

STATUS OF THE X-RAY BEAM IMAGER OF THE SPRING-8 STORAGE RING

Shiro Takano¹, Mitsuhiro Masaki, Haruo Ohkuma
Japan Synchrotron Radiation Research Institute
SPring-8, Koto, Mikazuki, Hyogo, 679-5198, Japan

Abstract

The X-ray beam imager (XBI) of the SPring-8 storage ring is briefly described. It has been developed for transversal profiling of the electron beam. It is based on a single Fresnel zone plate (FZP) and an X-ray zooming tube (XZT). The spatial resolution is $4 \mu\text{m}$ (1σ), and the time resolution is 1 ms. The field of view is larger than $\phi 1.5 \text{ mm}$. With the XBI, we have successfully observed the profiles of the electron beam having vertical emittance smaller than $10 \text{ pm}\cdot\text{rad}$.

SPring-8蓄積リングX線ビームプロファイルモニターの現状

1. はじめに

SPring-8の8GeV電子蓄積リングは、1997年に稼働を始めた第3世代放射光源である。光源加速器のビームのプロファイルやエミッタンスは、輝度等の放射光の性能に直接関係する、重要なパラメータである。我々は、SPring-8の電子ビームのプロファイルを測定するために、X線ビームプロファイルモニター(XBI: X-ray Beam Imager)の開発を計画した^[1]。エミッタンス診断の分解能として $1 \text{ pm}\cdot\text{rad}$ 以下を達成するために、XBIの空間分解能 (1σ) は数 μm 以下を目標とした。また、ビームモニターとしての汎用性を考慮して、時間分解能 1 ms 以下、視野の大きさ $\phi 1 \text{ mm}$ 以上を目標性能とした。開発した

XBIは、SPring-8の加速器診断ビームラインI (BL38B2) に設置し、ビームプロファイル測定をすすめながら装置の性能確認等を行なってきた。XBIの装置、及びこれまでの実験で得られた結果については、文献^[2]で詳細に報告する予定である。本稿では、XBIの現状について概略を紹介する。

2. X線ビームプロファイルモニター(XBI)

加速器診断ビームラインIは、偏向電磁石を光源とする臨界光子エネルギー28.9 keVの放射光を利用した、各種ビーム診断等を行なうビームラインである。図1にビーム診断系の主要な機器の配置を示す。XBIを構成する各機器は、全て光学ハッチの内部に

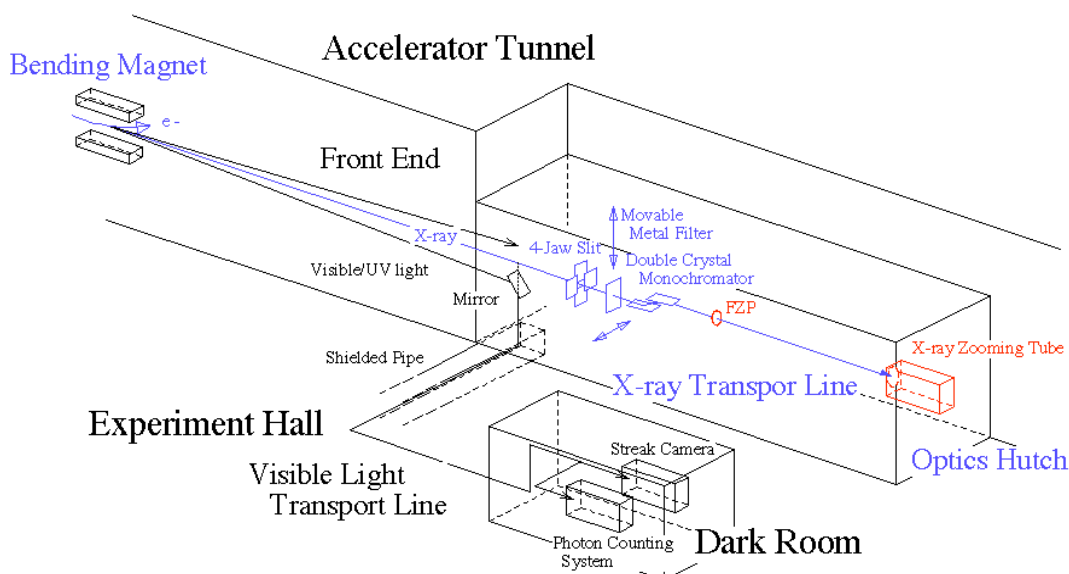


図1: SPring-8の加速器診断ビームラインI (BL38B2)。ビーム診断系の主要機器の配置を示す。

¹ E-mail: takano@spring8.or.jp

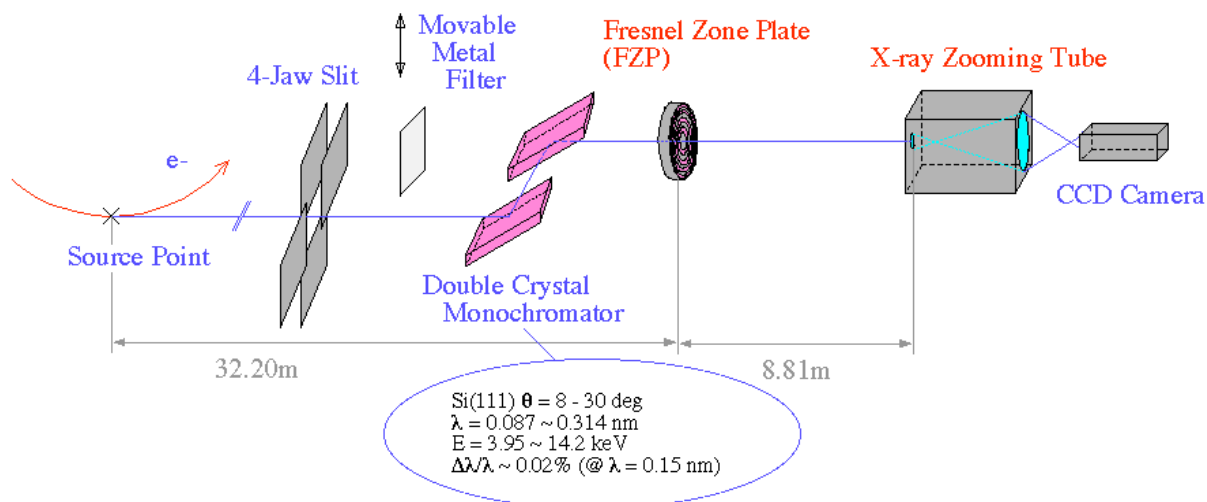


図2: X線ビームプロファイルモニター (XBI) の機器構成

設置されている。図2に、XBIの機器構成を示す。偏向電磁石光源点での電子ビームのX線像を得るための光学素子として、フレネルゾーンプレート(FZP)を用いている。FZPの色収差の影響を避けるために、二結晶分光器を用いてX線を単色化している。4象限スリットは、分光器に入射する白色X線の開口を制限し、結晶への不要な熱負荷を避けるために用いている。FZPにより得られた電子ビームの縮小X線像(倍率0.274倍)を拡大するための機器として、X線ズーム管(XZT)を採用した。測定を行なう光子エネルギー8.2 keV(波長0.15nm)は、空間分解能と、FZP及びXZTの効率等を考慮して選んだ値である。

FZPは、NTTアドバンステクノロジー社製である。仕様を表1に示す。XBIに用いているFZPの特徴は、最外殻ゾーンの幅が0.75 μm と大きいことである。ゾーン幅がこの程度に大きなFZPには、既存の技術で容易に製作可能であること、また、理論的な回折限界分解能が達成可能であること等の利点がある。

XZT(Hamamatsu Photonics K. K., V4410)は、入力光電面上のX線像を内部で拡大し蛍光面から可視光像として出力する機器である。仕様を表2に示す。ビームプロファイル測定では、倍率を50倍としてい

表1: フレネルゾーンプレート(FZP)の仕様

光源点からの距離	32.20 m
直径	1.4 mm
焦点距離 ¹	6.92 m
ゾーン数	468
最外殻のゾーン幅	0.75 μm
吸収ゾーンの材質	Tantalum (2.0 μm thick)
回折効率 ¹	32 %
倍率	0.274
空間分解能 (1 σ) ¹ σ_{FZP}	1.5 μm

¹ 光子エネルギー8.2 keV(波長0.15 nm)での理論値。

る。光電面の材質はCsI(厚さ300 nm)である。XZTの時間応答は、蛍光面の時間特性により決まるので、減衰時間が100ns(100%から10%)と速いP-47を蛍光面の材質に選んだ。XBIの空間分解能に対するXZTの寄与分 σ_{XZT} は、実験から3.8 μm と求めた^[2]。光電面が強いX線ビームに照射された場合に生じる劣化を避けるために、ビーム電流が10mAを超える場合には、金属フィルター(アルミ箔)を用いてXZTへの入力を減光している。

XZTから出力された電子ビームの可視光像は、倍率1/3のリレーレンズを介してCCDカメラ(Hamamatsu Photonics K. K., C4742-95)を用いて測定している。XBIの視野は、CCDカメラの有効面積8.6mm \times 6.9mm(1280 \times 1024ピクセル)により1.9 mm \times 1.5 mmとなり、目標とした ϕ 1.0 mmよりも広い視野が実現されている。CCDカメラの露光時間は、電子シャッターにより0.1 msから10 sの範囲で可変である。現状では、XZT光電面での光の強度が制限されているため、XBIの時間分解能は1 msとなっている。

3. 測定結果

XBIで測定したSPring-8の電子ビームの二次元像を図3に、水平、鉛直の各方向に射影した一次元ビー

表2: X線ズーム管(XZT)の仕様

光源点からの距離 ¹	41.01 m
入力光電面	Cesium iodide (0.3 μm thick)
出力蛍光面	P-47 phosphor
倍率	50 ² (10~200)
空間分解能 (1 σ) ³ σ_{XZT}	3.8 μm

¹ 入力光電面での値。

² ビームプロファイル測定時の値。

³ XBIの空間分解能への寄与分(測定値)。

ムプロファイルを図4に示す。リングのオプティクスは、低エミッタンスオプティクス^[1]と呼んでいる直線部に分散を漏らすことにより低エミッタンスを実現したものである。フィリングパターンは、いわゆるマルチバンチ（連続した160バンチから成るバンチ列を、等間隔に12個配置したパターン。バンチの総数は1920バンチ。）で、ビーム電流は全体で10mA、バンチ当たり5 μ Aである。挿入光源の磁極ギャップは全て開き、その影響が最も少ない状態で測定を行なった。CCDカメラの露光時間は1msで、金属フィルターは使用していない。

測定されたビームサイズは、水平方向が $\sigma_x = 112.8 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 、鉛直方向が $\sigma_y = 14.21 \pm 0.06 \mu\text{m}$ であった。ビームサイズは、XBIの空間分解能（ σ_{YZP} と σ_{XZT} の二乗和）を差し引いた値である。サイズの誤差は1 σ の統計誤差であり、システムティックエラーは含まれていない。光源点でのベータatron関数、デイスパージョン関数の値、ビームのエネルギー拡がりの

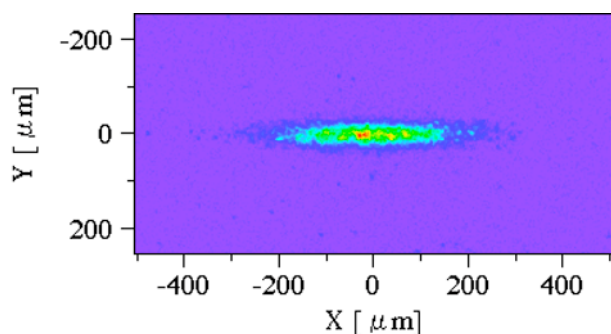


図3: XBIで測定したSPring-8の電子ビームの像

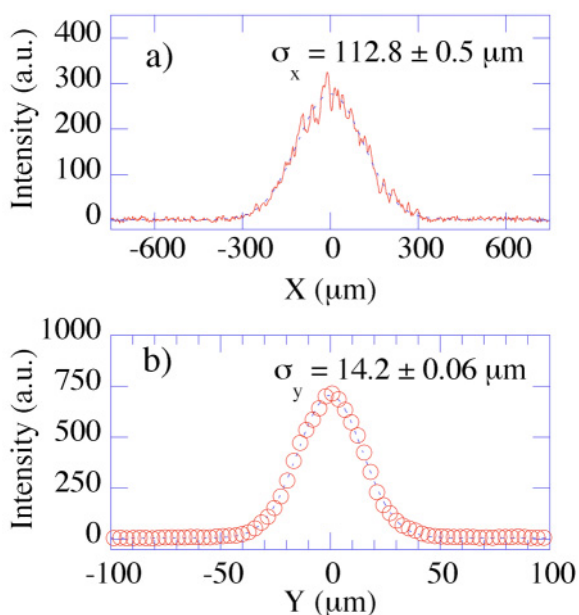


図4: 水平方向(a)、鉛直方向(b)の一次元ビームプロファイルと、データにフィットされたガウスプロファイル（破線）

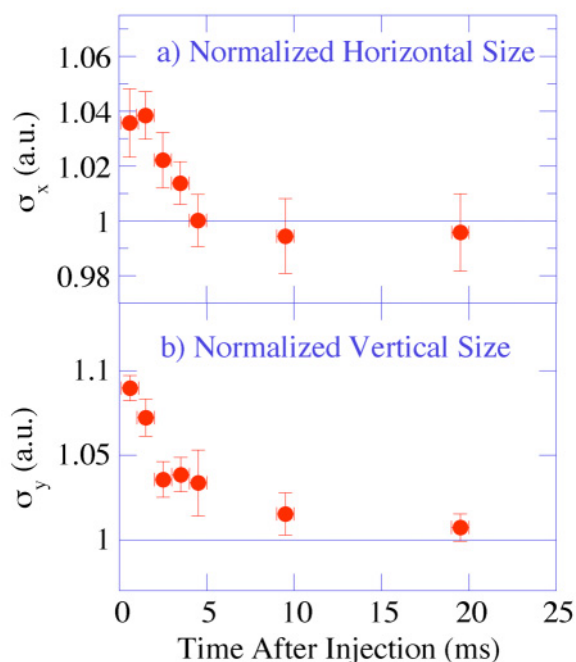


図5: トップアップ運転時に測定した、ビーム入射直後の実効ビームサイズの時間変動

値としてデザイン値を用いて、ビームサイズからエミッタンスを計算すると、水平方向 $\epsilon_x = 3.29 \pm 0.05 \text{ nm}\cdot\text{rad}$ 、鉛直方向 $\epsilon_y = 7.26 \pm 0.06 \text{ pm}\cdot\text{rad}$ となった。サイズから求めた水平エミッタンスは、デザイン値 $3.4 \text{ nm}\cdot\text{rad}$ と統計誤差 2σ の範囲で一致している。

XBIの時間分解能（1ms）を利用して、トップアップ運転^[4]時に、ビーム入射直後の実効ビームサイズの振る舞いを調べた（図5）。縦軸は、入射の影響の無い時の蓄積ビームの値で規格化した値である。放射光ユーザー利用実験の支障となる程の大きな量ではないが、ビーム入射の直後に実効ビームサイズが変動する様子が観測された。

4. 今後の計画

XBIの測定精度を向上させて更に微少なビームサイズを測定可能とするための空間分解能のキャリブレーション、時間分解能を向上させるためのXZTの入力光電面の改良等を、検討している。また、常時モニターとして稼働させるために必要な、データ収集・制御系の整備を計画している。

参考文献

- [1] S. Takano et al, DIPAC'01, Grenoble, 2001, p.145.
- [2] S. Takano et al, submitted to Nucl. Instr. and Meth. A.
- [3] M. Takao et. al., "Progress toward Brightness Improvements at the SPring-8 Storage Ring", APAC'04, Gyeongju, in the press.
- [4] H. Tanaka, et al., EPAC'04, Lucerne, 2004, p.222.