

SPring-8 における光位置モニタのフィリング・パターン変更による影響評価 EVALUATION OF INFLUENCE ON X-RAY BEAM POSITION MONITORS BY CHANGING FILLING PATTERN AT SPring-8

青柳秀樹[#], 高橋直

Hideki Aoyagi [#], Sunao Takahashi

Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Abstract

X-ray Beam Position Monitors (XBPMs), which are photoelectron emission type, are in operation at synchrotron radiation beamlines in SPring-8. However, the output signal of the XBPM was affected by changing the filling pattern of the storage ring, especially in insertion device beamlines. Therefore, a newly designed XBPM with four detection elements arranged in an inclined configuration has been introduced to reduce the space-charge effect of emitted photoelectrons. The influence of the filling pattern change was evaluated by measuring the output signals from the XBPM detector elements by varying the bias voltage of the photoelectron collecting electrodes. As a result, effectiveness of the inclined XBPM was confirmed.

1. はじめに

SPring-8 の放射光ビームラインでは、光電子放出型の光位置モニタ (X-ray Beam Position Monitor, XBPM) を運用している[1]。しかし、蓄積リングのフィリング・パターン[2]を変更した時に、XBPM の出力値に影響が生じていた。偏向電磁石ビームラインにくらべ放射強度が圧倒的に高い挿入光源ビームライン用の XBPM では、それが顕著であった[3-5]。

Figure 1 (a) に示すように、従来の XBPM の 4 枚のブレード型検出素子は光軸に対して平行に配置しており、放射光の受光部はブレード検出素子の先端部の端面に集中していた。ブレード検出素子の近くには、真空中に放出される光電子を収集するために正電圧を印加した光電子収集電極を備えているが、構造的にブレード検出素子の先端部端面の表面における電界を効果的に高めることが出来なかった。

そこで、原因となっていた放出光電子の空間電荷効果の影響を低減させるために、4 枚の検出素子の配置を修整した傾斜配置型を新しく導入した[5]。Figure 1 (b) に示すように、新しい設計では、光軸に対して 1/60 の傾きに配置させている。放射光の受光部はブレード検出素子の先端部の側面となり、対面する光電子収集電極により効果的に電界を発生させることが出来る空間配置となった。これにより、フィリング・パターン変更の影響を運用上問題の無いレベルにまで低減することに成功した[6, 7]。XBPM の検出素子からの出力信号を、光電子収集電極のバイアス電圧を変化させて測定することにより、フィリング・パターン変更の影響を評価することができる。本報告では、バイアス電圧依存性のデータを定量的かつ系統的に取得した結果について議論する。

2. 信号電流のバイアス電圧依存性

XBPM の出力値が蓄積リングのフィリング・パターンに影響を受ける原因は、バンチ電流値の分布が異なること

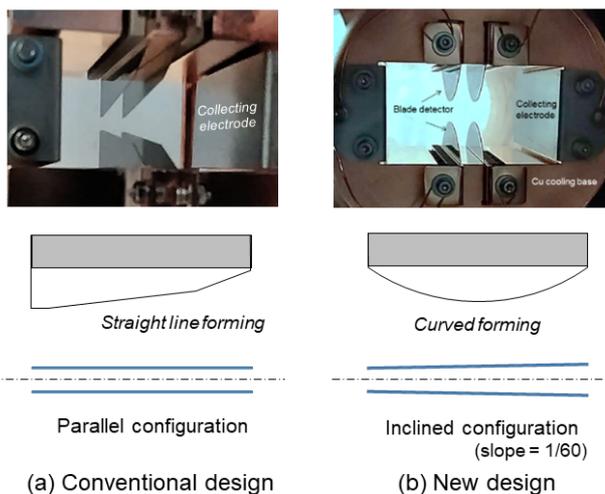


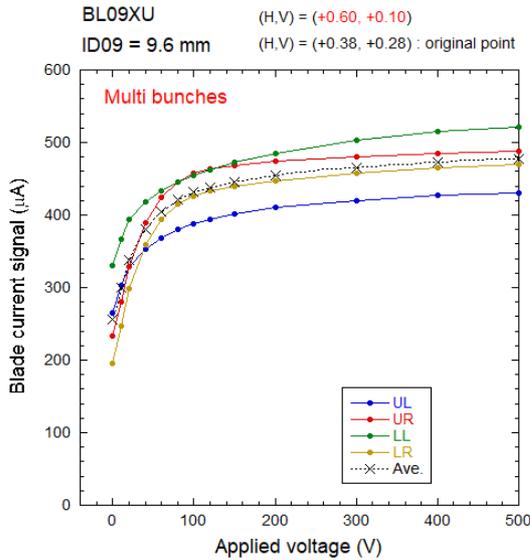
Figure 1: (a) Blade-shaped detector heads are placed horizontally and machined in a straight line. (b) They are placed inclined and machined curvilinearly. Both sizes are 60 mm × 20 mm, and t = 0.2 mm. Shaded areas are ceramic sprayed (60 mm × 10 mm, t = 0.1 mm).

により、ブレード検出素子から放出される光電子による空間電荷効果に差異が生じるためである。この現象を評価するために、フィリング依存性が最も小さい“Multi bunches”と、最も大きく現れる E-mode (“2/29-filling +26 bunches”)にて、光電子収集電極の電圧 (バイアス電圧) を変えて各ブレード検出素子の出力信号の応答を測定した。

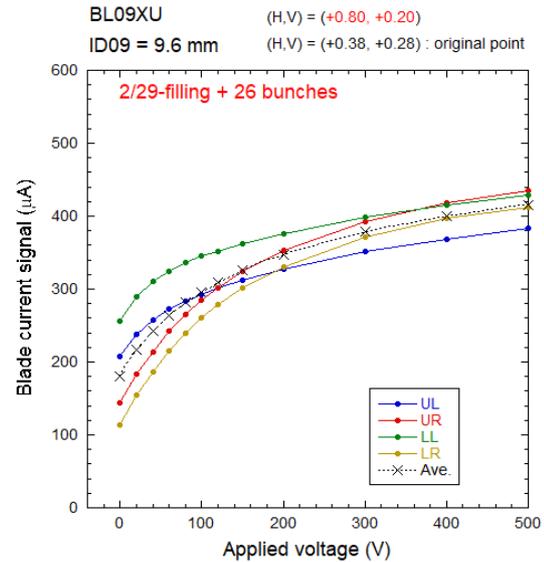
2.1 平行配置型 XBPM

Figure 2 に、従来の平行配置型 XBPM の出力信号の特性を示す。光源は SPring-8 標準型真空封止挿入光源 (BL09XU) で、Gap = 9.6 mm (min.) とし、フィリング・パターンの違いを観測した。Figure 2 (a) の “Multi bunches” では、バイアス電圧 HV = +100 V 以上で概ねプラトー

[#] aoyagi@spring8.or.jp

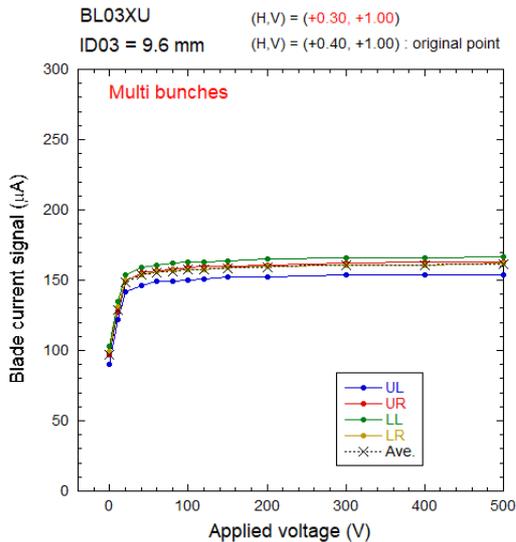


(a) “Multi bunches”

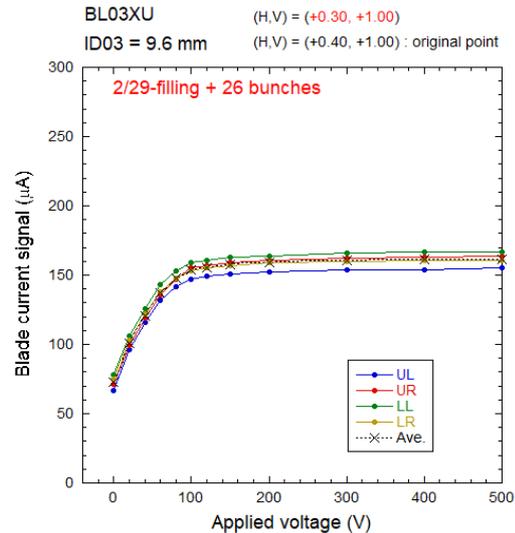


(b) E-mode (“2/29-filling + 26 bunches”)

Figure 2: Current–voltage (blade current vs applied voltage) curves in the parallel configuration (BL09XU). The dotted line represents the average of the four signals.



(a) “Multi bunches”



(b) E-mode (“2/29-filling + 26 bunches”)

Figure 3: Current–voltage (blade current vs applied voltage) curves in the inclined configuration (BL03XU). The dotted line represents the average of the four signals.

領域となるが、Fig. 2 (b) の E-mode では $HV = +500$ V においても曲線の傾きが顕著である。このグラフから分かるように、XBPM の出力値がフィリング・パターンに影響を受けるのは、光電子収集電極に印加されるバイアス電圧に対する各ブレード検出素子の応答に極端な個体差があるからである。平行配置型 XBPM では、当初、バイアス電圧を $HV = +100$ V に設定していたが、現在では $HV = +500$ V としている。バイアス電圧を高く設定することでフィリング・パターンの影響を低減できたが、実用上、十

分な結果は得られなかった。

また、ブレード検出素子を個別に注目すると、Upper-right (UR)/Lower-right (LR)のブレード検出素子は、Upper-left (UL)/Lower-left (LL)に比べて急な変化をしていることが分かる。これは、平行配置のブレード検出素子の方向が光軸に対してヨー方向にずれていることを示唆している。平行配置は、XBPM 本体の設置精度の誤差が性能に影響が出やすいことを裏付けている。

2.2 傾斜配置型 XBPM

Figure 3 に、傾斜配置型 XBPM の出力信号の特性を示す。光源は、前述のビームラインと同じく SPring-8 標準型真空封止挿入光源であるが、測定は別のビームライン (BL03XU) で行った。Figure 3 (a) の “Multi bunches” ではバイアス電圧 $HV = +40\text{ V}$ 以上で既にプラトー領域となっている。そして、Fig. 2 (b) の E-mode では $HV = +100\text{ V}$ 以上でプラトー領域となっている。傾斜配置を採用することにより、効率的にブレード検出素子の受光部表面の電界を高められていることを裏付けている。

また、4 枚のブレード検出素子は光軸に対して傾斜させているので、ヨー方向の設置誤差による信号量の影響が生じないことも傾斜配置型 XBPM の特徴である。

2.3 系統的測定

平行配置型 XBPM (BL09XU) と傾斜配置型 XBPM (BL03XU) の出力信号の特性をそれぞれの挿入光源の Gap 値を変化させて系統的に測定した。Figure 4 に結果を示す。両 BL は同じ挿入光源の仕様 (標準真空封止型) であるが、平行配置型 XBPM のブレード信号のほうが大きい。この理由は、XBPM のブレード配置の違いによるものである。傾斜配置ではブレード検出素子の側面にも放射光が照射されて信号量が増大するが、熱負荷を抑えるために 4 枚のブレード検出素子を光軸中心から遠ざける設計としているためである。また、実際にはブレード表面 (研磨) 状態によって量子効率も変化し得ると考えている。

平行配置 (Fig. 4 (a))、傾斜配置 (Fig. 4 (b)) のいずれの場合にも、バイアス電圧が低い領域では、挿入光源の Gap を閉めて放射光強度を強くするほどフィリングの違いによる差が見られるが、平行配置で顕著であったものが傾斜配置では大幅に解消されていることが分かる。最小 Gap 値 (8.1 mm) でも $HV = +100\text{ V}$ 以上において差が見られなくなっている。傾斜配置とすることで、フィリング

パターンの影響を大幅に低減できることを示唆する結果が得られた。

3. 補正係数の評価

XBPM の特性を示すパラメータの一つが補正係数 (ブレード検出素子の信号配分比をビーム位置に変換する係数) である。この補正係数を系統的に評価することで、XBPM の健全性を確認することができる。一般論として、測定対象の放射光ビームのサイズが小さいほど補正係数の値は小さくなり、また、補正係数の値は小さいほど実質的な XBPM の分解能が高くなる性質のものである。

XBPM の補正係数 (A_x, A_y) の値の変化を Fig. 5 に示す。平行配置、傾斜配置のいずれの場合にも、Figs. 2-4 で示されているブレード信号量が低下する領域では、補正係数も大きく影響を受けていることが分かる。この現象も、XBPM の出力値がフィリング・パターンの影響を受ける要因となっている。逆に、プラトー領域が確保できる条件であれば、XBPM の出力に影響を与えないことが見て取れる。Figure 5 (a) の平行配置では、ブレード信号が極端に低下する領域において、補正係数は単調に減少している。この現象の原理として考えられるのは、バイアス電圧が低くなるほどブレード検出素子の表面からエネルギーが高い光電子が優先的に放出され、結果として放射光ビームサイズが小さいものとして検知されるからだと考えられる。なお、プラトー領域でも測定点がバラついているのは測定のタイミングが入射直後でビーム軌道が不安定であったことが理由と考えている。傾斜配置での測定結果を Fig. 5 (b) に示す。“Multi bunches” では、平行配置と同様に、ブレード信号が低下する領域において、補正係数は単調に減少している。一方で、E-mode では、バイアス電圧がプラトー領域の下限以下において、補正係数が一旦増加することが特徴的であり、挿入光源の gap が狭いほど顕著に表れている。この現象

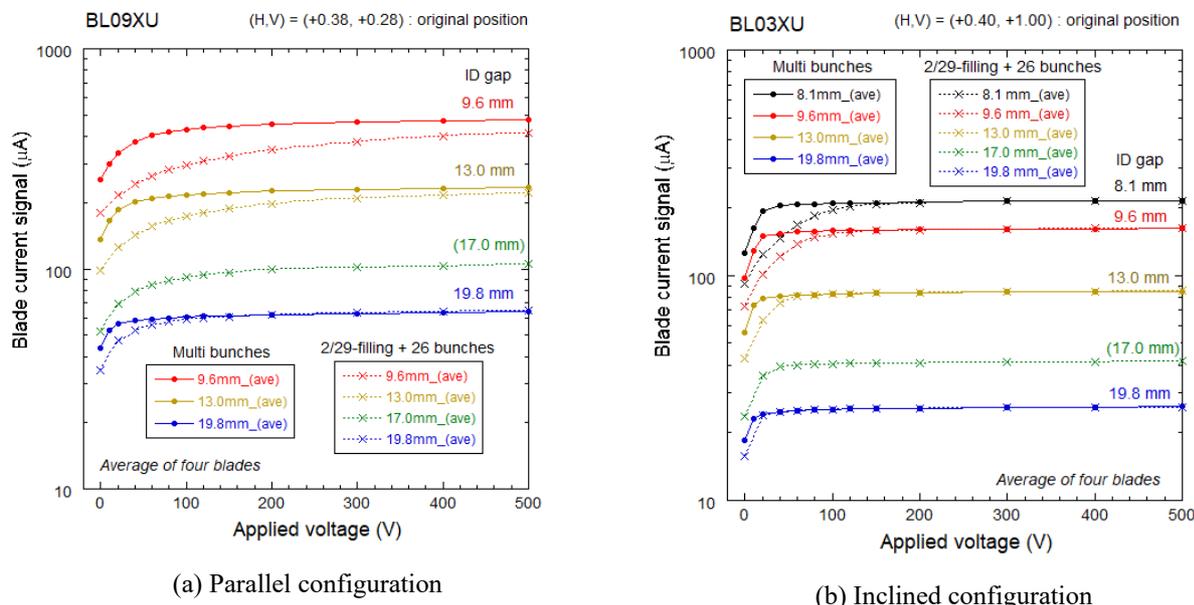


Figure 4: Systematic measurement of the current–voltage curves in (a) the parallel configuration (BL09XU) and (b) the inclined configuration (BL03XU).

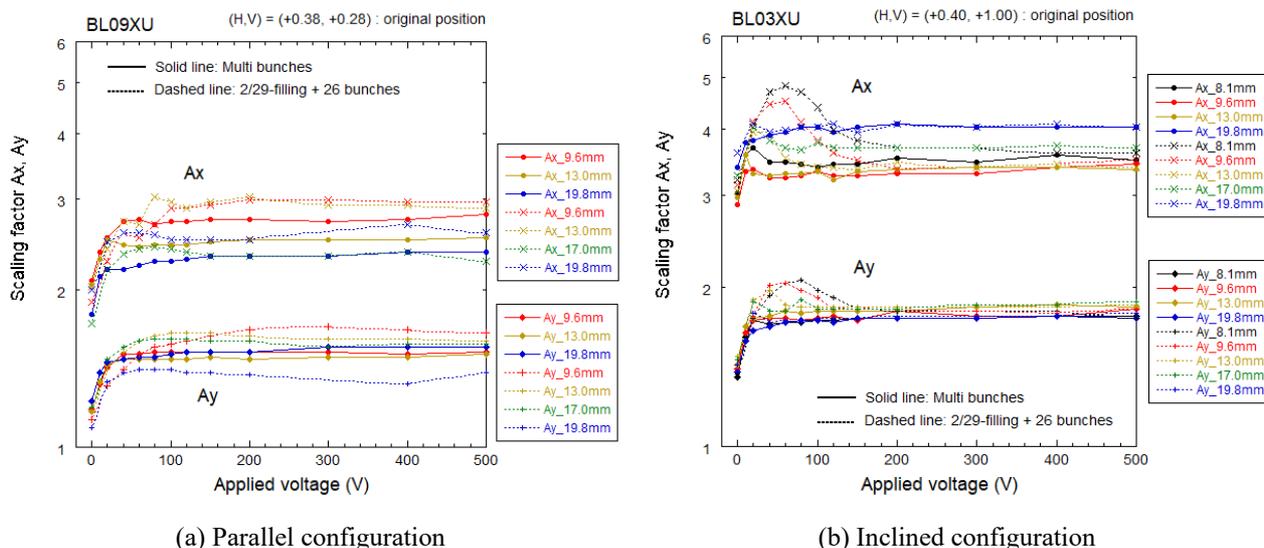


Figure 5: Systematic measurement of the correction factor (A_x, A_y) in (a) the parallel configuration (BL09XU) and (b) the inclined configuration (BL03XU).

の原理については、まだ理解が進んでいないが、放射光がブレード検出素子に浅い角度で入射していることに起因すると考えられる。

4. まとめ

蓄積リングのフィリング・パターンの影響を低減することのできる傾斜配置型 XBPM の性能を評価するために、ブレード検出素子からの出力信号を、光電子収集電極のバイアス電圧を変化させて系統的に測定し、従来の平行配置型 XBPM と比較した。測定は、“Multi bunches”モードと E-mode にて実施し、フィリング・パターンの影響が最も大きい E-mode にて、挿入光源の最小 Gap 値でもバイアス電圧 $HV = +100 \text{ V}$ 以上で出力信号のプラトー領域を確保できることが確認できた。補正係数についても評価し、プラトー領域が確保できる条件であれば、XBPM の出力に影響を生じる変化が無いことを確認した。今後の課題として、プラトー領域の下限以下のバイアス電圧での補正係数の特徴的な振る舞いの原理について興味を持たれる。

参考文献

- [1] H. Aoyagi *et al.*, “Blade-type X-ray beam position monitors for SPring-8 undulator beamlines”, Nucl. Instr. and Meth. A 467-468, 252-255 (2001).
- [2] http://www.spring8.or.jp/ja/users/operation_status/schedule/bunch_mode/
- [3] H. Aoyagi *et al.*, “Performance of the X-ray beam position monitors and observation of beam drifts in the SPring-8 storage ring”, Proc. of PASJ2018, WEOL06.
- [4] H. Aoyagi *et al.*, “Evaluation and reduction of influence of filling pattern on x-ray beam position monitors for SPring-8”, Proc. of IPAC2019, WEPGW027.
- [5] H. Aoyagi *et al.*, “X-ray beam position monitor to mitigate influence of filling pattern at SPring-8”, PASJ2019, THPI029.
- [6] H. Aoyagi *et al.*, “Newly designed inclined X-ray beam position monitor and reduction of influence due to filling patterns of the SPring-8 storage ring”, PASJ2020, THOO06.
- [7] H. Aoyagi *et al.*, “Inclined X-ray beam position monitors to reduce influence of filling pattern for the SPring-8 photon beamlines”, IBIC2020, TUPP06.