

STATUS OF THE SPRING-8 DIAGNOSTICS BEAMLINES

Shiro Takano^{A)}, Mitsuhiro Masaki^{A)}, Kazuhiro Tamura^{A)}, Akira Mochihashi^{A)}, Takeshi Nakamura^{A)}, Shinsuke Suzuki^{A)}, Masaya Oishi^{A)}, Masazumi Shoji^{A)}, Yukiko Taniuchi^{A)}, Yuichi Okayasu^{A)}, Shigeki Okajima^{B)}, Haruo Ohkuma^{A)}

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

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

^{B)}Center of Advanced Metrology, Chubu University

1200 Matsumoto-cho, Kasugai, Aichi, 487-8501

Abstract

SPring-8 has two diagnostics beamlines. At the beamline I, X-ray and visible synchrotron radiation (SR) from a bending magnet source are exploited for measurements of the beam size, the bunch length, and the bunch purity. The beamline II has an insertion device (ID) light source. By observing imprints of the electron beam on the spectral, spatial, and temporal characteristics of SR of the ID, transversal and longitudinal accelerator diagnostics are investigated. The maximum value of the deflection parameter K of the ID is 5.8, comparable to a multipole wiggler. Experiments of accelerator components subjected to SR such as photon absorbers are planned with the ID. Production of intensive 10 MeV γ -ray photons by backward Compton scattering of external FIR laser photons is being prepared at the beamline II, after success of the preliminary demonstrations at the beamline I.

SPring-8蓄積リング加速器診断ビームラインの現状

1. はじめに

SPring-8 蓄積リングでは、加速器診断I (BL38B2) と加速器診断II (BL05SS) の2本の加速器診断ビームラインが稼働中で、リングの安定化や短パルス放射光生成等高機能化を目指した加速器調整に必要なビーム診断、加速器の機器開発のための放射光照射実験、高エネルギー光子を生成するための研究などを進めている¹⁾。

加速器診断I (BL38B2) は偏向電磁石を光源とし、可視光線から硬X線（臨界光子エネルギー 28.9keV）までの放射光を利用して、電子ビームのサイズ測定、バンチ長測定、単バンチ純度測定等のビーム診断を行っている（図1）。

加速器診断II (BL05SS) では、蓄積リングの直線部に設置した挿入光源装置からの放射光と直線部の両端の偏向電磁石からのエッジ放射光とが利用可

能である。挿入光源装置はout-vacuum型で、磁石列を蓄積リング収納部内の現場で容易に交換可能な構造を持ち、装置全体を電子ビーム軸から退避することの出来るスライド式の架台の上に設置している。現状の磁石列は、周期長76mm、周期数51のマルチポールウィグラー型磁石列で、最大K値5.8での全放射光パワーは約10.4kW（100mA蓄積時）である²⁾。

加速器診断IIは、三つのハッチから構成される（図2）。このうち光学ハッチ1と光学ハッチ2が、稼働中である。前述の挿入光源装置からの白色X線を利用するフォトンアップソーバ等の照射実験が計画されている。光学ハッチ1には、照射する白色放射光の強度やスペクトルを調整するための、グラフアイトフィルターとアルミニウムのメタルフィルターが設置されている。光学ハッチ2には、SPring-8標準型に準拠した構造の二結晶分光器と単色X線を大気中に取り出すためのベリリウム窓が設置されている。挿入光源装置からの放射光を分光器を用いて単色化し、エネルギースペクトルや空間分布、時間構造を観測することにより、ビーム診断の研究を行っている。また、エッジ放射光を利用する研究として、コヒーレント放射光の探索を行った。加速器診断IIでは、3番目のハッチである実験ハッチに単色X線を導入してビーム診断等に利用するための機器の整備を進めている。平成22年4月に、実験ハッチを稼働させる予定である。また、大強度のMeVガンマ線を生成させるためのシステムの整備も進めている。

加速器診断ビームラインの現状と計画を報告する。

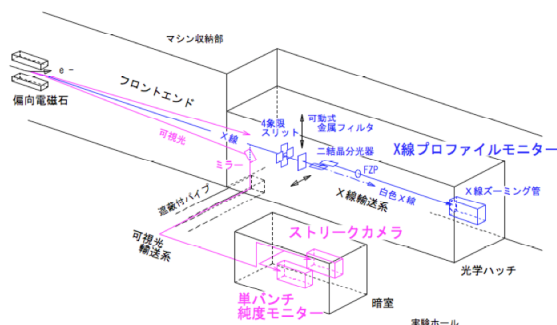


図1 加速器診断I (BL38B2)

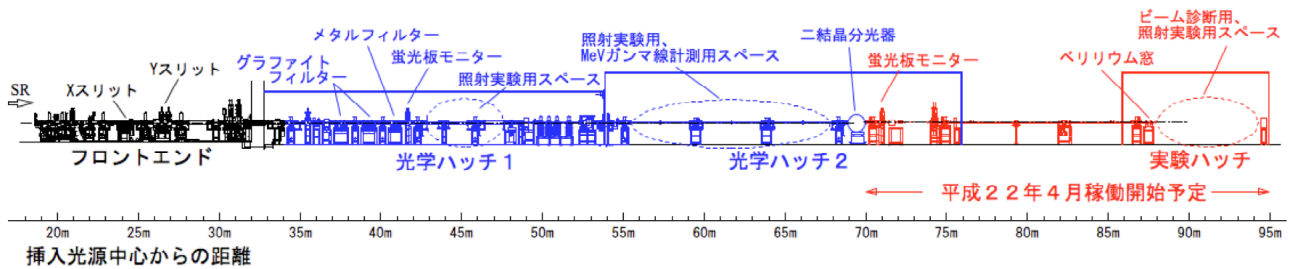


図2 加速器診断II (BL05SS)。二結晶分光器より下流側の機器と実験ハッチは、平成22年4月に稼働を開始する予定である。現在は、二結晶分光器に隣接してベリリウム窓を設置し、光学ハッチ2で単色X線を用いたビーム診断の研究を行っている。

2. ビーム診断

2.1 ビームサイズ、エミッタンスの測定

加速器診断IのX線プロファイルモニターは、二結晶分光器で8keVの光子エネルギーで単色化した放射光を、1枚のフレネルゾーンプレートを用いて電子ビームのX線像に結像させ、これをX線ズーム管で拡大して測定する装置である^[3]。蓄積リングの垂直エミッタンスを向上させるためのカップリング補正、ディスパージョン補正等のビーム調整時や、モーメントコンパクションファクター α を低下させてバンチ長を短くすることにより短パルスX線を生成させる低 α 試験運転時に、エミッタンス診断のためのビームサイズ測定を行っている。図3に、この低 α 試験運転時に測定したビームプロファイルを示す。水平ビームサイズ (σ_x) は216 μm であり、エミッタンス (ϵ_x) がユーザータイムの値3.4nm \cdot radから低 α 条件下でデザイン値どおりの25nm \cdot radに増大したことが確認された。現在、X線プロファイルモニターを常時モニターとして稼働させるために、X線ズーム管の入力光電面の長寿命化のための研究を、製作メーカーと共同で進めている。

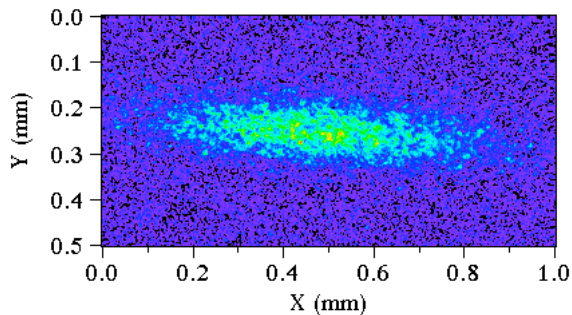


図3 低 α 運転時のビームプロファイル。

2.2 単バンチ純度の測定

加速器診断Iの単バンチ純度モニターは、高速ポッケルスセルを光シャッターに用いるゲート付き光子計数法を採用し、不純バンチに対する高い検出感度を実現している^[4]。ユーザータイム中の常時モ

ニターとして稼働し、トップアップ運転におけるバンチ純度の安定化に貢献している^[5]。

2.3 バンチ長測定、短パルスX線放射光の測定

SPring-8蓄積リングでは、短パルスX線放射光の生成を目指して、上で述べた低 α 試験運転や、垂直パルスキッカーを用いてバンチに垂直方向ヘッドテイル振動を励起する方法の試験を進めている^[6]。前者が電子ビームのバンチ長自体を短くする方法であるのに対し、後者は垂直ビームエミッタンスが小さい利点を生かし、垂直方向にヘッドテイル振動するバンチからスリット等を用いた切出しにより短パルスX線放射光を得る方法である。

加速器診断Iでは、可視光ストリークカメラを用いて、低 α 試験運転のバンチ長や垂直キッカーで励起されたバンチ振動の測定を行っている^[7]。加速器診断IIでは、X線ストリークカメラを用いて短パルスX線放射光のパルス長を直接測定することを計画している。このために必要な、X線ストリークカメラの時間分解能、検出効率等基本性能の評価実験を進めている^[8]。

2.4 挿入光源装置を用いるビーム診断の研究

挿入光源装置の放射光の角度分布やエネルギースペクトル等の特性を精度良く測定し、単一電子に対して理論的に予測される分布と比較することにより、電子ビームのエミッタンスやエネルギー広がり等のビーム診断を行うことが可能である。このためには、光源の誤差磁場が放射光の特性に及ぼす影響を抑えることが重要であり、加速器診断IIの挿入光源装置は組立の段階で入念な磁場調整を実施した。この光源のエネルギースペクトルを測定し、磁場測定データを元に電子ビームのエミッタンスやエネルギー広がり等を考慮して理論的に計算したスペクトルと比較した。両者は良く一致し、組立時の磁場調整・磁場測定が十分な精度で成されたことを確認した。現在、高次光の垂直方向の角度分布を観測して電子ビームのエネルギー広がり測定する研究を進めている^[9]。蓄積リングの安定化のため、ビーム不安定性のリアルタイム監視等を行う高速測定システムの開発を目指している。

2.5 コヒーレント放射光の探索

加速器診断IIでは、挿入光源装置を設置した直線部の上下流にある偏向電磁石の端部からの放射光（エッジ放射光）を観測することが可能である。直線部下流側の偏向電磁石の直下流には、後述するMeVガンマ線生成に必要な遠赤外レーザー光を導入するために、ミラーを格納したチェンバーが設置されている。このミラーを利用してエッジ放射光を大気中に取り出して、ミリ波の領域である50-75GHzと75-110GHzの二つの帯域で、検波器を用いてエッジ放射光の強度を測定した。図4に、単バンチ運転時のエッジ放射光強度の測定結果を示す。ビームの周回毎に測定したエッジ放射光の強度が時間的に変動していたので、時間平均した強度とビーム電流の関係を示す。強度が時間的に変動していたこと、平均強度がバンチ電流に単純に比例してはいないことなどから、単バンチビームの電流を増大させた時に生じるビーム不安定性に伴って発生したコヒーレント放射光を検出したと考えられる^[10]。

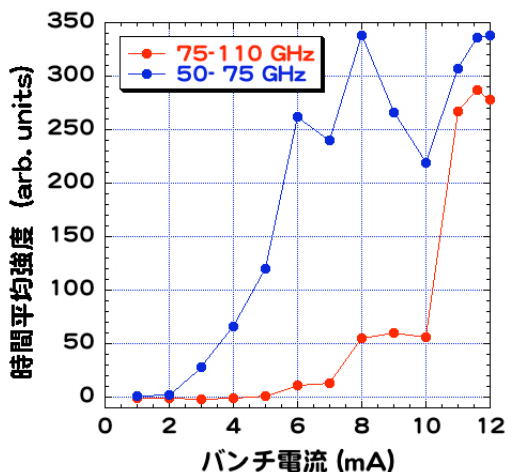


図4 単バンチ運転で測定エッジ放射光の強度

3. 照射実験

加速器の機器開発のため、放射光照射により機器の評価や放射線損傷調査等の実験を行っている。これまでに、加速器診断Iでは偏向電磁石光源の白色X線を用いて、4極電磁石コイルの放射線損傷の加速試験^[11]、フォトンアブソーバ冷却水の溶存酸素量等水質測定を行った。前者は、フォトンアブソーバからの散乱X線により生じたと考えられる蓄積リング4極電磁石コイルの放射線損傷を模擬した実験であり、後者は冷却水に放射光が照射される事により水路内の銅腐食が促進された現象の調査のための実験である。また加速器診断IIでは、偏向電磁石端部からの白色X線を用いて、蓄積リングで観測されたフォトンアブソーバからの散乱X線と光電子の影響によりヌード型B-A真空計が異常な圧力値を示す現象を解明するための実験を行った^[12]。加速器診断IIの光学ハッチ1及び光学ハッチ2では、より強度の大

きい挿入光源装置からの白色X線を用いて照射実験を行う環境を整備している。今後は、実際に蓄積リングで使われているフォトンアブソーバなどにこの放射光を照射して、放射光照射による脱ガス効果の測定、放射光の熱負荷によるアブソーバ受光体に生じる温度上昇、応力歪みの測定を行うための照射実験用チェンバーを整備し、蓄積リング光源の高輝度化などに対応するための技術開発を行う事を目指す。

4. MeVガンマ線生成

蓄積リングの8GeV電子ビームと遠赤外レーザー光との逆コンプトン散乱により、10MeV領域のガンマ線を生成させる計画を進めている。蓄積リングの運動量アクセプタンスがガンマ線の光子エネルギー比べて十分に大きいため、散乱により蓄積電子が失われず、蓄積ビームに殆ど影響を与えずにガンマ線を生成できる利点がある。また、生成されるガンマ線ビームは、高偏極かつ低エミッタンスという高品質であることが期待される。これまでに、CO₂レーザーで励起するメタノールを媒質とする高出力の遠赤外レーザーを開発して加速器診断Iに設置し、偏向電磁石セクションを相互作用領域とする試験的なガンマ線生成実験を行い成功を収めた^[13]。現在は、挿入光源装置の設置部分を含む約16mの直線部を相互作用領域として利用できる加速器診断IIにおいて、より大強度の10MeV領域ガンマ線を生成させる計画を進めている^[14]。

参考文献

- [1] M. Masaki, et al., Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2007, p.348.
- [2] M. Masaki, et al., Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2005, p.657.
- [3] S. Takano, et al., Nucl. Instr. and Meth. A556 (2006) p.357.
- [4] 青木毅、田村和弘、放射光 19 (2006) p.223.
- [5] Y. Kaji, K. Tamura, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2007, p.422.
- [6] C. Mitsuda, et al., "Development of kicker magnet for generation of short pulse synchrotron radiation in the SPring-8 storage ring", in these proceedings.
- [7] K. Tamura, et al., Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2008, p.695.
- [8] A. Mochihashi, et al., "Performance characteristics measurement of x-ray streak camera in SPring-8 beam diagnostics beamline", in these proceedings.
- [9] M. Masaki, et al., "Characterizations and applications of the insertion device of the SPring-8 diagnostics beamline II", in these proceedings.
- [10] T. Nakamura, et al., "Burst coherent radiation at the SPring-8 storage ring", in these proceedings.
- [11] K. Tsumaki et al., Proceedings of EPAC04 (2004) p.2359
- [12] M. Oishi, et al., J. Vac. Soc. Jpn. 51 (2008) p.52.
- [13] K. Kawase, et al., Nucl. Instr. and Meth. A592 (2008) p.154.
- [14] A. Mochihashi, et al., Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan 2008, p.713.