

SPring-8 分割型アンジュレータ・ビームラインの光位置モニタの校正

CALIBRATION OF X-RAY BEAM POSITION MONITOR FOR A SEGMENTED UNDULATOR BEAMLINE AT SPring-8

青柳 秀樹^{#,A)}, アルフレッド バロン^{B)}, 早乙女 光一^{A)}, 高雄 勝^{A)}, 下崎義人^{A)}, 長谷川 誠^{C)}, 高橋 直^{A)}
Hideki Aoyagi^{#,A)}, Alfred Baron^{A,B)}, Kouichi Soutome^{A)}, Masaru Takao^{A)}, Yoshito Shimosaki^{A)},
Makoto Hasegawa^{C)}, Sunao Takahashi^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

^{B)} RIKEN SPring-8 Center (RSC)

^{C)} SPring-8 Service Co. Ltd. (SES)

Abstract

At SPring-8, more than 30 undulator beamlines use X-ray beam position monitors (XBPMs), which are operated in photoemission mode. Four blade-type detector heads, which are made of tungsten, are arranged on the skirt of the beam profile, and the information of the beam positions is acquired by multiplying the distribution ratio of signals by calibration factors. In order to determine these calibration factors, the XBPMs are usually translated vertically and horizontally, as this is easier than moving the x-ray beam. The RIKEN Quantum NanoDynamics beamline (BL43LXU) has recently been upgraded to three 5m undulators segmented by intervals of about 10 m, center to center. The XBPM is subject to influence of the radiation from all three undulators, and it becomes difficult to use the usual method of calibration. Therefore, at BL43LXU, the calibration factors were measured by displacing the electron beam orbit independently in each undulator.

1. はじめに

SPring-8 では、30 本余りのすべての挿入光源（アンジュレータ）用ビームラインに光位置モニタが設置されており、サイクル毎の定点観測、利用実験中のモニタリング等で使用されている。光位置モニタは、光電子放出型を検出原理とするもので、4 枚のブレード型検出素子をビーム・プロファイルの裾に配置させ、信号の配分比に補正係数を乗じることによってビーム位置の情報を得ている[1, 2]。蓄積リング通常セルのアンジュレータ・ビームラインでは、光源中心から約 20m の距離に光位置モニタがあり、放射光ビームライン下流の光学ハッチに導入されるビーム位置を精度良く測定することが出来る。光位置モニタの分解能は 1 μm 程度であるので、角度の精度としては 0.05 μrad 程度に相当する。

これまで建設されたビームラインは、1 本のビームライン当たり 1 台、若しくは、2 台のアンジュレータがステアラーを挟んでタンデムに配置されていた。この場合には、補正係数の校正は、ビームを実際に変位させるのではなく、模擬的に光位置モニタの検出部を水平・鉛直に移動させることで代替することが出来た。

理研 量子ナノダイナミクスビームライン BL43LXU [3]は、今年度より光源が増強され、SPring-8 蓄積リング長直線部に、全長 5 メートルで独立に Gap 操作ができる 3 台のアンジュレータが、四極・六極電磁石列、及び、ステアラーを挟む形で、約 10 メートル間隔で設置されることとなった。そ

の結果、光源中心（2 台目の中心）より 35m 下流の光位置モニタが、同時に 3 台のアンジュレータからの放射光の影響を受け、これまで通りの補正係数校正の方式が使えなくなった。そこで、BL43LXU では、電子ビーム軌道を各アンジュレータの位置で独立に変位させることにより、補正係数を校正した。

2. 光位置モニタ出力と蓄積リング閉軌道の変位

光位置モニタは、各ブレードからの電流信号の配分比から位置を得る。その際用いられる補正係数は、原理的には、放射光ビームのプロファイルの計算値と検出素子の量子効率から計算できるはずである。しかし、実際には、プロファイルの計算値からのズレ、検出素子の表面状態の不確かさに起因する量子効率の曖昧さ、偏向電磁石の端部からの放射光の混入等があるため、補正係数を実際に測定して確かめる必要がある。そこで、測定中に放射光ビームが変動していないことを仮定し、各ビームラインに設置されている光位置モニタの筐体をビームに対して水平・鉛直方向に移動させ、電流信号の配分比の変化を計測することにより補正係数を算出している。この方法により、実際の放射光ビームの位置変動を正しく測定することが出来る。

これを確かめるために、この方法で算出した補正係数を用いた光位置モニタの出力値と、蓄積リング閉軌道の変形(COD)をグローバルに捉えた電子軌道から予想される各ビームラインでの変位量との整合性を調査した結果を以下に記す[4]。Figure 1 は、蓄積リング電子軌道に水平と鉛直方向のステアラーで

[#] aoyagi@spring8.or.jp

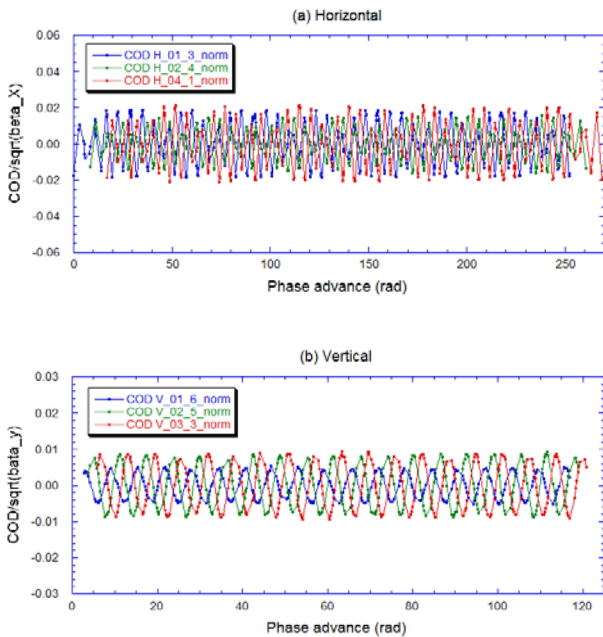


Figure 1: COD with single kicks.

3 μ rad のシングル・キックを与えた時の蓄積リング 1 周分の COD の変化分を示す。キックを与えたステアラーは、水平・鉛直方向ともに、比較的近傍にあり、ベータatron振動の位相差が約 120° となるように 3 台ずつ選んだ。縦軸と横軸は、それぞれベータatron関数とベータatron振動の位相の進みで規格化している。Figure 2 の横軸は、Figure 1 を正弦波でフィッティングし、挿入光源中心での位置と角度から約 20m 下流の光位置モニタの場所での放射光ビーム位置を外挿した値としている。縦軸は、前述の方法による補正係数の実測値を用いた光位置モニタの出力値である。これからわかるように、完全に独立な方法によって得られた両者の値が、光源から約 20m 離れた地点において、数%以内という良い一致を示した。相対的な放射光ビームの変位を知ることが重要となる光位置モニタの補正係数を算出する方法として、光位置モニタを水平・鉛直方向に移動させる方法に十分な信頼性があると考えてきた。

3. BL43LXU のアンジュレータ配置とバンブ軌道

BL43LXU は、3 台のアンジュレータの間に四極電磁石、六極電磁石、及び、水平・垂直ステアラーが設置されている。3 台のアンジュレータに対する光位置モニタの補正係数を独立に測定するために、アンジュレータを 1 台ずつ閉め、その場所にだけバンブ軌道を与えた。Figure 3 にアンジュレータの配置と補正係数測定のために用いたバンブ軌道（赤色実線）を示す。すべて、軌道の振り角が +5 μ rad の場合を示している。鉛直方向ステアラーは、各アンジュレータの間に 2 台が設置されているので、それぞれのアンジュレータのある場所で、角度だけのバ

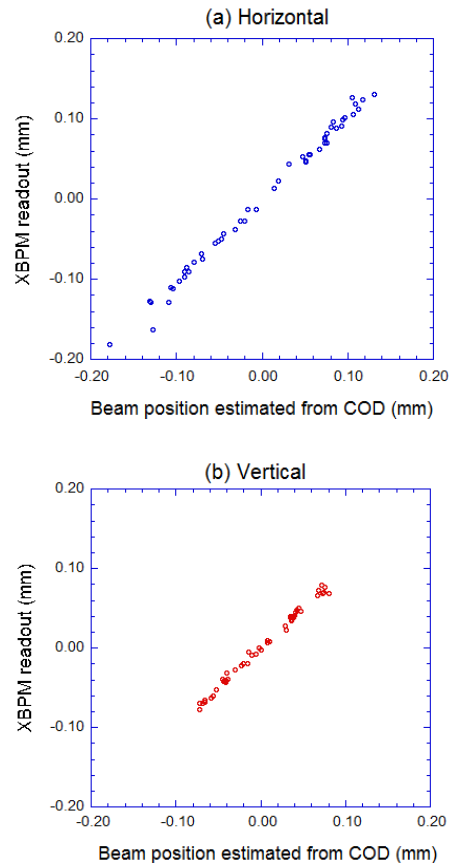


Figure 2: Correlation between XBPM readouts and estimation from COD data.

ンブ軌道（変位無し）を独立に作る事が出来る（Figure 3 (d)-(f)）。一方、水平方向ステアラーは、現状では各アンジュレータの間に 1 台の設置なので、1 台目と 3 台目のアンジュレータについては角度とともに変位のあるバンブ軌道（Figure 3 (a), (c)）となるが、これらのバンブ軌道は、他のアンジュレータにバンブ軌道の漏れはない。一方、2 台目のアンジュレータについては変位の無い角度のバンブ軌道（Figure 3 (b)）であるが、1 台目と 3 台目のアンジュレータの位置で変位（バンブ軌道の漏れ）が存在する。

4. 光位置モニタの補正係数の測定

BL43LXU の 3 台のアンジュレータに対する光位置モニタの応答（補正係数）を個別に測定するために、アンジュレータを 1 台ずつ定点観測 Gap の 6.24mm に閉じ、他の 2 台のアンジュレータは全開の 40mm とした。Figure 4 は、3 台目のアンジュレータ (ID43-3) の Gap 値を 6.24 mm、他の 2 台を全開にした時の光位置モニタの時系列データである。縦軸は光位置モニタの出力値を示し、バンブ軌道の振り角の大きさにより、階段状に出力値が変化していることが分かる。この時の補正係数は、暫定的に光位置モニタの検出部を水平・鉛直方向に移動させることにより算出したものを用いている。

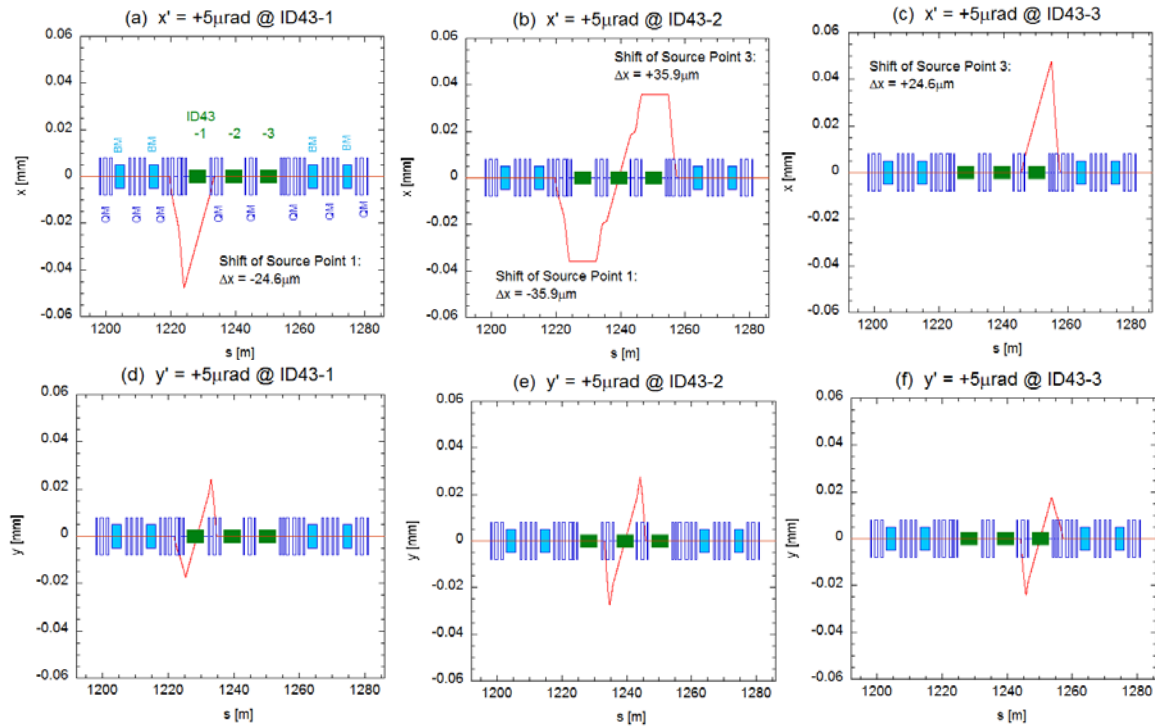


Figure 3: Configuration of three undulators and bump orbits.

Figure 5 は光位置モニタ出力の比例性を示している。縦軸は Figure 4 のデータを用いた光位置モニタの出力値、横軸は各バンプ軌道から推定される放射光の位置を表している。水平方向、及び、鉛直方向のいずれにも比例性がみられた。しかし、比例係数はそれぞれ 1.3、0.5 となっており、XBPM の出力値とバンプ軌道からの推定値との間に大きな食い違いが見られた。他のアンジュレータ (ID43-1 及び ID43-2) を閉めた時にも同様の傾向が見られ、鉛直方向での、補正係数の不整合が顕著であった。今回の測定で得られた補正係数の一覧を Table 1 に示す。

5. 考察

これまで 30 本余りのアンジュレータ・ビームラインの光位置モニタで補正係数測定をしたなかで、ビームラインの立ち上げ、又は、光位置モニタの調整中に光位置モニタに異常が見られた原因の一つは、4 枚のブレード型検出器のうちの 1 枚若しくは複数枚のブレードの受光部が過剰な熱負荷に曝されることによって表面状態が変化し、光電子放出の量子効率が極端に変化してしまうことであった。この際の典型的な症状は、4 枚のブレードからの光電子放出の量子効率の一樣性が乱れてしまい、補正係数の測

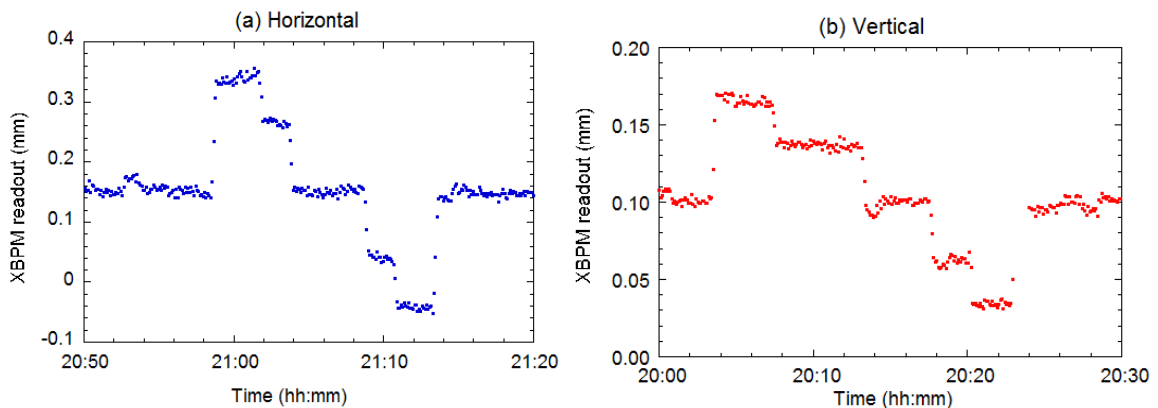


Figure 4: Trend graph of the XBPM at BL43LXU with Gap 3 = 6.24 mm. Kick angles at ID43-3 were +5, +3, 0, -3, -5 rad.

Table 1: Original calibration factor and measurement results.

ID #	Original calibration factor		Slope of Figure 5		Measured calibration factor	
	Ax	Ay	Horizontal	Vertical	Ax'	Ay'
ID43-1	3.33	1.73	0.92	0.42	3.62	4.12
ID43-2	3.41	1.79	0.95	0.43	3.59	4.16
ID43-3	3.65	1.63	1.29	0.52	2.83	3.13

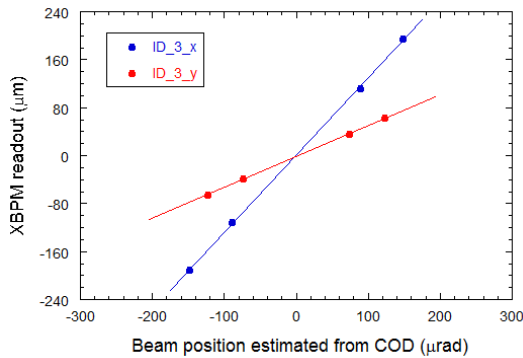


Figure 5: Linearity of XBPM readout.

定などで検出部を水平（鉛直）方向に移動させた時に、光位置モニタの出力値が鉛直（水平）方向にも変化が表れてしまうことである。しかし、今回のBL43LXUでの調査では、このような水平・鉛直方向のカップリングは見られなかったため、補正係数の食い違いの原因は、熱負荷による損傷ではないと考えている。

当初、同時に3台のアンジュレータからの放射光の影響を受けることが、従来の補正係数の算出に悪影響を与えると予想していた。それを確認するために、今回の調査では、Gapが全開のアンジュレータにもバンブ軌道を与え、そのGap全開のアンジュレータからのわずかな放射光が光位置モニタの出力に影響するかを観測したが、その影響は有意ではなかった。以上のことは、BL43LXU光位置モニタが正常に動作していることを示している。

6. まとめ

通常の手順で校正した光位置モニタの出力値は、水平方向では概ね整合しているが、鉛直方向で約半分値であることが分かった。一方で、①比例性が保たれている、②水平方向と鉛直方向のカップリングが見られない、③Gapが全開のアンジュレータからの放射光の影響を受けない、ことが明らかとなった。これらの点はBL43LXUの光位置モニタの正常動作を裏付けている。今回校正された新しい補正係数は、通常の定点観測等で用いても実用上問題ないと考えられる。但し、従来の補正係数の校正方法との食い違いの原因について、今後調査・検証が必要である。

参考文献

- [1] H. Aoyagi, et al., "Blade-type X-ray beam position monitors for SPring-8 undulator beamlines", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 467-468 (2001) 252-255
- [2] H. Aoyagi, et al., "High-speed and simultaneous photon beam diagnostic system using optical cables at SPring-8", AIP Conf.Proc.705-593 (2004)
- [3] Alfred Q. R. Baron, "The RIKEN Quantum NanoDynamics Beamline (BL43LXU): The Next Generation for Inelastic X-Ray Scattering", SPring-8 Information Newsletter, 15 14 (2010)
- [4] 青柳秀樹 他, "光位置モニターと蓄積リング閉軌道の変形との整合性", 第14回日本放射光学会年会 (2001).