

CHARACTERIZATIONS AND APPLICATIONS OF THE INSERTION DEVICE OF THE SPRING-8 DIAGNOSTICS BEAMLINE II

Mitsuhiro Masaki*^{A)}, Shiro Takano^{A)}, Kazuhiro Tamura^{A)}, Akira Mochihashi^{A)}, Masaya Oishi^{A)}, Masazumi Shoji^{A)}, Takahiro Fujita^{A)}, Takeo Takashima^{A)}, Haruo Ohkuma^{A)}, Shigeru Yamamoto^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPRING-8)

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK) /Institute of Materials Structure Science

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0810

Abstract

Out-vacuum insertion device (ID) of the SPRING-8 diagnostics beamline II has been designed to allow us to exchange its permanent magnet arrays in the accelerator tunnel. At the moment, the mounted magnet array is of Halbach type with the 51 periods of 76mm long and the maximum deflection parameter K of 5.8. The spectral photon fluxes of the ID at the maximum K had clear peaks of higher harmonics comparable to the 50th. It shows success of the elaborate tuning of the ID magnetic field, which resulted in a phase error as small as 2 degrees. As an application of the ID, we have been developing a novel method of real-time measurement of beam energy spread by observing vertical divergence of the ID higher harmonics. Our method was successfully demonstrated by measuring the 19th harmonics while changing the effective beam energy spread, which was increased due to the beam energy oscillation induced by applying phase modulation of RF voltage at the synchrotron frequency.

SPRING-8加速器診断ビームラインII挿入光源の特性とその応用

1. はじめに

SPRING-8蓄積リングでは、挿入光源(ID05)を光源に持つ加速器診断ビームラインII (BL05SS)の整備を進めている^[1]。このビームラインは、新しいビーム診断法やアブソーバーのような耐熱機器の試験など、加速器要素技術開発を行うことに主眼が置かれており、挿入光源も多くの用途に対応できるように設計されている。ここでは、ID05の特徴、エネルギースペクトルの特性、その特性を生かした応用例について報告する。

2. 挿入光源 (ID05) の特徴

ID05の構造的特徴については、2005年の加速器学会で詳しく報告^[2]したので、ここでは簡単に述べる程度に留める。out-vacuum型の挿入光源であるID05は、全体がビーム軸から退避できるようにスライド機構付き架台に設置されている。真空チェンバーと干渉しない退避位置では、構造に工夫を施した磁石列プレートなどにより、実験の目的に応じて蓄積リングトンネル内で磁石列の交換が容易に行えるようになっている。また、磁極ギャップが独立に変えられる3つのセグメントに分割された構造となっており、例えば、それぞれのセグメントに周期長・周期数の異なる磁石列を取り付け、目的に応じて使い分

けることや、中央のセグメントに分散部を設け、光クライストロン型の光源を構築することも可能である。現在取付けられている磁石列は、Nd-Fe-B合金 (NEOMAX-44H)を用いた周期長76mm、周期数51のHalbach型で、3セグメントに渡って連続した磁石列となっているので、全てを同じ磁極ギャップに揃えた状態で隣接するセグメント間を機械的に連結し、1台のモーターにより同調して駆動している。この磁石列では最大K値が約5.8に達し、マルチポールウィグラー(MPW)タイプとなる。このときの全放射パワーは、蓄積電流が100mAの条件で約10.4kWの高出力となり、耐熱機器の試験などにも対応可能となっている。

3. エネルギースペクトルの測定

ID光の特性評価にとって重要なエネルギースペクトルを測定した。シリコンSi(111)結晶を用いた二結晶分光器^[3]のブラッグ角をスキャンすることにより単色X線のエネルギーを変えながら、大気中に設置したイオンチェンバーでそのフラックス強度を測定し、エネルギースペクトルを得た。光軸中心でのフラックス強度を測定するために、 $4.2\mu\text{rad}\times 4.2\mu\text{rad}$ の開口を持つタンタルスリットをイオンチェンバーの前に設置した。8GeV蓄積ビームのエミッタンスが 3.4nmrad 、相対エネルギー広がりが0.11%の条件で

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

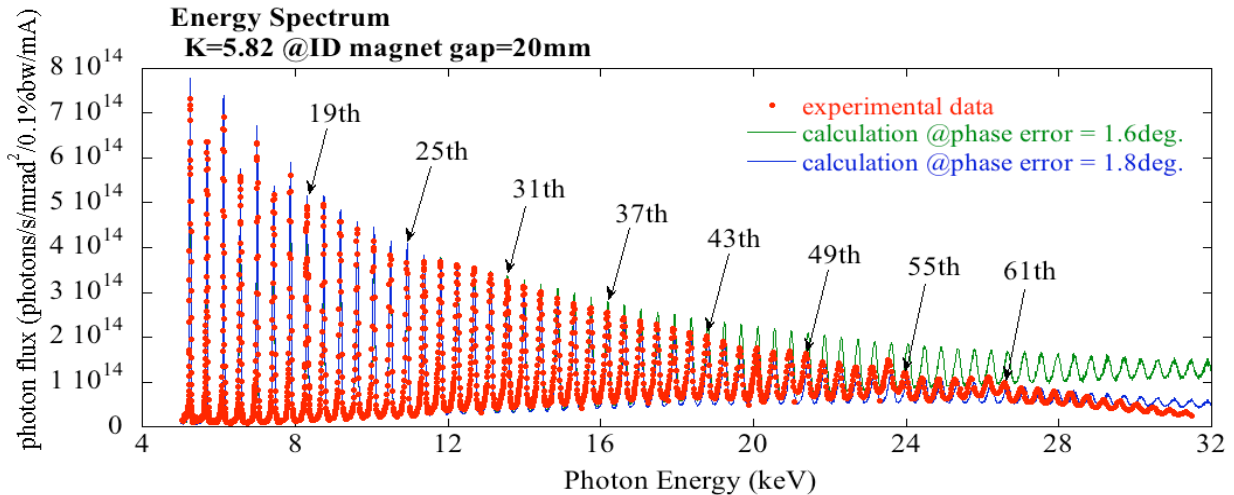


図1：最小磁極ギャップ20mmで測定したエネルギースペクトル（赤丸）と計算との比較

測定した。ID05の磁極ギャップを最小の20mmにセットし、最大K値5.82を与える条件下で得られたエネルギースペクトルを図1に示す。K=5.82のときの1次光のエネルギーは0.446keVであるので、図1に示されているスペクトルのピークは12次から72次までの高次光である。少なくとも50次光程度まで、比較的シャープなピークとして観測できている。それ以上のエネルギー領域でも、次数の特定ができる程度にはピーク構造が観測されている。生データであるイオン電流から光子フラックスの絶対値を算出する際には、1) Be窓(0.5mm厚)、イオンチェンバー入射窓のカプトン膜(50 μm厚)、大気(978mbar)に対するX線透過率、2) イオンチェンバー内室素ガス中でのX線吸収率とイオン化に必要なエネルギー36eV、3) 動的回折理論^[4]に基づいて計算したSi(111)結晶によるX線反射率、4) 分光器のエネルギーバンド幅、を考慮した。

最小磁極ギャップ(20mm)で実施した磁場調整は、位相誤差のrms値が2(deg.)以下となるように入念に行われた。最終的に得られた磁場性能は、位相誤差のrms値にして1.6(deg.)に達した。この磁場測定データに基づいて計算したエネルギースペクトルと実測したスペクトルを比較した。各次数に対応するスペクトルの形状とピークを与えるエネルギーに関しては、計算と非常に良く一致している。フラックス強度に関しては、概ね40次光までは計算値との差は10%程度であるが、それ以上の次数では測定結果が計算結果よりも常に小さくなっている。この差の原因については明確に特定されていないが、全てがID磁場の位相誤差に起因するものであると仮定すると、実測スペクトルを説明するために必要な位相誤差は、rms値にして1.8(deg.)という結果となった(図1)。

オフラインで磁場測定を実施した他の磁極ギャップに関してもエネルギースペクトルを測定した。1次光から7次光までのスペクトルを色々なK値に対して測定し、磁場測定に基づく計算結果とともに示したものが図2である。計算結果は、スペクトルの形状、ピークを与えるエネルギー、フラックス強度に関して、実測したデータをほぼ再現している。

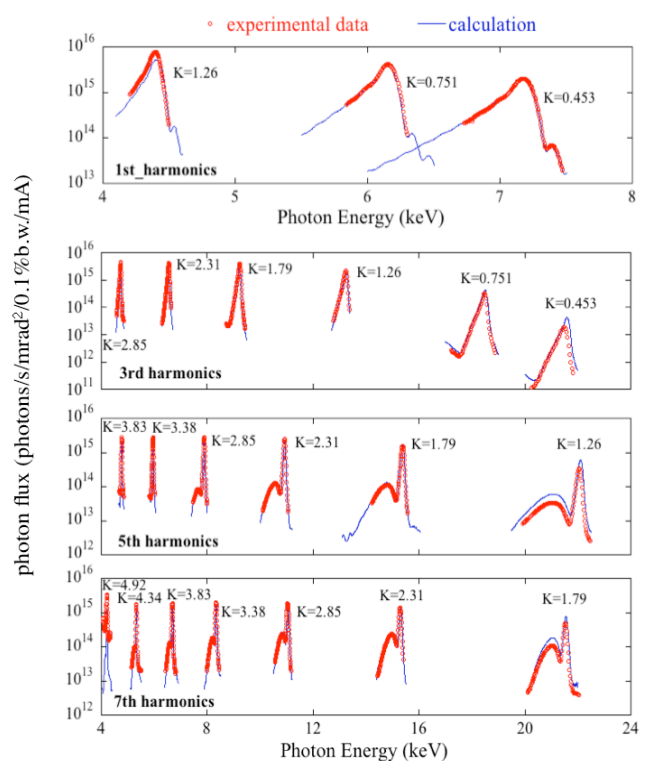


図2：色々なK値を与える磁極ギャップで測定した1次光、3次光、5次光、7次光のスペクトル

4. エネルギー広がり診断への応用

ID05は、最小磁極ギャップでの位相誤差が少なくとも2(deg.)以下という磁場性能を持つため、かなり次数の大きな高次光まで分光器を用いて取り出すことができる。この特性を生かしたビーム診断として、電子ビームのエネルギー広がり診断への応用がある。我々は、高次光の空間プロファイルを観測することにより、電子ビームのエネルギー広がりや水平エミッタンスを高速に診断するという特徴あるシステムの開発を進めている。この方法は、エネルギースペクトル測定から診断する方法と比べて、分光器のスキャンが不要であるため、リアルタイム診断が可

能であるという長所を持つ。この高速診断システムを用いて、不安定性、アバートなどの突発的現象が発生した際のビーム、また将来計画されているXFEL Cバンドライナックからの入射ビーム、あるいはレーザースライシングなどによって特殊な位相空間分布が形成されたビームなど、いわゆる非平衡状態のビームをターン毎に診断することを想定している。

高次光放射の空間的な広がり（角度発散）を支配しているのは、水平方向に関しては電子ビームの水平エミッタンスであり、垂直方向に関しては、通常電子ビームの垂直エミッタンスが非常に小さいことからエネルギー広がり支配している。開発している診断システムはこの特徴を利用したものであるが、このレポートでは、エネルギー広がり測定に関する部分についてのみ述べる。まず、高速のシステムを構築する前に、高次光垂直角度発散のエネルギー広がりに対する感度を実験的に確認することにした。

最小磁極ギャップ20mm (K=5.82) のときの19次光の空間プロファイル、露光時間が30msのX線CCDカメラ(浜松ホトニクス製C6086-13)を用いて観測した。蓄積リングのシンクロトロン振動数(2.2kHz)でRF電圧の位相に変調をかけてエネルギー振動を誘起し、30msの積分時間によって実効的にエネルギー広がりが増大してみえる状態で空間プロファイルを観測した。RF位相変調量に応じたエネルギー振動の振幅は、加速器診断ビームラインI (BL38B2)^[1]の可視光ストリークカメラを用いて測定した時間軸方向のビーム振動の振幅から換算された。図3に19次光の空間プロファイルの例を示す。位相変調量とともに垂直方向の幅も増大しており、エネルギー広がりに対して感度を有することが分かる。これらの空間プロファイルから得られた垂直角度発散(1 σ 相当)と実効的エネルギー広がりとの関係をプロットした感度曲線を図4に示す。感度曲線は2次関数的あり、その微分で表される感度係数は一定ではないが、SPring-8蓄積リングの通常運転時のエネルギー広がりである0.11%付近では、エネルギー広がり10%変化すると、垂直角度発散が4%程度変化している。また、感度係数はスペクトルバンド幅内の光子エネルギーにも依存する。エネルギー広がり0.11%付近の感度

$\delta E/E$: 0.138%相当 0.233%相当 0.340%相当 0.523%相当

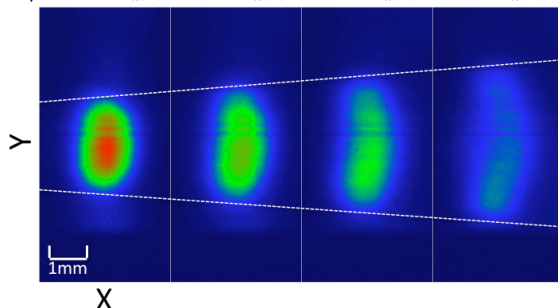


図3：観測した19次光(8.3keV)の空間プロファイル。ビームライン基幹部のスリットにより、水平方向の開口は4 μ radに絞られている。実効的エネルギー広がり増加とともに、垂直方向の幅も増えている。

係数の光子エネルギー依存性を図5(赤四角)に示す。実測した19次光のエネルギースペクトル(青丸)と比べると、感度が最も高いのはスペクトルのピークよりもやや高エネルギー側となっていた。

今後、この高次光空間プロファイルを用いて、エネルギー広がり、水平エミッタンスなどのターン毎診断システムの構築に必要な研究開発を進め、ハードウェアを整備する計画である。将来的には、縦横両方向の位相空間内のビームダイナミクスを同時に診断するシステムの構築を目指すつもりである。

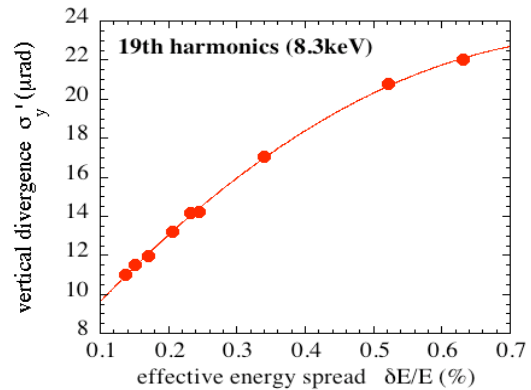


図4：実験的に得られた実効的エネルギー広がり19次光垂直角度発散(1 σ 相当)との関係。実線は2次関数によるフィッティングカーブ

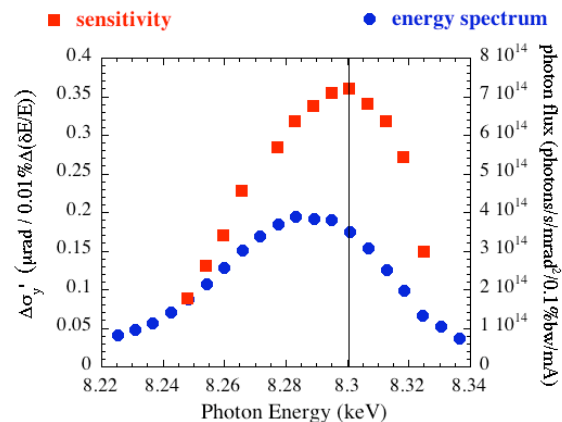


図5：エネルギー広がり0.11%付近における感度係数(赤四角)の光子エネルギー依存性。実測した19次光のスペクトル(青丸)とともに示す。

参考文献

- [1] S.Takano, et al., “Status of the SPring-8 diagnostics beamlines”, in these proceedings.
- [2] M. Masaki, et al., Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2005, p.657.
- [3] M. Yabashi, et al., Proceedings of SPIE Conference on X-ray Optics Design, Performance and Applications, Vol.3773 (1999), p.2.
- [4] T. Matsushita and H. Hashizume, “X-ray monochromators”, Handbook on Synchrotron Radiation, Vol.1, edited by E.E. Koch, (1983), p.269.