

INSERTION DEVICE OF ACCELERATOR DIAGNOSTICS BEAMLINE #2 AT THE SPring-8 STORAGE RING

Mitsuhiro Masaki*^{A)}, Haruo Ohkuma^{A)}, Shiro Takano^{A)},
Kazuhiro Tamura^{A)}, Masazumi Shoji^{A)}, Shigeru Yamamoto^{B)}
^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

1-1-1 Kouto, Mikazuki, Sayo, Hyogo, 679-5198

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK) /Institute of Materials Structure Science
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

An insertion device (ID) for the accelerator diagnostics beamline #2 (BL05SS) of the SPring-8 storage ring is reported. The ID with flexibility for exchanging magnet arrays has been designed to provide variety of synchrotron radiation (SR) for various kinds of experiments. A magnet array of multi-pole wiggler (MPW) type has been designed to produce high power SR for the main purposes of irradiation experiments. A method of energy spread measurement of electron beam using the MPW was numerically studied.

SPring-8 蓄積リング加速器診断ビームライン#2の挿入光源

1. はじめに

SPring-8蓄積リングには、放射光を利用した非破壊ビーム診断、光アブソーバーなどの高熱負荷素子の開発や加速器コンポーネントに対する放射線損傷の基礎研究のような照射実験を行うために、加速器診断ビームライン#1 (BL38B2) および #2 (BL05SS) と呼ばれるビームラインがある。前者のBL38B2は偏向電磁石を光源に持ち、横方向ビームプロファイル診断用のX線イメージングモニター^{[1][2]}の開発、光子計数法によるシングルバンチ不純度測定^[3]、ストリークカメラを用いたバンチ長測定などのビーム診断の他に、蓄積リングの真空システムに組み込まれる光アブソーバーの焼き出し試験などが行われてきた。後者のBL05SSは現在建設途上にあり、挿入光源が設置できる直線部を蓄積リング5セルに有している。このビームラインでは、加速器のビーム診断のみならず、本格的な照射実験、レーザー逆コンプトン散乱によるMeV- γ 線の生成実験などが計画されており、それぞれの実験によって必要となる光源の種類も様々である。そのことを踏まえ、加速器診断ビームライン#2の光源部は、高汎用性という点を最も重視して設計・製作されている。

2. 光源部の構成

2.1 挿入光源

実験の目的に応じた放射光を発生することができる汎用性を持った挿入光源の設計・製作にあたって、
(1) 磁石列の交換が容易な構造とすること、
(2) 上下の磁極間ギャップに対する自由度を向上させることの2点が特に考慮された。

(1) を実現させるために、Out-vacuum型とし、磁石列支持はC型片持ち方式を採用した。挿入光源全体をベース架台とリニアガイドから成る圧搾空気駆動のスライドシステムの上に設置し、電子ビーム軸上の通常運転位置からメンテナンス位置まで容易に移動できるようになっている(図1)。これにより、真空チェンバーなどと干渉することなく磁石列の交換作業を行うことができる。リニアガイドの上面が床レベルよりも低くなるように、スライドシステム全体が深さ350mmのピット内に収められる。ピットに鉄蓋を設置し、周囲の床レベルとの段差を解消することで、蓄積リングマシントンネル内の通路としての機能は確保される。製作したスライド式挿入光源を通常運転位置とメンテナンス位置の間で往復させる試験を行ったところ、1ミクロン程度の位置再現性の実現されていることが確認できた。

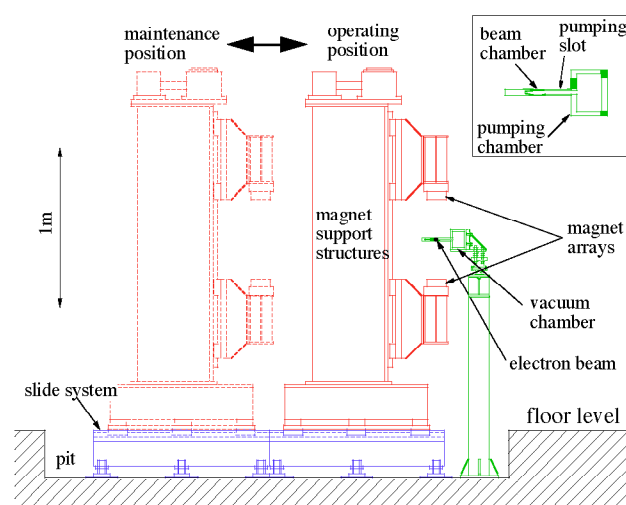


図1：ビーム進行方向上流側からみた光源部

*E-mail: masaki@spring8.or.jp

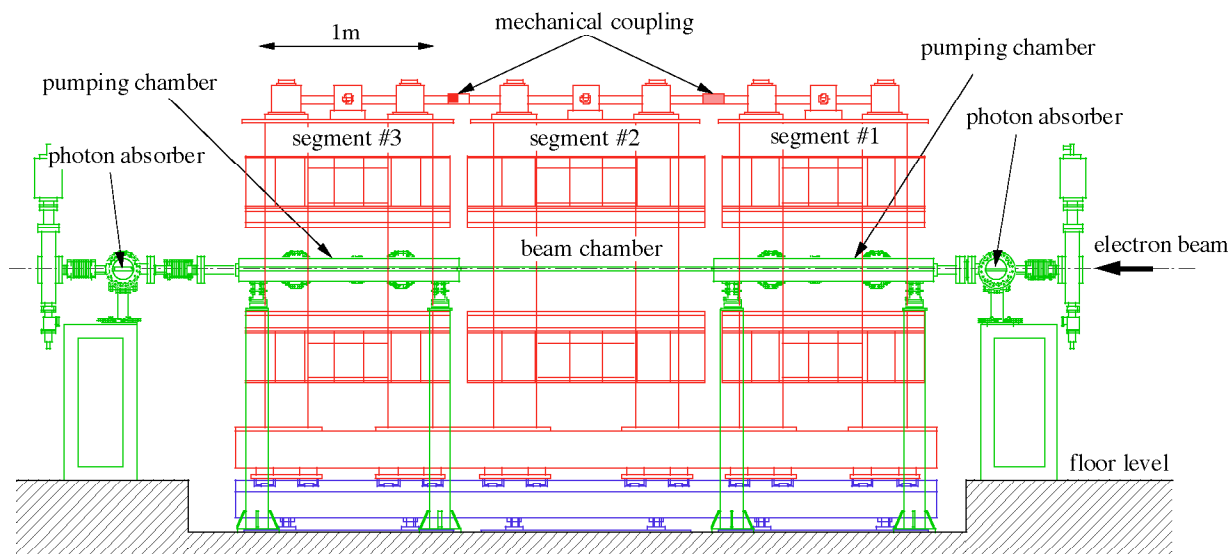


図2：蓄積リング内側からみた光源部

ギャップを独立に変化させることができる3つのセグメントに挿入光源を分割することにより、(2)のギャップに対する自由度の向上を図っている(図2)。いずれのセグメントでも最小ギャップは20mmで設計されている。挿入光源天井部のギャップ駆動機構において、隣接するセグメント間のシャフト同士を図2に示したメカニカルカップリングで連結することによって、3つのギャップを1台のモーターで同調して駆動することも可能である。また、メカニカルカップリングを操作する際には、ギャップをロックするためにシャフトが電磁ブレーキによって固定される仕組みになっている。

2.2 真空チェンバー

挿入光源部の真空チェンバーの構造にも工夫が凝らされている。チェンバーの断面形状は、図1の拡大図に示されているようなビームチェンバーと排気チェンバーから成る鍵型を基本構造に持つ。挿入光源の最小ギャップを制限しているビームチェンバーの厚みは外寸18mmである。イオンポンプ、NEGカートリッジポンプなどを取り付ける排気チェンバーは、真空チェンバーの上流側と下流側に集中的に配置され、中央部分(挿入光源のセグメント#2付近)には設けられていない(図2)。こうすることにより、中央部に可能な限り広いスペースを確保し、特殊な光源やデバイスの試験などが行いやすいように配慮されている。

3. マルチポールウィグラー

3.1 放射光パワー、エネルギースペクトル

2.1項で述べた挿入光源に最初に取り付けた磁石列は、プラナー型のハイパワーマルチポールウィグラー(MPW)用で、主に高フラックス放射光による照

射実験を行うために設計したものである。磁石列は4個の磁石ブロックで1周期を構成するHalbach型を採用している。周期長76mm、周期数51、両端部に12mmのエンドコレクションが取り付けられており、全長は3900mmとなる。磁石ブロックの材質はNd-Fe-B合金(NEOMAX-44H)で、防錆表面処理としてTiNコーティングが施されている。最小ギャップ20mmにおけるピーク磁場は約0.8T、K値は約5.8であり、蓄積リングのクロッチアップソーバーが曝されている放射光のトータルパワー以上の照射が光学ハッチ内で得られるように設計されている。そのため、臨界エネルギーが約30keVとなるようにし、エネルギースペクトルのエンベロープはSPRing-8蓄積リングの偏向電磁石放射のスペクトルに近い形状(図4のBM)となっている。最小ギャップのときに放射される光のパワー分布とエネルギースペクトルの計算結果を図3および図4に示す。どちらもビームエネルギーは8GeV、ビームエミッタンスとエネルギー広がりとはゼロとして計算した。

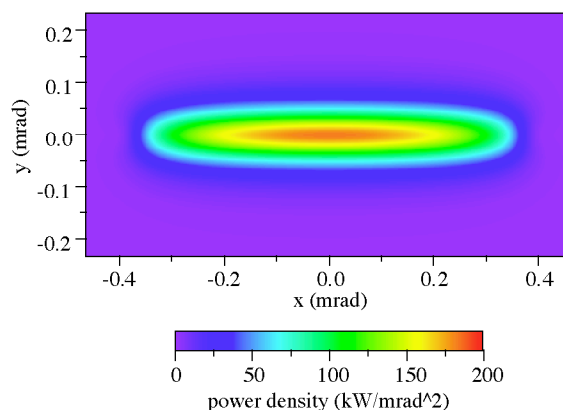


図3：MPWからの放射光パワー分布@I=100mA

蓄積ビーム電流が100mAのときには、放射光のトータルパワーは約10kW、ピークパワー密度は約200kW/mrad²である。

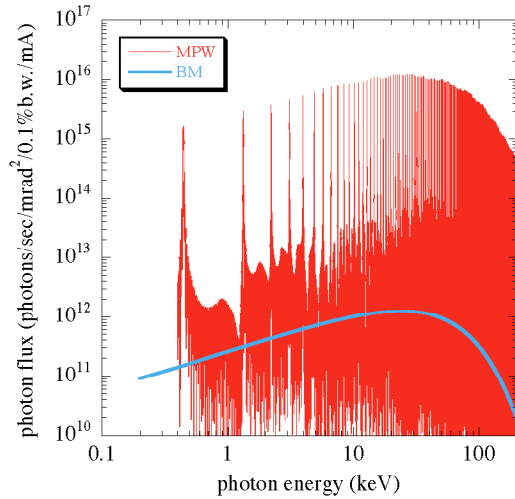


図4：MPWとBMの放射光エネルギースペクトル

3.2 エネルギー広がり測定の検討

このMPWを使ったビーム診断として、放射光の垂直方向空間分布の幅を使った電子ビームのエネルギー広がり測定の検討を行った。SPRING-8蓄積リングの電子ビームの相対エネルギー広がり σ_E/E は 10^{-3} のオーダーと非常に小さく、これを十分な感度で測定するためには次数の大きな高次光を観測しなければならない。MPWのギャップを最小の20mmにすると、大きなK値(5.8)のおかげで、原理的には非常に次数の大きな高次光が放射される(図4)。

電子ビームのエネルギー広がりを、放射光のエネルギースペクトルの幅から測定する方法が知られているが、水平エミッタンスによるスペクトルの歪みの効果を補正しなければならない。例えば19次光(8.439keV)のエネルギースペクトルを計算すると、図5 a)ようになる。ゼロエミッタンス、ゼロエネルギー広がり電子ビームからの放射光スペクトルの幅に比べて、デザイン値の $\sigma_E/E=1.1 \times 10^{-3}$ が考慮されたスペクトルの幅は4倍近く広がる。しかしながら、同時に水平ビームエミッタンスから生じる角度発散($\sigma'_x=16\mu\text{rad}$: デザイン値)を考慮すると、スペクトルが低エネルギー側に歪み、さらに幅が30%程度広がってしまう。そこで、エネルギースペクトルではなく、垂直方向の空間分布の幅が電子ビームのエネルギー広がりによって増大することを利用する。図5 b)に計算結果を示す。19次光のスペクトルピークを与えるエネルギー(8.439keV)では、 σ_E/E が考慮された空間分布の幅は考慮しない場合に対して3倍近く成長し、十分に感度があることが分かる。実際には、観測されるスペクトルのピークは水平エミッタンスに依存して低エネルギー側にシフトする。図5 a)に示されている8.425keVのエネルギーで垂直方向の空間分布を計算すると幅がさらに10%程度広がるが(図5 b)、この量はエネルギースペクトル

が水平エミッタンスから受ける影響に比べて小さい。また、この方法は分光器のスキャンが不要であるため、測定時間が短くリアルタイムモニターとして使える可能性がある。しかしながら、次数の大きな高次光を観測する必要があるため、挿入光源の誤差磁場から生じる光の位相誤差の影響を慎重に評価した上でエネルギー広がりを求めなければならない。

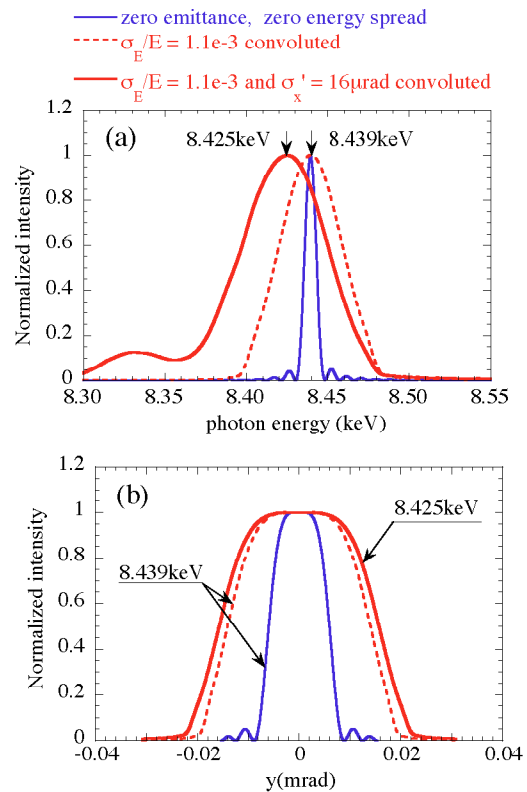


図5：最小ギャップにおける19次光の(a)エネルギースペクトルと(b)垂直方向空間分布

4. 今後の計画

加速器診断ビームライン#2用のスライド式挿入光源を製作し、MPWタイプの磁石列を取り付けた。現在、SPRING-8 IDグループによって開発された磁場測定装置を用いて磁場調整中である。挿入光源は2005年8月に蓄積リングに設置し、9月以降にビームを使った調整などを行う予定である。またこの挿入光源に取り付ける別の磁石列として、電子ビームの垂直方向の微小角度発散、エネルギー広がりなどの診断を目的としたものが提案されており^[4]、その実現可能性などについても検討を進める予定である。

参考文献

- [1] S. Takano, et al., submitted to Nucl. Instr. and Meth. A.
- [2] S. Takano, et al., "Status of the X-ray Beam Imager of the SPRING-8 Storage Ring", in these proceedings.
- [3] K. Tamura, et al., Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2004, p.581.
- [4] M. Masaki, Proceedings of the 2005 PAC, in press.