

PRESENT STATUS OF PF-RING AND PF-AR

Takashi Obina

for Accelerator Division 7, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

The Photon Factory storage ring (PF-Ring) and the Photon Factory Advanced Ring (PF-AR) continue a stable user operation as synchrotron radiation facility. This paper reports the operation statistics in FY2010 and the R&D activities at both rings. Also the damage and recovery from the huge earthquake in 11/Mar/2011 are reported. The PF-Ring started its operation from 16/May/2011, and PF-AR started from 1/Jun/2011.

PF-Ring 及び PF-AR の現状

1. はじめに

KEK では PF-Ring 及び PF-AR の 2つの放射光源リングが稼働中である。本稿では最初に 2010 年度における両リングの運転統計と、実施してきた研究開発やマシンスタディ等についていくつかのトピックスを紹介する。

また、2011 年 3 月 11 日 14:46 に発生した東日本大震災において、つくば地区では震度 6 弱を観測した。ちょうど当日の朝に PF 及び AR のユーザーランは終了していたものの、実験室や電源室などでラックが移動したり転倒したりするなど多くの被害を被った。建物も蓄積リング及びビーム輸送ラインのトンネルに段差が生じている場所があり、電磁石の設置位置がずれていることが予想された。本稿では被害状況と 5 月からのリング立ち上げ状況について概略を報告する。

2. 運転状況

2.1 PF-Ring の運転統計

表 1 に示すように、2010 年度の年間運転時間は 5064 時間、ユーザーランに予定されていた時間 4080 時間であった。この期間のなかでマシン停止していた Down Time は 29 時間であり、ユーザーランの達成率は 99%以上を達成している。表に 2008 年以降の運転統計を示す。平均故障間隔(MTBF; mean time between failure)は 220 時間以上を達成しており、PF リングは非常に安定した運転を実現しているといえる。

主なトラブルとしては、6 月に発生に頻発した RF の Low Level 信号系の問題が挙げられる。PF 運転開始以降使用され続けているモジュール類であり、現状では各部のメンテナンスでしのいでいるが、全面的に更新する(デジタル LLRF 化)ことが検討されている。2009 年度は故障回数が多かったものの、2010 年度での故障回数は例年並みであった。また、電磁石関連のトラブルによる運転中断はゼロであった。秋からの運転ではほぼトラブル無しで連続運転を行っている。トップアップ運転もおおきなトラブ

ルなく順調に継続した。

2010 年 12 月の運転終了間際に、超伝導ウィグラーの冷凍機不調によるビームダンプが発生した。このため 2011 年 1 月から 3 月の運転期間にはウィグラーを励磁していない。後述する 6 月の運転からは運用を再開している。

表 1 : PF 運転統計

年度	2008	2009	2010
総運転時間 (h)	5000	4976	5064
ユーザー運転時間			
当初予定 (h)	4032	4008	4080
実績 (h)	3943.6	3965.3	4050.8
故障回数	18	24	18
全故障時間 (h)	23.8	42.7	29.2
平均故障間隔 (h)	224.0	167.0	226.7
平均故障時間 (h)	1.3	1.8	1.6

2.2 PF-AR の運転統計

表 2 に AR の運転統計を示す。ユーザー運転時間の達成率は 98%を達成しているものの、PF-AR の MTBF は 54.5 時間と、ここ数年で最短となった。電磁石電源と、ビームライン基幹部のトラブル数が大きく増加したことが原因であり、全体としてもトラブルの数が倍増している。各部の老朽化対策が重要である。

特に問題になったのは冷却水流量計に起因したトラブルであった(KEKB や PF で使用しているものとは違う流路のもの)。順次新型に置き換えて対処している。

電磁石電源も老朽化が顕著である。電源の不安定に起因してユーザービームラインでの強度変動として観測されることも起きた。順次更新を行ってきており、今年度には六極電磁石の更新を行う予定である。

表 2 : PF-AR 運転統計

年度	2008	2009	2010
総運転時間 (h)	4969	5063	4608
ユーザー運転時間			
当初予定 (h)	4344	4392	4032
実績 (h)	4302.3	4301	3958.3
故障回数	40	41	74
全故障時間 (h)	41.7	91.0	73.7
平均故障間隔 (h)	108.6	107.1	54.5
平均故障時間 (h)	1.0	2.2	1.0

2.3 PF および PF-AR での R&D

高速偏光スイッチング光源の開発

PF 南にある約 9 m の長直線部に 2 台の APPLE-II 型アンジュレータをタンデムに設置し、上下流に設置したキッカー電磁石によって軌道を振ることで 2 つのアンジュレータからの光を周期的に切り替える。第 1 段階として、1 台目のアンジュレータと、軌道スイッチング用の高速電磁石を 2008 年 3 月にインストールした。2010 年 8 月に 2 台目のアンジュレータがリングに設置され(図 1)、秋から高速偏光スイッチングのコミッションングを行ってきた。

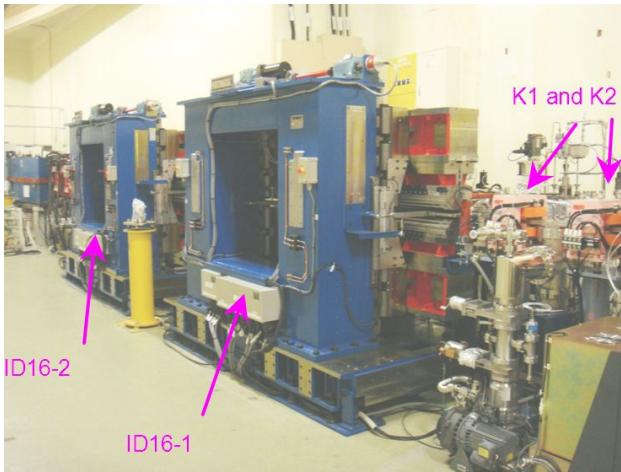


図 1 : 2 台のアンジュレータ写真

高速・高精度で制御するために制御系を更新し、また、BPM の振幅と位相情報から軌道変動を最小化する手法についても開発した。詳細は原田氏の報告^[1]を参照。

バンパ軌道外側での軌道安定度として当初の目標はビームサイズの 1/10 とした。スイッチング速度 10Hz の場合、4 台のキッカー電磁石の調整と、今回新たに導入したフィードフォワード制御系によりほぼ目標を達成することが出来た^[2]。図 2 に結果を示す。今後は電磁石電源に対する 50Hz 電源ノイズ対策や、スイッチングの高速化と軌道安定化を目指す。また、アンジュレータによる水平垂直カップリング効果を補正するためのスキュー電磁石を設置する予定である。

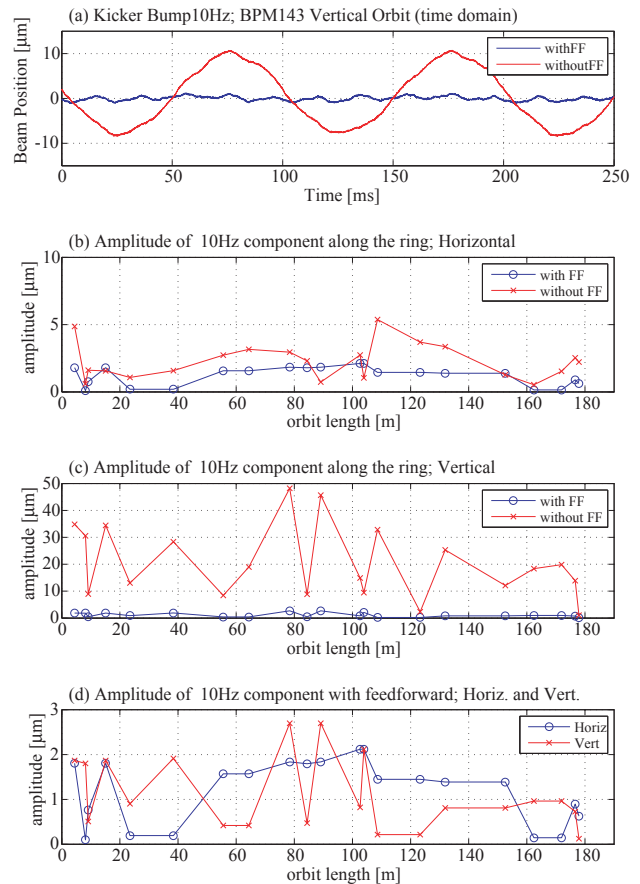


図 2 : 10Hz スwitching 時のバンパ外側での軌道

パルス六極電磁石による入射

パルス多極電磁石を使った入射は磁場中心を通る蓄積ビームに与える影響を与えずに入射ビームのみをキックできることや、通常 3~4 台使用するキッカー電磁石による入射に比較してタイミングの調整が容易であることなどの特徴から、特に放射光施設での利用がすすんでいる^[3,4]。

PF では 2008 年にパルス六極電磁石による入射に世界ではじめて成功して以来、電源の更新などを含め実用化をすすめてきた。2010 年 10 月からのユーザー運転において、電流積み上げ時に通常のキッカーを使い、トップアップ運転時にパルス 6 極電磁石を使う予定であったが、パルス 6 極用電源のケーブルの絶縁不良が原因で 12 月までの期間は通常のキッカーによる入射を実施した。その後、2011 年 1 月からの運転ではトップアップ運転時に常時使用し、3 月までの約 2 ヶ月間特に問題無く運転を継続した。今後もユーザーラン中は常時使用する予定である。

3. 東日本大震災の被害と復旧

3.1 被害状況

PF リングでもっとも大きい被害はリング壁電流モニターにて使用していた成形ベローズが破断したことであった。これによってリングの西半周が大気解放されてしまった。

このほかにも図 3 にある通り多くの被害があった

が、2つの蓄積リングおよびビーム輸送ラインに関して必要最低限度の対処をするのみで、まずはビームを蓄積することを第一目標とするという方針で復旧作業にあたった。3月中は余震も頻発していたことや電力制限も厳しかったため被害状況の把握が主であった。3月24日にPF研究棟の復電、28日には光源棟を含むPF地区すべてが復電し、ここから本格的な調査と普及にあたるのが可能となった。

4月中にはリング真空および入射 Linac の最終部分である第3スイッチヤードでの真空復旧作業を開始した。リークした壁電流モニターは取り外してダミー管に置き換えている。つづいて冷却水の漏水チェックの他、RF系の高電圧試験、電磁石電源の試運転など、運転へ向けての復旧をおこなった。マグネットに関しては垂直方向の測量をするのみとして、アライメントや水平方向の測量は時間がかかるため夏の作業にまわすこととした。

3.2 PF-Ring の立ち上げ

Linac の復旧につづいて PF リング立ち上げをおこなった。5月16日に入射を開始し、パルスベンド、BT調整ののちリングへの入射を開始した。同日の16:50には $20\mu\text{A}$ を蓄積に成功している。その後も入射調整をおこなって 200mA のトップアップ運転で真空焼きだしを行った。翌日も日中のリング内作業の後、夕方より入射を再開してすみやかに 450mA での焼きだしに移行出来ている。各種のリング調整作業を経て、5月23日より、ユーザービームラインへ光を導入し、各ビームラインの光焼きだし及び調整を実施した。その後、5月27日より放射光ユーザーによる調整運転に入った。

3.3 PF-AR の立ち上げ

PF立ち上げ後の6月1日からPF-ARの立ち上げ調整調整に入った。ARは地震による直接の真空被害は無かった。リング内に段差が生じていたり、ベローズの変形、壁や天井付近からの漏水に起因すると思われる水がマグネットにかかっているなどの被害はあったものの、5月までにおこなった復旧作業で、ビームを蓄積することのみは可能であろうと見込んでおり、実際に通常の立ち上げとほぼ同等の時間で入射・蓄積・加速など必要な調整を行うことが出来た。

地震による直接の被害がPF-Ringに比較して大きくなかった原因として、リング自体が地下トンネル内にあったために揺れがPFに比較すると小さかったのではないかと想像している。

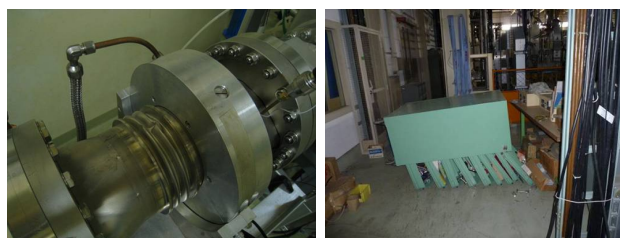
4. 謝辞と今後の予定

2011年7月7日に、PFおよびPF-ARの調整運転は終了した。迅速にビームを蓄積し、ユーザーへ光を供給できたことは復旧作業にあたった多くの人々の努力によるものです。特にLinacの方々には休日返上で作業にあたっていただきました。光源系一同そして放射光利用者も非常に感謝しております。また、たいへん厳しい電力事情の中、KEK全体でLinacお

よびPFの復旧を最優先事項として位置づけて配慮していただいたことにも深く感謝の意を表します。

光源としての性能をきちんと発揮するためには、夏の精密アライメントをはじめとして各種の調整・マシンスタディが必要である。今後も性能向上へむけてのスタディを予定している。

PF-ARに関しては、KEKBのアップグレードをうけ、入射スキームが大きく変わる可能性があり検討を開始している。また、老朽化対策を今後とも進めていく予定である。



左：成形ベローズ破断
このため、リング半周大気リークした
右：工具箱転倒（固定していなかったことが原因）



制御ラック転倒（運転に使用しているラックは床に固定していたが、たまたま使用していないラックをそのまま放置していたところ地震で転倒し、巻き添えて隣の制御ラックまで転倒してしまった）

図3：地震の被害写真（一部）

参考文献

- [1] K. Harada, et al.,第8回日本加速器学会 2011, TUPS073
- [2] T. Obina, et al.,Proc. DIPAC2011, TUPD73
- [3] H. Takaki, et al.,第8回日本加速器学会 2011, TUPS054
- [4] H. Takaki et al., "Beam injection with a pulsed sextupole magnet in an electron storage ring", Phys. Rev. ST Accel. Beams 13, 020705 (2010).