

RECENT PROGRESS OF A HIGH RESOLUTION BEAM PROFILE MONITOR USING ZONE PLATES

Hiroshi Sakai^{*A)}, Norio Nakamura^{A)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Toshiya Muto^{B)}

A) ISSP, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8581

B) KEK, 1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

We present the recent progress of the FZP (Fresnel Zone Plate) beam profile monitor constructed at KEK-ATF damping ring. This monitor based on an X-ray imaging optics with two FZPs^[1]. In this monitor, the transverse electron beam image at bending magnet is twenty-times magnified by the two FZPs and detected on an X-ray CCD camera. The expected spatial resolution is less than $1\mu\text{m}$. Recently, we install the new mechanical shutter in order to avoid the unexpected 100Hz vibration. By applying this shutter, the shutter opening time was reduced less than 1ms and the 100Hz vibration could be neglected on the beam profile measurement. In this paper, we report the new shutter performance and the measurement results of beam profile by the improved FZP beam profile monitor.

ゾーンプレートを用いた高分解能ビームプロファイルモニタ開発の現状

1. はじめに

KEK-ATF ダンピングリングはリニアコライダ用の超低エミッタンスビームを生成するリングであり、ビームサイズは水平方向約 $50\mu\text{m}$ 、垂直方向 $10\mu\text{m}$ 以下である。本モニター(以下「FZP モニター」)はこのような極小ビームのプロファイルをモニターするために建設されたものである。FZP モニターの全体図を図1に示す。このモニターは2つのフレネルゾーンプレート(以下「FZP」)で構成されるX線結像光学系を基本とし、電子ビームからの放射光をSi結晶分光器にて 3.235keV のX線に単色化し、2つのFZP(図1中の「CZP」、「MZP」)にて、X線 CCD カメラに結像する。これにより CCD 上では20倍に拡大したビームイメージが得られ、空間分解能ではガウス分布でサブミクロンレベルに設計されている^[2]。

これまでの経緯として、2002年にモニター用のビームラインが建設され、本モニターにて、 $10\mu\text{m}$ 以下のビームプロファイルが測定された^[1]。その後、Si 分光器のドリフトの抑制及び安定化を行い、X線の光軸の安定化により、長期に渡り、安定な測定が可能になった^[3]。またCZP、MZPのホルダーを抜き差し可能に改善することにより、SR光を直接 CCD 上にて測定が可能になり、X線の光軸のアラインメントが飛躍的に向上した。その結果、光軸のずれにより生じるFZPでの光学収差の影響が無視できるようになった^{[2], [3], [4]}。またマスクなどによるバックグラウンドの

低減などの改良を施し、2004年には水平方向 $50\mu\text{m}$ 、垂直方向 $7\mu\text{m}$ 程度のビームサイズが安定に得られるようになった^[5]。但し、最近になり詳細測定を行うことで、FZP モニターにて、100Hzのビーム位置の振動が観測された。振動の振幅(r.m.s)はビームに焼き直して $5\text{--}6\mu\text{m}$ と大きく、FZP モニターのシャッター開口時間(20ms)ではビームサイズの測定を行う上で無視できない。FZP や Si 分光器及び、CCD の振動を振動計にて個々に調べた結果では振動のビームサイズ測定に対する影響は $1\mu\text{m}$ 以下であり、今のところモニターから発生する振動ではない^[5]。ただ振動の原因はわかっていない。そのため、この振動の影響を無視できるようにするために我々はシャッター時間の短い新しいシャッター(開口時間1ms以下)の導入を行った。

以下、新しいシャッターの性能評価、及び、新しいシャッターを用いたビームサイズ測定の結果と評価について詳細を述べていく。

2. 新しいシャッターの性能評価

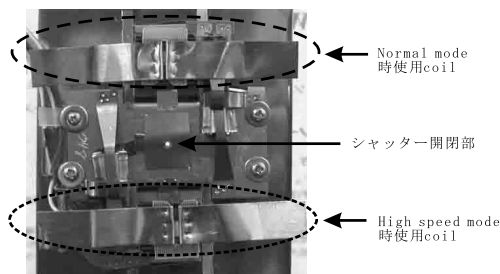


図 2: シャッター写真。

現在使用している CCD カメラは背面照射型を使用しており、最小露光時間は20msである。フルフレーム転送であるため、データ転送中に CCD 面に X 線が入ることを防ぐ必要上、CCD の前面に配置されたメカニカルシャッターとの同期により、データ転送中の X 線を除去していた。前回までのシャッター開

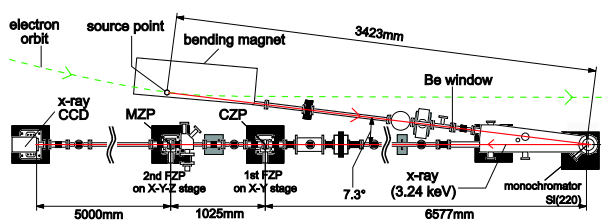


図 1: FZP モニターの全体像

* E-mail: hrsakai@issp.u-tokyo.ac.jp

口時間は最小 6ms であったが、CCD の露光時間と同期しており、実質最小 20ms で運転していた。但し、6ms でも 100Hz 振動の除去は難しく、開口時間をより短くするため新たに口径の小さなシャッター ($\phi 1\text{mm}$) を採用した。またそれに応じて、CCD の改良も行った。図 2 が今回導入した新しいメカニカルシャッター [UHS1ZM2 (Vincent 社)] である。コイルを用いた電磁シャッターであり、カタログ値で通常最小 1ms のシャッター開口時間を有する。

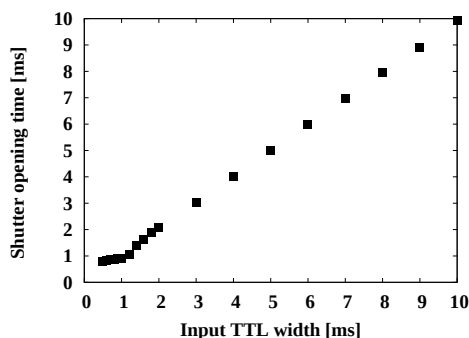


図 3: 入力パルス幅に対するシャッター開口時間。

インストール前にシャッター開口時間の測定を行った。開口時間は送る TTL のパルス幅にて制御され、シャッターの開閉を行う。開口時間の測定にはシャッターを通過するレーザーのシグナルを検知する方法を用いた。図 3 がその測定結果である。TTL のパルス幅 (図 3 横軸) に比例して、開口時間 (図 3 縦軸) が変化しているのがわかる。また 1ms 以下では開口時間は減少しなかった。但し、このシャッターは、通常 mode (Normal mode) 以外に図 2 に示すように 2 つのコイルを用いる mode (High speed mode) があり、その場合には 0.3ms の開口時間を実現していた。

3. ビームプロファイル測定

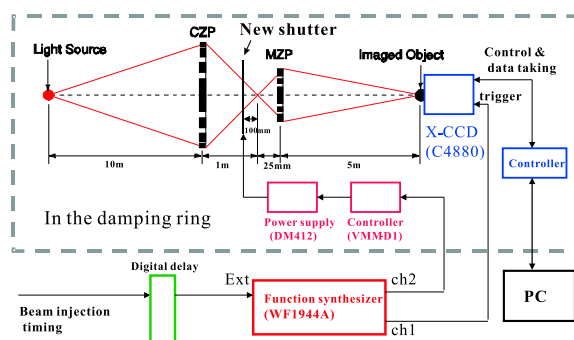


図 4: FZP モニター模式図&ブロックダイアグラム。

新しいシャッターをインストールし、ビームプロファイル測定を行った。図 4 が FZP モニターの模式図とそのブロックダイアグラムである。シャッターは FZP の間の焦点部分に近い場所に設置した。集光された X 線の幅はその場所では全幅でおよそ $300\mu\text{m}$ であり、 $\phi 1\text{mm}$ のシャッター開口部で問題ない。トリガー

は電子ビームの入射と同期しており、digital delay を経て、Function synthesizer にてシャッターと CCD 本体に分配される。2 つのトリガータイミング、パルス幅は独立に変化させることが可能である。

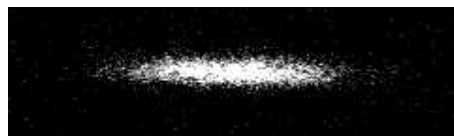


図 5: 新しいシャッターによるビームプロファイル

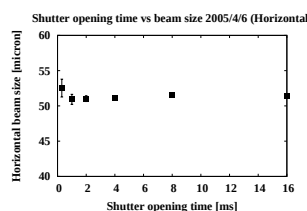


図 6: シャッター開口時間 vs 水平ビームサイズ

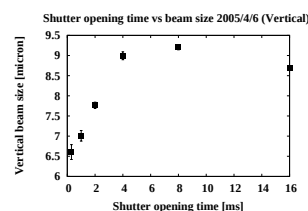


図 7: シャッター開口時間 vs 垂直ビームサイズ

新しいシャッターを導入した時のビームプロファイルを図 5 に示す。開口時間は 1ms であるが、クリアなビームプロファイルが得られた。このプロファイルが開口時間を変えることでどのように変化するかを測定した。図 6、7 がそれぞれ開口時間を変化させた時の水平方向、垂直方向のビームサイズの変化を示す。開口時間の変化に対し、水平方向のビームサイズは変化しないのに対し、垂直方向は減少しているのがわかる。100Hz 振動の影響と思われるため、開口時間を 1ms に固定し、トリガータイミングを 2ms 毎に変化させ、その時のビームプロファイルの位置の変化を測定した。図 8、9 がそれぞれ水平、垂直方向の CCD 上のビーム中心位置の変化である。トリガータイミングに同期してビーム位置が変化した。図 8、9 上で sin 関数にて fit したところ 100Hz の振動であることがわかった。振幅はビームに焼き直してそれぞれ r.m.s にて $10\mu\text{m}$ 、 $5.5\mu\text{m}$ であった。この振動の影響で図 7 で開口時間が 4ms 以下から徐々に垂直方向の測定サイズが小さくなっていくのがわかる。また、図 7 の測定後、トリガータイミングを図 9 から最適化することで 1ms でも 0.3ms と同等のサイズが得られ、振動の影響を無視できることが判明した。

シャッター開口時間を 1ms にして測定した結果の

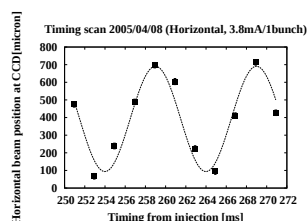


図 8: トリガータイミング vs 水平ビーム位置。

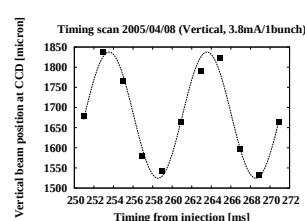


図 9: トリガータイミング vs 垂直ビーム位置。

妥当性を評価するため、測定場所の β 関数と分散関数を測定し、ダンピングリングの lattice から SAD にて intra beam scattering の効果を入れた計算結果を用いて、ビームサイズの比較を行った。図 10、11 がそれぞれ水平、垂直方向の測定したビームサイズ（図中の data）と SAD から得られる計算値（図の実線及び点線）との比較である。横軸はビーム電流。縦軸がビームサイズを示す。測定結果はカップリングが 0.3~0.6% の計算値の範囲内で水平、垂直共に合致する。これと同時に測定したエネルギー幅の測定結果（図 12）も 0.3~0.6% のカップリングの計算結果の範囲内であり、3 つの測定結果はカップリングが 0.3~0.6% の仮定の範囲内にて矛盾なく説明できる。

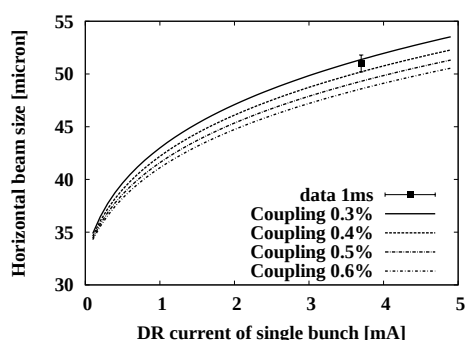


図 10: 水平方向ビームサイズと計算の比較。

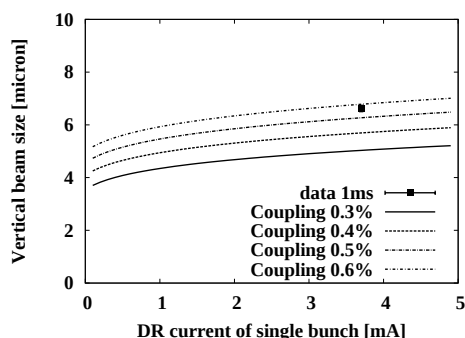


図 11: 垂直方向ビームサイズと計算の比較。

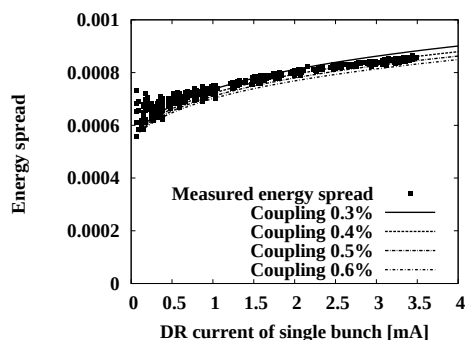


図 12: 測定エネルギー幅と計算の比較。

4. 放射減衰時間の測定

FZP モニターは測定サイズのダイナミックレンジが幅広くダンピングリングの放射減衰時間の測定に最適である。なおかつシャッター開口時間が 1ms と小さくなったため、より精度の良い測定を行うことが可能となった。今年から始まった wiggler を入れた運転では減衰時間が短くなる効果が予測されるため、その短い減衰時間を測定し、wiggler を入れたダンピングリングの性能を評価することが重要である^[6]。図 13 はそれぞれ wiggler ありなしでの垂直方向の放射減衰時間の測定結果である。横軸は入射からの時間、縦軸は垂直方向のビームサイズを表している。図 13 の実線にて fitting をした所、減衰時間は wiggler なし (off) で $(30.9 \pm 0.6)\text{ms}$ 、wiggler あり (on) で $(20.7 \pm 0.8)\text{ms}$ となり、減衰時間が小さくなる効果が測定されているのがわかった。また設計値はそれぞれ 28.5ms、21.1ms であり、測定結果とほぼ一致しているのがわかった。

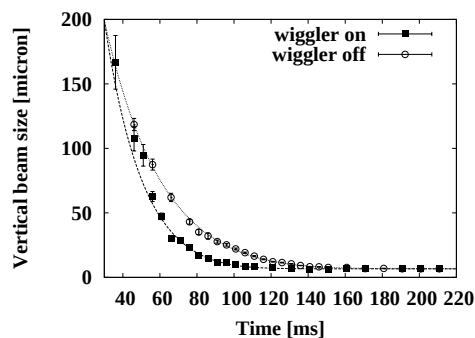


図 13: 垂直方向の放射減衰時間の測定結果。

5. 結論

新しいシャッターの導入を行いビームサイズ測定を行った。1ms のシャッター開口時間にてビームサイズ測定を行い、100Hz 振動の除去が可能になり、測定の精度が向上した。測定結果はカップリングを 0.3~0.6% に仮定した計算結果と一致していた。また、ダンピングリングの放射減衰時間の測定結果は Wiggler ありなしの場合にて設計値とほぼ一致していた。今後、100Hz 振動の原因についてさらに調査する。

参考文献

- [1] K.Iida, et. al., NIM A506 (2003) 41-49
- [2] T.Muto, et. al., “フレネルゾーンプレートを用いたビームプロファイルモニタの性能評価”, in these proceedings.
- [3] T.Muto, et. al., Proc. of the 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tsukuba, 2003, p476
- [4] M.Fujisawa, et. al., to be submitted to NIM A.
- [5] N.Nakamura, et. al., Proc. of EPAC04, Lucerne, 2004, p2353.
- [6] T.Naito, et. al., Proc. of PAC05, Knoxville, 2005, to be published.