

DEVELOPMENT OF COMPACT LASER WIRE MONITOR FOR SMALL STORAGE RING

Satoshi Hashimoto^{1,A)}, Kazuhiko Aoki^{B)}

A) NewSUBARU, Laboratory of Advanced Science and Technology, Univ. of Hyogo
1-1-2 Kamigori, Ako, Hyogo, 678-1205

B) Graduate School of Engineering, Univ. of Hyogo
2167 Shosha, Himeji, Hyogo, 671-2280

Abstract

To measure an electron beam profile in a synchrotron radiation source, we developed a compact laser wire monitor. The monitor with single-pass laser optics is suitable for small electron storage rings. We can measure vertical beam size during the top-up operation by masking noise signal, which arises from betatron oscillation just after a beam injection.

中小型放射光リングに適したレーザーワイヤモニターの開発

1. はじめに

ニュースバル放射光リングは周長118mのレーストラック型で14mの長直線部の一つには10.8mの長尺アンジュレーター (Long Undulator, LU) が挿入されている。電子ビームエネルギーは1.0~1.5GeVで、現在、1.0GeVでの利用運転中には220mAでTop-up運転が行われている。

安定かつ高品質な放射光の発生の為にはビームプロファイルの計測が非常に重要である。ビームサイズ計測方法の一つにレーザーワイヤモニター^[1]がある。細く絞ったレーザー光 (ガウス分布 σ_L) を電子ビームに対してスキャンさせて発生した逆コンプトン γ 線の分布 (σ_γ) を計測することにより、微小な電子ビームサイズ (σ_e) を $\sigma_\gamma^2 = \sigma_e^2 + \sigma_L^2$ から評価する事が出来る。放射光可視成分の直接観測や干渉計は光軸調整の手間が必要であるのに対し、レーザーワイヤモニターは測定原理が単純で高精度で測定できるという利点がある。

ニュースバルでは電子ビームの垂直方向サイズを計測するためにレーザーワイヤモニターを開発している^[2]。本レーザーワイヤモニターは光共振器を使用しないシングルパス型のコンパクトな構造で省スペースかつ安価であり、中小型放射光リングに適したモニターである。本発表では中小型放射光リングに適したレーザーワイヤモニター開発の現状、およびTop-up運転への対応について報告する。

2. モニターの概要

レーザーワイヤモニターの全体図を図1に示す。波長1064nm、パワー700mWのCW赤外線レーザー (LIGHTWAVE 125) を使用した。レーザー光はビームエキスパンダーでビーム径を20倍程度に拡大した後、焦点距離600mmの凸レンズを用いて電子ビームとの衝突点付近で集光させる。図2にスリット法で測定したレーザー光のプロファイルを示す。レーザー長は2.1mm、ビームウェスト $2\sigma_L = 28\mu\text{m}$ であり、設計値とよく一致している。細く絞ったレーザー光はビューポートを通して水平方向に蓄積リングの真空チェンバー内に入射され、ビームウェストで電子ビームと衝突する。光学系は共振器構造ではなくシングルパス型であるので、レーザー光はリング真空チェンバーの反対側のビューポートから通過した後、ダンパーで吸収される。全ての光学素子は30cm平方の光学板上にコンパクトに配置され、光学板はZステージにより垂直方向に1マイクロステップで上下する事が出来る。

逆コンプトン散乱により発生した γ 線粒子は衝突点から約10m下流に設置したNaI検出器で観測される。制動放射による γ 線のバックグラウンド成分を低減するために、2つの鉛コリメータ (22mm ϕ 、5mm ϕ) を設置し、またNaIの周囲も鉛ブロックで覆われている。

NaI検出器の信号はプリアンプおよびアンプ (ORTES 671 Amplifier) で増幅された後、シングルチャンネルアナライザー (ORTEC 550A SCA) によりコ

¹ E-mail: hashi@lasti.u-hyogo.ac.jp

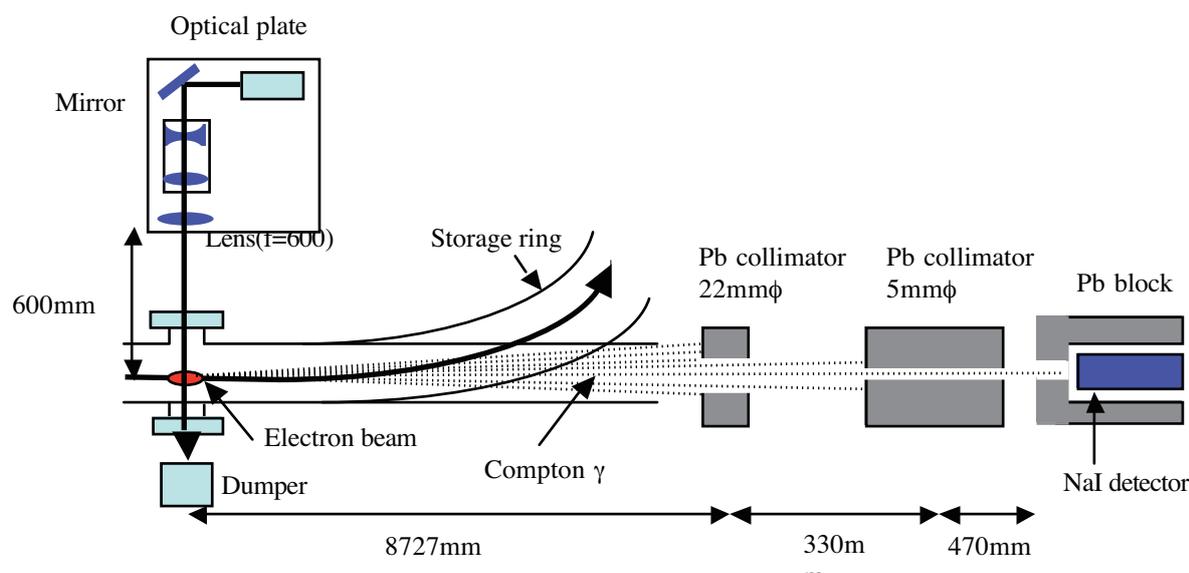


図1：ニュースバルにおけるレーザーワイヤモニターの全体図

ンプトン γ 線のエネルギー領域だけを取り出して、カウンタ(ORTEC 994 Dual Counter/Timer)で γ 線数を計測する。全ての機器制御およびデータ解析はPCとLabVIEWにより自動化されている。レーザー光は20pps(一秒間に20 μ m)の一定速度でスキャンし、1秒ごとに γ 線カウント数をサンプリングする。スキャンを数十回繰り返して、データを足し合わせる事により γ 線の分布を測定する。

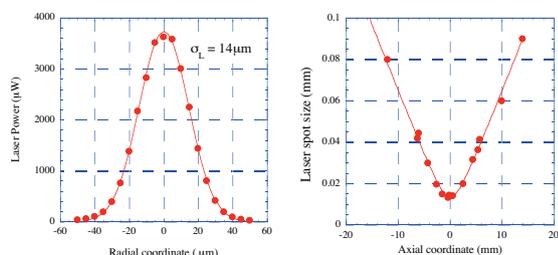


図2：スリット法によるレーザービームプロフィール測定

3. 垂直ビームサイズ測定

まず、ビーム入射がない場合(蓄積モード, 1GeV, 200mA)において、レーザー光を垂直方向にスキャンさせた時の γ 線粒子の分布を図3に示す。ガウシアンフィッティングの結果、 γ 線分布の標準偏差 σ_γ は69 μ mであり、レーザー光が $\sigma_L = 14\mu$ mであることから、電子ビームの垂直サイズは $\sigma_e = 68\mu$ mと評価出来た。

MAD^[3]によるラティス計算によると、レーザーと電子の衝突点における垂直方向のベータatron関数 β_y は8.3mであり、 $\sigma_y = \sqrt{\beta_y \epsilon_y}$ から $\epsilon_y = 0.57\text{nmrad}$ となる。これはカップリング係数 $\kappa = 1.4\%$ に等しい。

この結果はVisibility monitor等の他のビームサイズ計測から評価した結果ともほぼ一致している。

現在使用しているレーザーのパワーが弱いため、ある程度信頼線のあるデータを得るためにはスキャン回数を増やす必要があり、一回の計測には最短でも約20分程度を要する(測定時間を長くすればするほど高精度なデータが得られるが、ビームモニターとしてはあまり役に立たない)。従って、本モニターはある瞬間のビームサイズを知るには不向きではあるが、高精度で信頼度の高いデータを得ることが出来る。また設備の改造によってトンネル内の気温、冷却水等の温度変化は以前よりもかなり小さく抑えられており^[4]、数10分間程度の測定時間におけるそれらの影響による軌道のドリフトはほぼ無視出来る。

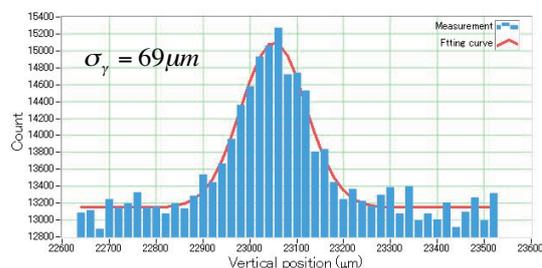


図3：レーザーワイヤモニターによる測定結果(ビーム入射なし、シェーカーOFF)

4. Top-up運転への対応

Top-up運転を行う放射光施設ではビーム入射があってもビームサイズ測定が出来ることが望ましい。しかしビーム入射時にわずかなビームロスがあると余分な γ 線を発生し、レーザーワイヤモニターによ

る測定に影響を与える可能性がある。図4に220mAでTop-up運転中の蓄積電流値と毎秒当たりの γ 線カウント数の時間変化を示す。ビーム入射直後に γ 線カウント数にスパイク状の信号が観測されることが分かった。この時 γ 線分布は入射時のノイズの影響を受ける(図5)。図4で数回、ビーム入射がないのにスパイクが発生しているが、これは線形加速器からビームが出なくて、バンブとセプタムだけがファイアしている事に対応している。このことからノイズの発生は入射時における蓄積ビームの軌道変動によるものであることが分かった。

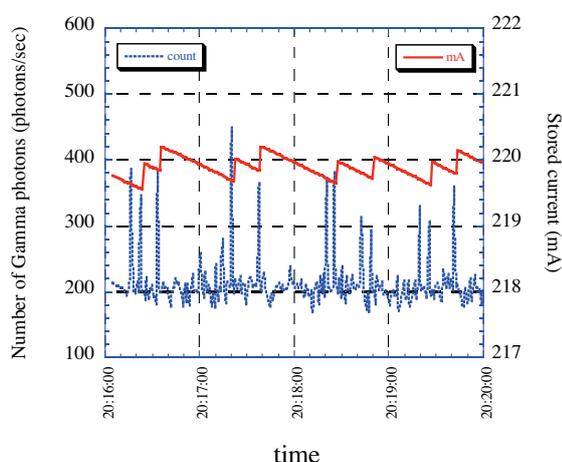


図4：Top-up運転時（ビーム入射時）の γ 線カウント数

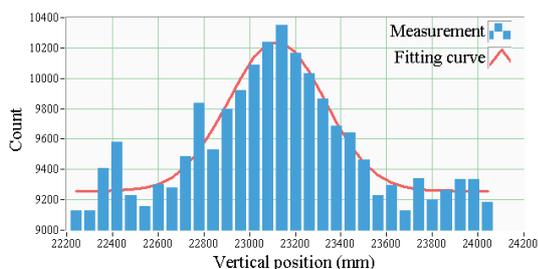


図5：レーザーワイヤモニターによる測定結果（ビーム入射あり、マスクなし）

入射直後のある時間だけ γ 線粒子数のカウントにマスクをかけて測定した結果、マスクの時間幅の増加と共にノイズの高さ（ γ 線カウント数の平均値からの高さ）は減少し、8ms以上ではノイズは無くなった(図6)。これはベータトロン振動の減衰時間が10ms程度である事に良く一致する。

10msのマスクをかけてビームサイズを測定した結果(図7)、図5に比べてノイズの影響が抑えられているのが分かる。図5, 7のビームサイズが図3に比べて大きいのはタウシェック寿命を延ばすためにRFシェーカーにより垂直方向にビームサイズを大

きくしているからである。

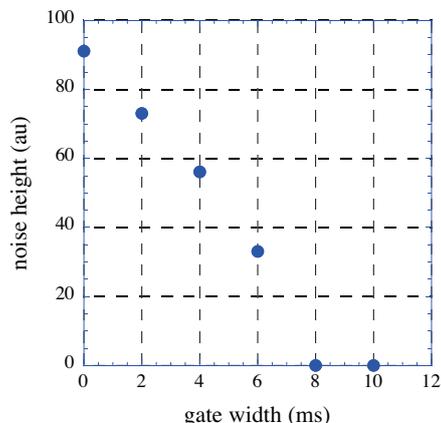


図6：入射直後のマスク時間幅の影響

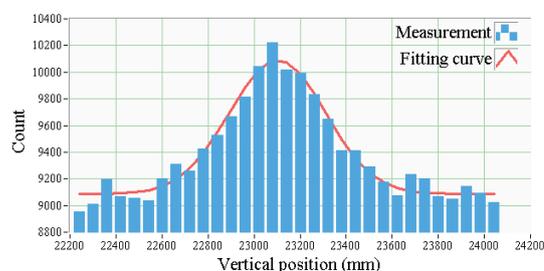


図7：レーザーワイヤモニターによる測定結果（ビーム入射あり、10msマスクあり）

5. まとめ

中小型の放射光リングに適したコンパクトなレーザーワイヤモニターを開発し、ニュースバル電子蓄積リングの垂直方向の電子ビームサイズを高精度に計測する事に成功した。

Top-up運転時に計測を行うとビーム入射時にごく僅かではあるが蓄積ビームのロスが発生しているため γ 線の計測にノイズが発生したが、入射直後の γ 線の計測にマスクをかける事により、Top-up運転時に於ける計測を可能にした。マスクの時間幅がベータトロン振動の減衰時間程度になると完全にノイズを無くすことが出来た。

一回の計測に約20分必要であるが、レーザーの強度が10倍になれば、必要な計測時間は数分にまで短縮出来る為、現在、共振器光学系を調整中である。

参考文献

- [1] 橋本智, 青木一彦. 第20回日本放射光学学会年会, Hiroshima, Jan. 12-14, 2007
- [2] 本田洋介, 浦川順治, 阪井寛志, 笹尾登. “レーザーワイヤモニターの開発”, 日本物理学会誌, Vol. 59, No.1 (2004)
- [3] URL: <http://mad.web.cern.ch/mad/>
- [4] 庄司善彦, 第4回日本加速器学会