

# IMPROVEMENT OF ACCELERATOR PERFORMANCE AT NEWSUBARU

Yasuhiro Takemura<sup>A)</sup>, Yasuyuki Minagawa<sup>#,A)</sup>, Yoshihiko Shoji<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

<sup>B)</sup> LASTI/NewSUBARU, University of Hyogo

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

## Abstract

The electron storage ring NewSUBARU has been operated with 1.0 GeV top-up mode and 1.5 GeV decay current mode. Following the request for the higher beam current at 1.0 GeV, we have taken several countermeasures for the high injection efficiency and the long beam lifetime. As the result, we succeeded to raise the top-up beam current from 200 mA to 250 mA at 1.0 GeV and realized the longer beam lifetime at 1.5 GeV. In this paper, we report contents of the countermeasures. Our next goal, the top-up operation of 300 mA, is coming in sight.

## ニュースバルにおける加速器性能改善

### 1. はじめに

ニュースバル蓄積リングは、SPRING8線型加速器から1.0 GeV電子ビームを入射して、220 mAまで蓄積してトップアップ運転で利用運転する形態と、350 mAまで蓄積した後に1.5 GeVまでエネルギー加速を行って、非入射のdecay運転で利用運転する形態で運用が行われている。この利用運転において、1.0 GeVのトップアップ運転を維持出来るビーム電流値を上げる事と、1.5 GeVのdecay運転でのビーム寿命を延ばす事が切に望まれている事である。

1.0 GeVのトップアップ運転のビーム電流値を決めているのはビーム不安定性ではなく、1シフト(8時間)当たりの入射電荷量制限である。従って、ビーム寿命と入射効率の改善によって運転時の蓄積電流値を上げる事ができる。挿入光源稼働時にはビーム寿命と入射効率がともに20%程度低下しており、ここに改善の余地があると考えている。

我々はこれまで様々な対策で入射効率とビーム寿命の改善を行っており、1.0 GeVでは2011年秋には、200~220 mAであったトップアップ運転時のビーム電流値を、250 mAに上げた。一方、1.5 GeVでも僅かずつだがビーム寿命の改善が続いている。本報告では我々が最近数年にわたって行ってきた改善の内容を記すとともに、その改善によって入射効率とビーム寿命、及び運転状態がどのように向上してきたかの履歴を示していく。

### 2. 入射効率改善

#### 2.1 高分解能スクリーンモニタの導入

最近の入射効率改善は、主として入射ビームの四

極マッチング調整によって得られたものである。従来は入射効率を指標とした、言わば盲滅法の入射調整であった。そこで我々は2008年度からL4BT(線型加速器からニュースバルリングまでのビームトランスポート)の入射マッチングの調整及び様々な検討を行い、ようやく問題が明確になってきた<sup>[1]</sup>。

2011年夏に、L4BTのプロファイルモニタ5台中1台(M3)のスクリーンを1.0 mm厚から0.1 mm厚に変更して水平分解能をFWHM=1.0 mmから0.2 mmへ向上させた。同時にプロファイル解析PCや、シャッターカメラコントロール(主として明るさの外部制御)を整備し、高精度のQ-scanが容易に実施可能となった。(図1)

これまで、ビーム積み上げ時(挿入光源非稼働時)の入射効率が80%、挿入光源稼働時の入射効率は60%程度が多かったのに対して、Q-scanの測定結果をもとに入射マッチングの調整を行う事で、積み上げ時で約90%、挿入光源稼働時で約80%の高い入射効率を維持している。

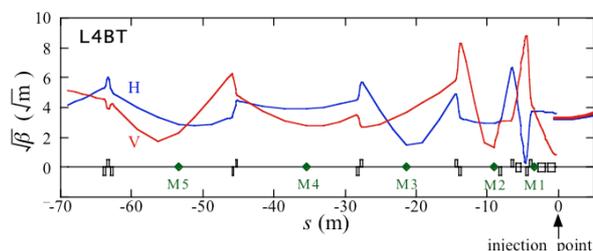


図1: Q-scanの測定結果から計算されたL4BTの $\beta$ 関数。M3がQ-scanに使用したスクリーンモニタ

#### 2.2 入射ビームのエネルギー調整

ニュースバルのRFバケツは、モーメントムコンパクトシオンファクターの強い非線形性が原因で、低エネルギー側に狭い非対称構造である。従って、

<sup>#</sup> minagawa@spring8.or.jp

低エネルギー電子ビームは入射できない。

入射に用いる線形加速器(Linac)のエネルギーは SPring-8 Booster synchrotron (Sy)を基準として調整されているが、ニュースバルリングより 0.4%低い事がストリークカメラを使った計測で確認された。このズレの問題点をエネルギーに対する入射効率で確認した測定結果が図 2 である。運転期間途中の線形加速器のエネルギー変更は難しいので、蓄積リングのエネルギーを逆方向に変えて測定した。測定結果は、ズレが入射劣化ギリギリにある事を示しており、次サイクルから Sy と Linac のエネルギーを 0.4%上げてニュースバルに合わせる対応を行った。ニュースバルでは準定期的にエネルギーマッチングの確認を行ってきており、今後も調整を実施する予定である。

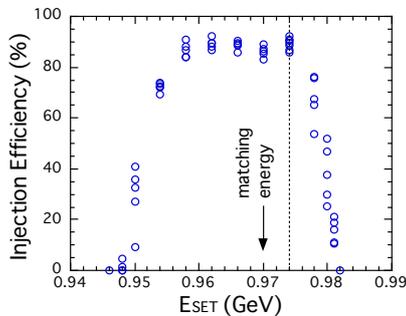


図 2 : 蓄積リングエネルギーに対する入射効率  
点線が測定時の利用運転リングエネルギー

### 2.3 パルス毎のばらつき

従来の入射調整では、パルス毎の入射効率のばらつきを無視して平均値を調整指標としてきた。しかし、ストリークカメラや ICCD ゲートカメラなどの可視光シングルパスモニターの使用によって、入射ビーム内の線形加速器 RF によるバンチ構造と入射効率の間に関連がある事が解ってきた。(図 3)

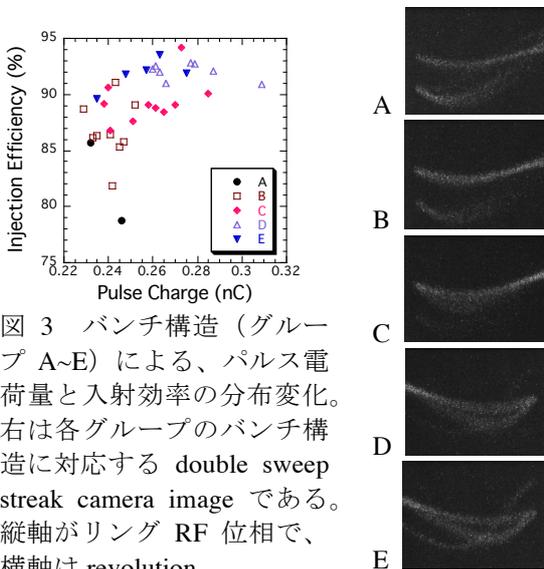


図 3 バンチ構造 (グループ A~E) による、パルス電荷量と入射効率の分布変化。右は各グループのバンチ構造に対応する double sweep streak camera image である。縦軸がリング RF 位相で、横軸は revolution。

当初はバンチ構造によるエネルギー変化が入射効率に影響していると考えたが、図 2 の結果と合致しない。現在は水平方向軌道もバンチ構造によって変わると考えて、パルス毎バンチ毎の横方向のデータを検討している。

## 3. ビーム寿命改善

ニュースバルの寿命対策は 1.0 GeV と 1.5 GeV で異なる。1.0 GeV の寿命はタウシェク寿命で決まっており、1.5 GeV では真空寿命が主要要素であると考えられるからである。また、トップアップ入射を行う 1.0 GeV では、挿入光源稼働時のビーム入射効率維持との両立が必要条件である。様々なビーム寿命改善の中で、長期間にわたってマシンスタディを行ってきた逆偏向磁石内六極コイルの使用は、この点を解決できなかった為に実用化を諦めている<sup>[2]</sup>。

### 3.1 六極電磁石の最適化

ビーム寿命改善に寄与した有用要素は、多極磁場であった。

挿入光源の影響軽減 (dynamic aperture 回復) を目的として、長直線部の 10.8m Long Undulator 上下流に設置した多機能電磁石には効果が認められた。特に六極成分励磁とチューンの最適化によりビーム寿命が  $I_{\tau}$  で約 12%改善された<sup>[3]</sup>。

この結果を受けて、従来から設置している六極のうち dynamic aperture 回復を目的として無分散部に設置した、harmonic sextupole の 2 ファミリー (S1 と S2) の最適化を行い、約 8%の効果があつた。

次のステップとして、S1 ファミリーの中で、長直線部の 4 台だけに補助巻き線 (S1-sub) を設置して自由度を上げ、実質 3 ファミリーとした調整をテストした。挿入光源稼働時のビーム寿命が改善され入射効率の劣化も無かつた。(図 4) この補強は 1.5GeV

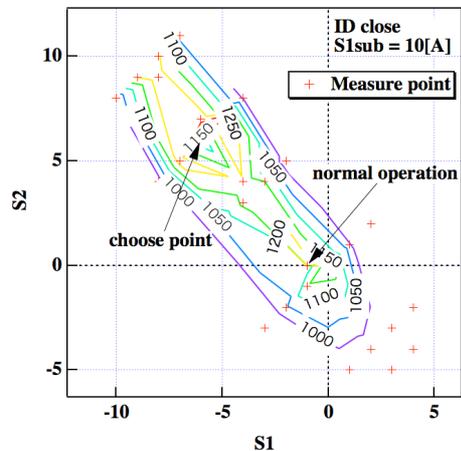


図 4 : S1sub を励磁した状態での S1 と S2 の最適値調査。S1 と S2 はキック量で、2012 年 6 月以前の運転時の値を 0 としている。測定点のビーム寿命の値を元に等高線を描いている。

運転においてもビーム寿命が延びる事が確認されている。2012 年夏に電源構成を変更し、3 ファミリーでの運用を開始する予定である。

### 3.2 バケットフィリングコントロールの実施

2010 年 1 月よりトップアップ運転時は、リング一周分のバンチカレントを測定し、バンチカレントが一番低いバケットを探し出して、そのバケットにビームを入射している<sup>14)</sup>。

バケットフィリングの大まかな構造はイオントラップ抑制に最適化しているが、細かい凸凹を改善する事が出来る。バンチ当たりの電流が均一化されるため、僅かながらタウシェック寿命の改善が確認された。

## 4. 運転向上の履歴

### 4.1 1.0GeV トップアップ運転

図 5 はここ 5 年間のトップアップ運転の蓄積電流値の変遷を示している。2009 年までは電荷量の制限により制限単位であるシフト終了前に入射できなくなり、トップアップ運転が一時中断されることが定常的に発生した。この為、電流値を 200mA に下げることもしばしばであった。

2009 年以降は入射効率改善の影響が出てきており 220mA を維持出来るようになってきている。2010 年終わりには horizontal、vertical tune が下がっており、ビーム入射が極端に劣化する現象が発生したが、tune の設定値を上げる事で解決した。後に行った過去 10 年間に亘るチェーン履歴調査から、これが一時的現象ではなく緩やかに長期間進行した変化であった事が判明している。この 10 年に horizontal で 0.02、vertical で 0.04 下がっている。

2011 年には入射効率とビーム寿命の両方で大幅な改善がされたことで(図 6、7)、1 シフト 8 時間に 220mA トップアップ運転に使用する電荷量を約 60% に抑える事が出来た。これを受けて、2011 年 11 月よりトップアップ運転蓄積電流値を上げる決定をし、安全ファクターを考えて 250mA とした。その後約 1 年間良好な状態を維持できたため、2012 年秋からは更に電流値を上げる検討を行っている。

### 4.2 1.5GeV 運転

図 8 はここ 10 年間の 1.5GeV 運転時のビーム寿命の変遷を示している。2008 年よりフィリングパターンが一定になるように入射積み上げを行って、加速するようになったことにより寿命のバラツキが小さくなり、平均寿命も改善する事が出来た。

また、以前は 280mA 以上積み上げようとする入射効率が極端に下がる現象が出ていたため、300mA までの蓄積で 1.5GeV の加速を行っていたが、ビームが入射されていないバケットに入射する等、良好

なフィリングパターンが経験的に理解されてきた事で問題なく 350mA まで蓄積出来るようになった。これにより、2009 年 4 月からは 350mA からの 1.5GeV 加速を行っている。

1.5GeV におけるビーム寿命改善についても様々な試みを行ってきたが、1.5GeV でのビーム寿命は、真空寿命の依存度がタウシェック寿命よりも高いことが最近確認された。僅か 1.5 倍のエネルギーであるが、その差は明確である。タウシェック寿命によるビーム寿命の改善も多少見られるため、引き続きビーム寿命改善の努力を行っている。1.5GeV 運転時における真空度を見ると、真空作業の影響が残る場所も見受けられるが、全体的には徐々にではあるが未だに焼き出しによる真空度向上が見られ、ビーム寿命の延びの一部はその結果と考えられる。今後は真空寿命を延ばす為に真空度向上についての対策も行っていく。

最大蓄積電流としては、放射線安全規定の 500mA 近くまでの蓄積実績がある。但し、極端な入射効率劣化や、ビームアポートの頻発などの問題がある為、350mA 以上の運転は行っていない。入射電荷量以外の問題点として認識されているのはイオントラップである。蓄積電流とともに horizontal および vertical tune の上昇が計測されており、明らかなフィリング依存性がある。更に真空作業による一時的真空度劣化に対しては、寿命劣化だけでなく、大電流を蓄積しようとした際に突然のビームダウンが発生する。今後の改善対象である。

## 5. まとめ

今回の様々な入射高率改善、ビーム寿命改善の試みにより、トップアップ運転時の電流値を従来の 220mA から 250mA へ上げる事が出来るとともに 1.5GeV 運転でのビーム寿命の改善にも繋がった。

これから予定しているビーム寿命の更なる改善により今後は ID Gap を閉じた状態でも 300mA トップアップ運転を実施することを予定している。

## 参考文献

- [1] K.Takeda and Y.Shoji, 第 6 回日本加速器学会年会報告集, 2009, p.438-440
- [2] Y. Takemura, et al., 第 8 回日本加速器学会年会報告集, 2011, TUPS082
- [3] Y. Minagawa, et al., 第 8 回日本加速器学会年会報告集, 2011, TUPS080
- [4] Y. Minagawa, et al., 第 7 回日本加速器学会年会報告集, 2010, p.993-995
- [5] Y. Shoji, et al., 本プロシーディングズ, 2012, WEUH05

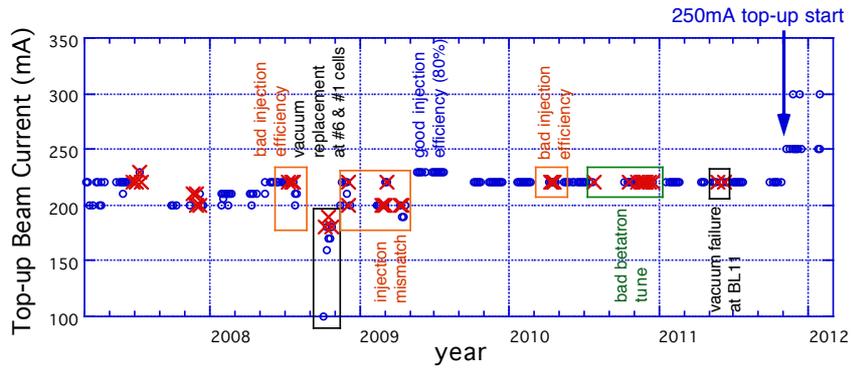


図 5 : 2007 年~2012 年現在までのトップアップ電流値の変遷。●は正常、×は電荷量制限による入射中断が発生。2012 年に 300mA で運転されているのは、ID gap を閉じてないときである。

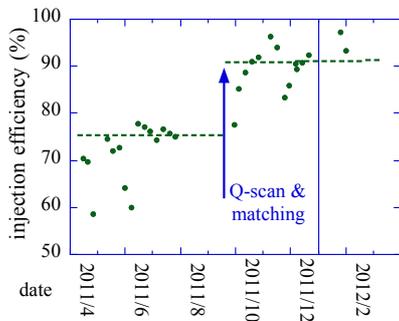


図 6 : 入射効率改善の変遷

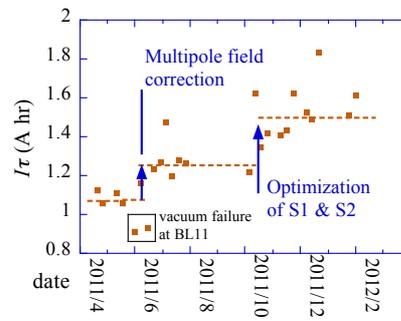


図 7 : ビーム寿命改善の変遷

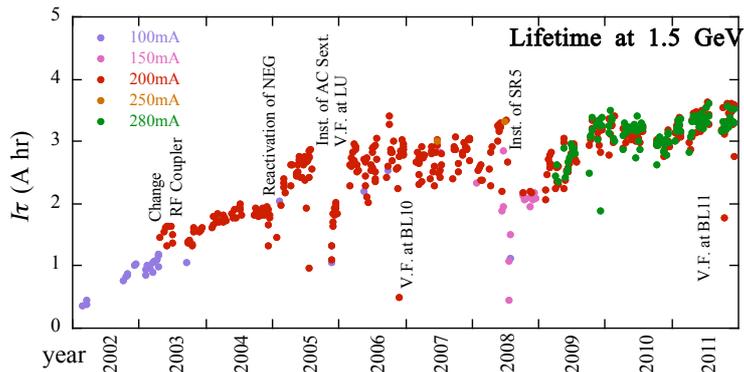


図 8 : 1.5GeV 運転でのビーム寿命の履歴