

# RESEARCH ON THE HIGH-BRIGHTNESS OPERATION OF NewSUBARU

Sayaka Chin<sup>#</sup>, Satoshi Hashimoto, Shuji Miyamoto

NewSUBARU / Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

## Abstract

We studied the possibility of the high brightness operation of the NewSUBARU electron storage ring without lattice modification. By turning-off the RF shaker that is used to enlarge the vertical size and the lifetime of stored electron beams, the brightness can be improved 2.7 times assuming that the stored current is the same. As the lifetime decreases, the top-up current is also reduced due to the limitation for the total charge that can be injected to the ring. Using a top-up simulator, we found that the brightness improvement factor could be 1.6 including the stored current decrease effect.

## ニュースバル放射光の高輝度化に向けた研究

### 1. はじめに

放射光の産業利用を目的とするニュースバルでは運転開始当初は”照射”実験が主流で大電流、長寿命が求められた。そのため RF shaker を用いて垂直ビームサイズを意図的に大きくして、放射光の輝度を犠牲にすることでビーム寿命を長くしてきた。しかし最近、高輝度な放射光を求める”分析”ユーザーが増加している。

本研究では、リングの改造を要する大幅なラティスの変更を検討する前に先ず、RF shaker の停止またはパワーの低下による利用運転時の高輝度化運転の可能性を検討する。具体的には、RF shaker の停止またはパワーの低下によるメリットとして放射光の輝度は何倍に改善され、デメリットとしてビーム寿命と Top-up 電流値はどれだけ低下するのかをビーム特性の計測およびシミュレーションにより定量的に評価した。

### 2. ビームサイズ・寿命の RF shaker 依存性

ビームサイズは Visibility Monitor (放射光干渉計) [1]を用いて計測した。Visibility Monitor とは、放射光の干渉を用いて微小なビームサイズの測定を行うことができる手法である。放射光の可視光成分を取り出し、二重スリットを通して干渉計の強度分布を測定することにより非常に小さいビームサイズの計測が可能であり周回している電子ビームに影響を与えず、非破壊的な測定が可能である。RF shaker を使用する事で干渉縞にどのような影響があるのかを実際の測定時の画像より比較する。図1はエネルギー1.0GeV、電流220mAのTop-up運転時の干渉縞を画像処理して強度分布を示したものである。

測定した垂直ビームサイズの shaker power 依存性を図2に示す。一般的に RF shaker の電極にかかる電圧の2乗は shaker power に比例しており、RF

shaker の作る高周波電場は電圧に比例する。また、shaker によるキック力は電場に比例し、ビームサイズはキック力に比例する。これよりビームサイズは shaker power の平方根に比例する。図2に示す測定結果から、理論通りに垂直方向ビームサイズが shaker power の平方根に比例している事がわかる。現在の利用運転の状態である RF shaker ON (shaker power 25.1W) から RF shaker OFF にすると垂直ビームサイズは 409 μm から 151 μm となり、0.37 倍へと小さくなった。つまり現在の 1GeV 利用運転中の垂直ビームサイズは、RF shaker OFF 時の 2.7 倍であることがわかる。アンプの目盛のオフセットがあるため RF shaker が OFF でも power は 0 にならない。

ビーム寿命の shaker power 依存性を図3に示す。ビーム寿命の逆数は shaker power の平方根の逆数に比例している事がわかる。現在の利用運転の状態である RF shaker ON (shaker power 25.1[W]) から RF shaker OFF にするとビーム寿命は 7.4[hr]から 2.1[hr]となり 0.28 倍へと低下した。

ニュースバルの電子ビーム寿命は主にガス散乱寿命およびタウシェック寿命で決まり、式(1)のようになる。

$$\frac{1}{\tau} \cong \frac{1}{\tau_{Touschek}} + \frac{1}{\tau_g} \quad (1)$$

このうちビームサイズに依存し変化するのはバンチ体積に比例するタウシェック寿命なので、RF shaker を用いて垂直ビームサイズのみを変化させた場合、式(1)は式(2)のように表される。

$$\frac{1}{\tau} = \frac{C}{\sqrt{W}} + \frac{1}{\tau_g} \quad (2)$$

ただし、C は定数である。また、ガス散乱寿命はビームサイズには依存せず電流値のみに依存する。式(2)を用いて図3を fitting した結果、C=0.664、1/τ<sub>g</sub>=0.0021 であり、1.0GeV、220mA におけるガス散乱寿命は 470[hr]となった。この結果とビーム寿命の測定結果および式(2)からタウシェック寿命を求めると 7.53[hr]となり、1GeV ではタウシェック寿命が支配的である事がわかった[4]。

<sup>#</sup> schin@lasti.u-hyogo.ac.jp

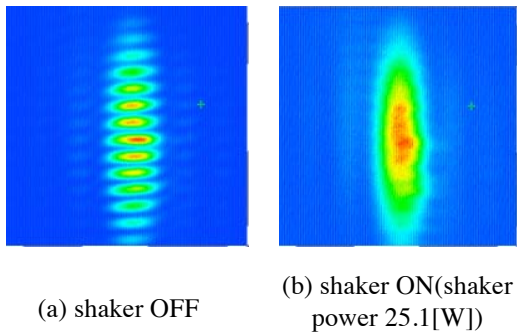


図 1 : RF shaker が ON の状態と OFF の状態では干渉縞に明らかな変化が見られ、ビームサイズが変化している事が分かる。

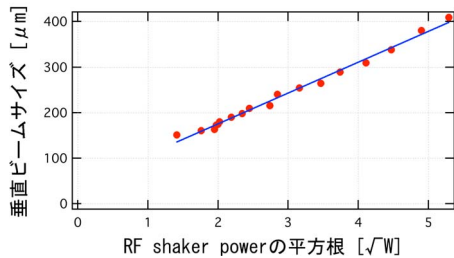


図 2 : 垂直ビームサイズの shaker power 依存性

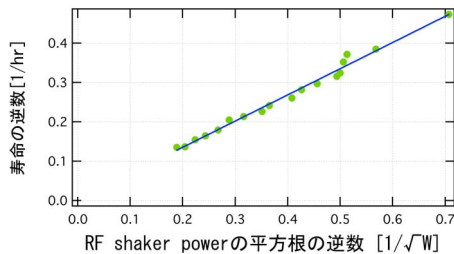


図 3 : ビーム寿命の shaker power 依存性

### 3. 放射光輝度の改善の評価

ビームサイズの計測データから理論式[5]および数値計算プログラム SRW[6]を用いて光源が偏向電磁石の BL10 と光源が長尺アンジュレーター(LU)の BL09 の放射光輝度がどの程度改善されるかを評価した。表.1 に 1GeV 運転 ( RF shaker ON および OFF ) 時の電子ビームパラメータおよび BL10 のラティスパラメータを示す。

輝度 $\propto$ {光子 Flux}/{光源のサイズ $\times$ 角度広がり}で表されるので、計測した電子ビームのサイズから、その角度広がりおよび光源のサイズと角度広がりを計算し、輝度を評価した。数値計算プログラム SRW を用いた計算結果を図.4 に示す。蓄積電流値が同じであれば RF shaker を OFF にすることで放射光輝度は現在の 1.0GeV 利用運転時に比べて約 2.7 倍に改善される事が分かった。

表 1 : RF shaker OFF・ON 時の電子ビームおよび光源のサイズと角度広がり

	BL10 (10deg) OFF	BL10 (10deg) ON
電子ビームの水平方向サイズ $\sigma_x$ (m)	1.9e-4	1.9e-4
電子ビームの垂直方向サイズ $\sigma_y$ (m)	8.1e-5	2.2e-4
水平エミッタンス $\epsilon_x$ (nm rad)	38	38
垂直エミッタンス $\epsilon_y$ (nm rad)	0.4	2.9
電子ビームの水平方向角度広がり $\sigma_{x'}$ (rad)	3.2e-4	3.2e-5
電子ビームの垂直方向角度広がり $\sigma_{y'}$ (rad)	1.8e-5	4.9e-5
光源の水平方向サイズ $\Sigma_x$ (m)	1.9e-4	1.9e-4
光源の垂直方向サイズ $\Sigma_y$ (m)	8.1e-5	2.2e-4
光源の水平方向角度広がり $\Sigma_{x'}$ (rad)	7.2e-4	7.2e-4
光源の垂直方向角度広がり $\Sigma_{y'}$ (rad)	7.2e-4	7.2e-4

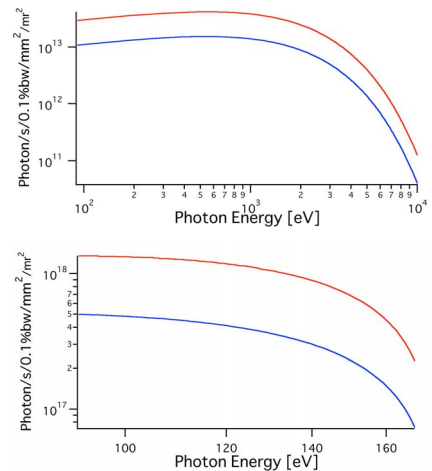


図 4 : SRW による放射光輝度の計算結果 (上 BL10、下 BL09)。赤 : RF shaker OFF、青 : RF shaker ON。

### 4. ビーム寿命と Top-up 電流値の評価

RF shaker のパワーを低下させることでビームサイズが小さくなり輝度が上がる一方、タウシェック効果によりビーム寿命は下がる。ニュースパルでは 8 時間あたりの入射電荷量に制限があり、Top-up 運転中の蓄積電流値を一定に保つ為にはビーム寿命の低下に合わせて Top-up 電流値を下げなければならない。また Top-up 運転時の電流値は入射効率、入射ビーム強度、挿入光源のギャップ長などにも依存する。これらを定量的に評価するため Top-up simulator を LabVIEW により作成した。Simulator の結果と実

際の運転データと比較すると誤差は十分に小さくよく一致している結果が得られた (図5)。 Simulator を用いて実現可能な Top-up 電流値の RF shaker power 依存性を評価すると図6のようになった。

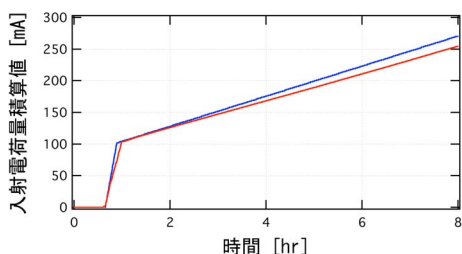


図5：入射電荷量積算値 vs.時間、青： Top-up simulator の結果と赤：実際の運転データ (赤) との比較

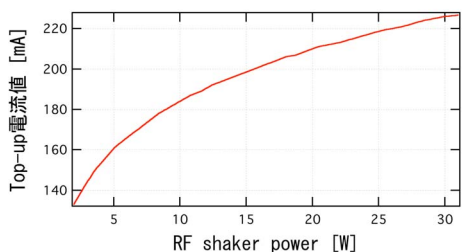


図6：Top-up 電流値 vs. RF shaker power

## 5. RF shaker OFF による高輝度化の検討結果

以上の結果をまとめてビーム寿命、輝度の改善、および Top-up 電流値の RF shaker power 依存性を図7に示す。ただし輝度の改善は現在の利用運転時の値を1としたときの比である。

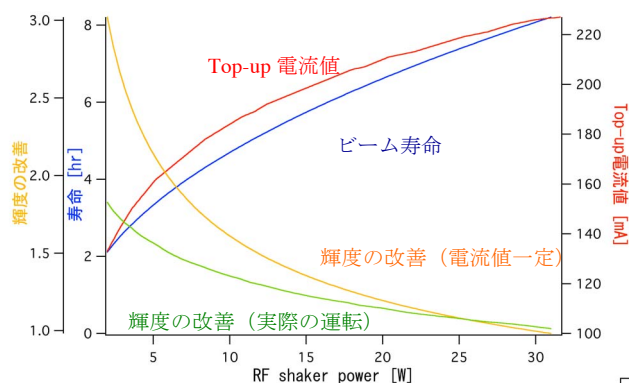


図7：ビーム寿命、輝度の改善、Top-up 電流値 vs. RF shaker power

RF shaker ON による現在の利用運転時から RF shaker power を下げていくと、ビーム寿命および Top-up 電

流値は低下していくが、放射光の輝度は上がっていく。 RF shaker OFF では現在の利用運転時と比較してビーム寿命は 7.4[hr]から 2.1[hr]へ約 0.28 倍に低下し、放射光の輝度は電流値一定とした場合は約 2.7 倍に改善される。しかし、実際の運転ではビーム寿命の低下に伴い Top-up 電流値も 220mA から 135mA へ低下するので、これを考慮した場合は約 1.6 倍に放射光の輝度が改善される事がわかった。

実際に、RF shaker OFF の状態で1シフト間の利用運転を行ったが、特に問題なく安定に運転できた。

## 6. 結論

BL09 で実際の LU スペクトルの計測を行ったが、RF shaker OFF では ON の約 1.2 倍となった (図. 8)。ビームラインでの測定では、光学素子や分光素子の影響を受けるので、Brilliance の理論値と直接比較することは難しいが、分解能は上がっている事がわかった。ラティスの変更無しで、RF shaker を OFF するだけで数 10%程度のニュースバル放射光の高輝度化が可能である。

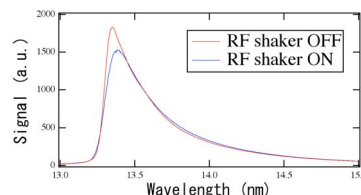


図8：計測した LU スペクトル (基本波)

## 謝辞

LU スペクトル測定でご協力頂きました高度産業科学技術研究所放射光ナノ工学分野の原田哲男助教に感謝致します。

## 参考文献

- [1] "MEASUREMENT OF BEAM SIZE USING SR INTERFEROMETER AT NEWSUABRU STORAGE RING", 久尾他、日本加速器学会年会(2005)21P048
- [2] "Evaluation of lifetime of an electron beam and ion trapping phenomenon at NewSUBARU", 増田他、日本加速器学会年会 (2006)
- [3] 「光学」、E.ヘクト、丸善
- [4] 「NewSUBARU における放射光干渉計を用いたビーム診断」、久尾信太郎、日本物理学会第 59 回年次大会 2004/3/27-30 講演概要集 Vol. 59, No. 1-1(20040303) p. 105 社団法人日本物理学会 ISSN:13428349.
- [5] 「シンクロトロン放射光の基礎」、大柳宏之編、丸善株式会社
- [6] <http://www.esrf.eu/Accelerators/Groups/InsertionDevices/Software/SRW>
- [7] LASTI Annual Report, Vol.1(1994-1999)、姫路工業大学高度産業科学技術研究所