

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)}, 櫻井辰幸 ^{B)}, 牛澤昂大 ^{B)},
 皆川康幸 ^{C)}, 中田祥太郎 ^{C)}, 平山英之 ^{C)}, 伊藤基巳 ^{紀 C)}

Satoshi Hashimoto ^{*,A)}, Sakurai Tatsuyuki ^{B)}, Takahiro Ushizawa ^{B)},

Yasuyuki Minagawa ^{C)}, Shotaro Nakata ^{C)}, Hideyuki Hirayama ^{C)}, Kiminori Ito ^{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

The NewSUBARU synchrotron light facility consists of an electron linear accelerator, an electron storage ring and nine soft X-ray beamlines. This facility is located in the SPring-8 site and has been operated by LASTI, University of Hyogo since 1998. From March 2021, a 1.0 GeV electron beam has been supplied from a newly constructed linear accelerator. The cumulative beam current for top-up operation at 1.0 GeV increased to 350 mA. The 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軟 X 線領域の放射光施設である (Fig. 1, 2, 3)。



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

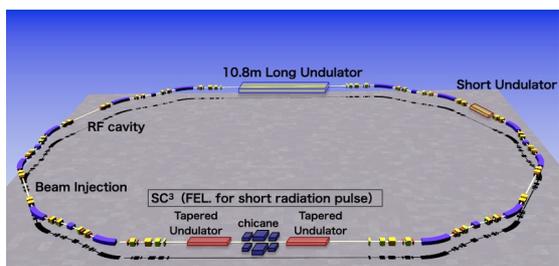


Figure 2: NewSUBARU storage ring.

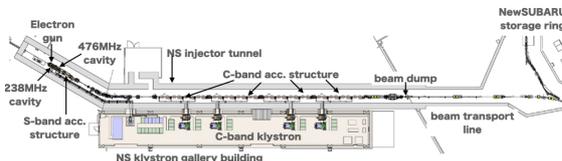


Figure 3: General layout of the 1.0 GeV linac.

本施設は 2021 年に運用を開始した専用入射器 [1]、周長 118 m のレーストラック型電子蓄積リングおよび 9 本の放射光ビームラインから構成される。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、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

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

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2023年度の年間運転時間の内訳を Fig. 4 に示す。2023年度の総運転時間は1,746時間であった。2023年度は電気代高騰により年間運転時間の大幅な削減が危惧されたが、下記の対処でユーザー利用時間は前年度比の6%の減少に抑えられている。

- ユーザー利用終了時刻の前倒し（21時から19時へ）
- 加速器運転費のユーザー負担
- 加速器定期点検見送りによる経費削減
- 兵庫県からの補助金

また、節電への取り組みとして、2023年11月から施設全体の冷却水の温度を30.0°Cから31.0°Cに上げている。従来、リングのRFへの冷却水はヒーターで温めて、31.9~33.0°Cに上げている。施設全体の冷却水温度を上げることでヒーターの負荷が少なくなり、1.5 GeV運転の際の電力が30 kWほど下がっている。

ニュースバルは基本的に毎朝、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。2023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。2023年度の調整時間は計310.9時間であった。2023年度のビームダウンタイムは例年より多く、108時間であった。このビームダウンタイムは全運転時間には含めていない。

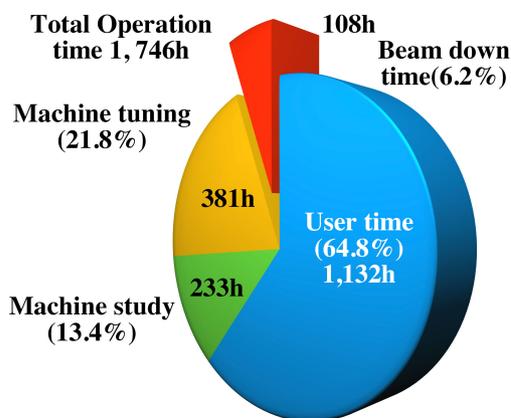


Figure 4: Operating time breakdown of NewSUBARU storage ring in FY2023.

2.1 トラブル事例

以下に2023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) 偏向電磁石電源の発振によるビームアポート

2023年4月19日~5月25日の間に、リングの偏向電磁石電源の出力電流の発振によるビームアポートが8回発生している。ビームが無い時も含めると、電源の発振自身は12回起きている。電源盤内の回路の高温異常を疑い、電源盤扉を開放しスポットクーラーで冷やすなどの対策を行なった (Fig. 5)。5月25日以降は発生しておらず、10月以降はスポットクーラー冷却も止めたが発振は起きていない。原因は不明である。

2025年の夏に偏向電磁石電源の更新予定になっている。



Figure 5: Cooling the bending magnet power supply with spot coolers.

(2) リングRFの集束コイル電源によるビームアポート

2023年6月7日~6月9日の間に、リングのRFの4台の集束コイル電源の1台が異常不足電流のアラームを出してLV OFFになり、ビームアポートすることが3回発生した (Fig. 6)。

電源の経年劣化で電流出力が下がったと考えられていた。設定出力を少し上げることでアラームは発生しなくなった。その後、電流値を監視していると、毎朝の立ち上げ時の電流値が日によってバラツキが出ており、電流値が低くならないように常に監視する状態になっていた。しかし、後述する(6)のトラブルで他の集束コイル電源を交換すると、この毎朝の電流値のバラツキは無くなったことから、(6)のトラブルの集束コイル電源によるノイズ等の影響ではなかったかと考えられている。



Figure 6: Focusing coil power supply.

(3) ビームラインの冷却水配管の漏水

2023年7月22日に加速器トンネル内のビームラインの冷却水配管で漏水があり、貯水タンクが満タンになったことで警報が発報して漏水に気がついた。ビームラインの現場の操作パネルでは前日の夜にすでに冷却水漏水のアラームが出ていたが、加速器、施設両部門への報告がなかった。現場を確認すると、漏水した水が加速器トンネル内の床に広がっていたが、加速器の機器やケーブルは水に浸かっておらず、水を拭き取るだけで運転を再開することが出来た (Fig. 7)。ビームラインの冷却水配管を確認すると、ホースが継手からはずれていた。このトラブルの後に全ビームラインの継手の再点検が実施されている。

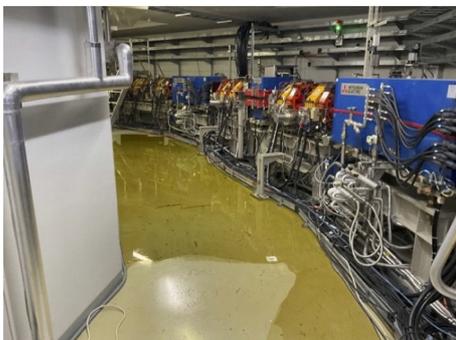


Figure 7: Leakage in the cooling water piping of the beamline.

(4) セプタム DC 電源の故障

2023年7月25日の立ち上げの際にセプタム DC 電源が起動しなかった。電源内部を調査し、内部の電磁開閉器、タイマー回路の故障を発見した。電磁開閉器の交換と、タイマー回路をバイパスして仮復旧しており、利用運転の停止は1日だけである。後日、タイマー回路も交換して復旧している (Fig. 8)。



Figure 8: Septum DC magnet power supply after replacing the electromagnetic switch and timer circuit.

(5) 入射器電荷積算計の関連機器故障

2023年12月20日に電荷積算が朝から集計されていないことに気づき、調査すると、前日の19日の午後から停止していた。19日は1.5 GeV 運転で午後に入射がないため気付くことが出来なかった。この時点で、安全管理室より入射停止要請があり、ビーム入射を停止している。現場を確認すると、電荷積算計のトリガの

ディレイを制御している DG535 で外部クロックエラーの表示が出ていた (Fig. 9)。DG535 を予備品と交換して復旧して、安全管理室の許可を得てビーム入射を再開している。



Figure 9: The malfunctioning DG535.

(6) リング RF の集束コイル電源の故障

2024年1月22日、ビーム調整の時にリングの RF が突然 LV OFF になり、集束電源のアラームが発報していた。アラームリセット後、LV ON して集束コイル電源も立ち上がったが、HV ON すると、再度、LV OFF になった。調査すると、集束コイル電源が HV ON 時に落ちていることが判明した。集束コイル電源は LV ON に関係しているが、HV ON には関係しておらず、HV ON 時のノイズを集束コイル電源のセンサが誤検知して落ちていると推測された (Fig. 10)。

集束コイル電源は既製品の電源の改造品であり、すぐに入手できない電源であったが、あいちシンクロトロン光センターに同型の電源の予備があることが判明し、借用して設置して、2月1日に復旧した。利用運転は6日間停止した。

故障した電源は古すぎて修理が出来ず、新しく発注した電源は6月に届き、交換している。



Figure 10: Focusing coil power supply.

2.2 加速器運転の改善

(1) 1.5 GeV 運転の再開

2022年6月から逆偏向電磁石の補助電源の故障で1.5 GeV 運転を行えない日々が続いていたが、2023年夏に修理が完了して2023年10月から1.5 GeV 運転を再開している。

