

SPring-8 における新設計の傾斜配置型光位置モニタと蓄積リングのフィリング・パターンによる影響削減

NEWLY DESIGNED INCLINED X-RAY BEAM POSITION MONITOR AND REDUCTION OF INFLUENCE DUE TO FILLING PATTERNS OF THE SPring-8 STORAGE RING

青柳秀樹[#], 古川行人, 高橋 直
Hideki Aoyagi[#], Yukito Furukawa, Sunao Takahashi
Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Abstract

Readouts of X-ray Beam Position Monitors (XBPMs) for insertion device beamlines are influenced when the filling pattern of the SPring-8 storage ring is changed. The phenomenon has gradually become apparent. The deviation of readouts are approximately 20 μm RMS in horizontal and 40 μm RMS in vertical (equivalent to 1-2 μrad in terms of the angle of the optical axis). The cause is that a photoelectron emission from detection element is affected by a space charge effect when the bunch current changes. To solve this problem, we introduced a new design in which the blade-shaped detection element of the XBPM are arranged in an inclined configuration. We demonstrated that this XBPM is highly effective in suppressing the influence of the filling patterns

1. はじめに

SPring-8 蓄積リングの光位置モニタ (X-ray Beam Position Monitor, XBPM) は、タングステン母材とするブレード型検出素子を光陰極として用いる光電子放出型である[1]。20 年以上の安定した稼働の実績がある。SPring-8 では、時分割実験を行うためにセベラルバンチ・モードでの利用運転を定常的に提供している。ユーザーのニーズに合わせるために、1バンチあたりの蓄積リング電流値、放射光に言い換えれば最大ピーク輝度が年々増加してきた。XBPM のブレード型検出素子からの瞬間的な最大出力電流値は、当初の予想をはるかに上回るものとなった。その結果、蓄積リングのフィリング・パターンを変更した時に XBPM の出力値が変化する現象が次第に顕在化するに至った。この現象を定量的に理解するために、マルチバンチ・モードでの光軸を基準軌道として、5 種類のセベラルバンチ・モード[2]での光軸を系統的に評価した。その結果、最大水平方向に 40 μm

RMS、鉛直方向に 20 μm RMS 程度の変位が観測された (Table 1)[3]。光電子収集電極の印加電圧 (常用印加電圧 HV = +100 V) を変化させその影響の原因を検証したところ、顕著な影響を受けた XBPM ではセベラルバンチ・モードにおいてブレード型検出素子の電流信号の減衰が大きく、また印加電圧の変化に対しても過敏に反応していたことから、原因はブレード型検出素子 (光電面) の表面近傍における光電子の空間電荷効果であると推定した。そこで、フィリングの影響を軽減するために、既存の XBPM に対して定点観測における動作点の変更を試みた。主な変更点として、1) 光電子収集電極の印加電圧、2) 定点観測の ID Gap を広げる、等の対処を施した。これにより、フィリング・パターン変更による影響を RMS 値で数 μm 程度以下に抑えることに成功した[4, 5]。

しかしながら、上記の対症療法的対策では、光電子収集電極の印加電圧を高くするだけでなく、ID gap を広げることが必要である。つまり、既存のブレード型検出素子を用いる限りにおいては、XBPM の適用範囲が狭められ

Table 1: Bunch Current and the Deviation of the XBPM Readouts for Parallel Configuration

Filling pattern	Bunch current (mA/bunch)		Deviation of XBPM readouts (μm RMS)	
	Train	Isolated	Horizontal	Vertical
Multi	0.05	—	3.6	2.0
11/29 + 1	0.10	5.0	13.9	5.8
203	—	0.52	17.6	12.6
11 x 29	0.31	—	27.7 \rightarrow 2.7 *	14.6 \rightarrow 2.0 *
1/7 + 5	0.24	3.0	33.5 \rightarrow 2.4 *	15.2 \rightarrow 2.1 *
2/29 + 26	0.38	1.4	40.3 \rightarrow 4.3 *	20.5 \rightarrow 5.6 *

* after taking a series of measures

[#] aoyagi@spring8.or.jp

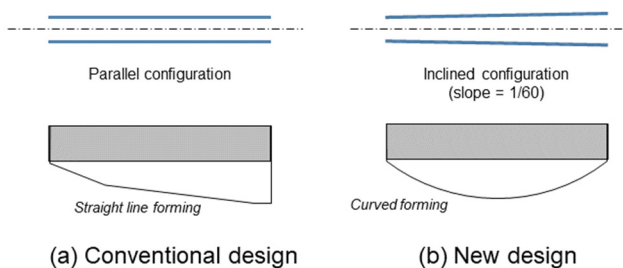


Figure 1: Schematics of blade-shaped detector heads. The difference between the traditional and new blade configuration (top) and the difference in shape (bottom) are shown.

ることになる。そこで、新しく XBPM 検出部を設計・製作することで、検出素子の光電面における空間電荷効果の問題を解決することを試みた。

2. 傾斜配置型 XBPM の構造

空間電荷効果を軽減するためには、ブレード検出素子と光電子収集電極との間に高い電界を生じさせる必要がある。従来の検出素子は光軸と平行に配置させていたので、実際の受光面はブレードの端部 ($t = 0.2 \text{ mm}$) に集中していた。そのために実効的な電界は効率よく光電面に印加されていなかった。新しい設計では、光軸方向に対して $1/60$ の傾きで配置させる“ハの字型”とすることにより、ブレード側面の広い範囲が光電面となるように工夫した[5]。これにより、ブレード型検出素子と光電子

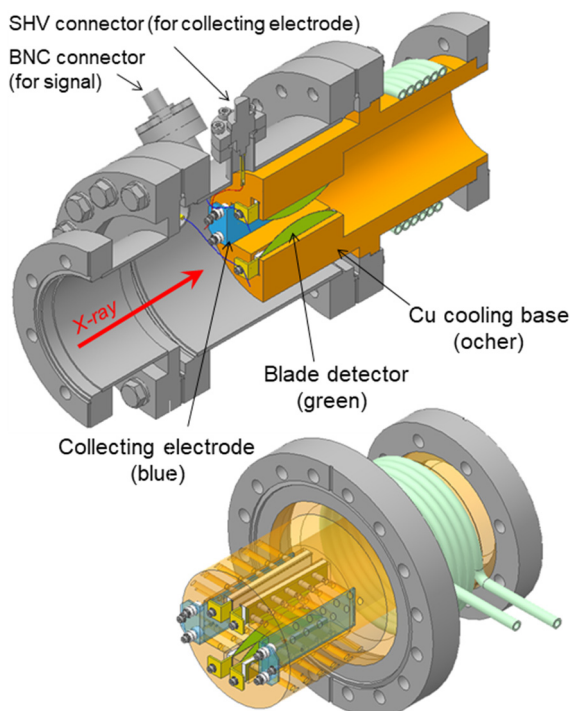


Figure 2: Schematics of an inclined XBPM, a view of the internal configuration along a vertical cross-section (top) and a perspective view (bottom).

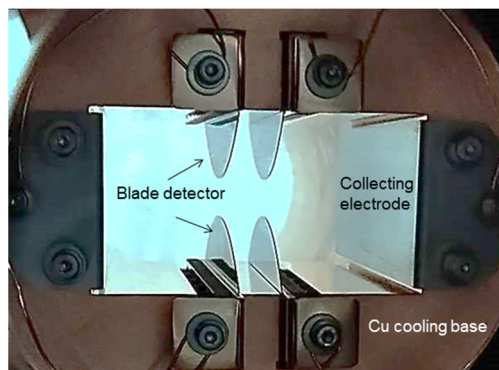


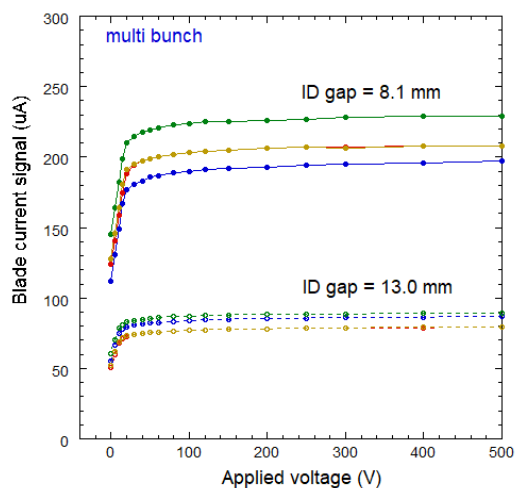
Figure 3: Photograph of detector heads [6].

収集電極との間に印加される電界によって光電子を引き出す効果が向上、つまりは、空間電荷効果を軽減することができると期待できる。また、付加的な機能として、ブレードの成形に曲線を取り入れることにより、エッジ部による熱負荷の集中を緩和させている。更に、熱負荷の最も高くなる部位がブレード検出素子の中央部となり、冷却効果の向上も期待できる。Figure 1 に、新旧のブレード配置の違い、及び、形状の違いを示す。

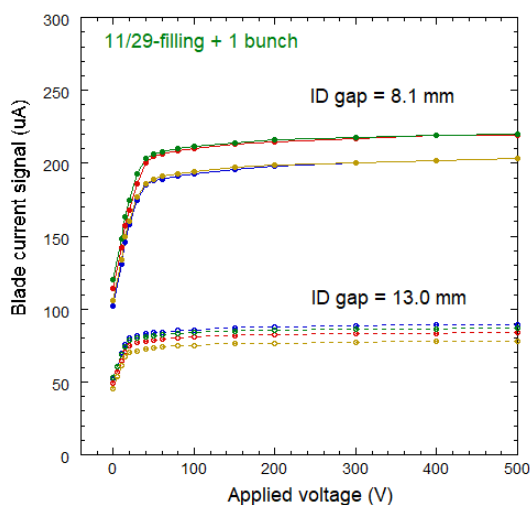
新設計(傾斜配置型 XBPM)のブレード型検出素子を、従来の設計に準拠したモニタ真空容器、及び、水冷の検出素子ホルダに取り付けた(Fig. 2)。検出素子の受光部は 円形先端部の外側面となるので、放出された光電子は光電子収集電極(正電位)により効率よく引き出される。傾斜配置型に取り付けたブレード型検出素子の様子を Fig. 3 に示す。ブレード型検出素子の両側には光電子収集電極を備えている。4 枚のブレード型検出素子の先端の距離は、従来の設計では 水平 6 mm、鉛直 4 mm を標準としていたが、新しい設計では耐熱性の観点から 水平 7 mm、鉛直 6 mm を採用した。これにより、検出素子毎の出力電流値が低下し、空間電荷効果の軽減も期待できる。

3. 光電子収集電極の印加電圧依存性

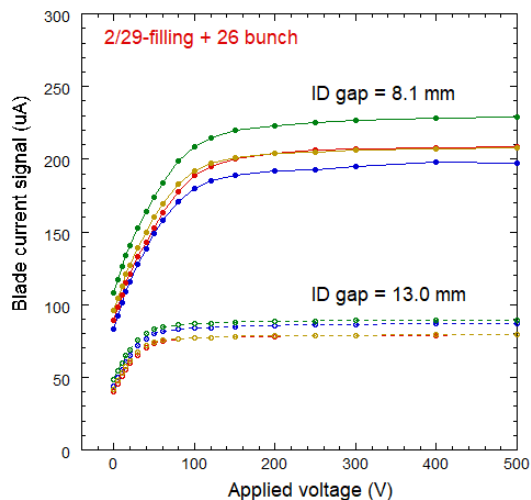
傾斜配置(inclined)型 XBPM の空間電荷効果の影響を評価するために、光電子収集電極の印加電圧に対する各ブレード型検出素子の電流信号の依存性を測定した。マルチバンチ(“160 bunch train x 12”)は、バンチ当たりの蓄積電流値が最も小さく、フィリングの影響が現れない運転モードである。Table 1 に示したように、セベラルバンチの “11/29-filling + 1 bunch” は、影響が顕著でなく、“2/29-filling + 26 bunches” は、SPring-8 で現在供給されている最も影響が出やすい運転モードである。この3種類の運転モードにおいて、挿入光源(SPring-8 標準型アンジュレータ)のギャップ値を $\text{Gap} = 8.1 \text{ mm}$ (最小 gap)、及び、 13.0 mm (定点観測 gap)とした時の測定結果を Fig. 4 に示す。マルチバンチでは、 $\text{Gap} = 8.1 \text{ mm}$ の条件においても、印加電圧 $+100 \text{ V}$ 以上でプラトー領域が現れる(Fig. 4 (a))。セベラルバンチの “11/29-filling + 1 bunch” では、プラトー領域の下限値の上昇が見られ始め(Fig. 4 (b))、“2/29-filling + 26 bunches” において、 $\text{Gap} = 13.0 \text{ mm}$ の条件では $+100 \text{ V}$ 以上でプラトー領域が現れ、 $\text{Gap} = 8.1 \text{ mm}$ の条件では $+200 \text{ V}$ 以上でプラトー領



(a) Multi bunch (160 bunch train x 12)



(b) Several bunch (11/29-filling + 1 bunch)



(c) Several bunch (2/29-filling + 26 bunches)

Figure 4: Applied voltage curves of blade current signal (raw data). Each measurement of the four blade detector heads is displayed in a different color.

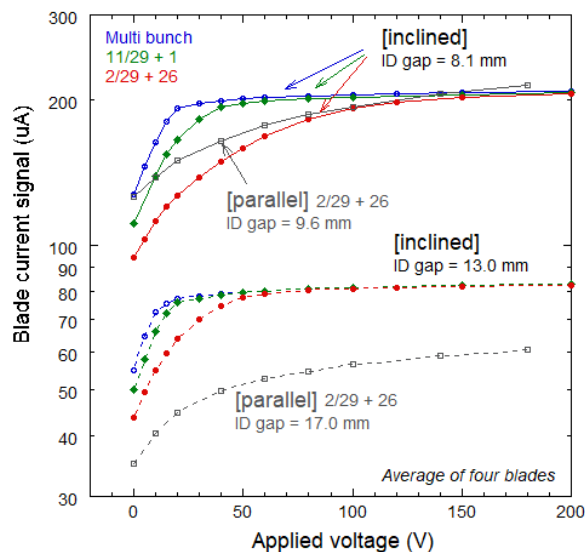


Figure 5: Applied voltage curves of blade current signal (average data).

域が現れる (Fig. 4 (c)).

Figure 5 では、低電圧部 ($HV \leq 200V$) の立ち上がり を詳しく見るために、縦軸を対数軸として 4 枚のブレード信号の平均値をプロットした。従来の平行配置 (parallel) 型 XBPM のデータ (“2/29-filling + 26 bunches”) も重ねてプロットした。プラトー領域の下限值電圧に着目すると、挿入光源ギャップを閉めてブレード信号が大きくなるほど高くなる事が分かる。また、影響が大きい運転モード (セベラルバンチ) ほど、プラトー領域の下限值電圧が高くなる事が分かる。一方で、従来型の平行配置型 XBPM では、挿入光源ギャップを広く設定しているにもかかわらず、プラトー領域が明らかに +200 V 以上であることから、傾斜配置型 XBPM がフィリングの影響軽減に大きな効果があることを示唆している。

4. フィリング変更による影響評価試験

傾斜配置型 XBPM がフィリング・パターンを変更した時の影響を直接的に評価するために、XBPM を用いた定点観測と同じ手順で、最も影響が出やすい運転モードである “2/29-filling + 26 bunches” におけるビーム位置測定を行った。基準軌道はマルチバンチとし、挿入光源 Gap を 13.0mm と 8.1 mm の 2 点において変位の程度を評価した。結果を Table 2 に示す。光電子収集電極の

Table 2: Fixed Point Observation Results for the Inclined-XBPM

Condition		Difference of readouts	
ID Gap (mm)	XBPM HV (V)	D_x (μm)	D_y (μm)
13.0	100 V	4.5	1.0
	500 V	-1.5	1.0
8.1	100 V	-5.0	-1.5
	500 V	0.0	1.0

印加電圧が +100V では、水平方向約 5 μm の変位が観測されたが、光電子収集電極の印加電圧を +500V にすることにより、フィリング・パターンを変更した時の影響が十分小さくなっていることが分かる。

5. まとめ

フィリング・パターンを変更した時に XBPM の出力値に生じる影響を削減するために、傾斜配置型 XBPM を新しく設計・製作した。原因となる検出素子の光電面における空間電荷効果の問題を解決するために、ブレード検出素子を光軸方向に対して傾斜配置とした。これにより光電子収集電極との間に印加される電界によって光電子を引き出す効果の向上が期待できる。

光電子収集電極の印加電圧に対する各ブレード型検出素子の電流信号の依存性を測定したところ、プラトー領域の下限值電圧が上昇し、フィリングの影響軽減に大きな効果があることを示した。また、XBPM を用いた定点観測と同じ手順で評価試験を実施して、フィリング・パターンを変更した時の影響が削減できることを実証した。

今後の新規製作では、傾斜配置型 XBPM を基本に検討するが、現在使用中の XBPM (平行配置型) をすべて傾斜配置型 XBPM に入れ替えるのは現実的でない。

そこで、フィリング・パターンを可能な範囲で低減させるために、当面の間は光電子収集電極の印加電圧を高め、かつ定点観測 Gap を広げた条件で XBPM を運用することとした。

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] Manufactured by Vacuum and Optical Instruments; <http://www.shinku-kogaku.co.jp/>