

FAST LOCAL BUMP SYSTEM FOR HELICITY SWITCHING AT THE PHOTON FACTORY

Shunya Matsuba^{1,A)},

Kentaro Harada^{B)}, Takashi Obina^{B)}, Yukinori Kobayashi^{B)}, Shinya Nagahashi^{B)}, Tsukasa Miyajima^{B)}

^{A)} Hiroshima University, 2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-0046

^{B)} KEK-PF,1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

In a south straight section of the Photon Factory storage ring (PF-ring), tandem APPLE-II (Advanced Planar Polarized Light Emitter – 2) type variably polarizing undulators will be installed with five fast bump kicker magnets in order to generate a local orbit bump for the helicity switching at a frequency of 10 Hz. At present, the installation of one undulator and a fast orbit bump system were completed and the machine studies for orbit switching are in progress. Bump switching frequency up to 10 Hz is almost successful, but the leakages of the bump are produced. In this paper, we describe an overview of the system, and the principal parameters of the bump magnets. In addition, we present the magnetic field measurements, the installation, and the preliminary results of the machine studies.

可変偏光アンジュレータ高速スイッチング用バンブシステムの開発

1. 序論

高エネルギー加速器研究機構の放射光蓄積リング (PFリング)において、高速で偏光スイッチング可能なアンジュレータ光を利用して実験を行うプロジェクトが進行している。この実験では、lock-in技術を用いた高精度の実験を行うため、10Hzのスイッチング周波数が要求されている。アンジュレータの磁極列の位相を機械的に変化させる方法では、1Hz以上の高い周波数でのスイッチングが困難であることから、PFリングではアンジュレータをビーム方向に直列に2台並べ、アンジュレータ内部の電子軌道 (局所バンブ軌道) を高速に切り換える手法が採用された。

可変偏光アンジュレータにはAPPLE II型^[3]が使用される。このアンジュレータは4列の磁石列を任意に動かすことが可能で、偏光切り替えの他にギャップを固定した状態で実効的に光のエネルギーも変えることができる特徴を有している。局所バンブ軌道の形成には、5台の偏向電磁石と独立に励磁可能な電源が使用される。バンブ電磁石及び電源、そしてアンジュレータ1台が、2008年3月のシャットダウン中にリング内に設置された。ここでは、バンブシステムの概要、設置について述べた後、調整のために行ったマシンスタディの途中経過について述べる。

2. システムの概要

スイッチングシステムの概要を図1に示す。2台のアンジュレータを同一の直線部上に直列に設置し、アンジュレータ中の電子軌道に交互にバンブを作ることで、2台のアンジュレータからの光を交互にビームラインへ届ける。2台のアンジュレータから光を分離するために要求されている軌道の傾きは

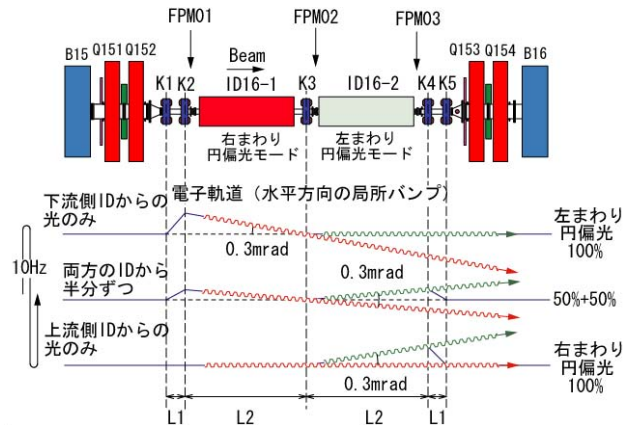


図1 スwitchingの概念図

K1~K5はバンブ電磁石、FPM01~03はバンブ内のビーム位置測定用の高速BPM、以降FPM(Fast position monitor)とする、である。アンジュレータは上流側のID16-1のみインストールされている。

表1 バンブシステムのパラメータ

最大ビームエネルギー	E [GeV]	3
最大蹴り角	θ [mrad]	2.4
最大磁場	B [T]	0.16
磁極垂直ギャップ	h [mm]	21
磁極水平幅	w [mm]	110
鉄芯長	l [mm]	150
コイル巻数	N [turns]	32
インダクタンス(計算値)	L [H]	1.0×10^{-3}
必要最大電流(計算値)	I [A]	83.5
抵抗	R [Ω]	0.1
周波数	f [Hz]	10
必要最大電圧(計算値)	V [V]	13.7
硅素鋼板厚	t [mm]	0.5

¹ shunya@post.kek.jp

0.3mradである。したがって、バンパ電磁石の幾何学的な配置から、必要な最大蹴り角は2.4mradと見積もられた。10Hz以上のスイッチング周波数を可能にするため、電磁石は0.5mm厚の珪素鋼板を積層して製作した。電源容量は、多少余裕を持った仕様とし、5kw ($\pm 100A, \pm 50V$)とした。電磁石及び電源の主要なパラメータを表1に示す。

励磁電源の制御には、Agilent社製4chDACモジュール(L4451A)を採用した。バンパの高さを正弦的に変化させるには、基本的に電流波形も正弦的にするが、誤差や位相のずれ、非線形磁場成分によるバンパの漏れを補正するため、歪んだ正弦波形で励磁することも可能である。今回のマシンスタディでは、正弦波1サイクルを3600点に分割し、1クロック送るごとに1点進む様に設定信号を発生させ励磁した。励磁周波数の変更はクロックの変更で行う。

アンジュレータ内のバンパ軌道の傾きを0.3mradとすると、バンパの高さは最大で約1mmとなる。ユーザー運転中に許容される軌道変動を、ビームサイズの1/10とすれば、バンパの漏れは水平方向で約30 μm 、垂直方向には約5 μm 以内に抑制する必要がある。

3. 磁場測定及びリングへの設置作業

バンパ電磁石及び電源納品後、性能試験として、励磁曲線、水平方向及びビーム進行方向の2次元磁場分布、周波数応答を測定した。測定にはホール素子(F.W.BELL製 9500A)と、FFT測定器(HP製3562A)を用いた。磁場測定により、5台の電磁石はすべて設計仕様を満足しており、最大励磁電流値100A時で0.188Tの磁場が発生していることを確認した。また、電磁石のヒステリシスの影響を見積もるため、 $\pm 100A$ でループ的に励磁を行ったところ、0A付近におけるループの上昇・下降に対する磁場の差は約 $28(\pm 14) \times 10^{-4}T$ 程度であった。水平方向の磁場分布の均一性は、入射ビームを含めたビームの通過する範囲を $\pm 35mm$ とすると、 $\Delta B/B < 1 \times 10^{-3}$ であった。

次に、周波数応答の測定結果について述べる。電磁石をACで励磁すると渦電流の効果で磁場の減衰と位相の遅れが生じる。電磁石を電流 $\pm 50A$ 、周波数10Hzで正弦的に励磁すると、磁場は1Hz時と比べて99.9%に減衰し、電源への電流設定信号に対する位相遅れは5.78度であった。磁場の減衰は殆どなく、位相も5台同期して遅れるならば問題はない。ビームエネルギー2.5GeVの場合、定格のバンパを作る為の設定電流値は、K1とK5が約51A、K2とK4が約58A、K3は7Aとなる。

電磁石、電源とも要求仕様を満たしており、また5台の個体差も0.1%以内であることが分かった。

2008年3月のシャットダウン中に、1台のアンジュレータ、バンパ電磁石及び電源の設置作業が行われた。電磁石のアライメントでは、高さ方向に水準儀(Wild社製 N3)、水平方向にセオドライト(Kern

T3000)、ビーム進行方向に金尺、電磁石の傾きには水準器が用いられた。要求設置精度は、水平及び垂直方向で $\pm 100\mu m$ 、縦方向で $\pm 500\mu m$ 、回転で $\pm 0.2mrad$ であったが、アライメント後の再測量で、それぞれが許容範囲内であることを確認した。

4. マシンスタディ途中経過

ビームを使って電磁石の蹴り角に対する軌道の応答を測定し、その後、DC的に高さ最大のバンパを作り、バンパが閉じるように調整を行った。次に、0.1Hzの周波数でバンパの高さを変化させ、バンパ外側での軌道変動を観測した。

0.1Hzで定格の高さまでバンパを作った場合の、バンパ外側での軌道変動を図2に示す。0.1Hzの場合はリングの通常のBPM (beam position monitor)での観測が可能である。グラフは、0.1秒おきに約100秒間の軌道を連続で測定し、各BPMで観測された位置の最大値と最小値の差をプロットしたものである。水平方向には挿入光源のパラメータに依らず最大で約30 μm ($\pm 15\mu m$)の振動が生じている。この振動はユーザー運転に対する許容範囲内ではあるが、今後も波形を補正するなどして抑制する努力が必要である。一方、垂直方向には、挿入光源なしの場合には約15 μm 、挿入光源のギャップを閉じると約2倍に増大し、約30 μm の振動が生じている。挿入光源なしの場合、振動の原因はバンパ電磁石の傾き誤差と思われるが、据え付けの調整で補正することは精度の問題から困難であり、垂直方向のステアリングを用いてフィードフォワード補正を行う予定である。挿入光源のギャップを閉じると、そのskew 4極成分によって振動が増大する。

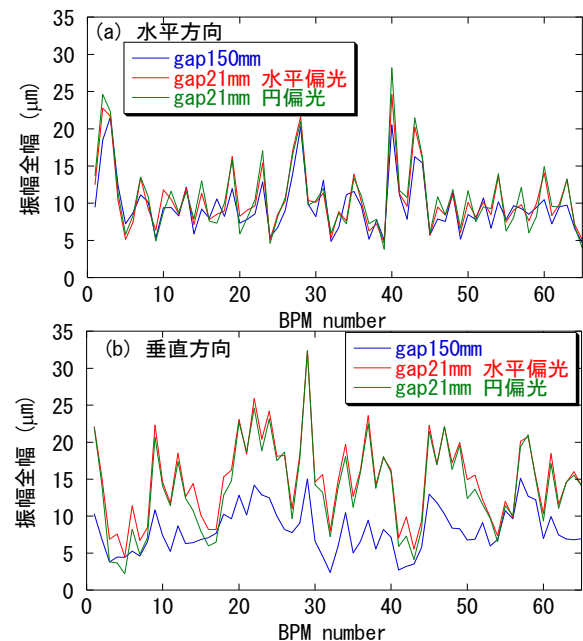


図2 周波数0.1Hzでのバンパ外側の軌道変動 (a)に水平方向、(b)に垂直方向の軌道変動を示す。ギャップ150mmの時、挿入光源の磁場はほぼゼロであり、21mmは最小ギャップである。

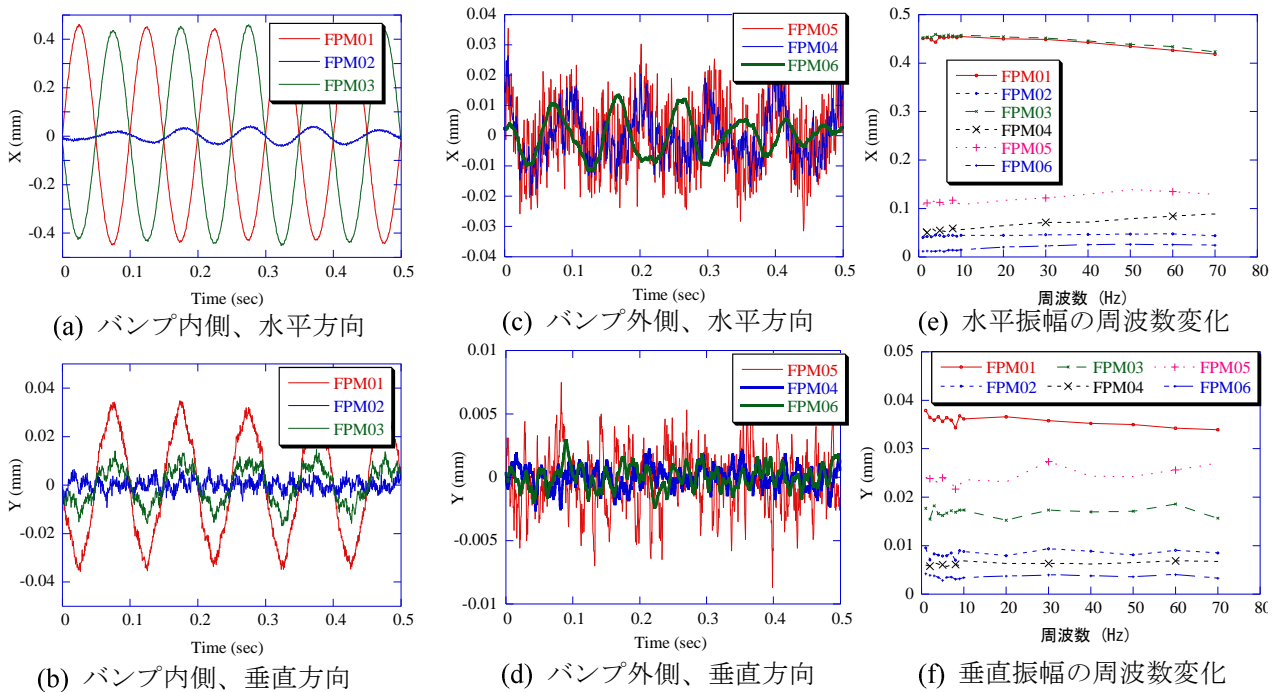


図3 周波数10Hzの場合の速いBPMで観測した振動及び70Hzまでの振幅の周波数依存性

この振動成分の抑制は、FF用のステアリングで行うか、またはDC的なskew 4極補正電磁石を設置することにより可能である。変動の大きさから見積もった挿入光源のskew成分の大きさは約 $B'L=0.0104T$ であり、バンプの形状を考慮すると、挿入光源の磁場測定の結果、約 $0.016T$ と矛盾しない。

次に、定格の10Hz以上でのスタディ結果を図3に示す。いずれも挿入光源のギャップは150mmである。10Hzの振動はリングの通常のBPMでは観測できないため、通常のCOD測定に使われていない電極に高速BPM(FPM)、“Libera”^[4]を接続して測定を行った(図4)。バンプが設計通りであればFPM01及びFPM03で水平に $\pm 0.49mm$ 、FPM02で $\pm 0.02mm$ の振動が観測されるはずであるが、ほぼその通りの値が観測された。FPM01とFPM03、02の振動の位相もきちんと反対になっている。10Hzでは設計通りのバンプができていることが確認された。

バンプの漏れについては、FPM04、05、06で観測した(図3-(c)、(d))が、全てリングの中で分散関数

が最大の場所であり、RFの位相変調による縦方向のビーム振動が約300Hzの水平振動として観測されている。この振動を考慮すると、水平方向のバンプの漏れは $\pm 15\mu m$ であり、0.1Hzでの値とほぼ同じである。垂直方向についても、 $\pm 5\mu m$ 程度で0.1Hzの場合とほとんど変化はない。1~70Hzまで、振幅の周波数依存性を図3-(e)、(f)に示す。時系列データの最大値と最小値の差の半分を振幅としてプロットした。垂直方向については周波数依存性は小さいものの、水平方向はバンプ高さが減衰し、漏れが増えている様に見える。ただし、300Hzの振動が大きく、移動平均やFFTなどをかけても信号処理は難しく、定量的な議論は今後の課題である。

6. まとめ

高速偏光スイッチングの為のバンプシステムをリングに設置し、ほぼ設計通りのバンプを作ることになった。今後、電流波形を任意波形にすることや、垂直ステアリングを使ってフィードフォワード補正を行うことを含め、バンプ外側の振動対策を行う予定である。

参考文献

- [1] 小林幸則, “高速スイッチングに対するリング軌道の安定化”, 「新BL-16高速可変偏光スイッチング軟X線分光ビームラインの検討」報告, KEK Internal 2005-7
- [2] S. Matsuba, et.al. “Fast local bump system for the helicity switching at the photon factory” Proc. of EPAC 2008
- [3] S. Sasaki, “Analyses for a planar variably-polarizing undulator”, Nucl. Inst. A347 (1994) 83-86
- [4] Libera family beam diagnostic instruments, <http://www.i-tech.si/>

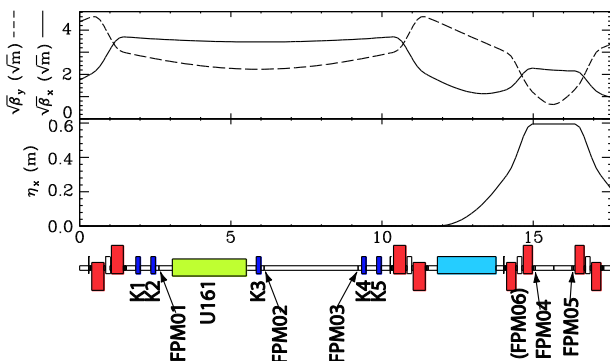


図4 速いBPMの配置とオプティクス
FPM05のリング対称点にFPM06がある。