

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)}, 櫻井辰幸^{B)}, 牛澤昂大^{B)},
 皆川康幸^{C)}, 鍛冶本和幸^{C)}, 中田祥太郎^{C)}, 平山英之^{C)}

Satoshi Hashimoto^{A)}, Hitoshi Fujii^{*,A)}, Sakurai Tatsuyuki^{B)}, Takahiro Ushizawa^{B)}
 Yasuyuki Minagawa^{C)}, Kazuyuki Kajimoto^{C)}, Shotaro Nakata^{C)}, Hideyuki Hirayama^{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. The stored beam current for top-up operation at 1.0 GeV is increased to 350 mA. Stored electron energy can be accelerated or decelerated between 0.5 and 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, 2, 3)。



Figure 1: Bird's eye view of the NewSUBARU building.

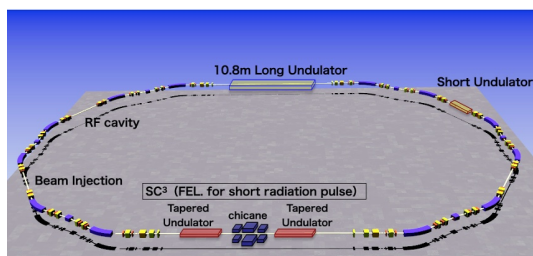


Figure 2: NewSUBARU storage ring.

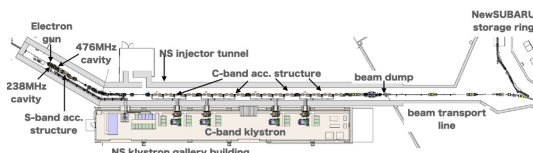


Figure 3: General layout of the new 1.0 GeV linac.

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]。

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連続 110 バンチを入射後、フルフィリングで入射する。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 400 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 [2]。

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	400 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、

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

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、ガンマ線光源開発等に使用されている。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. ニュースバル加速器運転の現状

ニュースバル放射光施設の 2021 年度の年間運転時間の内訳を Fig. 4 に示す。2021 年度の総運転時間は 1,919 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「Machine tuning」には、この合算時間も含まれている。2021 年度の運転サイクルは第 6 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日では、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。2021 年度の調整時間は計 257.5 時間であった。2021 年度のビームダウンタイムは例年より少し多い、57.5 時間であった。このビームダウンタイムは全運転時間 1,919 時間には含めていない。

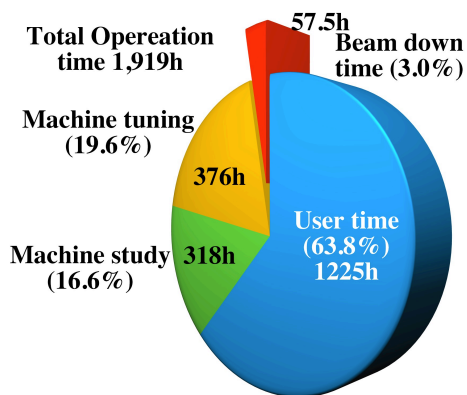


Figure 4: Operating time breakdown of NewSUBARU storage ring in FY2021.

2.1 トラブル事例

以下に 2021 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) SIP 高圧電極の腐食

2021 5 月、ユーザー利用運転中にリングの一部の真空が悪化して、自動でゲートバルブが閉じてビームアポートした。現場を調査すると、真空悪化した部分のスパッタイオンポンプ (SIP) の高圧が落ちていた。SIP はすぐに立ち上がったが、真空漏れを疑い、リークチェックを行うも原因を見つけることは出来なかった。夏期点検期間まで加速器の運転は問題なく行えたが、点検期間中の 9 月に再度同じ場所が真空悪化で SIP 高圧が落ちた。この時は SIP も立ち上がらず、より入念なリークチェック

を行った結果、SIP の高圧電極が腐食し、そこから真空漏れがあったことを突き止めた (Fig. 5)。SIP を予備のものに交換して、復旧している。今年の夏にリング全部の SIP の高圧電極の腐食調査を行う予定である。

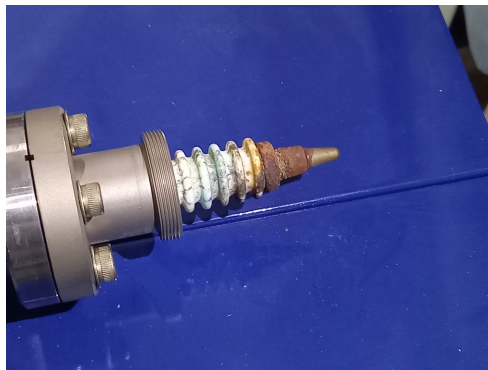


Figure 5: High-voltage electrode of ion pump with vacuum leakage.

(2) 電子銃高圧電源の故障

電子銃の 50 kV 電源 (MARX 電源) が Over Current のアラームを出して、立ち上がらなくなった。予備機に交換したが、再度アラームが出て同様に立ち上がらなくなった。6 枚の高圧基板のうちの 1 枚が絶縁不良を起こしており、最初に故障した電源をメーカーで修理して再設置することで復旧した。

(3) RF 窓冷却チラーの故障

ユーザー利用運転中にリングの RF クライストロンがウィンドウ流量低のアラームで停止し、ビームアポートが発生した。現場を調査すると、RF ウィンドウを冷却するチラーが故障して停止していた。予備機に交換することで復旧している。故障したチラーは型式が古くて修理出来なかったため、新たに予備機を購入した。

(4) 入射器の制御系トラブル

C バンドクライストロンの高圧を立ち上げる時に RF が加速管に出力されないトラブルがあった。Low Level 系の機器から信号が出ていないことが判明し、MTCA のボードを OFF/ON して、MTCA を再起動することで復旧した。その後、加速器が運転していない時に予備のボードに交換している。

(5) ビームアポート

上記以外に 2021 年度にビームアポートが 6 回起きていた。そのうちの 1 回は、粗排気系の真空ポンプを壁コンセントにつないだところ、容量オーバーでブレーカーが落ちた。同じ系統に RF サーキュレータ電源が一時的に接続されていたため、ブレーカーが落ちたことで同電源も停止し、リング RF もダウンしてビームがアポートした。このトラブルの後、サーキュレータ電源は分電盤に接続変更された。それ以外に瞬時電圧低下によるビームアポートなどがあった。

(6) GUI 不具合

加速器を操作する GUI プログラムは 2020 年度に、これまでの Xmate から Qt へ移植された。通常のユーザー利用運転に使用する GUI の不具合は 2020 年度の時点で改修は済んでいたが、スタディの時のみ使用される GUI に不具合が残っていた。これが原因でスタディ翌日のユーザー利用運転の時にビームが正常に入射出来ないというトラブルが 2 回起きたが、現在までに不具合は改修済みである。

2.2 加速器運転の改善

(1) 電子ログの運用

オープンソースの ELOG [3] を加速器運転の電子ログとして採用し、2021 年 4 月から本格運用を開始した (Fig. 6)。従来のログノートに相当する logbook タブと GUI 操作を自動的に記録する acclog タブを設けている。logbook への記載はキーボード入力で行うが、定型的内容は GUI でボタンを押すと自動作成されるようになっており、運転員の負担を減らしている。また、関係者にメール送信される運転日報も自動で summary タブに記録されて検索できるように構築した。

Record time	Category	Pos	Subject	Text
2022/07/19 19:27:45	現場作業	ACC	一時立入 退出	トンネル一時立入 退出 清道係: 三浦
2022/07/19 19:09:28	現場作業	ACC	一時立入 入室	トンネル一時立入 入室 戻り番号: 野川 入室者: 神田, 三浦
2022/07/19 19:07:05	調整		閉鎖 終了	ns_voice 自動立ち下り
2022/07/19 19:02:28	利用	ACC	ns_energy	ns_energy
2022/07/19 19:01:46	利用	RING	ns_energy	Manual Beam Abort. 348.950k -> 0 nA Beam Abort manually.
2022/07/19 19:00:57	調整	RING	ns_voice	IC-1調整
2022/07/19 18:59:47	利用	RING	auto_cod	Stop Auto COD Correction.
2022/07/19 18:59:41	利用	RING	nsqul	Auto Injection Stop
2022/07/19 18:59:27	利用	BL	BL利用終了	此利用終了 BL No.11
2022/07/19 18:53:32	調整	ID	Gap調整	LI GAP PULS OFF
2022/07/19 18:53:16	利用	BL	BL利用終了	此利用終了 BL No.9
2022/07/19 17:35:11	利用	BL	BL利用終了	此利用終了 BL No.10

Figure 6: Operation elog.

(2) 加速時のビーム電流値増加

2020 年度 (新入射器以前) までは、1.5 GeV 利用時は蓄積電流 350 mA にて加速を行ってきた。2021 年、新入射器の運用に慣れて、安定な大強度ビーム出射とリングへの高い入射効率を長期に渡って維持できる目処があったため、1.5 GeV 利用時の蓄積電流を 400 mA に増強した。このビーム調整の際に、380 mA 付近でビーム不安定性 (Cavity HOM による Coupled Bunch instability) によるアポートを繰り返した。また 1.5 GeV 加速後の Decay 運転時に蓄積電流減少に伴い、同様の不安定性が見られた。これまでのスタディなどで、蓄積電流の減少に伴い、リング RF 空洞の tuner position は増加し、6.4 ~ 7.0 mm 付近でビーム不安定性が発生することがわかっている。この不安定性を回避するためにリング RF 空洞の tuner phase offset 値を -14.5 度から -21.5 度に変更することで、安定に 400 mA までの電流積み上げと、1.5 GeV 加速後の Decay 運転を行うことが出来るようになった。

3. 光源開発ビームライン BL01 の現状

長直線部を光源点とする BL01 は光源開発ビームラインとして加速器グループが管理運用しており、現在は、

- レーザーコンプトン散乱 (LCS) ガンマ線の光源開発とその利用
- 自由電子レーザーによる超短パルス放射光 (単一サイクル) 発生の実証実験 [4]

を行っている。2020 年から一時停止していた LCS ガンマ線利用は 2022 年はじめから部分的にはあるが再開した [5]。今後も引き続きガンマ線の光源開発と利用を行う。

4. まとめ

兵庫県立大ニュースバル電子蓄積リングは、建設から 24 年経過しており、経年劣化による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継続に向けて、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に対応している。ニュースバル専用の高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。

5. 関連報告

本年会でニュースバル関連の以下の報告がある。

- 機械学習によるベータatron振動波形のリアルタイム解析、藤井他 (WEP019)
- SACLA-BL1 加速器 (SCSS+) およびニュースバル新入射器のスクリーンモニタへの GigE カメラ制御システムの適用、清道他 (WEP012)
- 単一サイクル FEL 原理実証用超短パルスレーザー光源の開発、貴田他 (WEOA11)
- レーザー逆コンプトン光子の光中性子生成二重微分断面積測定への応用、佐波他 (WEOA09)

参考文献

- [1] T. Inagaki, S. Hashimoto *et al.*, "ニュースバル 1.0 GeV 新入射器の建設とコミッションング運転", Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug, 2021, pp102-105.
- [2] <https://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility-ring.html>
- [3] <https://elog.psi.ch/elog/>
- [4] Y. Kida *et al.*, "単一サイクル FEL 原理実証用超短パルスレーザー光源の開発", Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Oct. 18-21, WEOA11, 2022.
- [5] T. Sanami *et al.*, "レーザー逆コンプトン光子の光中性子生成二重微分断面積測定への応用", Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Oct. 18-21, WEOA09, 2022.