

## 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<sup>\*,A)</sup>, 藤井将<sup>A)</sup>, 櫻井辰幸<sup>B)</sup>, 牛澤昂大<sup>B)</sup>,  
皆川康幸<sup>C)</sup>, 中田祥太郎<sup>C)</sup>, 平山英之<sup>C)</sup>, 中村亜津志<sup>C)</sup>

Satoshi Hashimoto<sup>\*,A)</sup>, Hitoshi Fujii<sup>A)</sup>, Sakurai Tatsuyuki<sup>B)</sup>, Takahiro Ushizawa<sup>B)</sup>,  
Yasuyuki Minagawa<sup>C)</sup>, Shotaro Nakata<sup>C)</sup>, Hideyuki Hirayama<sup>C)</sup>, Atsushi Nakamura<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute <sup>C)</sup> 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.

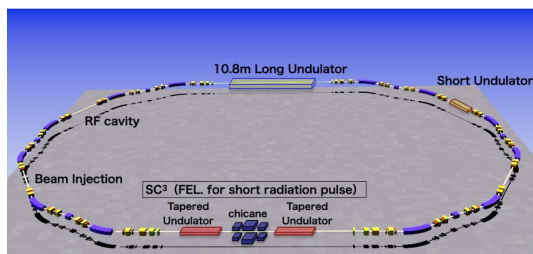


Figure 2: NewSUBARU storage ring.

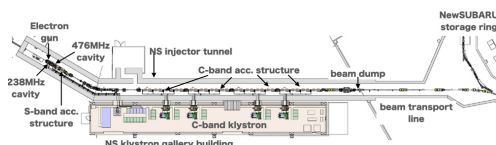


Figure 3: General layout of the new 1.0 GeV linac.

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 に保つて連続入射 (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

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

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 2022 年度の年間運転時間の内訳を Fig. 4 に示す。2022 年度の総運転時間は 1,791 時間であった。2022 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 2% 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

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。2022 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。2022 年度の調整時間は計 163.2 時間であった。2022 年度のビームダウンタイムは例年通りの、31.7 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。

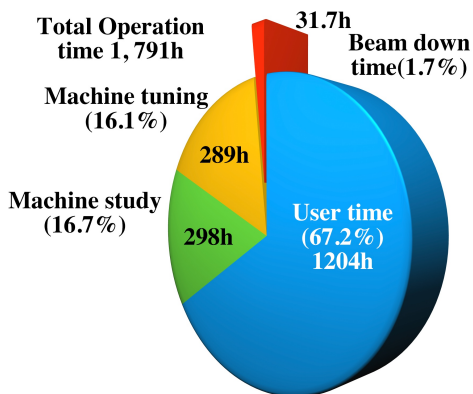


Figure 4: Operating time breakdown of NewSUBARU storage ring in FY2022.

### 2.1 トラブル事例

以下に 2022 年度および 2023 年度初めに発生したマシントラブルとそれぞれの対処を示す。

#### (1) 逆偏向電磁石の補助電源の故障

ニュースバルでは、偏向電磁石電源は偏向電磁石の他に逆偏向電磁石にも接続されている。しかし、ビームを加速する場合、逆偏向電磁石に流す電流が足りないため逆偏向電磁石用の補助電源が並列に接続されている。2022 年 6 月からこの補助電源が故障したために 1.5 GeV 運転は行えず、現在、加速時の運転は 1.23 GeV 運転と

なっている。経緯を以下に記す。

2022 年 6 月に偏向電磁石電源の試験中、同時に逆偏向電磁石補助電源を動作させた際に異臭が発生した。補助電源内部を確認すると、基板上的コンデンサの膨らみや電子部品の焼損が見られた。

2022 年 9 月に修理から戻ってきた補助電源を稼働させたが正常動作しなかった。また、逆偏向電磁石への配線を接続し補助電源のスイッチは切った状態で偏向電磁石電源を立ち上げ時に、補助電源の基板から煙が発生し再度、基板上的部品の焼損が発生した (Fig. 5)。



Figure 5: Damage to the auxiliary power supply board.

2022 年 12 月に再度補助電源の修理が完了した。しかし、補助電源に制御信号を送信している制御系の中継器内の配線が焼けて断線していることが判明し、補助電源を稼働することは出来なかった。

2023 年 1 月に補助電源と逆偏向電磁石の配線を接続したまま、偏向電磁石電源を立ち上げたところ補助電源内の基板の部品が焼損していた。

現在も原因を調査中である。

#### (2) 入射器の RF の反射多発

2022 年度半ばから、入射器で使用する 4 台の C バンドの加速管の内、2 台が設定電圧まで上げる途中で反射が多発する事象が増えてきた (Fig. 6)。朝の加速器立ち上げ時、入射器 RF 機器の立ち上げに 1 時間以上かかり、入射開始が遅れることがあった。2022 年 7 月以降はリングのエネルギーを 0.98 GeV から 0.95 GeV に下げて、C バンド設定電圧値を下げることで反射が起こる頻度を減らす対処をしているが、反射の多発で入射が遅れることは完全には無くなっていない。現在、SLED の出力波形を最適化して反射が起こらない対処を行っており、2023 年の秋の運転から稼働させる予定である。

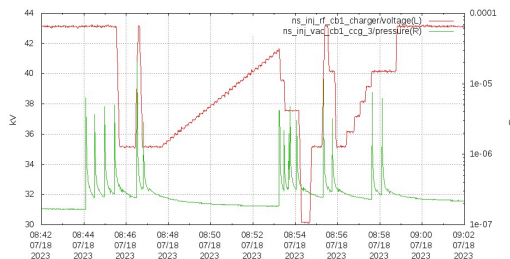


Figure 6: The setting voltage of the injector and the behavior of reflection.

### (3) ビームラインでのトラブル

2022年6月、BL02 ビームラインの真空度が悪化しているにもかかわらず、リング加速器との間のゲートバルブをユーザーの操作ミスで開けてしまった。これにより加速器側真空度の悪化によるビームアポルトが発生した。ビームライン側の Fast Closing バルブ、加速器セル間ゲートバルブが即座に自動で閉まったため、加速器側の真空度の悪化は最小限に抑えられた。その後の TSP フラッシングにより運転を再開できる真空度まで回復し、ビームアポルトから2時間後には入射を再開した。

### (4) 偏向電磁石電源の発振

以前から偏向電磁石電源出力電流の発振 (Fig. 7) は年に1回程度起きていたが、2023年4月から5月にかけて、電流発振が頻発し、ビームアポルトが8回発生した。老朽化によるものと推測されたが、具体的な原因は特定出来ず、電源内の回路基板部をスポットクーラーで冷却するなどの対策をしている。5月末以降、発振は起こっていないが、再発防止対処および電源更新を検討している。

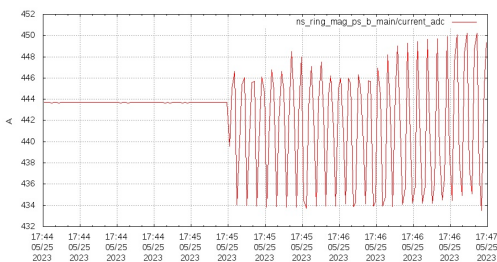


Figure 7: Oscillation of the output current of the bending magnet power supply.

### (5) ビーム輸送系偏向電磁石電源のトラブル

入射器出口から加速器リングまでのビーム輸送系に設置されている偏向電磁石用の電源が、運転中に突然 0A になるという事象がこれまででも年に1回ほど起きていた。これが2022年度には7回発生しており、最後の方は1ヶ月の間に3回発生した。電源の点検では異常は見つからなかったが、電源を遠隔で制御するための IO ボードを交換している。これによって、0A になるという事象が発生しなくなったと思われたが、2023年7月末に再度発生しており、現在も原因を調査中である。

### (6) 入射器の電磁石電源の故障

2022年度は入射器の電磁石電源が3回故障している。そのうち2回は加速器の調整期間に見つかり、すぐに予備品と交換して復旧している。あとの1回は利用運転の日であったが、ビームを入射する前に見つかり、30分ほどで予備品に交換しておりビームのダウンタイムには計上されていない。3回の故障のうち、2回は電源のファンの停止、1回は電源の通信ボードの不良であった。現在使用している電源のうち古くから使用されている電源は、今回のトラブルを受けてファンを全数交換している。

### (7) ビームアポルト

上記のビームラインの真空事故以外に2022年度にビームアポルトは3回発生した。その原因は、①リアルタイム tune 補正システムの不具合、②加速器運転 GUI プログラムのバグ、③ビーム不安定性によるものであった。①と②のシステム不具合は改修された。2022年度には施設の瞬時電圧低下によるビームアポルトはなかった。

## 2.2 加速器運転の改善

### ・低エネルギーでの Top-Up 運転

ニュースバルリングの特徴である蓄積エネルギー可変性と専用入射器の運用開始を活用して、任意の低エネルギーでの Top-Up 運転の実現に向けてマシンスタディ時に調整を行っている。リングと入射器のエネルギーを徐々に下げながら入射調整を行い、運転パラメータを作成している。現時点では、0.65 GeV までは高い入射効率を維持して Top-Up 運転が出来ることを確認している。任意の低エネルギーでの Top-up 運転の実現はレーザーコンプトン散乱ガンマ線や自由電子レーザーを利用する際に出力光子エネルギー選択に大いに有用となる。

## 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 [3]

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ており [4]、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26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。

- ・レーザー光学系最適化によるニュースバル LCS ガンマ線源の大強度化、平川他 (FRP51)
- ・ニュースバルにおける時間同期系開発とフェムト秒パルスレーザーシーディング、後長他 (WEOB12)
- ・単一サイクル自由電子レーザー発振を可能とする基本原理の実証、田中他 (WEOA2)
- ・ピコ秒バンチのピッチ・ヨーモニタの NewSUBARU を用いた実証実験、中村他 (TWHP02)

## 参考文献

- [1] T. Inagaki, S. Hashimoto *et al.*, “ニュースパル 1.0GeV 新入射器の建設とコミッショニング運転”, Proc. PASJ2021, Takasaki (Online meeting), Japan, Aug. 2021, pp. 102-105.
- [2] <https://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility-ring.html>
- [3] 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”, Proc. PASJ2022, Kitakyusyu (Online meeting), Japan, Oct. 2022, pp. 75-78.
- [4] 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”, Proc. PASJ2022, Kitakyusyu (Online meeting), Japan, Oct. 2022, pp. 70-74.