

# SPring-8蓄積リングにおける光位置モニタの 性能と光軸変動の観測

Performance of the X-ray Beam Position Monitors  
and observation of beam drifts in the SPring-8 storage ring

青柳 秀樹，古川 行人，高橋 直

(公財) 高輝度光科学研究センター  
Japan Synchrotron Radiation Institute (JASRI)

BL：放射光ビームライン Beam Line

ID：挿入光源 Insertion Devise (Undulator, Wiggler)

BM：偏向電磁石 Bending Magnet

## はじめに

XBPM(光位置モニタ)の役割、原理、構造  
挿入光源 ID-BL用、偏向電磁石 BM-BL用、  
パルス・モード計測型(開発機)

### 1. 安定性、分解能

安定性(2ヶ月、10分、10m秒)の評価、異なるID-BLでの整合性

### 2. 定点観測と光軸調整

長期的な光軸変動の観測、サイクル開始時の光軸調整

### 3. フィリング・パターンの影響

定量化、原因の特定、その修復

### 4. Gap依存性の補正

XBPMに与える影響、Gap値毎に補正(フィードフォワード制御)

## まとめ

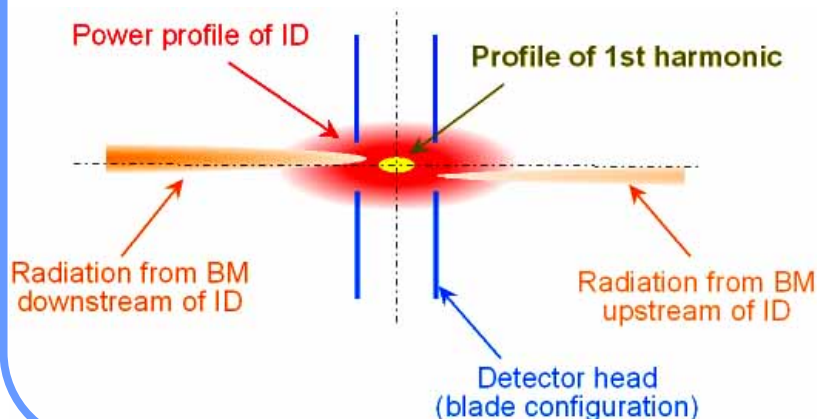
SPring-8では、すべての ID-BL、及び、大半の BM-BL のフロントエンドにXBPMを設置している。

性能を十分に評価されたXBPMで光軸を観測することは、ユーザーに対するビームの安定供給を担保する。

### ビームプロファイルと検出素子の位置関係の概略図

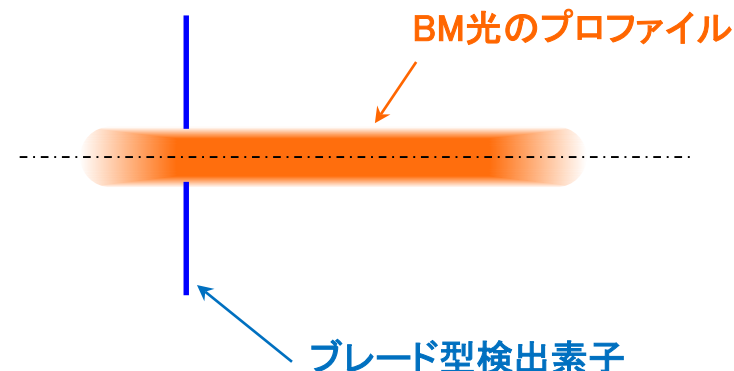
#### ID-BL用XBPM

4枚の検出素子(水平・鉛直方向の計測)



#### BM-BL用XBPM

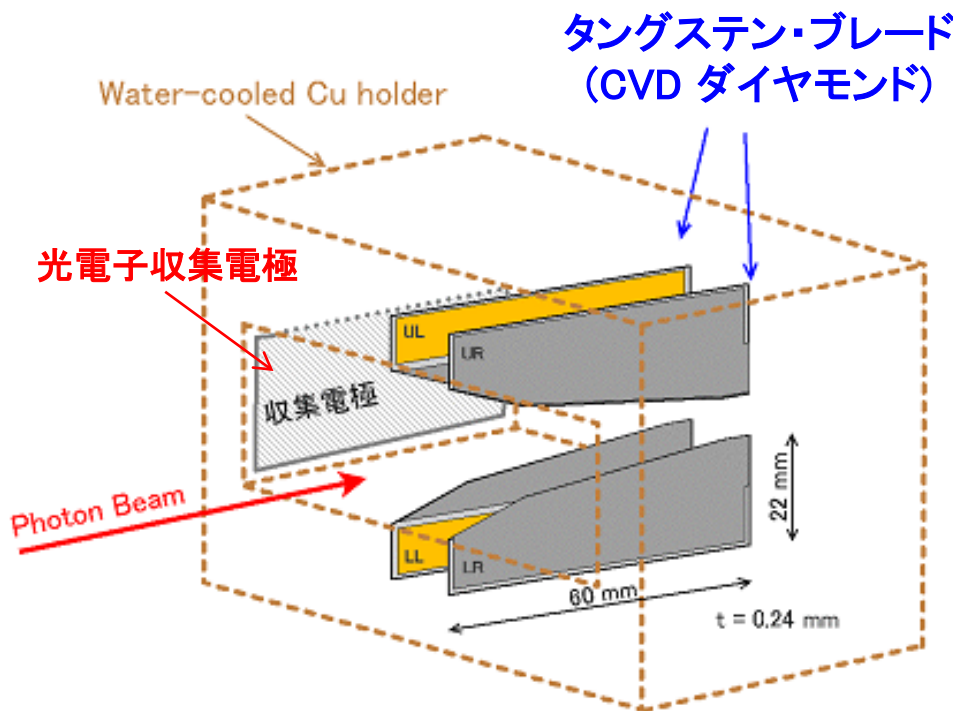
2枚の検出素子(鉛直方向のみ計測)



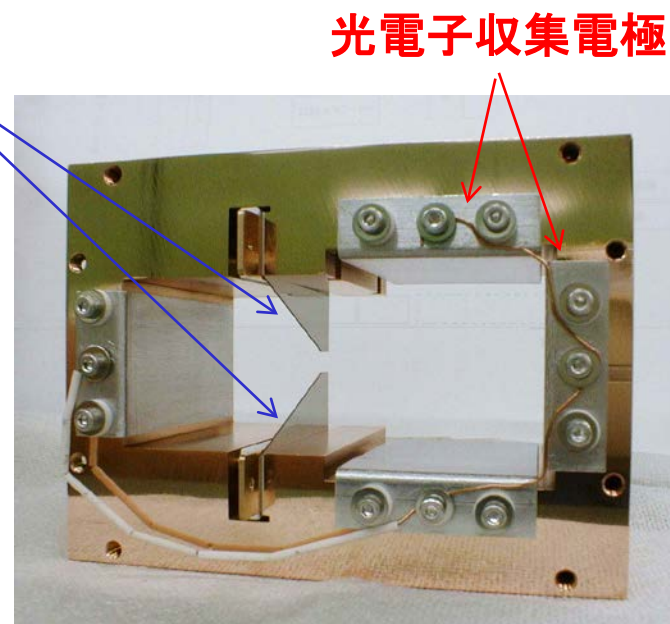
蓄積リングのrf-BPMは電子ビームの閉軌道をグローバルに診断することに優れているのに対し、XBPMは個別の放射光ビームラインのビーム(光)軸を正確に診断することに適している。

## ブレード型検出素子を備えた光電子放出型

光を遮る断面積を抑え、冷却のための接触面積を大きく設計



ID-BL 用 XBPB



BM-BL 用 XBPB

検出素子から放出される光電子を収集するために、  
光電子収集電極を設けて正電圧を印加(出力信号が安定する)

# 1. 安定性、分解能 を具体的に評価するためには？

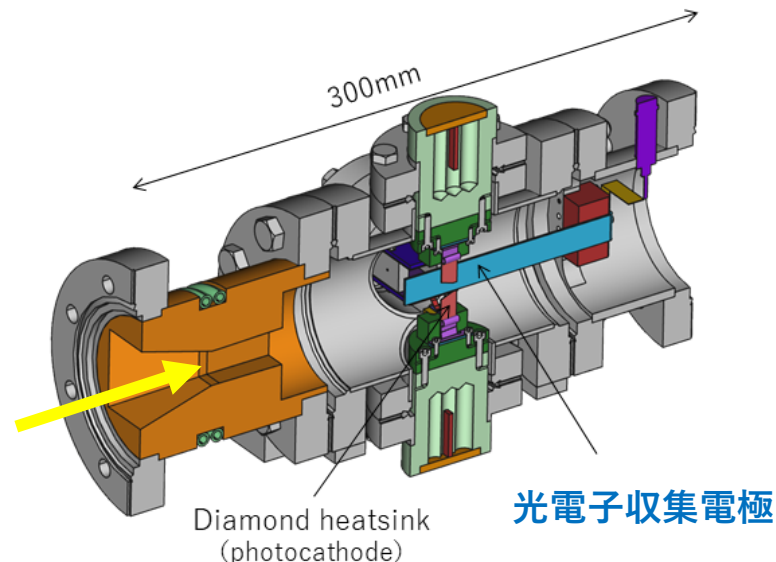
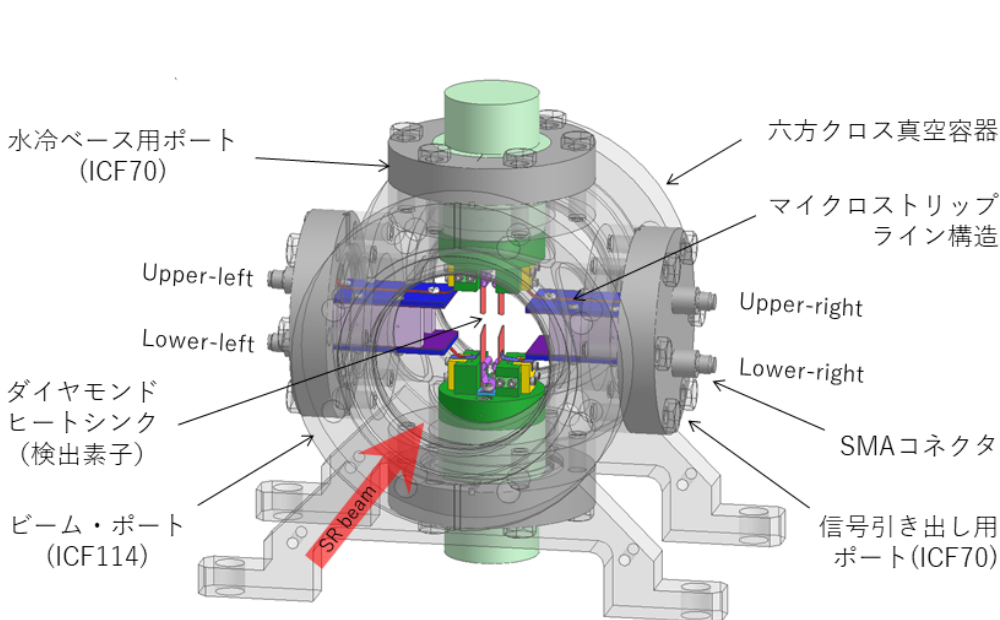
## 安定性、分解能を決定する要因：

- 地盤の振動（地震、潮汐、気温、日本海の波浪、装置の振動）
- XBPM架台の伸縮（室温、冷却水の温度変化）
- 検出部の歪（ビームの ON/OFF による熱的変動）
- 電子回路の熱雑音、ドリフト
- 受光部の量子効率の変動（表面状態の変化、枯れるのに1ヶ月）

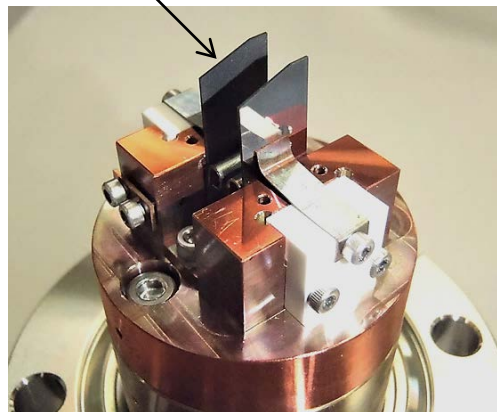
## 安定性、分解能を評価するための条件・環境：

- 完全に静止したビームを用意する
- オフラインで疑似試験（代替する模擬信号）
- 同じ場所（BL）に 複数台をタンデムで同時に計測する
- ID-BL用XBPM（4枚ブレード）を BM-BLに設置して、左右で2対の鉛直専用XBPM とみなして比較する

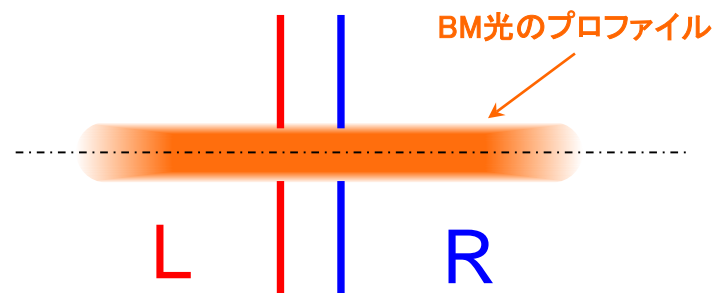
パルス・モード計測型： 偏向電磁石ビームラインBL02B1 で試験的に運用中



検出素子



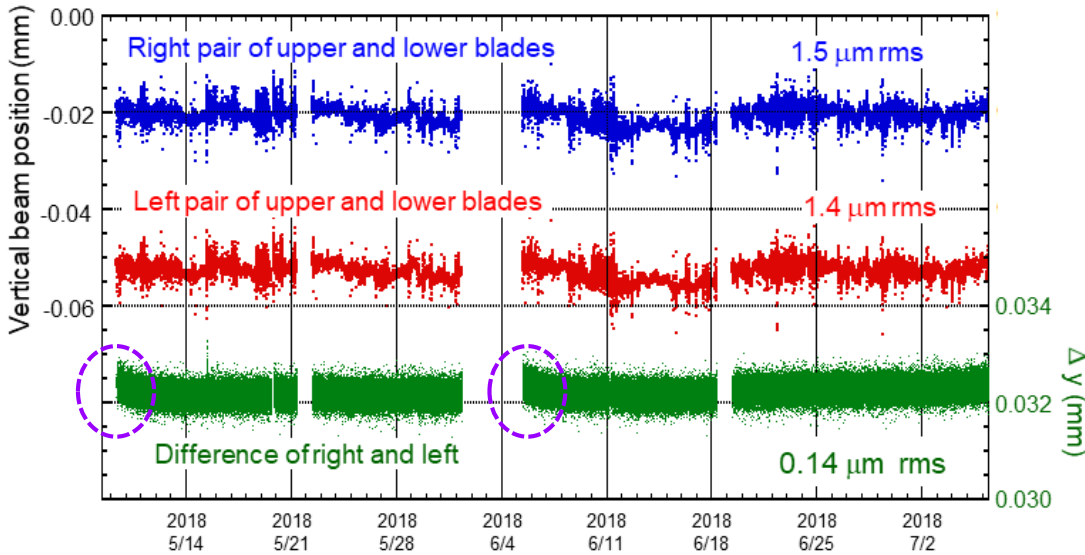
左右に一对の鉛直専用XBPM



## 長期安定性(2ヶ月)

ユーザー運転中

(ADC: 時定数 約1秒)



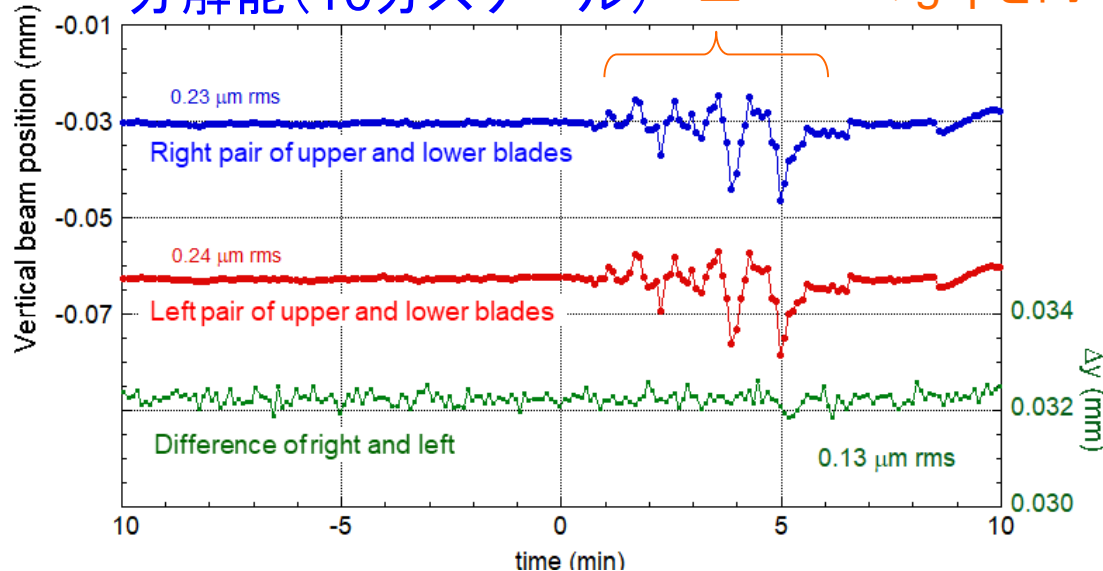
数日間の停止期間の後に

0.2  $\mu\text{m}$  のドリフト

XBPMモニタとしての安定性は  
約2か月間に亘り非常に良好

## 分解能(10分スケール)

全ID-BLのgapを同時に駆動

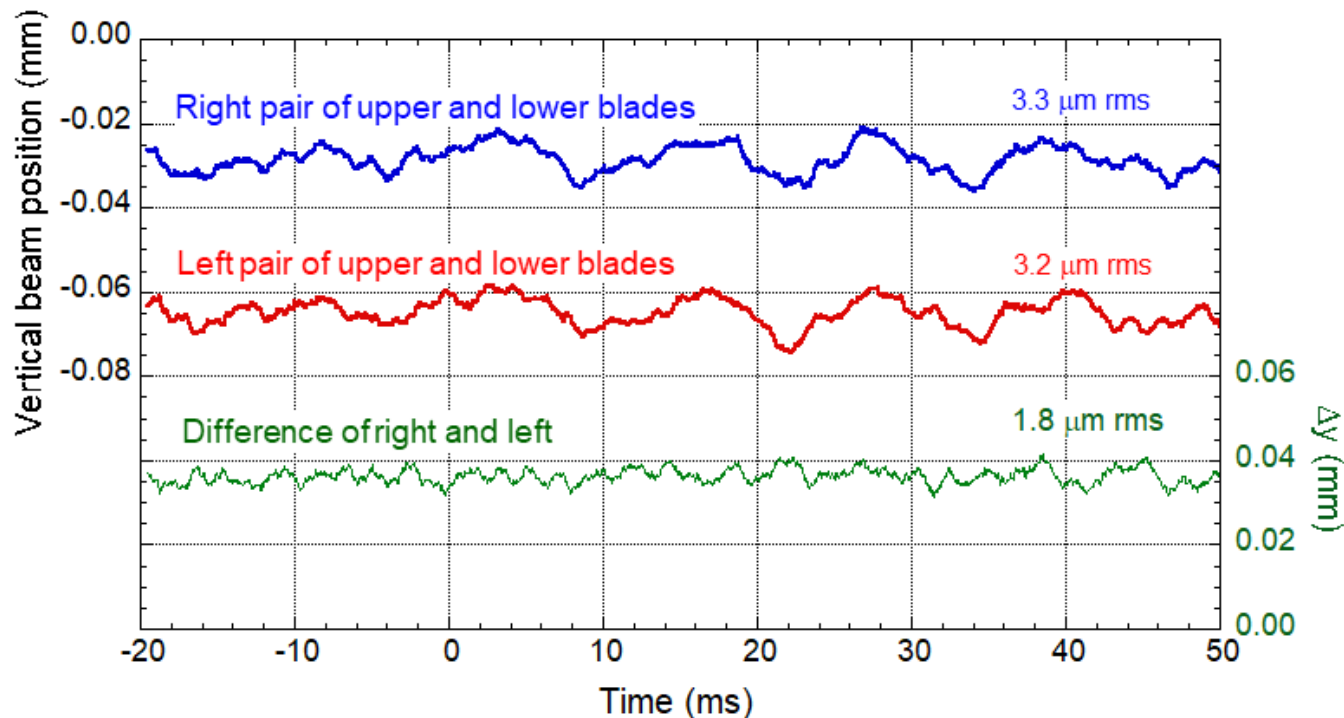


左右の検出素子の差分は

0.13  $\mu\text{m rms}$  (分解能)



## 分解能 (10 ms スケール)



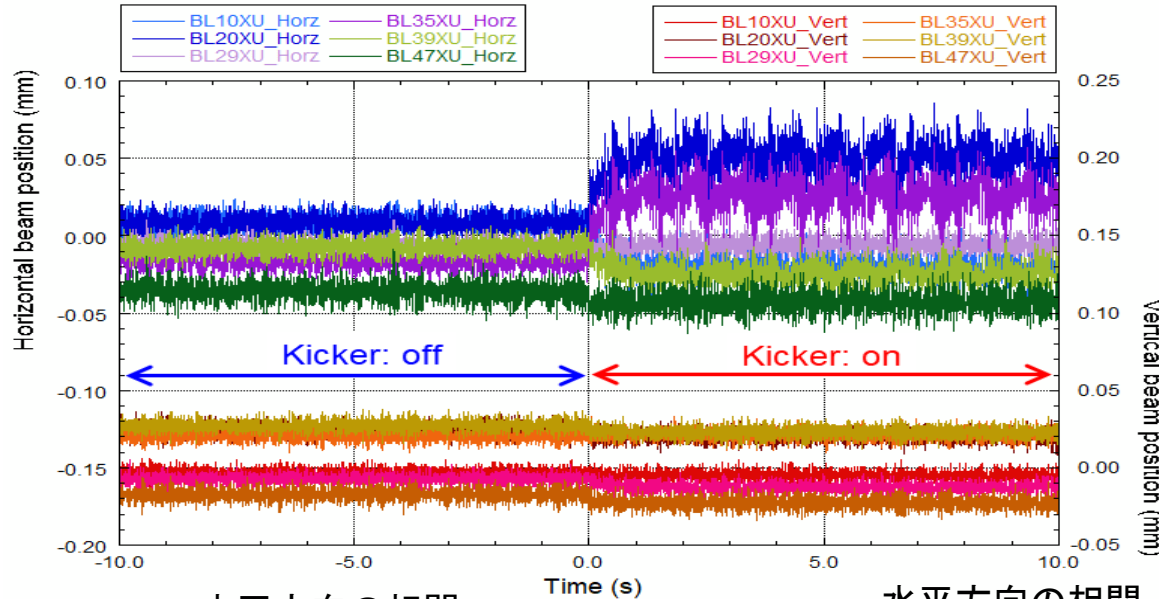
左右の検出素子の差分は  $1.8 \mu\text{m rms}$  (分解能)

前者に比べ大きな値になった理由は、  
IV変換器の前段増幅器における熱雑音の影響

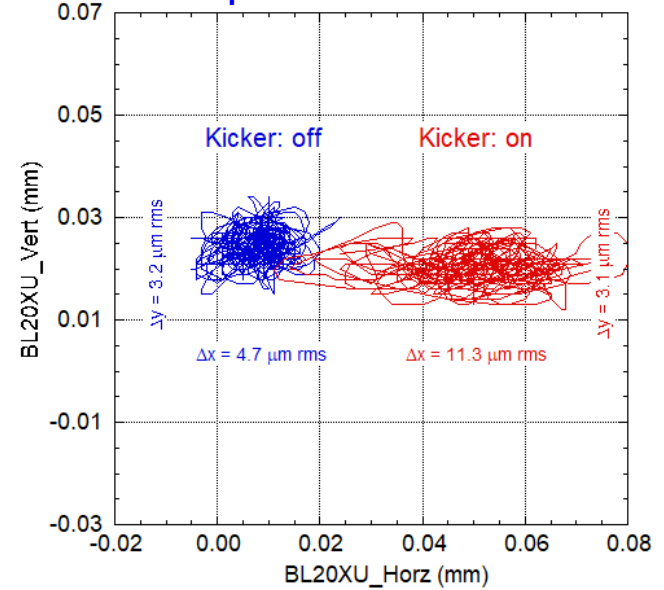


## 異なるビームラインに設置された ID-BL用 XBPM を比較

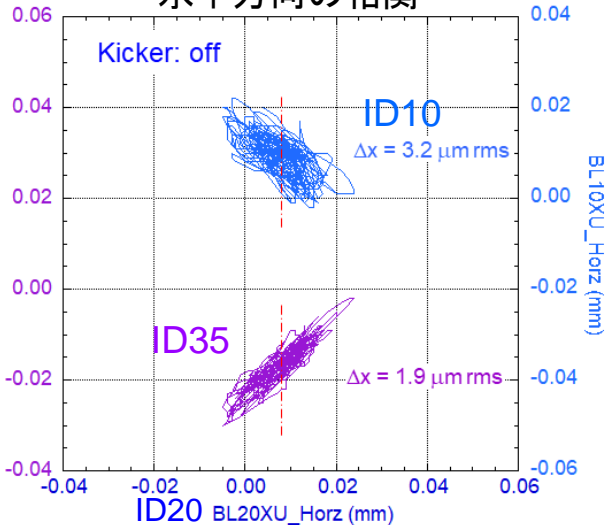
ID25の Kicker Mag. (1秒周期)調整作業中の観察



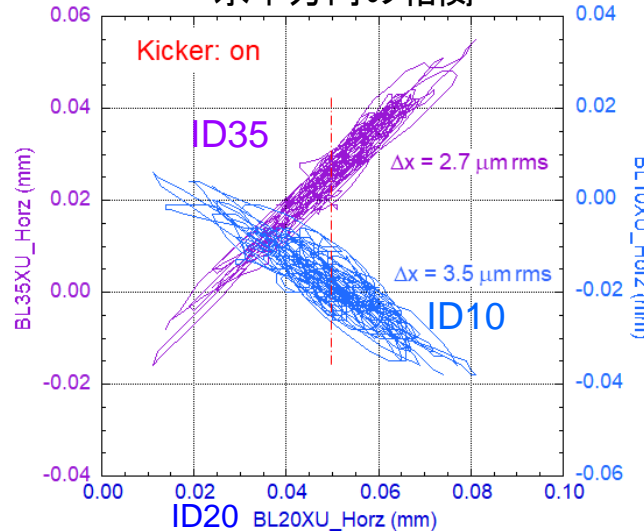
## XY polts at BL20XU



### 水平方向の相関



### 水平方向の相関



Phase advance (x) :

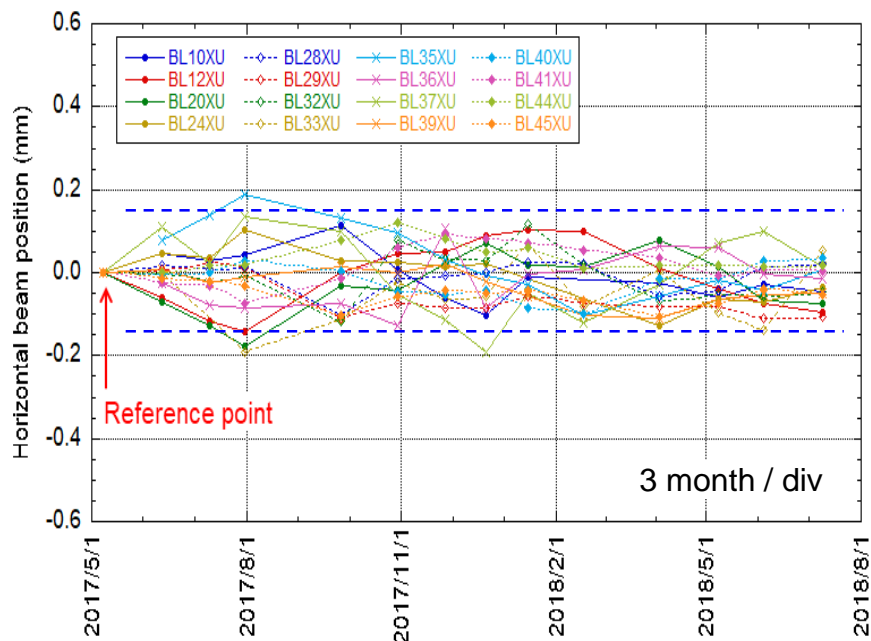
- 7.51 @ ID10
- 15.96 @ ID20
- (41.14, 19.325) 20.56 @ ID25
- 24.24 @ ID29
- 29.00 @ ID35
- 32.69 @ ID39
- 39.28 @ ID47

分解能として評価すると

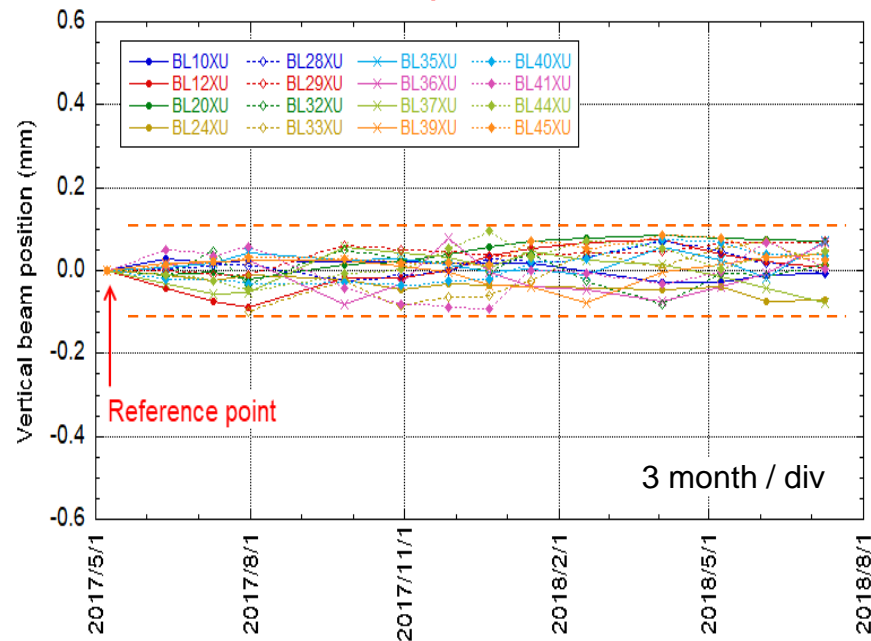
**1.9~3.5  $\mu\text{m rms}$**   
(分解能の上限値)

**定点観測**は、全IDのGap値を常に一致させることで、加速器への負荷を同じ条件とし、かつ、XBPMのGap依存性を事実上回避することが出来るため、長期的な軌道の変動をモニタするのに適切な方法である。

水平方向



鉛直方向



**光軸調整**は、毎サイクルの開始時に実施し、同2017年5月の光軸を基準に許容値（**水平 $\pm 150 \mu\text{m}$** 、**鉛直 $\pm 100 \mu\text{m}$** ）を超えた場合に電子ビームの軌道に局所補正を施し、正常なビーム位置に回復させている。

### 3. フィリングの影響 蓄積リングのフィリングパターン

#### マルチバンチ

(CW的利用、長い寿命)

160 bunch train × 12

Bunch train  
0.05 mA / bunch

周長:	1,436 m
RF周波数:	508 MHz
ハーモニックナンバー:	2,436
最短のパルス間隔:	2.0 ns
蓄積電流値:	100 mA



トレイン間隔 86.5 ns

#### その他のフィリング

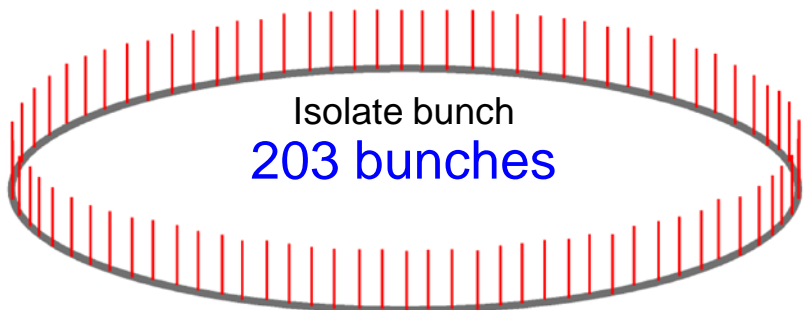
11 bunch train × 29  
11 / 29 - filling + 1 bunch  
2 / 29 - filling + 26 bunches

#### セベラルバンチ

(時間分割実験)

パルス間隔 23.6 ns

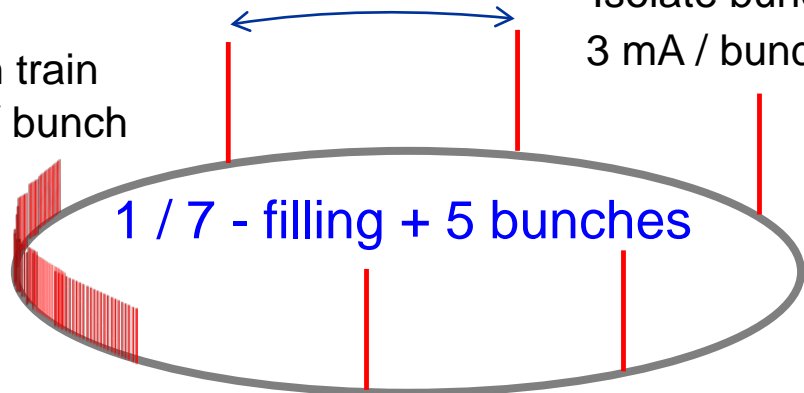
0.5 mA / bunch



パルス間隔 684.3 ns

Bunch train  
0.2 mA / bunch

Isolate bunch  
3 mA / bunch

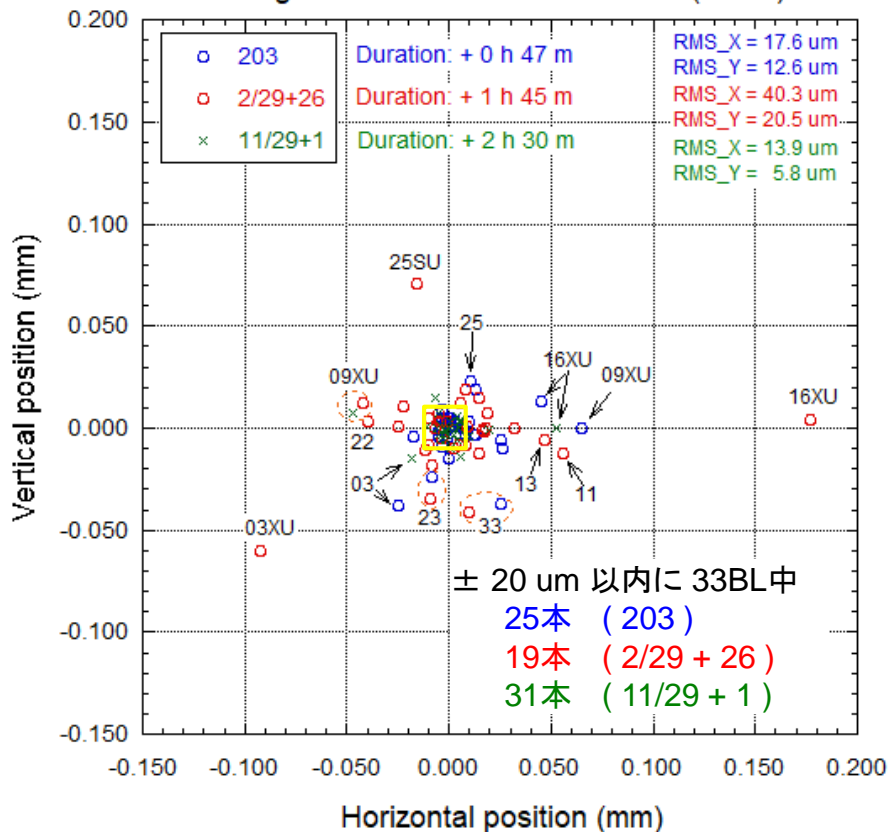


1 mA / bunch =  $3 \times 10^{10} e^-$

サイクル開始時の光軸調整の許容値をさらに狭めた $\pm 50\mu\text{m}$ に設定することの妥当性を検討するために、フィリング・パターンによる影響を評価する必要がある。

## Several bunch

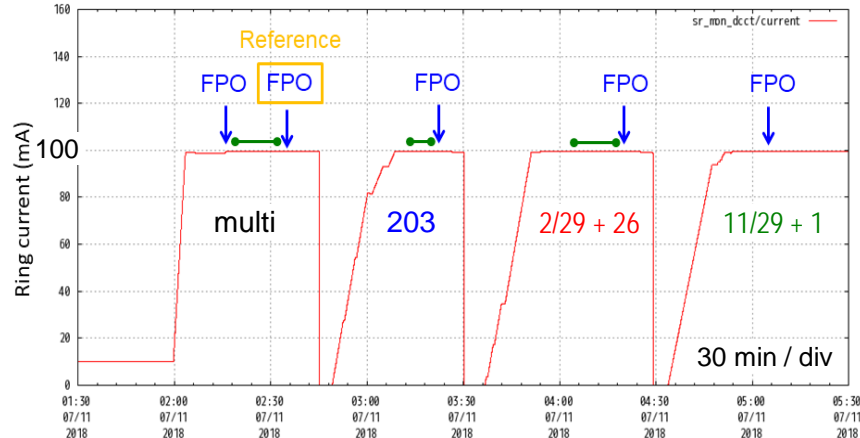
Filling Influence on XBPM readouts (ID-BL)



最も加速器に負担を掛けないマルチ・バンチを基準

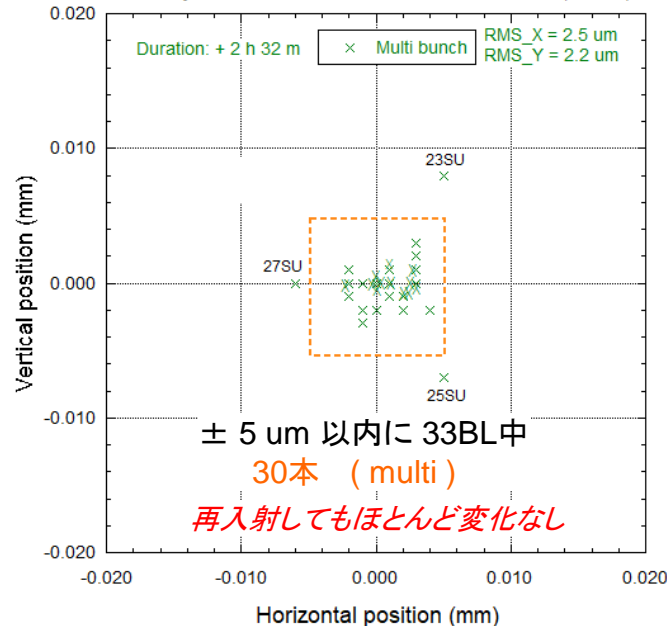
FPO : Fixed Point Observation with XBPM

● 現場にて電圧依存性の測定



## Multi bunch

Re-injection Influence on XBPM Readouts (ID-BL)



### 3. フィリングの影響 結果のまとめ

フィリング・パターン毎のバンチ電流値とXBPMへの影響の程度(RMS値)

Filling pattern	Bunch train (mA/bunch)	Isolated bunch (mA/bunch)	ID-BL (all data) ( $\mu\text{m rms}$ )		* ID-BL (thinning) ( $\mu\text{m rms}$ )		BM-BL (all data) ( $\mu\text{m rms}$ )
			Horizontal	Vertical	H	V	Vertical
Multi	0.05	—	3.6 (2.5)	2.0 (2.2)	3.2	1.7	1.3
11/29 + 1	0.10	5.0	13.9	5.8	6.0	4.7	3.0
203	—	0.52	17.6	12.6	6.5	6.4	6.0
11 x 29	0.31	—	27.7	14.6	7.0	5.0	4.3
1/7 + 5	0.24	3.0	33.5	15.2	13.2	7.3	5.4
2/29 + 26	0.38	1.4	40.3	20.5	13.8	8.9	8.0

( 1 mA / bunch =  $3 \times 10^{10} e^-$  )

両者に一定の相関関係がある

\* 今回影響が顕著に表れた9本のID-BLを除いたRMS値  
BM-BL(Vertical)とほぼ同等である。これは、後述の対策を施すことによって、  
XBPMに対するフィリングの影響を取り除くことが可能であることを示唆している。

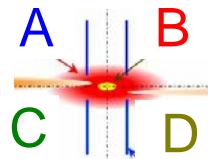
影響がみられた主な原因として、検出素子受光部での光電子放出の際の空間電荷効果の影響が強く疑われた。

そこで、

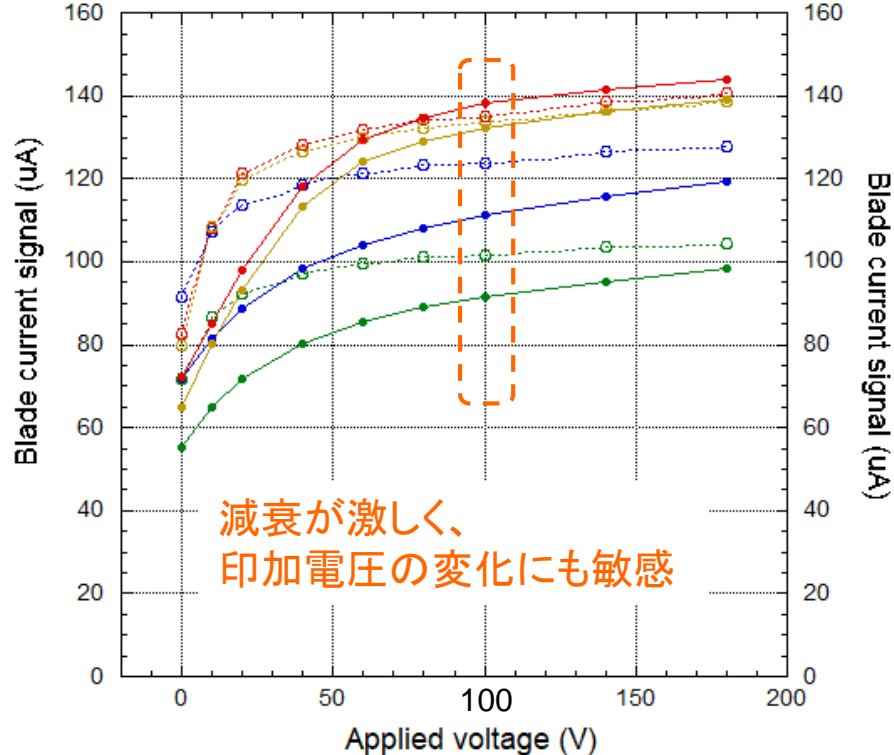
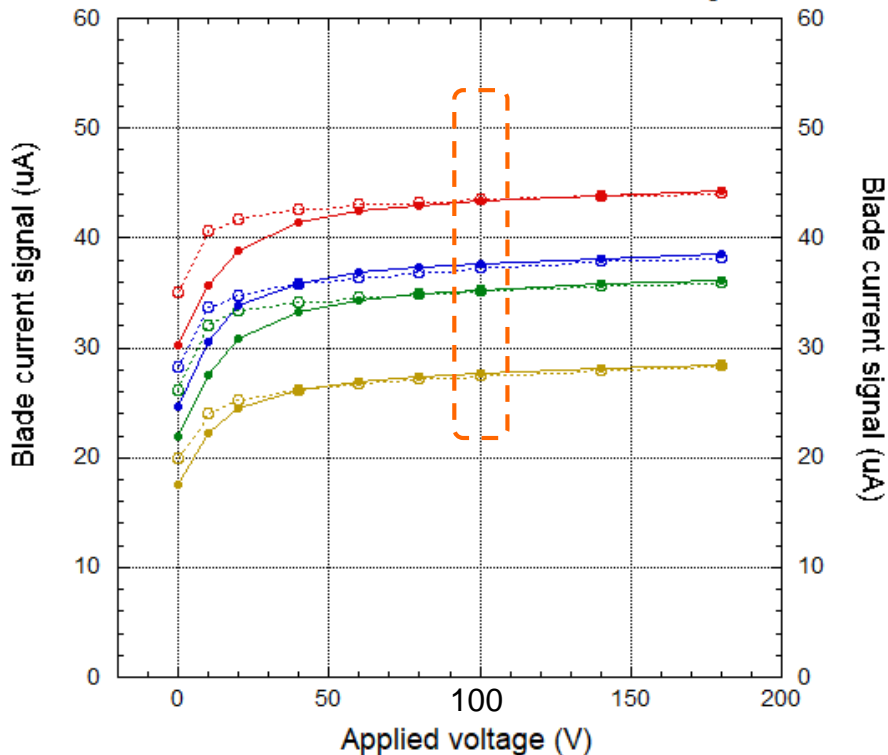
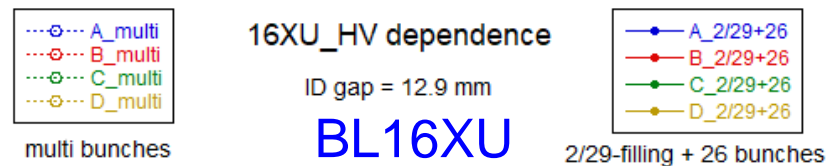
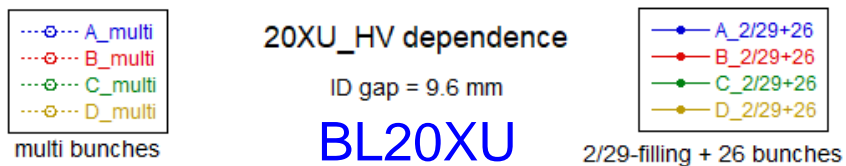
光電子収集電極の印加電圧(通常 HV = +100 V)を変化させその影響の原因を検証した。

multi bunch と 2/29+26 とで検出素子の出力信号を比較

影響 無



影響 有





## 不具合を修復するための手段

## 1) XBPMの原点を合わせる

(偏った出力電流値を平均化)

## 2) 定点観測時のID gapを広げる

(出力電流値低下)

## 3) ブレード先端の距離を広げる

(出力電流値低下) **BL23SU, BL25SU**

## 4) 光電子収集電極の印加電圧を高くする

(フラットな領域で使用) **今回は不採用**

## 5) ブレードと光軸の平行度を調整する

(ブレード内側の側面からの光電子放出を防止)

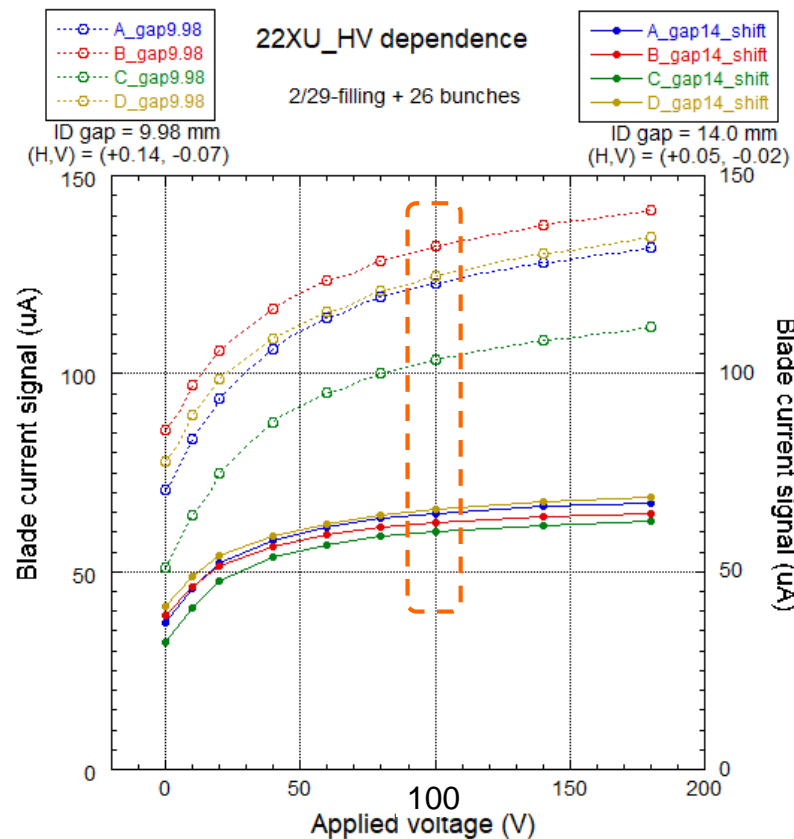
**BL16XUで疑われる**

## 6) ブレードをハの字型配置にする

(ブレード外側の側面と収集電極面がコンデンサーの形状となり、空間電荷効果の緩和に効率的)

(パルス・モード計測型XBPMで採用済み)

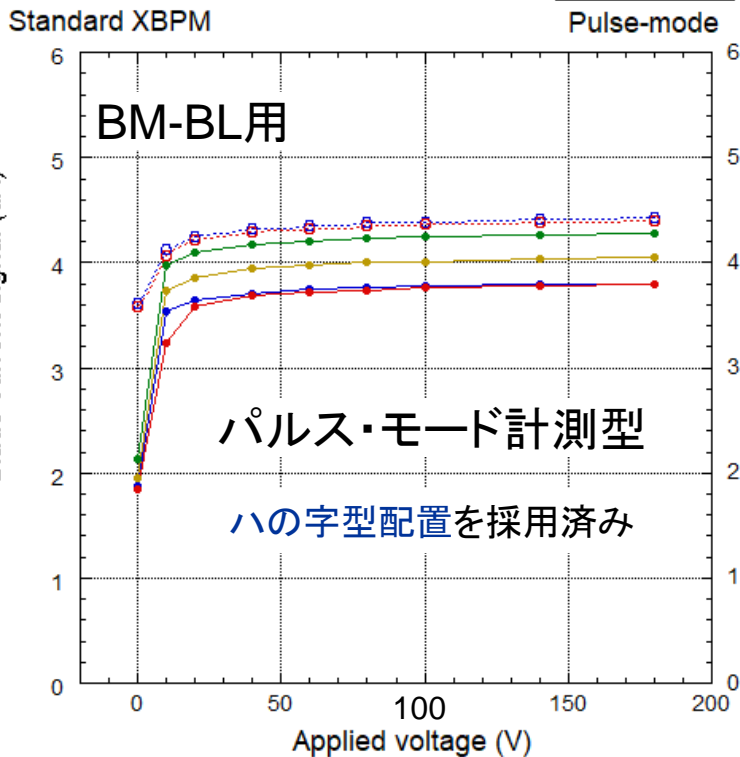
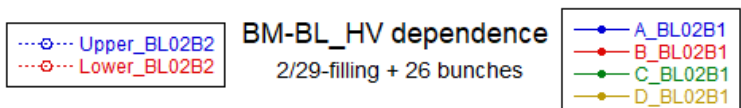
## (1) と (2) の手段で修復を試みた



曲線をフラットにすることができた

## 1. BM-BL用は、なぜ影響を受けにくいのか？

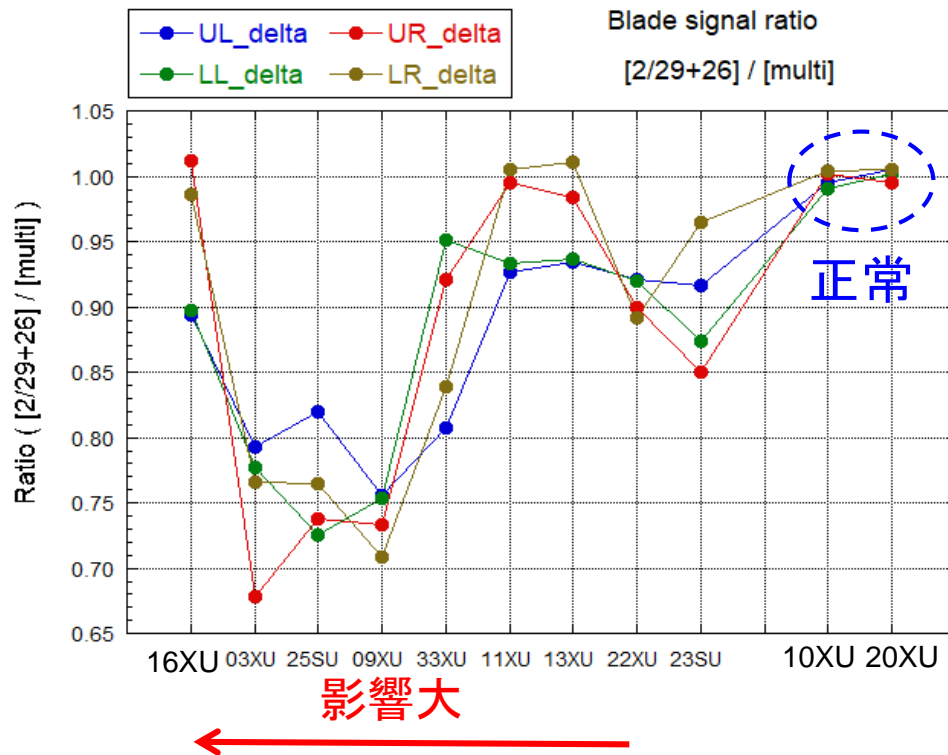
- 出力信号がID-BL用の約1/10の値
- 光電子収集電極の配置が良い  
各ブレードの両面に効果的に電界を印加できる構造になっている



## 2. BL16XUで、なぜブレードと光軸の平行度が疑われるのか？

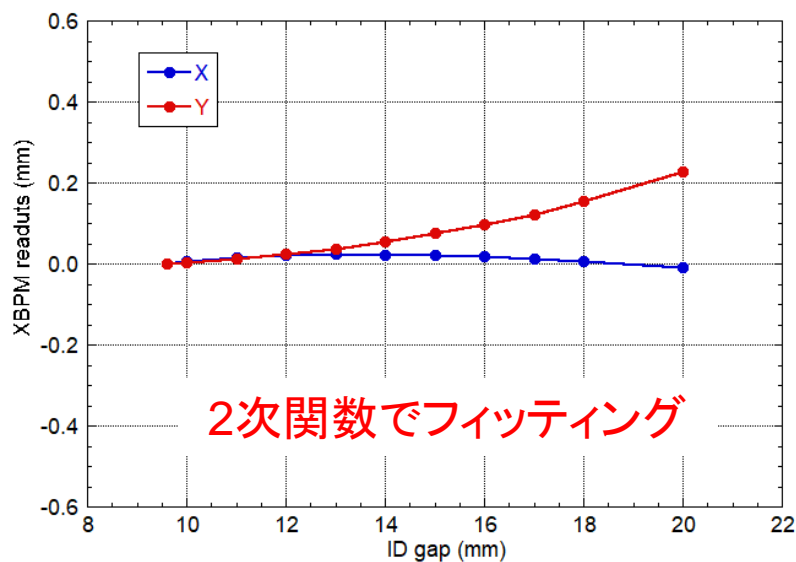
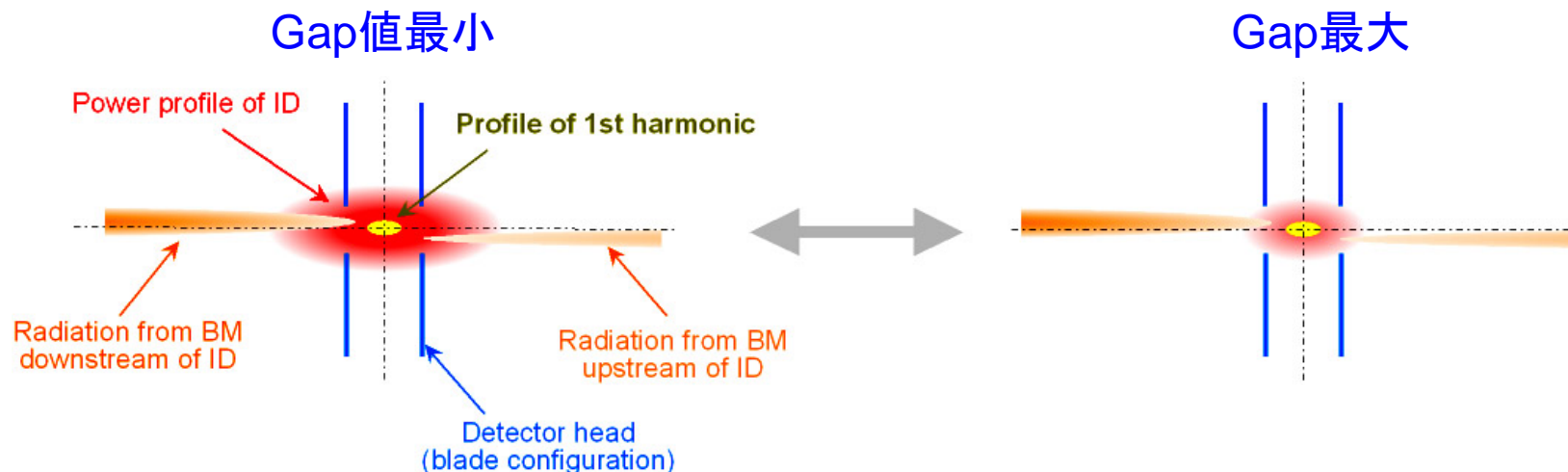
フィリングの影響の程度や原因を探るために、各ブレード信号の減衰比を検討

- BL16XUでは、左側(UL, LL)のみ減衰が大きい



## 4. Gap依存性の補正

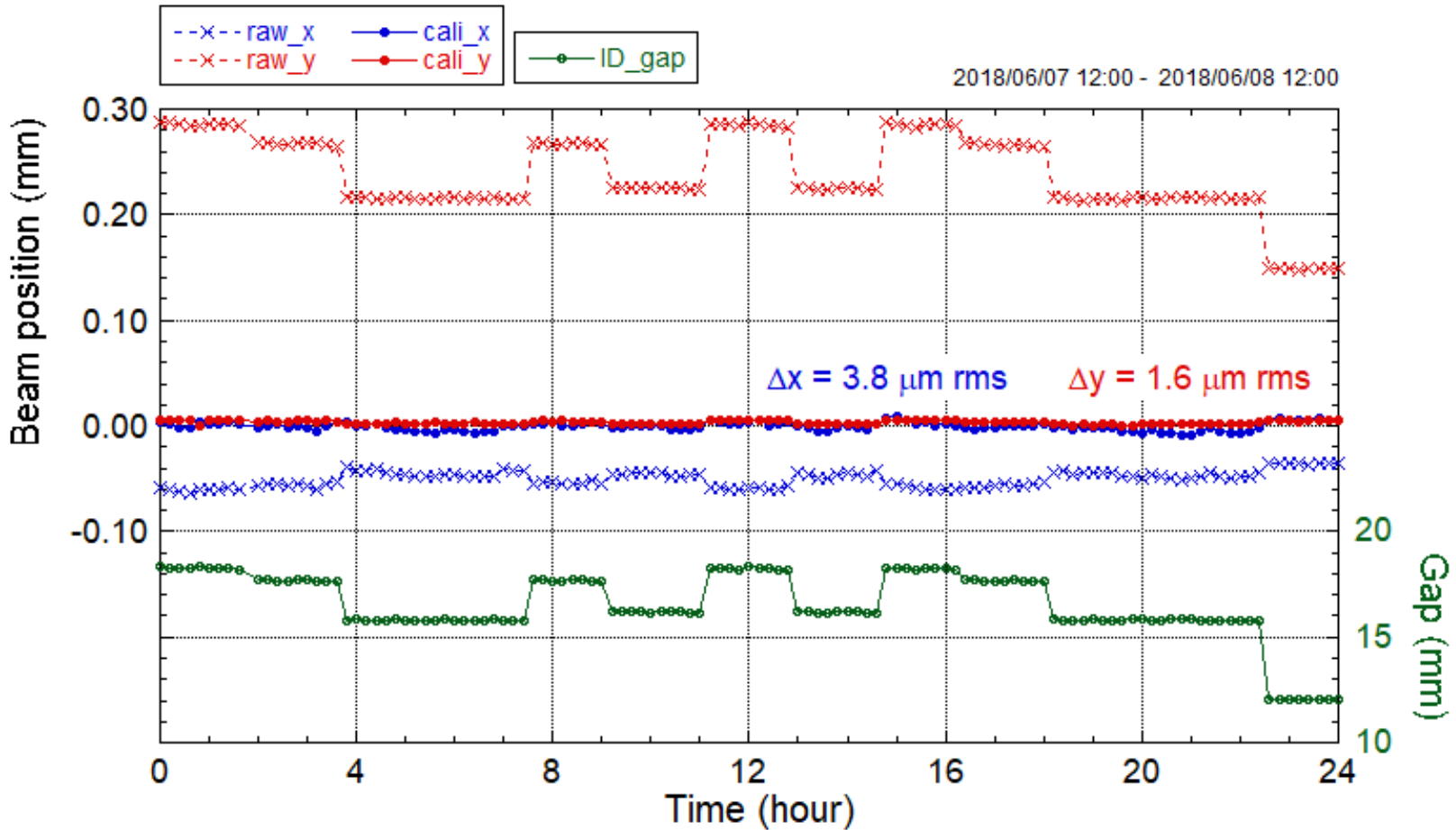
光電子放出型XBPMは、Gap値によりその読み値が大きく影響を受けてしまう。



Gap依存性は再現性があると期待できる。  
事前に影響を受ける度合いを計測し、  
フィード・フォワード制御で補正することが  
可能である。

# 4. Gap依存性の補正

XBPMの直読値 (raw data) は、事前に計測した補正係数で打ち消すことができる (フィード・フォワード制御で補正)



補正された出力値(calibrated)は十分実用的

## 1. 安定性、分解能

- 長期安定性（2ヶ月）  $2\ \mu\text{m}$  程度、分解能（10分スケール）  $0.13\ \mu\text{m rms}$
- 分解能（10 m秒スケール）  $1.8\ \mu\text{m rms}$
- 異なるID-BLでの整合性 → 分解能の上限値は  $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 程度

## 2. 定点観測と光軸調整

- 定期的な光軸調整で光軸変動を許容値（水平 $\pm 150\ \mu\text{m}$ 、鉛直 $\pm 100\ \mu\text{m}$ ）以内に納めてる

## 3. フィリングの影響

- 影響を受ける度合いを定量化、原因の特定（空間電荷効果）
- 光電子収集電極の印加電圧に対する出力電流信号の応答から判定
- 修復策として、XBPMの原点合わせ、定点観測gapを変更を実施

## 4. Gap依存性の補正

- フィード・フォワード制御で補正することで解消できることを提示

## <今後の方針>

- フィリング依存性： 9月末の立ち上げ調整で、解消されているか確認予定
- Gap依存性の補正： ユーザ運転で運用する道具立てを整える