

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)}、藤井 将^{A)}、濱田 洋輔^{B)}、
皆川 康幸^{C)}、鍛冶本 和幸^{C)}、中田 祥太郎^{C)}、平山 英之^{C)}、田中 信一郎^{C)}
Satoshi Hashimoto^{*A)}, Hitoshi Fujii^{A)}, Yousuke Hamada^{B)},
Yasuyuki Minagawa^{C)}, Kazuyuki Kajimoto^{C)}, Shotaro Nakata^{C)}, Hideyuki Hirayama^{C)}, Shinichirou Tanaka^{C)}
^{A)}Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo,
^{B)}Japan Synchrotron Radiation Research Institute, ^{C)}SPring-8 Service Co., Ltd.

Abstract

NewSUBARU synchrotron light facility is consist of an electron storage ring and nine beam lines for soft x-ray. The facility was located in the SPring-8 site and has been operated by LASTI, University of Hyogo since 1998. Since March 2021, 1.0 GeV electron beams have been supplied by the newly constructed Linac. In April 2021, the stored beam current for top-up operation at 1.0 GeV increased from 300 mA to 350 mA. Stored electron energy can be accelerated or decelerated between 0.5 GeV and 1.5 GeV energies.

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, 2, 3).



Figure 1: Bird view of NewSUBARU building.

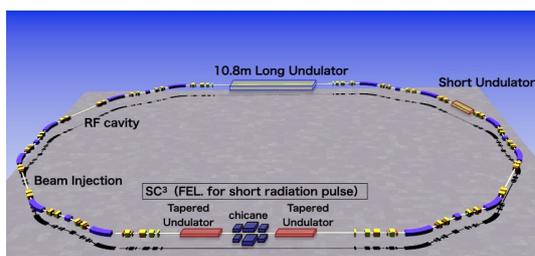


Figure 2: NewSUBARU storage ring.

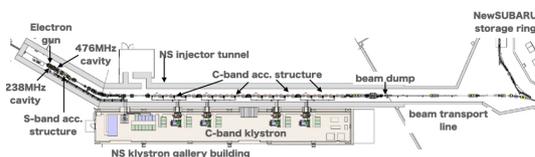


Figure 3: General layout of the new 1.0 GeV linac.

SPring-8 線型加速器の運用停止に伴い、2020 年末にニュースバル専用の新入射器が完成し、2021 年 3 月から新入射器による 1.0 GeV 電子ビームをニュースバル蓄積リングに入射している。[1-4]。

ニュースバル放射光施設は周長 118 m のレ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を 350 mA に保つ随時継ぎ足し入射 (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。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 [5]。放射光利用では、軟 X 線領域放射光の産業利用として、

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 / 350 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	350 mA	350 mA
$\Delta E/E$	0.047%	0.072%
Natural emittance	50 nmrad	112 nmrad

* hash@lasti.u-hyogo.ac.jp

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。また長直線部に設置した任意テーパアンジュレータを用いて、単一サイクル自由電子レーザー原理実証実験が行われている（理化学研究所および兵庫県立大学理学研究科との共同研究）。

2. ニュースバル運転の現状

ニュースバル放射光施設の2020年度の年間運転時間の内訳を Fig. 4 に示す。2020年度の後半は新入射器の工事で加速器の運転がなかったため、総運転時間は通常の年の半分以下の1,031時間であった。ニュースバルの運転時間は基本的に9:00~21:00であるので、毎朝、装置の立ち上げ、ビーム電流の積み上げ、および必要に応じて1.5 GeV 加速を行っており、運転開始からユーザー利用開始まで0.5~1時間ほどを加速器調整に費やしている。年間運転時間の内訳にもある「加速器調整」には、この合算時間も含まれている。2020年度の運転サイクルは第3サイクルまでであり、各サイクルの最初の数日に実施される「加速器調整」では、ビーム入射、エネルギー加速など安定なユーザー運転実現のために必要な調整が行われる。2020年度の調整時間は計69時間であった。また2021年1~3月に行われた新入射器のコミッションング運転時間の297時間も「加速器調整」に合算されている。2020年度のビームダウンタイムは少なく、2時間であった。このビームダウンタイムは全運転時間1031時間には含めていない。

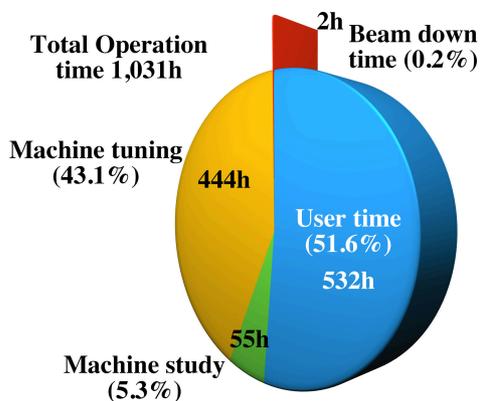


Figure 4: Operating time breakdown of NewSUBARU storage ring in FY2020.

以下に2020年度に発生したマシントラブルとそれぞれの対処を示す。

(1) SPring-8 入射器のパラメータ設定ミス 2020年度、SPring-8 光源リングへのビーム入射はSACLAからの入射に切り替わっており、SPring-8の1.0 GeV線型加速器はニュースバルへのビーム入射のみにだけ使用されていた。そのために入射器のパラメータ設定ミスなどでニュースバルにビーム入射出来なかった事象が2回あった。(2) tune 補正システムの不具合ベータトロン tune を測定しているスペクトラムアナライザの波形ピーク値が低くなり、tune 値が正確に測定出来ない状態で、tune 補正システムが補正をしてしまい、ビームが削れるトラブ

ルがあった。波形ピーク値の大きさが、しきい値以上であるときだけ補正を行うようにシステムを改修した。

(3) バンプ電磁石のトラブル 2020年度もバンプ電磁石電源のミスファイアによる蓄積ビームの削れが1回起きた。入射器建設のための停止期間にサイクロンを交換した以降はこの不具合は発生していない。

(4) 電磁石電源のアラーム発報

毎朝行っている四極電磁石の初期化時に電源過熱アラームが発生し初期化が中断されることが2020年度に2回あった。

(5) その他リング蓄積ビームの削れが2020年度に4回発生した。ビームが削れる瞬間の可視放射光モニタの映像を見ると、縦方向にビームサイズが増大しており、ビーム不安定性が疑われるが、原因は特定できていない。

3. 新入射器

SPring-8とニュースバルで共通で使用していた1.0 GeV線型加速器の運用を停止することから、理化学研究所の協力・支援でニュースバル専用の新しい入射器の設置が行われることになった。2018年度末にクライストロンを収納する建物（附属棟）が完成し、2019年度にその建物内に入射器用のSバンドクライストロン1台とCバンドクライストロン4台が設置された。

SPring-8の線型加速器からニュースバル蓄積リングへビームを入射するために使用されていたビームトランスポートが2020年度の8月から撤去されて、そのトンネル内に新しい入射器が設置された。コロナ禍での現場作業ではあったが無事予定通り2020年12月までに作業は完了した(Fig. 5, 6)。2021年1月から入射器のRFコ



Figure 5: Klystron gallery.

ンディショニングが開始されて、1ヶ月ほど24時間運転が行われ、Cバンドクライストロン4台は50 kVまで昇圧できるようになった。2月中旬から入射器のビーム調整を開始し、1週間で、入射器下流にあるビームダンプで、1.0 GeV電子ビームの到達を確認した。3月初旬から蓄積リングへ向けたビーム入射調整を開始し、1週間でビーム電流が200 mAまで蓄積できた。新入射器の設置工事と同時期にビームラインの改修工事が行われていたため、ビームラインの放射光による真空悪化の改善

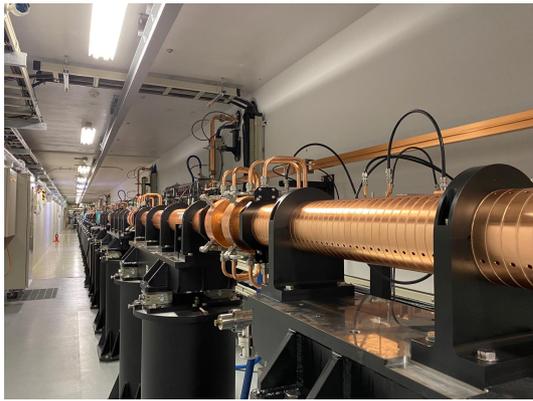


Figure 6: Linac.

を待ち、3月下旬にはビーム電流を 350 mA まで蓄積可能になった。4月に 1.5 GeV 加速調整を行い、4月下旬から当初の予定を4週間前倒して供用利用運転を再開した。

運転する加速器が蓄積リングだけであった2020年まではニュースバル加速器制御用端末は2台だけであったが、新入射器の運転制御に伴い、リング加速器・新入射器の運転制御用、アラーム監視用など運転に必要な端末は6台に増えた。また新しい入射器の建設に合わせて、制御系の入れ替えも行われた。ニュースバルリング加速器で使用されてきた制御系(MADCOA2)から、SACLAとSPring-8の制御統合時に使用された新しい制御系(M&M)への切り替えが行われた。さらにグラフィックライブラリが従来のXmateからQtへ変更されたため、これらに対応するため全ての加速器制御GUIプログラムを修正・再コンパイルし、制御システムを刷新した。制御室のレイアウトなども全面的に見直した(Fig. 7, 8)。



Figure 7: Control room.

4. まとめ

ニュースバル電子蓄積リングは、建設から23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。このため安定な運転の実現に向けて、限られた予算と人員のなかで定期点検の実施、機器の更新・監視システムの構築等で対応している。ニュースバル専用の高

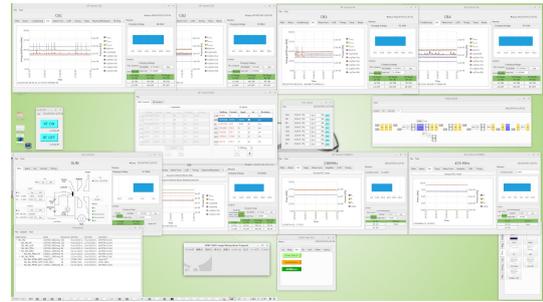


Figure 8: Qt GUI for new Linac.

性能な新入射器の運用が始まった結果、入射器および蓄積リング一体のより自由度の高い運用が可能になった。引き続き、安定で高品質な放射光の供給と加速器の高度化研究を目指していく。新入射器の稼働により、すでに1.0 GeV 運転時の Top-up 電流は 300 mA から 350 mA に増加したのに加えて、10月からは 1.5 GeV 加速運転時の蓄積電流を現在の 350 mA から 400 mA へ増加する予定である。

謝辞

ニュースバル新入射器の建設、調整には理化学研究所、高輝度放射光研究センター(JASRI)、QST、SESの多くの加速器関係者の皆様にご尽力いただきました。ここに深く御礼申し上げます。またニュースバル放射光施設の運用、特に加速器運転、電気機械設備維持管理および放射線安全管理等にご協力頂きましたJASRIの皆様にも深く感謝します。

参考文献

- [1] T. Asaka. “高信頼性・高保守性・高輝度ビーム特性を兼ね備えたグリッド熱陰極 RF 電子銃の開発”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug. 9-12, WEAOA03, 2021.
- [2] T. Inagaki *et al.*, “ニュースバル新入射器における C バンド主加速器のコンディショニングと運転状況”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug. 9-12, THP033, 2021.
- [3] T. Ohshima *et al.*, “放射光施設ニュースバルの新入射加速器のタイミング・低電力高周波制御システム”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug. 9-12, WE0B05, 2021.
- [4] K. Okada *et al.*, “SPring-8/SACLA 加速器ログデータベース利用環境の構築”, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug. 9-12, TUP039, 2021.
- [5] <https://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility-ring.html>