

STATUS OF ACCELERATOR BEAM DIAGNOSIS BEAMLIN I, II OF SPring-8 STORAGE RING

H. Ohkuma, S. Takano, M. Masaki, K. Tamura, T. Yorita, M. Shoji, M. Oishi, S. Suzuki, K. Kawase^(A)
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

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

^(A)Research Center for Nuclear Physics, Osaka University, Mihogaoka 10-1, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

Abstract

The accelerator diagnosis beamlines I and II of the SPring-8 storage ring have been presented. The beamline I has a bending magnet light source, and wide band spectral availability including visible/UV light, and soft and hard X-rays is expected. A visible light is transported from the optics hutch to a dark room located in the experiment hall. Single bunch impurity has been measured by a gated photon counting method, which utilizes fast Pockels cells for switching light pulses. X-ray imaging observation of the electron beam using a zone plate X-ray beam profile monitor is in progress in the beamline I. Construction of the beamline II is in progress. The frontend were installed in the accelerator tunnel. The radiation shielding hutches were built on the experimental hall. The beamline II has a straight section for an installation of insertion devices (IDs) as light sources. A design of the ID has been started. In our design, a magnet array of ID can be changeable easily in the accelerator tunnel. Study of production of 10MeV γ -ray photons is in progress in the beamlines I and II. The γ -ray photons are generated by backward Compton scattering of an optically-pumped far infrared laser photons by 8GeV electrons of the storage ring.

SPring-8蓄積リング加速器診断I およびIIの現状

1. はじめに

SPring-8蓄積リングは1997年に運転を開始した第3世代光源加速器である。SPring-8のビームライン計画には、始めの段階から加速器ビーム診断用の2本のビームラインの設置が盛り込まれていた。加速器診断Iと称する偏向電磁石からの放射光を取り出すビームラインの設計を開始したのは1998年であった。2001年には可視光を用いたバンチ純度の測定が開始された。その後、ストリークカメラを用いたバンチ長測定、冷却水の放射光照射による影響を調べる実験、FZPとX線ズームング管を用いたビームサイズ測定などが行われている。加速器診断IIは挿入光源などを設置できる約5mの直線部を有したビームラインであり、2001年から設計・検討を開始した。2004年現在では、放射光遮蔽ハッチ、基幹チャンネルの設置が終了して、上流部のハッチである光学ハッチの最前部に設置したチェンバ端のBe窓から直線部の上下流にある偏向電磁石からのエッジ放射光が取り出せる状態になっている。現在、磁石列を比較的容易に交換できる挿入光源の設計・製作を進めている。また、それに対応した基幹チャンネルに設置する放射光シャッターとなるアブソーバの製作も進行中である。遠赤外レーザーを用いた逆コンプトン散乱による10MeV領域の γ 線の生成試験が加速器診断Iで進行中である。将来はレーザーと電子ビームの相互作用領域が長く取れる加速器診断IIでも行う計画であり、一部のコンポーネントの設置が行われている。

加速器診断IおよびIIの全体についての現状を報告する。

2. 加速器診断I

加速器診断Iは、偏向電磁石からの放射光を利用してビームの診断等を行なうためのビームラインである。可視光からX線までの放射光によるビーム診断が可能のように、光源点から実験ホールに設置した光学ハッチ内のX線輸送チャンネルまでの間にBe窓を設置しておらず、超高真空仕様となっている。図1に加速器診断Iの基幹チャンネル部および放射線遮蔽光学ハッチ内のX線輸送チャンネル部の機器配置図を示す。

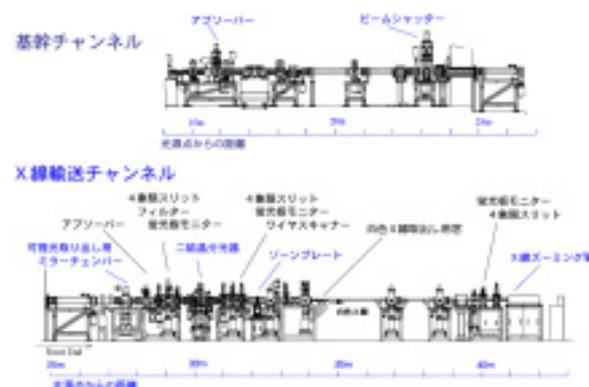


図1：加速器診断I：基幹チャンネルとハッチ内X線輸送チャンネル

可視光放射光を用いた計測の利便性のために、鉛で遮蔽された輸送管により、可視光成分を遮蔽ハッチの外へ取り出すを行っている。遮蔽ハッチ内のビームライン上流部に可視光取出し用のミ

ラーチェンバが設けられている。放射光の可視光成分の鉛直方向の角度拡がり、X線成分に比べて大きいことを利用し、放射光の鉛直分布の下側の裾部分を、反射面にアルミを蒸着した無酸素銅製のミラーによって下向きに反射させる事により、可視光成分を分離している。反射された可視光線は、遮蔽ハッチ床面のピットに設けられた可視光輸送管を通してハッチ外部の暗室になっている可視光実験室に導かれる。ハッチからの放射線の漏洩を避けるために、可視光輸送管はハッチ外で屈曲されており、全体を鉛で遮蔽している。可視光実験室では、ビーム調整やマシンスタディ等で、ストリークカメラによるパンチ長測定や2段のポッケルスセルと偏光子の組み合わせからなる高速光シャッター付き光子計数装置（立ち上がり時間1ns以下。シャッター開と閉の光子透過率の比である消光比 10^5 台）[1]による単パンチ純度測定等、電子ビームの縦方向（時間方向）についての診断が行われており、光源電子ビームの品質を高めるための、重要な知見が得られている。単パンチ純度の測定では蓄積電流1mAの単パンチに対して 10^{-10} 台の不純パンチ検出感度を達成している。

X線輸送部には、単色X線を得るための二結晶分光器、X線ビームを整形するための四象限スリット、X線ビームの位置を測定するための蛍光板モニターやX線強度を調整するためのフィルター、ワイヤスキャナー等が置かれている。二結晶分光器も超高真空仕様であり、シリコン単結晶の(111)反射により4keVから14keVまでの光子エネルギー範囲をカバーし、高次の(333)反射を用いることにより最大で42keVまでの単色X線が得られるように設計されている。分光器の第一結晶と第二結晶は、水冷された無酸素銅ホルダーにより間接的に冷却されている。二結晶分光器の下流側で白色X線が利用できるように、分光器真空チェンバ内で結晶及び結晶駆動機構を光軸から退避することが可能な構造となっている。

電子ビームのエミッタンス評価のために、X線放射光を結像させて光源ビーム像を観測するX線ビームプロファイルモニターを開発している[2]。図2に装置の概念図を示す。このビームプロファイルモ

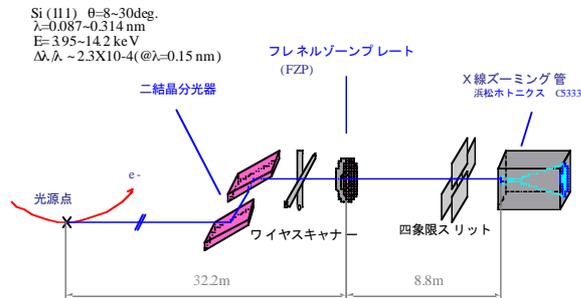


図2：位相型ゾーンプレートを用いたX線ビームプロファイルモニター

ニターは、微少な鉛直方向エミッタンスが精度良く評価可能なように $1\mu\text{m}$ の空間分解能(1s)を目標としており、二結晶分光器で得られた単色X線を位相型

ゾーンプレートを用いて結像し、光源電子ビームのX線像を最下流部に設置されたX線ズームング管により観測する。測定に用いる単色X線の光子エネルギーは約8keVである。ゾーンプレートの直径は1.4mm、ゾーン数468、最外ゾーン幅は $0.75\mu\text{m}$ 、材質タンタルの遮光部の厚さは $2\mu\text{m}$ である。これらのパラメータは、数値シミュレーションにより回折効率、色収差等結像性能の評価を行って決定した。二結晶分光器、X線ズームング管などの改良、最適化を行ってきた。図3に、最近のユーザータイム中に測定した電子ビーム像の例を示す。ビームサイズは、 $\sigma_x=144\mu\text{m}$ （水平）、 $\sigma_y=25\mu\text{m}$ （垂直）であった。垂直ビームサイズについては、二次元干渉計[3]など他の測定にくらべて大きめの値となっており、この原因等については調査をすすめている。

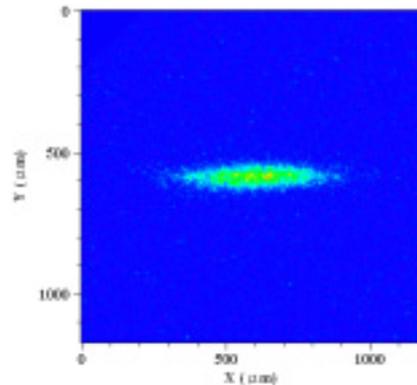


図3：X線ビームプロファイルモニターで測定した電子ビーム像の例

白色光を用いて、放射光による加速器コンポーネントの評価、また損傷の調査などの実験を行っている。具体的事例として、アブソーバからの散乱X線によると考えられる4極電磁石コイルの放射線損傷を模擬する加速試験を行った[4]。また、アブソーバの冷却水に放射光が照射される事による冷却水路内の銅腐食の加速を調べる事も行った。SPring-8では銅と純水が接している箇所放射光が照射されるとその腐食が非常に早く進行する現象が観測されている。原因を調査するために、冷却水照射用の水冷フランジを製作して測定を行った。原因の完全な究明は成されていないが、腐食には純水中の溶存酸素量が大きく関わっていて、放射光照射により溶存酸素量とpHが変化することが測定されている。詳細な実験を行うために、照射状態での冷却水の溶存酸素量、pH、電気伝導度の変化を測定するための装置の製作を行い、近々、測定を開始する。

白色光取り出し窓のすぐ上流部には実際に蓄積リングで使われているアブソーバなどを取り付けて白色光を照射することが出来るチェンバが設置されており、放射光照射による脱ガス効果の測定などが行われている。将来は、アブソーバの熱負荷による温度上昇、応力歪み、真空特性を詳しく実験的に評価出来るようにして、光源の高輝度化、高電流運転などに対応する技術開発を行う事を目指している。

3. 加速器診断II

もう1つの加速器ビーム診断用ビームラインである加速器診断IIは、挿入光源などを設置する事の出来る約5mの直線部を有している。建設途上であり、現在までに基幹チャンネル、放射線遮蔽ハッチの設置が終わり、蓄積リング収納部の遮蔽壁を抜けた光学ハッチの上流部にチェンバが設置されており、その端部に取り付けられたBe窓から、直線部の上下流の偏向電磁石エッジからの放射光が取り出せる状態になっている。この先のコンポーネントについては、現在検討中であり、加速器診断Iと同様に可視光からX線までの広範囲の放射光を用いたビーム診断などが出来るように、ビームラインの途中にBe窓を設ける場合には可動式とするなどの工夫をする。

光源の1つとして、直線部に設置する挿入光源の設計・製作が進行中である。この挿入光源装置は、比較的容易に蓄積リング収納部内の現場で磁石列を交換できるように設計している。図4に設計中の挿入光源装置を示す。図は電子ビームの進行方向に上流から下流を見た配置で示されている。磁石列交換の際には、挿入光源本体を左のメンテナンス位置に退避して、その作業を行う。更に、この挿入光源装置はそれ自体を直線部から撤去出来るようにも考えている。これにより、直線部には目的に応じた様々な装置が設置できるようになる。また、挿入光源用真空チェンバは直線部の中央部の約1.4mは矩形の断面を持つ単純な構造としてあり、試験的な装置の設置に対応できるように考えてある。

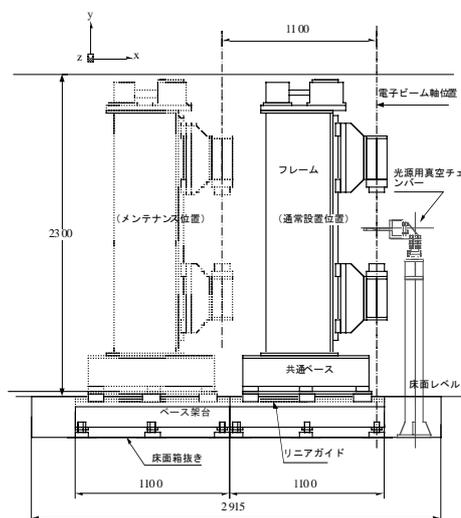


図4：加速器診断IIに設置される挿入光源装置の概念図

挿入光源本体と共に最初に製作する磁石列は multi-pole wiggler type のものを考えている。これからの放射光による熱負荷に耐えうる基幹チャンネルアップソーバの製作も進めている。高熱負荷に耐えるために斜入射で放射光を受けるが、長手方向のコンパクト化のために、アップソーバを2段に分けてタンデムに2つ配置する設計とした。

4. 遠赤外レーザーを用いたγ線の生成

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領域の狭い角度拡がりを持った直線偏光または円偏光のγ線を生成する試験を行っている。MeV領域γ線を利用した核物理、核物性等の研究の展開が期待されるだけでなく、生成されたガンマ線の偏光度の測定などから電子ビーム診断を行うことも考えている。SPRING-8で遠赤外レーザーコンプトンを行うメリットとして、SPRING-8蓄積リングの運動量アクセプタンスによるエネルギー巾が十分に広い(±200MeV)ので逆コンプトン散乱により蓄積電子が失われることがなく、蓄積ビームに影響を与えない事がある。また、高エネルギー低エミッタンスの電子との相互作用であるので、生成γ線の角度拡がりも従来にない小さいものとなる。

これまでに、CO₂レーザー励起の高出力の遠赤外レーザーの開発を行ってきた。CH₃OHを媒質とした遠赤外レーザーで高出力が得やすい118.8μmの連続発振において、出力ミラー直近で約1.6Wの出力が得られている。

長波長レーザーである遠赤外レーザー光は回折拡がりが大きいため、実験ホールに設置された遠赤外レーザーからの光を、乾燥空気を中に流したアクリル製の中空光導波管を用いて伝送している。蓄積リング収納部への導入には、遮蔽壁天井部の貫通孔に光導波管を通して行っている。基幹チャンネルの途中に設置された真空中に最終ミラーを格納したチェンバの窓からレーザー光を入射する。現在、基幹チャンネル上流部での遠赤外光のプロファイルを測定するモニターの製作などを行い、試験的なガンマ線生成試験を開始している。

遠赤外レーザーを用いた逆コンプトン散乱による10MeV領域のγ線生成を加速器診断IIで行う計画を進めている。電子ビームとの相互作用領域になるべく近い所から効率よくレーザー光を導入するために、チェンバ内に可動式ミラーを組み込んだ蓄積リング真空系の一部であるクロッチチェンバを製作し、蓄積リングに組み込みを行った。加速器診断IIは先に述べたように約5mの直線部を有しており、レーザー光の高効率導入と組み合わせることにより、高強度のγ線生成が期待できると考えている。

参考文献

- [1] K. Tamura, T. Aoki, "Single Bunch Purity During SPRING-8 Storage Ring Top-up Operation", these proceedings.
- [2] S. Takano, et al., Proc. 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tsukuba, (2003) 491.
- [3] M. Masaki and S. Takano, J. Synchrotron Rad. **10** (2003) 295.
- [4] K. Tsumaki et al., "Radiation Damage of Magnet Coils due to Synchrotron Radiation", presented at EPAC04, 5 to 9 July, 2004 Lucerne, Switzerland.