

ニュースバル可視光モニターライン SR2 の改造

REFORMATION OF THE VISIBLE LIGHT MONITOR LINE SR2 IN NEWSUBARU

庄司善彦[#]

Yoshihiko Shoji[#]

University of Hyogo, NewSUBARU/SPRing-8

Abstract

We reformed the visible light beam profile monitor line SR2 at NewSUBARU. It was special because it is set at the dispersive straight section and observes the edge radiations from two different kinds of bending magnets. After the reform, we observed the two profiles at two different locations using this one line. It enabled us to estimate the energy spread from the beam width at the dispersive location.

1. はじめに

ニュースバルは兵庫県立大学の 1~1.5GeV 放射光用電子蓄積リングで、Spring-8 施設内に設置されている。ニュースバルにおけるビームサイズ測定は実質的に可視放射光ビームモニターに頼っている。可視光取り出しポートは Table1 に示す SR1~SR5 の5カ所あるが、実質的に稼働しているのは日常的にプロファイルの異常を観測している SR1 と、streak camera 及び gated ICCD camera を設置した SR5 の2カ所だけである。この状況に対して今回 SR2 を改修し、エネルギー分布を反映する、分散部のビームプロファイルを観測できるようにした。

Table 1: Visible Light Extraction Ports at NewSUBARU

Line	Rng Location	Camera
SR1	bending magnet	CCD camera
SR2	dispersive straight section	CCD camera
SR3	bending magnet	visibility monitor
SR4	short straight section	not used
SR5	bending magnet	streak camera ICCD gated camera

SR2 は逆偏向電磁石と通常偏向電磁石を結ぶ直線部の延長上にあり、従来は遠隔操作ビデオレンズを付けたカメラで光源点を視る単純な構造であった。レンズの焦点距離を調整すると、それぞれ上流の逆偏向電磁石エッジと下流の通常偏向電磁石エッジに対応する2箇所の焦点でビームイメージが現れる。ただ、従来の遠隔操作ビデオレンズは設定読み取りが無いため、レンズ調整の再現性に問題があった。更に一方に焦点を合わせると他方はビームハローとして現れるのも好ましく無い現象であった。これらの問題点はあるが、特に逆偏向電磁石エッジは分散が大きく、この位置のプロファイルは運動量分布の変化に感度を持つメリットがあった。今回の改造では、ラインの特殊性を生かすために、光を分岐して2カ

所の光源イメージを同時観測できるようにした。

ここではこの改造について報告するが、ラインのポテンシャルを十分に使うまでには至っていない。ニュースバルには装置改善予算がほとんどなく、既存の余剰品を組み合わせての実現であったからである。例えば、このラインではエッジ放射の干渉が長波長で期待できるが、今回の改造では考慮する余裕は無く、将来の課題である

2. 可視放射光モニターライン SR2

2.1 リングのオプティクス

Figure 1 に SR2 に至る蓄積リングの電磁石配置を示す。上流の逆偏向電磁石 (IB: Invert Bend) エッジからの放射と下流の通常偏向電磁石 (NB: Normal Bend) エッジからの放射が重なる。つまり、下流の真空窓からは2つの波面が取り出されることになる。電磁石の偏向が逆方向なので、2つの波面の電場極性は逆になっている、

蓄積リングのオプティクス[1]から計算したビームサイズ、 $W_x = \sqrt{\beta_x \epsilon_x}$ 、 $W_y = \sqrt{\beta_y \epsilon_y}$ 、 $We = \eta(\Delta p/p)$ を Figure 2 に示す。ここでは 1GeV を想定して、 $\epsilon_x = 50\text{nm}$ 、 $\kappa = \epsilon_y/\epsilon_x = 1\%$ 、 $\Delta p/p = 0.047\%$ とした。また、エネルギー広がり of 水平ビームサイズへの寄与を示すため、 We の代わりに $(We/W_x)^2$ を示した。図から明らかなように SR2 は垂直方向ビームサイズ測定には適さず、水平方向ビームサイズ測定に適している。また、IB edge では ϵ_x と $\Delta p/p$ の水平方向ビームサイズへの寄与が同程度であり、ビームエネルギー幅 $\Delta p/p$ の推定も十分可能である。

2.2 SR2 のレイアウト

Figure 3 に SR2 のレイアウトを示す。放射光は真空内ミラー (Au coated Cu) で上方向に上げられ、ICF70 の真空窓から大気中に出される。その直後に設置されているのは固定フィルターと遠隔交換フィルター、更に $f=1\text{m}$ の集束レンズである。この下流 (=上方) で放射光を分岐し、分岐光はそれぞれの CCD カメラに導かれる。2 台のカメラは共通のリニアガイド上に設置されている。短光路の下のカメラは IB edge 用で、Camera30 とナンバーが付いている。一方、長光路の上のカメラは NB edge 用で、Camera27 というナンバーである。ともにレンズは付けておらず、CCD に直接放射光が照射される。

[#] shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

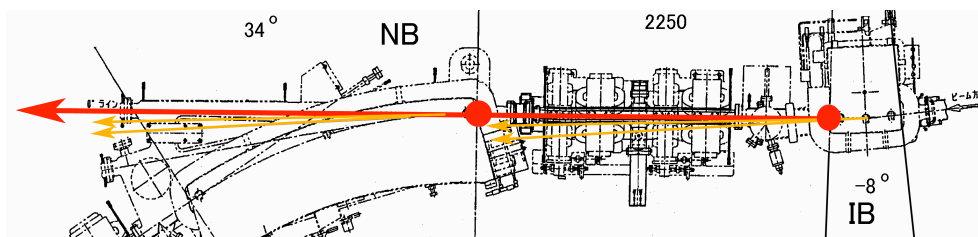


Figure 1: Flat view of the ring to SR2 view port.

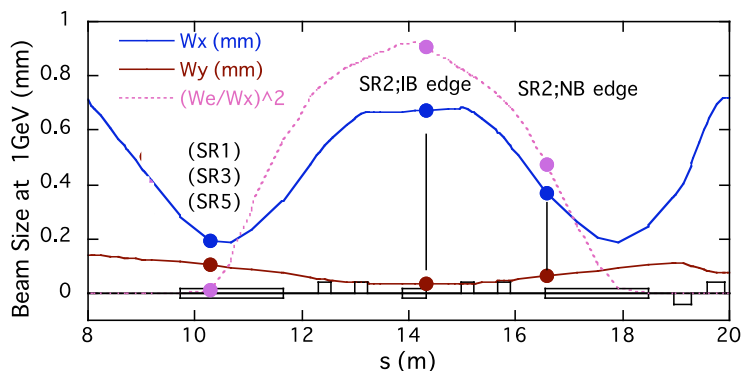


Figure 2: Calculated beam size in the ring.

Acceptance は真空内ミラーの大きさで決まる。H 22mm X V 26mm であり、これは 2.58m 上流の NB edge で $H_{\pm 4.3}$ mrad, $V_{\pm 5.1}$ mrad., 4.83m 上流の IB edge で $H_{\pm 2.3}$ mrad, $V_{\pm 2.7}$ mrad. に相当する。

光学機器は全て遮蔽トンネル内に設置されており、遠隔操作できるのは交換フィルターと、カメラの光軸上の位置を変えるリニアガイドのみである。ミラー角度を調整するオプトマイクは長期間放置されていたため、駆動できなかった。

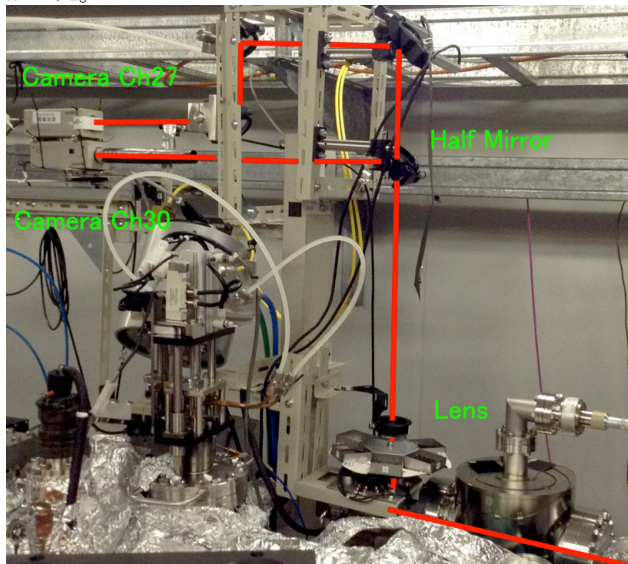


Figure 3: Layout of SR2 visible light line.

光学収束は、一枚のアクロマティックレンズだけというこれ以上ない単純な構成である。但し、真空内ミラーが放射光の熱負荷によって歪み、僅かな発散を生む。従っ

て、光学系は蓄積エネルギーと蓄積電流依存を持つ[2]。この収束を無視すれば、計算上 Camera30 は焦点位置 120 mm で倍率-0.25、Camera27 は焦点位置 60 mm で倍率 -0.58 である。

2.3 SR2 への放射光

SR2 の放射光は通常の直線部からの edge radiation とは異なり、上流と下流の放射が重なる。従って、集束前の放射光の空間分布は特殊で、Figure 4 のようになる。

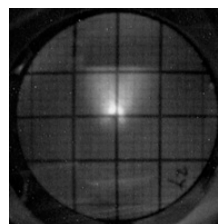


Figure 4: Light image at the exit of the vacuum window. The size of the thick rectangle is 10mm X 10mm. The above is the inner side of the ring.

磁場計算ソフト OPERA3D を使って計算した偏向電磁石端部の磁場分布を Figure 5 に示す。無磁場からの偏向角積分を計算し、SR2 の acceptance に入る放射光の光源点付近の磁場 (曲率半径の逆数) が計算できる。ここから垂直方向の放射光分布を計算したものが Figure 6 である。電子エネルギーは 1GeV、波長は 500nm として計算した。Figure 4 から明らかだが、可視光はほとんど mirror acceptance に入っている。

NB edge と IB edge からの放射光の分布差を利用し、ビームハローとして現れる別位置からの光を減ずることは可能である。ただしその効果はわずかであり、実用的意味は無いと判断した。

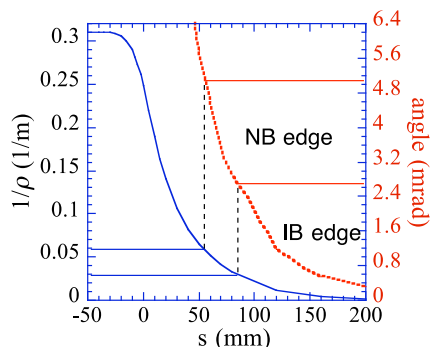


Figure 5: Edge field of the bending magnet.

Near the axis; — from NB, $\rho=50\text{m}$
 — from IB, $\rho=100\text{m}$
 Side mirror edge; --- from NB, $\rho=17\text{m}$
 --- from IB, $\rho=35\text{m}$

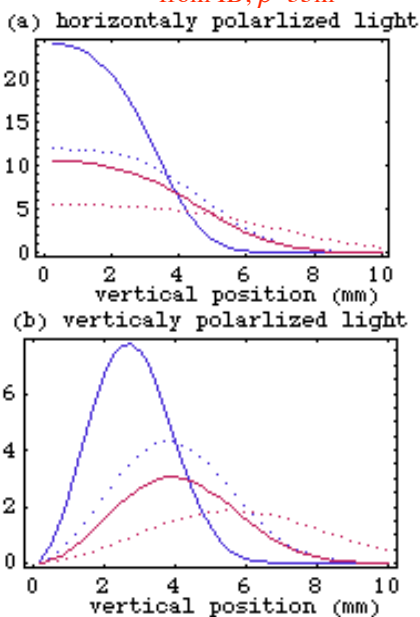


Figure 6: Vertical distribution of relative synchrotron radiation power. $E_e=1.0\text{GeV}$, $\lambda=500\text{nm}$.

3. SR2 調整

3.1 光軸調整

カメラにレンズをつけていないので、光軸合わせはカメラの CCD 上の位置だけで良い。まず、カメラ直前に方眼紙を置いて放射光を発生させ、方眼紙上のイメージ位置を別のカメラで撮影する。次いでトンネルに入室し、レンズ直後に放射光を模擬するレーザーを設置し、ミラーの角度で位置を調整する。調整では、撮影したイメージ位置がカメラの CCD 中央に移動するような変更を加えるだけである。オプトマイクが使えなかったための苦肉の策だが、うまく機能した。

光軸は2つの光源の直線上ではなく、やや外れた位置に置いた。実際にはレンズ位置をリング内側から外側へ水平方向に移動させただけである。原因は不明だが、Figure 7 に示すように NB edge のプロフィール (Camera30) のハローが劇的に減少した。最終的には軸を外側に設置して使用している。

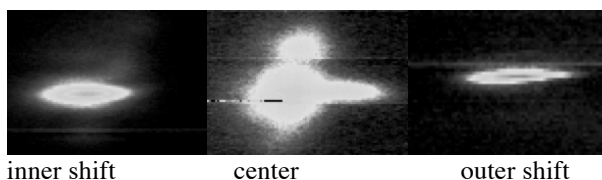


Figure 7: The effect of beam axis shift on Camera 30 image.

3.2 焦点位置

リニアガイドでカメラ位置を焦点 (beam profile image) に合わせる作業を行った。カメラ位置に対するプロフィールサイズの変化を、低蓄積電流で測定した結果を Figure 6 に示す。水平はビームサイズが大きいため焦点が不明瞭で、垂直ビームサイズを頼りに焦点を合わせた。Camera27 に対しては 100mm、Camera30 に対しては 140mm の位置の像が光源の beam image である。2.2 節に記した予想よりやや長い、真空内ミラーに $f=70\text{m}$ の発散を仮定すれば、測定値をほぼ再現する。この仮定の上で倍率を計算するとそれぞれ、-0.25 倍と-0.59 倍になる。

各焦点位置で得たプロフィールを Figure 9 に示す。

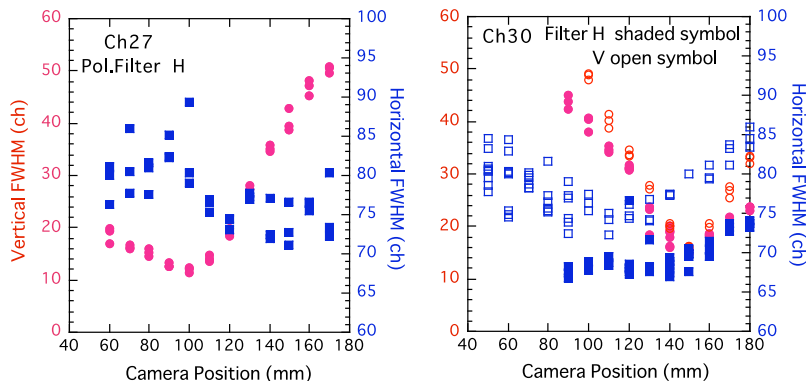


Figure 8: Focal point search with polarized filter.

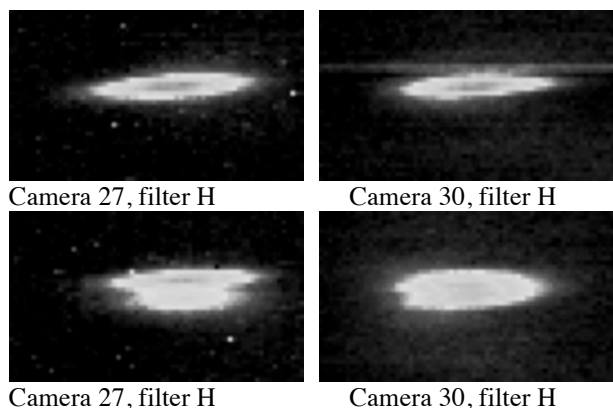


Figure 9: Obtained beam profiles.

3.4 ローカルバンブを使った確認

電子軌道上に Figure 10 に示すような local bump orbit を作り、profile position の変化を見た。Bump は NB edge または IB edge のいずれかの位置で 1mm、もう片方の位置では 0mm となる軌道である。BPM 上の位置を計算に合わせて軌道が実現できているはずである。尚、水平方向の local bump はリング周長を変えてしまうので、蓄積リングで対称な対向位置に逆の local bump を作って周長変化を打ち消した。注意点だが、BPM の位置係数の問題で、水平の移動量は設定より 10% 大きくなっている[3]。また、Camera 27 と Camera30 の符号が逆転しているのは、一つのカメラが 180 度回転して設置されているからである。

測定結果を Figure 11 に示す。IB 位置に水平方向 local bump を作ると、Camera 30 のプロファイルが水平方向に移動し、Camera27 のプロファイルはほとんど動かない、といった予想された動きが、どの local bump に対しても観測された。これによって、IB edge のプロファイルと、NB edge のプロファイルが十分独立して観測できていることを確認できた。

移動量のスケールは、Camera27(NB edge)は 58 channel/mm と計算できる。CCD を 107 ch/mm として倍率を計算すると 0.54 であり、理論予測より 8% 小さい。また、Camera30 の垂直スケールを計算すると 26 channel/mm なので、倍率 0.24 倍となり、理論予測に近く、水平は 33channel/mm で倍率 0.28 倍となり、約 10% 大きくなってしまった。

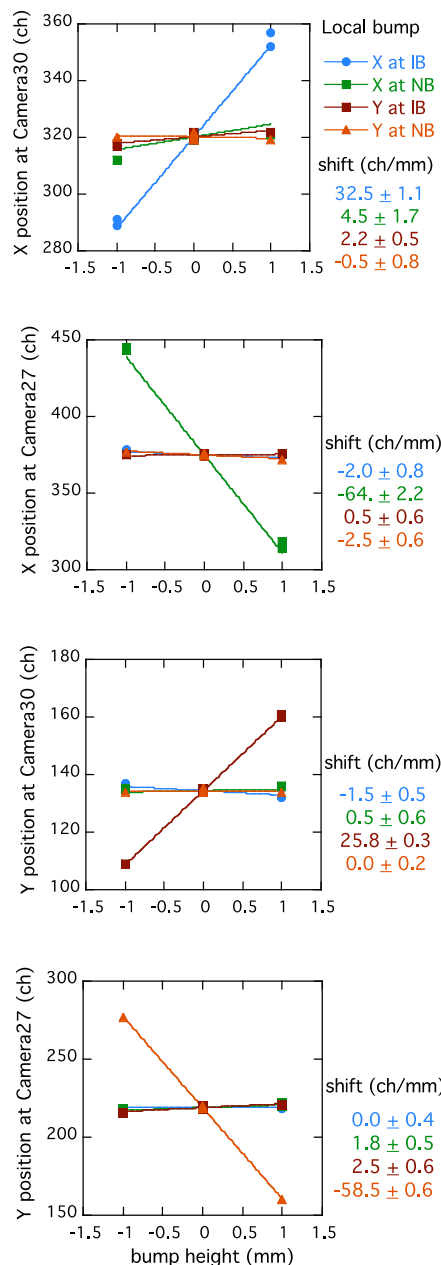


Figure 11: Calibration of camera segment.

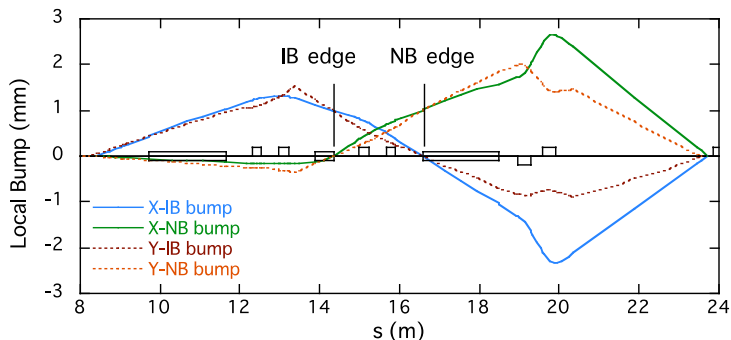


Figure 10: Local bump orbit used for the calibration of camera segment.

4. まとめ

電子蓄積リングニュースバルの可視放射光モニターラインを改修し、2 か所の変更電磁石エッジのビームプロファイルを観測できるようにした。

いくつかの問題点は残されているが、基本的調整は終了した。ビーム不安定の観測など、定性的利用を進めながら、細部を詰めていく予定である。

参考文献

- [1] 庄司 善彦、「ニュースバルの線形ラティスマデル」、第 8 回日本加速器学会年会、(8/1-3, つくば国際会議場).
- [2] 松本 卓也, 小林 花綸, 庄司 善彦, 皆川 康幸, 竹村 育浩、「可視光ビームモニターライン初段ミラーの熱変形補償」、第 68 回日本物理学会年会、(March 26-29, 広島大学 東広島キャンパス).
- [3] 竹田幸二、庄司善彦、「ニュースバルにおける高速ゲートカメラを用いたビーム診断」、第 6 回日本加速器学会年会、(8/5-7, 東海村).