

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)}、藤井 将^{A)}、皆川 康幸^{*B)}、鍛冶本 和幸^{B)}、濱田 洋輔^{B)}

Satoshi Hashimoto^{A)}, Yoshihiko Shoji^{A)}, Hitoshi Fujii^{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. Construction of new linac started in August 2020.

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。

SPring-8 は SACLA からの直接入射に移行予定であり、SPring-8 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。ニュースバルでは、2020 年の 7 月で利用運転を停止して、8 月より理研の協力のもとニュースバル専用の新しい入射器の設置工事を始めている。



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 110 バンチを入

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。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 nrad	112 nrad

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、レーザー 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。

単一サイクル自由電子レーザー原理実証実験のため、2020 年 3 月に長直線部に磁場強度に勾配がつけられた

* minagawa@spring8.or.jp

テーパーアンジュレータが2台、シケインのマグネットを挟んで設置されて、調整運転が開始されている [2,3]。

2. ニュースバル運転の現状

ニュースバル放射光施設の2019年度の年間運転時間の内訳を Fig. 2 に示す。総運転時間は2,720時間であった。ニュースバルでは運転期間中、毎朝、ビーム電流の積み上げや加速を行っており、0.5～1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。2019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69時間である。2019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31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。

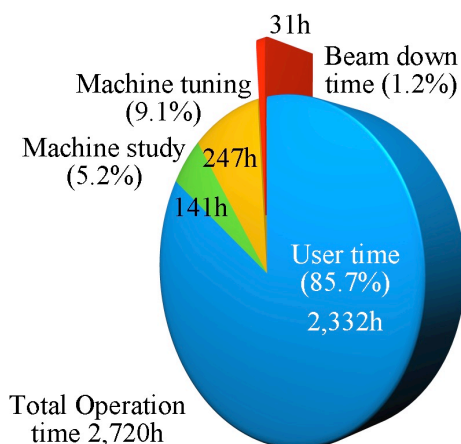


Figure 2: Operating time breakdown of NewSUBARU storage ring in FY2019.

2.1 トラブル

2019年度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) 偏向電磁石電源の発振

偏向電磁石の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1週間で9回発生した。直接の原因は偏向電磁石の電源のファンが停止し、電源内の温度が上がり、発振が起きたと考えられる。発振した時に電源をOFF/ONすれば、発振が停止していたために原因が不明なまま運転を進めていたが、頻繁に起こることから電源を調査するとファンが停止していた。電源にはファンが停止した時にアラームが出る機構があったが、発報しなかった。調査を行うと、ファンの近くに温度センサがあり70°Cでアラームが発報することを確認した。ファン停止のアラームが出る温度より低い温度で電源内の基板等に異常が発生したと考えられる。

この現象とは別に長期運転停止後に偏向電磁石電源の発振が発生するトラブルが発生したが、初期化を3回行って発振しなくなった。メーカーに調査を依頼した

が、原因は特定できていない。

(2) バンプ電磁石のトラブル

2018年度から引き続き2019年度も、バンプ電磁石電源のミスファイアによるビーム削れが起きている。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、様子を見ていたが、頻度が上がってきたため、新しい入射器建設のための停止期間にサイクロンを交換予定である。

バンプ電磁石のタイミングがずれるトラブルも発生している。ディレイモジュールの故障が原因で予備品に交換して復旧している。

(3) RFのトラブル

毎朝のRFの自動立ち上げ時に、RFのフィードバックの位相がリミットまで動いてホールドされるというトラブルが発生した。RFをOFF/ONすることで復旧する。NIMモジュールの故障と思われるが、原因となるモジュールは特定できていない。現在は、一度、RFを立ち上げた後に自動でOFF/ONを行う処理で対処している。

モジュールで予備があった物を1台交換してみたが、そのモジュールが原因ではなかった。モジュール交換の際に設定を間違えて、ビーム電流が180mA以上積み上げられないというトラブルも発生している。

毎朝のRFの自動立ち上げ時にRFが立ち上がっていないことがあった。これはコレクタの冷却水の流量低下でアラームが出ていたためであったが、流量は正常値であった。同じ日にビーム積み上げ中に再度、RFのコレクタの冷却水の流量低下でアラームが出てビームがアポートしたが、これも流量は正常値であった。年に1回ほど同様のトラブルが発生しているが、原因は不明である。

(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、2019年度に15回あった。電磁石電源の更新を予定しているが、まだ実行できていないため、現在は、アラームが発生した場合、自動で復旧する処理を行っている。

六極電磁石電源も毎朝の初期化後に発振するというトラブルが3回発生している。対処として、初期化後に電源をOFF/ONする処理を追加したが、それ以降、現在のところ発生していない。

(5) チューンフィードバックシステム

2019年度からチューンフィードバックのシステムが稼働しており、システムに絡んだトラブルでビームアポートやビーム削れが何回か発生している。プログラムのバグであり現在はプログラムの修正をして、ビーム削れなどは発生していない。

(6) ビームラインハッチ

ビームラインの実験ハッチアラームによるビームアポートが2回発生している。ビームアポート時に状況が再現せず、原因は不明であったが、ビームシャッターの機構を新しく交換したところ発生しなくなった。シャッ

ター開閉の圧縮空気の強さが弱くなっていたと考えられる。

(7) その他

2019 年度に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 2019 年度に 3 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。

ビームの水平方向の振動が大きくなりビームアポートしたのが 1 回あった。水平方向のクロマチシティを上げて対処している。

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、SPring-8 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、1.0GeV でビームを入射して蓄積し、1.5GeV に加速する運転を行っている。この加速運転には 12 分ほど時間を要している。短い時間で加速できない要因としては、加速途中でビームの軌道が、最大 8mm もずれてしまうことが挙げられる。これは、偏向電磁石と逆偏向電磁石の形状が異なることでビームへの磁場が微妙にずれることで発生していることが分かってきた。

この軌道のずれにより、加速途中ではチューンもずれてきていたが、これはチューンフィードバックシステムの開発で抑えられるようになった。軌道のずれについては、加速途中で RF の周波数を動かしてビーム軌道のずれを抑えることを試みている。その結果、7 分で、1.5GeV までの加速に成功している。ただし、加速終了後に RF の周波数が 2kHz もずれてしまうため、改善の必要がある。また、より短い時間での加速を試みる予定である。

3. 新入射器

SPring-8 は SACLA からの直接入射に移行予定である。それに合わせて SPring-8 とニュースバルで共通で使用していた線型加速器の運転停止も予定されている。そのために理研の協力・支援を頂いてニュースバル専用の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。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。この建物に 2020 年 3 月までに S バンドのクライストロン 1 台と C バンドのクライストロン 4 台が設置された (Fig. 3)。2020 年 7 月までにこの 5 台のク

ライストロンのダミーロードでの試験が終了している。2020 年 8 月よりビームトランスポートの撤去と入射器の設置工事が始まっている。2021 年 1 月より RF エージング等の試験を開始する予定となっている。

新しい入射器の建設に合わせて、リングの方の制御系も新しく更新される予定である。

4. まとめ

ニュースバル放射光施設は、建設から 22 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。新しい入射器建設のために加速器の利用運転が停止し、2021 年 4 月に運転再開予定である。



Figure 3: Inside view of new building.

謝辞

ニュースバル放射光施設の運用、特に加速器運転、電気機械設備の維持管理、および放射線安全管理等にご協力頂いています高輝度放射光研究センター (JASRI) に深く感謝します。また新入射器は理化学研究所、JASRI、QST、SES、および兵庫県の非常に多くの皆様のご尽力により工事着工に至り、現も順調に工事が進んでいます。ここに関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] <http://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility/ring/Index-J.html>
- [2] 田中隆次他, "ニュースバルにおける単一サイクル自由電子レーザー原理実証実験計画", 日本加速器学会第 15 回年会.
- [3] 田中義人, "ニュースバルにおけるフェムト秒パルスレーザー同期照射の開発", ニュースバルシンポジウム 2020 予稿集, p.44-48.