3.6	10
U#NW02	40	90	3.6	10
U#NW12	40	95	3.8	10
U#NW14-36	36	79	2.84	10
U#NW14-20	20	75	1.5	8

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] 古川和郎, "KEKBとPFの3リング同時トップアップ運転のための広域・高速制御機構とビーム運転", in these Proceedings, TPCOA12.
- [4] S. Yamamoto et al., AIP Conf. Proc. 879, p384 (2007).