NewSUBARU 放射光施設の現状
PRESENT STATUS OF THE NEWSUBARU SYNCHROTRON LIGHT FACILITY

宮本 修治 A)、橋本 智 A)、庄司 善彦 A)、皆川 康幸 *B)、鍛治本 和幸 B)、濱田 洋輔 B)
Shuji Miyamoto A), Satoshi Hashimoto A), Yoshihiko Shoji 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 1988. 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 300mA. Storage electron energies are possible to accelerate or decelerate between the energy of 0.5 GeV to 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)。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。

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 70 バンチ× 2 セットを入射後、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 0.5GeV まで減速を行い、Decay 運転で利用運転を行うこともある。利用運転中は COD(Closed Orbit Distortion) の連続補正により、ビーム軌道 を水平・垂直共に 10 μm 程度に保っている。

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 [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	6.29 (H) / 2.23 (V)	
Electron energy	1.0 GeV	1.5 GeV
Mode	Top-up	Decay
Storage current	300 mA	350 mA
ΔE/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ー関連研究開発、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 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。

* minagawa@spring8.or.jp

2． ニュースバル運転の現状

ニュースバル放射光施設の 2017 年度の年間運転時間の内訳を Fig. 2 に示す。総運転時間は 2,460 時間である。

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なっており、30 分～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。2017 年度の運転サイクルは第 8 サイクルまであり、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 106 時間である。ビームダウンタイムの 26 時間は全運転時間には含めていない。

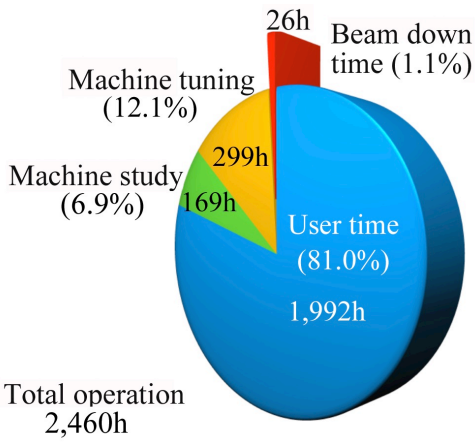

Figure 2: Operating time breakdown of NewSUBARU storage ring in FY2017.

2.1 トラブル

2017 年度および 2018 年度前半には以下のトラブルの発生があり、それぞれ対処している。

(1) 補助電源の低電流での使用不可

2016 年 9 月に故障した逆偏向電磁石の補助電源は、新しいスイッチング電源に更新された。しかし、この電源は低電流値（2 A 以下）では発振して使用できないことが判明した。そのため、減速運転では、この補助電源を 1 GeV 運転と同じ電流を保持するように、操作プログラムを改修している。

(2) 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アラーム発報が 12 回発生し、電源のリセットで復旧対応している。毎日の運転終了時、電源を落とした後に電源ラック内に熱が蓄積されていることが判明した。2018 年度からは、電源の出力電流は 0 A に設定するも電源を落とさずに排気ファンを回し続ける対策を取っている。しかし、この対策で改善せず、2018 年度も 2017 年度並みにアラーム発報が起こっている。また、ニュースバルは運用から 20 年が経過しており、経年劣化の観点から四極電磁石の電源の更新を予定している。

(3) 加速中のビームアボート

1.5 GeV への加速途中でビームアボートする状況が 2 回発生した。これは季節変化でビームの軌道がずれ、加速時のパラメータがこの変化に対応出来ないのが原因であった。加速時に使用するパラメータを 3 種類作成することで対応している。また、季節変化による周長補正を RF の周波数を変更することで対応することを検討している。

(4) バンプ電磁石の非励磁

バンプ電磁石が励磁しないトラブルが 2 回発生している（1 回目は 2017 年 9 月、2 回目は 2018 年 2 月）。原因はタイミングのトリガ信号が電磁石電源に到達していなかった。トリガ信号を光信号に変換して伝送している部分に問題があることは判明したが、モジュールや光ケーブルの抜き差しをしているうちに復旧してしまい、原因部分の特定は出来ていない。再度発生したときのために光ケーブルの予備を敷設したが、その後は発生していない。

(5) ビームライン BL9 の ABS の真空漏れ

利用運転中、BL9 の ABS の真空度が徐々に悪化していたことから対処している。 BL9 にフランジ型 ABS を取り付けて、BL9 は利用停止。ABS の駆動のベローズ部から真空漏れしていた。点検期間に交換して、次のサイクルより利用を再開している。

(6) バンプ電磁石電源故障

2018 年度最初にバンプ電磁石の充電電圧が上がらないトラブルが発生した。原因はバンプ電磁石の電源内の AC/DC コンバータが故障しており、交換した。経年劣化によるものだと考えられ、今冬に全バンプの AC/DC コンバータを交換予定である。利用運転開始 1 週間前に発見したために利用運転には影響はなかった。

2.2 運転の改善

(1) プロファイルモニタ画像処理システムの開発

線型加速器からのトランスポートライン (L4BT) には、蛍光板型プロファイルモニタが 5 台設置されているが、これまでは CCD カメラ画像の目視による評価のみであった。カメラ画像をリアルタイム画像処理するシステムを開発し、ビーム情報を定量的に取得できるようになった。このシステムを用いて、各運転サイクルの入射調整時および運転期間中の毎朝の入射時にビーム軌道の確認と調整を行なっている。

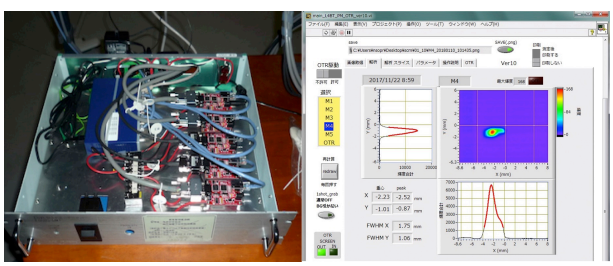

Figure 3: Camera control system and GUI for getting a beam profile.

(2) CT モニタの整備

蓄積リングにビームを入射する直前の L4BT ビーム輸送系に CT が設置されていたが、バンプ電磁石やセプタム電磁石の影響で正確なビーム強度測定が出来ていなかった。ノイズ低減対策および信号ケーブルの減衰率を考慮して校正し、高精度にビーム強度を得ることが出来るようになり、精確な入射効率の算出に役立っている。

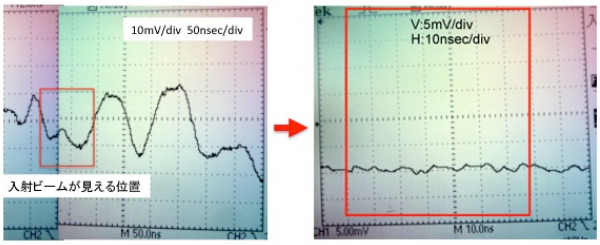

Figure 4: CT signal before and after noise countermeasure.

(3) ビーム輸送系への OTR モニタの導入

L4BT ビーム輸送系に新たに可視光領域の遷移放射光（Optical Transition Radiation, OTR）を利用した OTR モニターを設置し、入射電子ビームの位置およびサイズを高精度に評価できる様になった。OTR モニターによるビームサイズは近接に設置された蛍光板モニターの約 75% であった。今後は、より現実に近い L4BT 系での軌道計算が可能になり、ニュースバルへの入射の最適化・安定化を図っていく。

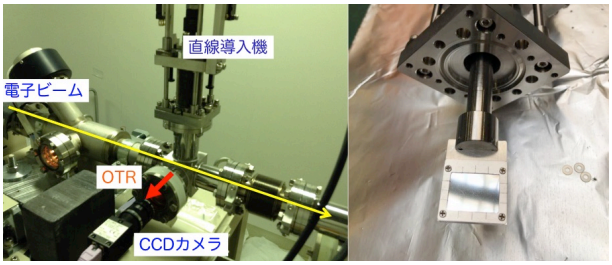

Figure 5: OTR monitor.

(4) USB スペアナを用いたチューン計測システムの開発

安価な USB 型リアルタイム・スペクトル・アナライザー (Tektronix RSA306B) を用いて従来よりも高性能なベータトロン・チューン計測システムを開発した。本システムにより、チューン計測の精度、特に時間分解能が向上し、このシステムを元に現在、自動チューン補正システムを開発中である。

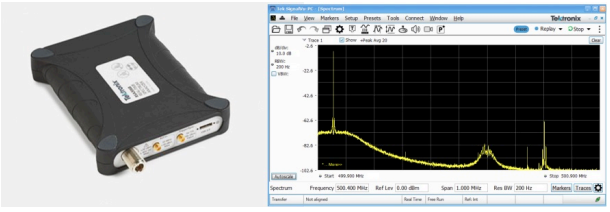

Figure 6: Tektronix RSA306B and display of spectrum.

(5) 加速器運転の自動化

ニュースバルは運転期間中の毎朝、加速器の立ち上げを実施しているため、ビーム入射やビーム積み上げに使用している操作プログラムを自動化した。1 GeV Top-Up 運転に関してはボタン一つ押すのみで運転できるようになり、1.5 GeV 加速運転に関しても、加速直前まで自動でビームの積み上げが出来るようになっている。また、各運転サイクル最初の加速器の入射調整の時間短縮のために、リングへのビーム入射点の調整、L4BT のマグネットの調整、バンプマグネットの調整を自動サーベイで行えるように操作プログラムを改修している。

3． まとめ

ニュースバル放射光施設は、建設から 20 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で対応していく必要がある。現在 1.0 GeV / 300 mA のトップアップ運転と、1.5 GeV / 350 mA からの電流減衰運転を週間スケジュールで配分して安定に運用している。将来的には、加速器運転の自動化をすすめ、更にチューン自動補正の実現によって、より安定した加速器運転を実現していく。

4． 関連報告

本学会でニュースバル関連の以下の報告がある。

- レーザーコンプトン散乱ガンマ線による高速陽電子材料検査
- 半導体レーザーアレイを用いたレーザーコンプトンガンマ線源の検討
- 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
- ニュースバルアップグレードの選択肢
- ニュースバルへの赤外ビームライン設置の検討

参考文献

[1] http://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility/ring/Index-J.html