

ニュースバル放射光施設の現状

PRESENT STATUS OF THE NEWSUBARU SYNCHROTRON LIGHT FACILITY

橋本 智^{A)}、庄司 善彦^{A)}、宮本 修治^{A)}、皆川 康幸^{*B)}、鍛冶本 和幸^{B)}、濱田 洋輔^{B)}

Satoshi Hashimoto^{A)}, Yoshihiko Shoji^{A)}, Shuji Miyamoto^{A)},

Yasuyuki Minagawa^{*B)}, Kazuyuki Kajimoto^{B)}, Yousuke Hamada^{B)}

^{A)}Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

^{B)}Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Abstract

NewSUBARU synchrotron light facility is consist of an electron storage ring and nine beam lines for soft x-ray and gamma-ray beam applications. The facility was located in the SPring-8 site and has been operated by LASTI, University of Hyogo since 1998. Injection beam of 1.0 GeV electron are supplied from SPring-8 linac. The stored beam current of 1.0 GeV top-up operation is 300 mA. Storage electron energies are possible to accelerate or decelerate between the energy of 0.5 GeV to 1.5 GeV.

1. はじめに

ニュースバル放射光施設は、兵庫県立大学高度産業科学技術研究所が SPring-8 サイト内に設置し、1998 年から運用している放射光施設である (Fig. 1)。1.0 GeV の電子ビームを生成している SPring-8 線型加速器 (Linac) は、SPring-8 とニュースバルの両方で使用されており、振り分け電磁石によってシンクロトロン (Synchrotron) およびニュースバルへの交互入射が可能となっている。ニュースバルへの入射電子は遮蔽トンネル内にある約 70 m のトランスポートライン (L4BT) を介してニュースバルの蓄積リングに入射される。



Figure 1: Bird view of NewSUBARU building.

ニュースバル放射光施設は周長 118 m のレーストラック型電子蓄積リングと、9 本の放射光ビームラインから構成されている。蓄積リングのハーモニック数は 198 で、通常運転時のフィリングパターンは 70 バンチ × 2 セットを入射後、フルバンチに入射する。現在、1.0 GeV 利用運転時には蓄積電流 300 mA 一定の随時継ぎ足し入射 (Top-Up 運転) が行われている。1.5 GeV 利用運転では、1.0 GeV で 350 mA まで電子を蓄積後、1.5 GeV まで加速を行い、Decay 運転で利用運転を行っている。ガンマ線利用のために 0.5 GeV まで減速を行い、Decay

運転で利用運転を行うこともある。利用運転中は COD (Closed Orbit Distortion) の連続補正により、ビーム軌道を水平・垂直共に 10 μm 程度に保っている。

Table 1 にニュースバル電子蓄積リングのパラメーターを示す [1]。

Table 1: Parameter of NewSUBARU Storage Ring

Injection energy	1.0 GeV	
Storage energy	0.5 – 1.5 GeV	
Storage current (max)	500 mA	
Top-Up operation	1.0 GeV / 300 mA	
Circumference	118.731 m	
Lattice	DBA(6 cell) + Inv. B(6)	
Number of bending mag.	12	
Radius of curvature	3.217 m	
RF frequency	499.955 MHz	
Harmonic number	198	
Betatron tune	6.295 (H) / 2.215 (V)	
Electron energy	1.0 GeV	1.5 GeV
Mode	Top-up	Decay
Storage current	300 mA	350 mA
$\Delta E/E$	0.047%	0.072%
Natural emittance	50 nmrad	112 nmrad

放射光利用では、軟 X 線領域放射光の産業利用として、極端紫外光半導体リソグラフィ関連研究開発、LIGA プロセスによるナノマイクロ加工、新素材開発・産業用分析等に使われている。また、レーザ Compton 散乱ガンマ線ビームラインを 1 本設置しており、1 – 70 MeV のガンマ線ビームを 0.33 mW 発生できる。

2. ニュースバル運転の現状

ニュースバル放射光施設の 2018 年度の年間運転時間の内訳を Fig. 2 に示す。総運転時間は 1,922 時間であった。ニュースバルでは運転期間中、毎朝、ビーム電流の

* minagawa@spring8.or.jp

積み上げや加速を行っており、30分～1時間ほど時間を費やしている。運転時間の内訳の調整時間には、この合算時間も含まれている。2018年度の運転サイクルは第7サイクルまでであり、各サイクルの最初に加速器の入射調整、加速調整等が行われ、その調整時間は55時間である。2018年度は大きいトラブルがいくつか発生し、ビームダウンタイムは例年より多い39時間となっている。このビームダウンタイムは全運転時間には含まれていない。

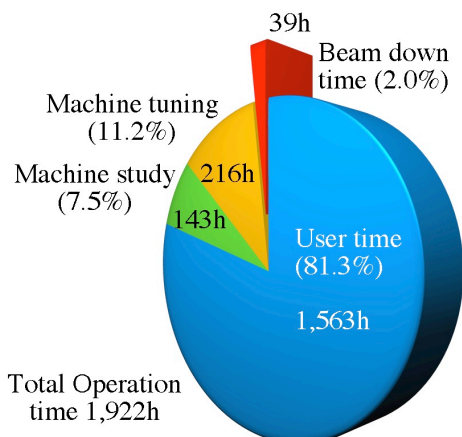


Figure 2: Operating time breakdown of NewSUBARU storage ring in FY2018.

2.1 トラブル

2018年度および2019年度前半には以下のトラブルの発生があり、それぞれ以下のように対処した。

(1) 逆偏向電磁石の補助電源の発振

2017年度に更新した逆偏向電磁石の補助電源が、更新から1年ほど経過して、トラブルが発生した。電源が発振してビームを揺らし、ビームをアポートさせてしまうトラブルが8回発生している。発振の原因と思われる電源内のフィードバック回路を除去することにより、電源の出力電流の安定度は低下したが、発振することは無くなった。

(2) バンプ電磁石電源のトラブル

2018年度はバンプ電磁石電源のトラブルが多発した。まずは電源内部の制御電源の故障。これは経年劣化と思われる、4台あるバンプ電磁石電源全ての交換を行なった。

また、バンプ電磁石電源が1台ミスファイアしたことによるビーム削れとアポートが今回、初めて確認された。これまでバンプ波形の計測システムはあったのだが、検出出来ていなかった。2017年度末にシステムを変更したことで観測されたと思われる。これまでの原因不明のビームアポートの何回かはバンプのミスファイアによるものではないかと考えられる。

2018年の夏期点検期間明けに、バンプ電磁石電源の1台がファイアしないというトラブルがあり、電源内部のサイラトロンを交換した。上記のミスファイアもサイラ

トロンの劣化で起きた可能性がある。残りの電源のサイラトロンも、ミスファイアが頻発するようであれば、交換を行う予定である。

この後、2019年7月現在、ミスファイアが起きたのは、ビーム電流を積み上げるまでの連続ビーム入射の時のみ起きており、Top-up 運転中のユーザータイムには起きていないため、様子を見ている。

(3) RFのトラブル

RF関係のトラブルも多発した。RFのフィードバックシステムが正常に稼働せず、RFが立ち上がらないというトラブルがあった。調査の結果、500MHzの信号を出しているRFシンセサイザの故障と判明し、予備品と交換している。

シンセサイザの故障以外にも、RFが立ち上がらないトラブルが起きている。これは、RFの電圧の設定値がゼロであるとRFフィードバックが正常に立ち上がらないことが原因であった。しかし、以前はこの状態でも立ち上がっており、今回立ち上がらなくなった原因は判明していない。RF電圧の設定値に、ゼロを設定した後に適当な数値を設定するようにプログラムを改修することで、このトラブルは起きなくなっている。

(4) 電磁石電源のアラーム発報

毎朝の四極電磁石の初期化時に電源加熱のアラーム発報が発生しており、2018年度に9回あった。電源のリセットで復旧対応している。2018年度、毎日の運転終了時に電源を落とさずに排気ファンを回し続ける対処を行なったことで頻度は減っている。

2019年度も既に10回起きているが、加速器の運転がしばらく停止した後の加速器調整期間の時に主に発生している。電磁石電源の更新を予定しているが、まだ実行出来ていないため、現在は、アラームが発生した場合、自動で復旧させている。

(5) その他

2018年度には、瞬時電圧低下によるRFのダウンや電磁石電源の冷却用のFANが故障で、それぞれ1回ずつビームアポートが発生した。

2019年度は瞬時電圧低下により冷却水、空調が停止してビームアポートしたのが1回発生しているが、電源等に故障はなく、冷却水、空調の復旧と共に復旧している。

ビーム削れが2018年度に4回、2019年度に1回発生しており、ビームが削れる瞬間のSR光モニタの映像を見ると、縦方向にビームが伸びており、ビーム不安定性が疑われるが、原因は特定できていない。

加速器の自動立ち上げ機能が動作しないというトラブルがあったが、SPRING8からの基準トリガー信号を受信するO/Eモジュールの故障に起因していた。

2.2 運転の改善

ニュースバルでは、ビーム電流を積み上げていくと、水平のチューンが上昇する。これはビームのフィリングパターンに依存している (Fig. 3)。水平のチューンが変化することで、ビームの入射効率に影響が出ており、安定した運転を目指す上では、水平のチューンを一定に保ち、高い入射効率が維持することが望ましい。これに関

して、次の二つのアプローチで取り組んでいる。

(1) チューンフィードバックシステムの開発

昨年報告した、チューン計測システムを用いて、チューンフィードバックシステムの開発が進んでいる。このシステムはビームの積み上げの時だけでなく、加速中のチューンの変動や、挿入光源の Gap が閉じる際のチューンの変動にも対応してチューンを維持する。システムは完成しており、現在、実証実験等を行なっている。

(2) フィリングパターンの変更

これまで、ニュースバルでは 70 バンチ $\times 2$ + フルバンチというフィリングパターンを使用していた。チューンの変化とフィリングパターンが形成されていく過程を考慮して、今回、110 バンチ + フルバンチというフィリングパターンに変更することにした。2019 年 7 月から 1 GeV の利用運転にのみ稼働させている。このフィリングパターンでの加速操作が確立できた時点で完全にこのフィリングパターンに移行する予定である。

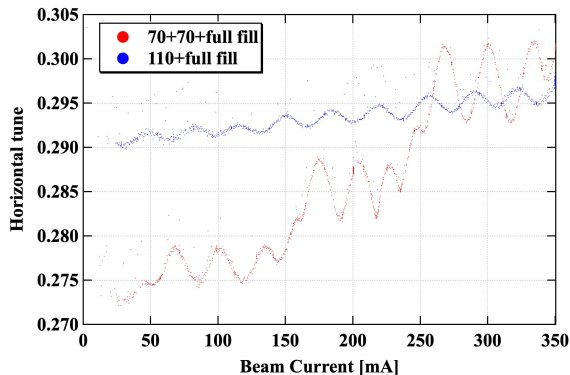


Figure 3: Horizontal tune by filling pattern.

3. 新入射器 (予定)

SPring8 は SACLA からの直接入射に移行予定である。それに合わせて SPring8 とニュースバルで共通に使用していた線型加速器の運転停止も予定されている。そのためにニュースバルでは、新しい入射器を設置することになった。新しい入射器は、ビームトランスポート (L4BT) が撤去されて、そのトンネル内に設置される予定である。現在、クライストロン等を収納する建物が、このトンネルの横に建設されて 2019 年 4 月に竣工している (Fig. 4)。

4. まとめ

ニュースバル放射光施設は、建設から 21 年経過しており、経年劣化により、様々な機器故障が増えてきている。点検・機器更新・監視システムの構築等に対応していく必要がある。現在 1.0 GeV / 300 mA のトップアップ運転と、1.5 GeV / 350 mA からの電流減衰運転を週間スケジュールで配分して安定に運用している。

5. 関連報告

本学会でニュースバル関連の以下の報告がある。



Figure 4: Bird view of new building.

- コンプトン散乱ガンマ線の自動エネルギー可変計測のためのニュースバル加速器運転自動化
- NewSUBARU における高エネルギーガンマビームを利用したガンマ線誘起陽電子消滅測定装置の開発

参考文献

- [1] <http://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility/ring/Index-J.html>