

# ALIGNMENT OF BPMS AND Q-MAGNETS USING X-RAYS FROM AN ALIGNMENT UNDULATOR

Takuya Morinaga<sup>#A)</sup>, Toru Hara<sup>B)</sup>, Kazuaki Togawa<sup>B)</sup>, Shinichiro Tanaka<sup>A)</sup>, Taichi Hasegawa<sup>A)</sup>, Yasuyuki Tajiri<sup>A)</sup>, Yutaka Kano<sup>A)</sup>, Ryo Yamamoto<sup>A)</sup>, Yuji Otake<sup>B)</sup>, Hirokazu Maesaka<sup>B)</sup>, Makina Yabashi<sup>B)</sup>, Takaki, Hatsui<sup>B)</sup>, Mitsuhiro Yamaga<sup>C)</sup>, Takashi Tanaka<sup>B)</sup>, Hideo Kitamura<sup>B)</sup>, Takamitsu Seike<sup>B)</sup>, Akihiro Kagamihata<sup>C)</sup>, Sakuo Matsui<sup>B)</sup>, Hiroaki Kimura<sup>B)</sup>, Kensuke Tono<sup>B)</sup>, Yuichi Inubushi<sup>B)</sup>, Takahiro Sato<sup>B)</sup>, Hitoshi Tanaka<sup>B)</sup>

A) Spring-8 Service Co.,Ltd. , 1-20-5 Kouto, Shingu, Hyogo, 679-5165, Japan

B) RIKEN/SPRING-8, 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 671-5148, Japan

C) JASRI/SPRING-8, 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198, Japan

## Abstract

To obtain successful lasing of the SPRING-8 Angstrom Compact free electron Laser (SACLA), 18 undulators should be aligned within the accuracy of 30 $\mu$ m and two nearby undulators should be aligned within 4 $\mu$ m in order to keep the overlap between the radiated light and the electron beam, so that the density modulation of the electron bunch can be growing up. Although the final alignment of the undulator section is carried out by an electron beam based method, Beam Position Monitors (BPMs) and Quadrupole Magnets of the undulator section should be pre-aligned by the accuracy of 0.1 mm considering the dynamic range of the cavity type BPMs. For this purpose, X-rays from an alignment undulator is used as a guide straight line. Each cavity type BPM of the undulator section is equipped with a retractable pinhole of 0.1 mm, whose position is the same as the BPM electrical center. Thus in principle, all BPMs of the undulator section can be aligned on a straight line by adjusting their position so that the guide X-ray passes through all pinholes. The result of the alignment and the problem of this method are reported.

## アライメントアンジュレータを用いた BPM と四極電磁石のアライメント

### 1. はじめに

SACLA では 2011 年 3 月からビームコミッションを開始し、入射部から主加速器までの調整を 5 月上旬までに終え、アンジュレータセクションのアライメントに移行した。

SACLA の XFEL 発振には、18 台のアンジュレータ(全長 120m)における電子ビーム軌道を 30 $\mu$ m 以下の精度で、隣り合う 2 台のアンジュレータ(13m)の電子ビーム軌道を 4 $\mu$ m 以下の精度で直線にして放射光と電子ビームを重ね、アンジュレータ内で形成される電子バンチ内の密度変調の成長を保持せねばならない。最終的なビーム軌道の調整は beam based alignment (BBA)<sup>[2]</sup>で行うが、アンジュレータセクションの cavity type Beam Position Monitor (以下 BPM)のダイナミックレンジは $\pm 0.3$  mm 程度と小さいため、最終軌道調整の前に BPM と四極電磁石を 0.1 mm 程度の精度で並べておく必要がある。

各アンジュレータ間に設置する BPM と四極電磁石は、同一の可動ステージ上の石製天板に設置後、

お互いの位置関係をワイヤーで測定し、調整してある。BPM はその電気中心と同軸上にアイリスを挿入できる構造となっており、全アイリスを直線上に並べることができれば、BPM や四極電磁石を同一直線上に設置することができる。

本稿では、アライメントアンジュレータからの X 線自発放射光をガイド直線として用いた、SACLA アンジュレータセクションの BPM と四極電磁石のアライメントについて報告する。

### 2. 機器構成

図 1 に、SACLA の BL3 アンジュレータセクションにおけるアライメントに用いた機器の配置を示す。加速器を通過した電子ビームはアライメントアンジュレータによってガイド X 線を放射した後に偏向電磁石で他のビームラインに導かれ、アンジュレータセクションにはガイド X 線のみが通過する。

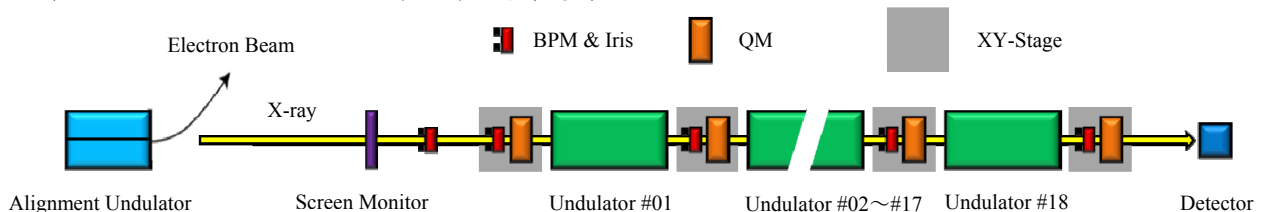


図 1 : アライメントに用いたアンジュレータセクションの機器構成

<sup>#</sup> morinaga@spring8.or.jp

## 2.1 アライメントアンジュレータ

アイリスをアライメントするためのガイド光として可視光レーザーの使用が当初検討されたが、全長100m以上あるアンジュレータセクションにおいて現状のビームパイプ径では、ガイド光の回折による拡がりのために測定ができないことがわかった。そこで、SACLAの加速器終端にアライメントアンジュレータを設置し、短波長のX線アンジュレータ光をガイド光とする方法を採用した。図2にアライメントアンジュレータの写真を示す。周期長が24mm、磁石列長さが1.5mで、7.1GeVの電子ビームでは、1.4ÅのガイドX線を発生させることができる。

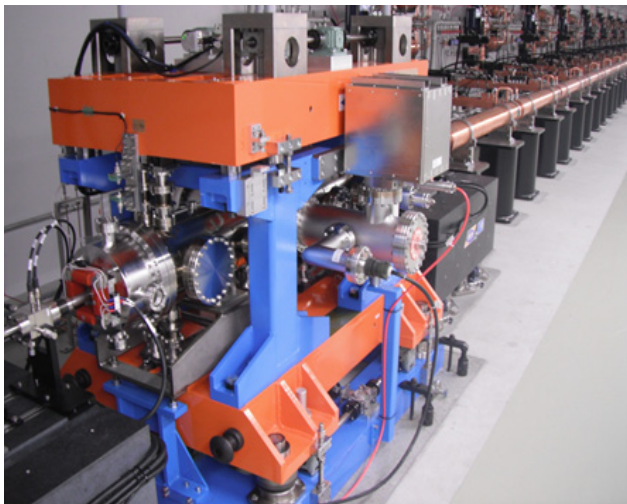


図2：加速器終端に設置したアライメントアンジュレータ

## 2.2 アイリス付き cavity type BPM<sup>[3]</sup>

図3にアイリス付き cavity type BPMの写真を示す。アイリスの材質は厚さ1mmのタングステンで、ピンホールの直径は0.1mmである。アイリス使用時には、ニューマチックアクチュエータで挿入され、Vブロックに押さえつけることで位置を決定している。挿入したアイリス中心の位置とBPMの電気中心のずれは、水平垂直共に±0.05mm以内に入るように調整されている。

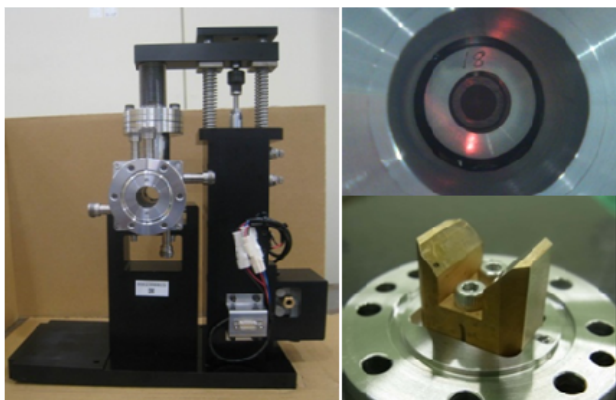


図3：アイリス付きBPM全体(左)、アイリス(右上)、Vブロック(右下)

## 2.3 スクリーンモニタ

アライメントアンジュレータから下流ビームラインに置かれたX線検出器までは200m以上離れている。途中のX線ガイド光の位置を確認するため、電子ビームプロファイル測定用に設置していたスクリーンモニタ(SCM)のターゲットをSUSからデマルケスト(アルミナ蛍光板)に変更して使用した。

## 2.4 四極電磁石ステージ

図4に四極電磁石ステージの写真を示す。BPMと四極電磁石が設置された石製天板の水平垂直方向の位置は、ステッピングモーターによって、1μm以下の精度で調整することができる。またBPMの電気中心と四極電磁石の磁場中心の位置関係は、石定盤設置時にワイヤーを用いて測定し、両者が±0.05mm以内に入るように据え付けられている<sup>[3]</sup>。

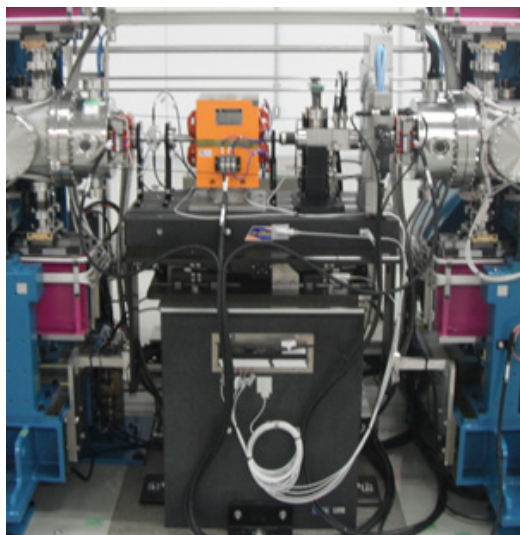


図4：四極電磁石ステージ

## 2.5 X線検出器

ガイドX線の測定は、光の位置と強度が測定できるMPCCDと、強度のみを測定するPhoto Diode(PD)を用いて行った。

## 3. アライメント方法

アライメントは120mに渡って設置されている計20台のアイリス付きBPM(電子ビームのアンジュレータセクションへの入射軌道を決定するID01上流の2台のBPMと各アンジュレータ下流のBPM)について行った。そのアライメント方法について以下に示す。

### 3.1 基準となる光軸の決定

はじめにアライメントアンジュレータからのガイド光の角度が大きくずれていないことをSCMで確認した後、MPCCDでガイド光を測定し、MPCCD前にピンホール(直径1mm)を挿入してアライメントの目標となる位置を決定する。次に最上流のアイリス(Iris01)を挿入し、ガイド光プロファイルの中

心部分が決定した目標の位置に合うように、アライメントアンジュレータの光軸を調整する。更に最下流のアイリス (Iris20) も挿入した状態で、MPCCD 上にガイド光が現れるように Iris20 の位置調整を行う。その後 PD でガイド光強度が最大となる Iris20 の位置調整を再度行い、アライメントの基準となる直線を決定した。この時の MPCCD のプロフィールを図 5 に示す。

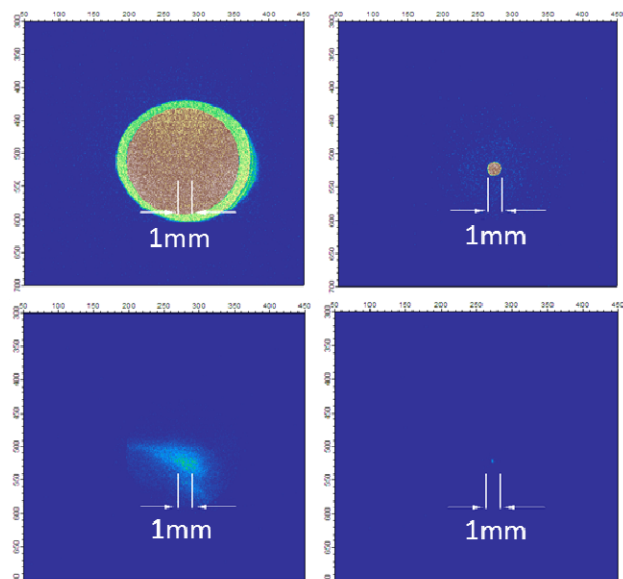


図 5 : MPCCD で測定したガイド光プロフィール。それぞれ、アイリスおよびピンホール無し(左上)、直径 1mm ピンホール挿入(右上)、Iris01 のみ挿入(左下)、Iris01 と Iris20 を挿入(右下)。

### 3.2 基準光軸に対するアイリス位置の決定

3.1 で決定した光軸に残りのアイリス中心を合わせる。アイリスは 1 台ずつ挿入し、アイリス付き BPM を設置した四極電磁石ステージを動かしながら、図 6 に示すような X 線強度とアイリス位置の関係を水平、垂直方向について測定し、強度がピークとなる位置を決定する。これを各アイリスについて繰り返し、計 20 台のアイリスを一直線上にアライメントした。

### 3.3 四極電磁石位置の決定

アイリス付 BPM と四極電磁石を石定盤上へ据え付ける際に、BPM 電気中心と四極電磁石磁場中心のずれ、およびアイリスと BPM 電気中心の位置関係は、ワイヤーと可視光レーザーを用いて測定している。このデータを元に、一直線上にアイリスをアライメントした後、アイリスと四極電磁石の磁場中心の距離分だけステージの位置を調整すれば、全ての四極電磁石の磁場中心を一直線上にアライメントすることができる。

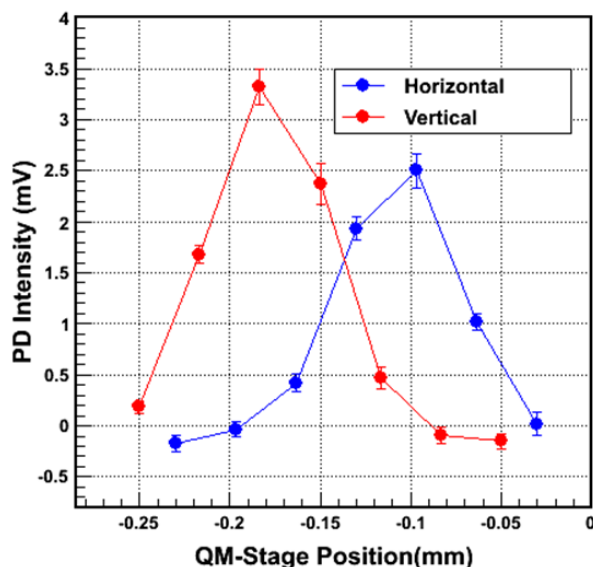


図 6 : X 線強度とアイリス位置の相関プロット。エラーバーは 10 サンプルの標準偏差を表す。

## 4. アライメント結果

### 4.1 石製天板据え付け時のステージ位置との比較

可視光レーザーを用いて石製天板を据え付けた時の位置を原点とすると、アイリスを一直線にアライメントした時の四極電磁石ステージの移動量は±0.2mm 程度に収まっていた。この結果を図 7 に示す。

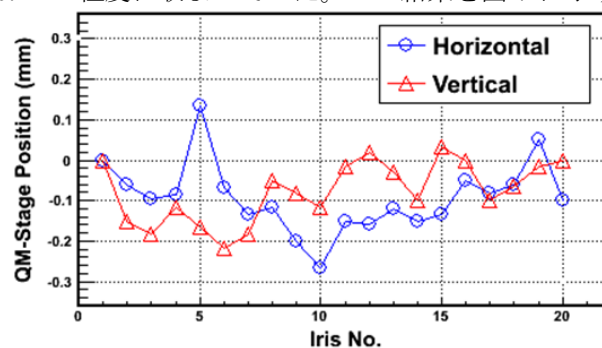


図 7 : 石製天板据え付け時からのステージ移動量

### 4.2 全アイリス挿入時の PD 強度と MPCCD 画像

アライメント後に全てのアイリスを挿入しても、ガイド光の PD 強度や MPCCD で測定したプロフィールは変化しなかった。この結果を図 8、9 に示す。

### 4.3 アライメント後とレージング時の四極電磁石ステージの位置関係

SACLA では 2011 年 6 月 7 日に XFEL を観測した。この時の各四極電磁石ステージの位置は、最上流アンジュレータの上流ステアリングで磁場の 2 重積分を閉じた時の光軸を基準とし、電子ビームが各四極電磁石の磁場中心を通るように決定している<sup>[2]</sup>。レージングした時の四極電磁石ステージの位置からアライメントアンジュレータを用いてアライメントした位置を差し引いたものを図 10 に示す。

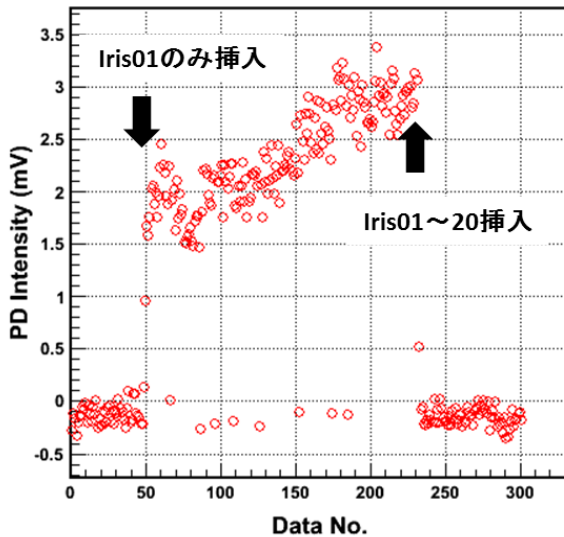


図 8 : アイリスを挿入した時の PD 強度

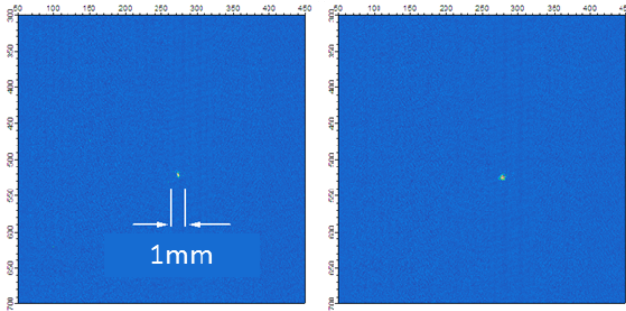


図 9 : Iris01 と Iris20 を挿入時(左)と、全ての Iris 挿入時(右)の MPCCD で測定したガイド光プロファイル。

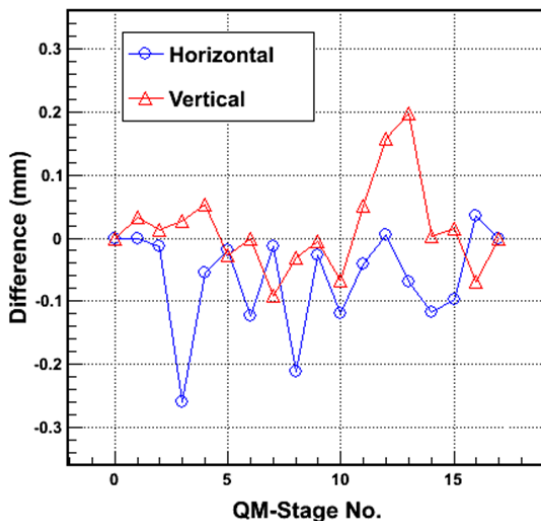


図 10 : レーシングした時の四極電磁石ステージ位置と、アライメントアンジュレータ光で決定した四極電磁石ステージ位置の差。最上流アンジュレータ前のステージ(No.0)位置と 17 台目のアンジュレータ後のステージ(No.17)位置を直線で結び、基準光軸の角度を補正した。

## 5. 考察

図 6,7,8 より、計 20 台のアイリス中心は $\pm 30 \mu\text{m}$ 程度で一直線上にアライメントされていることがわかる。にもかかわらず、アライメント後の四極電磁石ステージ位置と XFEL が発振した時の BBA で決定したステージ位置は、水平、垂直共に  $100 \mu\text{m}$  以上ずれている。これらのことから、アイリス中心と四極電磁石磁場中心の位置関係に大きな誤差があると考えられ、誤差を生み出す原因を調査した結果、BPM のアイリス挿入機構に問題がある可能性が高いことがわかった。アイリス挿入時のアイリス位置の調整は大気中で行われていたが、実際には真空中で使用されている。真空中では金属同士の摩擦係数が大気中と比べて桁違いに大きくなるため、アクチュエータでアイリスを V ブロックに押さえつけた位置が摩擦によって大きくずれている可能性が高い。

## 6. まとめと今後の課題

全長 120m に渡って設置されている 20 台の BPM と四極電磁石を、アライメントアンジュレータからの X 線を用いてアライメントした。結果、直径  $0.1\text{mm}$  のアイリス中心を $\pm 30 \mu\text{m}$ 程度の精度で一直線上に並べることはできたが、四極電磁石の磁場中心は直線から大きくずれてしまった。アイリスの挿入機構をアクチュエータ式からモーター式に変更するなど、真空中でも挿入時のアイリス位置を再現できるようにし、アイリス中心の位置と四極電磁石の磁場中心のずれの誤差を小さくする改善が今後必要である。

## 参考文献

- [1] Bingxin Yang and Horst Friedrich, Phys. Rev. STAB 9, 030701(2006)
- [2] R. Yamamoto *et al.*, “SACLA アンジュレータセクションにおける Beam Based Alignment 法について”, in these proceedings.
- [3] H. Maesaka *et al.*, “XFEL/Spring-8 におけるビーム診断システムの建設状況”, Proceedings of LINAC'10(2010).