

あいち SR 光源加速器の現状 2024

PRESENT STATUS OF ACCELERATORS OF AICHI SYNCHROTRON RADIATION CENTER IN 2024

藤本将輝^{#, A, B)}, 岡島康雄^{A, B)}, 石田孝司^{A, B)}, 郭 磊^{A, B)}, 高嶋圭史^{A, B)},
堀米利夫^{B)}, 金木公孝^{C)}, 森里邦彦^{C)}, 岸田 守^{C)}, 加藤政博^{D, E, A)}, 國枝秀世^{B)}
Masaki Fujimoto^{#, A, B)}, Yasuo Okajima^{A, B)}, Takashi Ishida^{A, B)}, Lei Guo^{A, B)}, Yoshifumi Takashima^{A, B)},
Toshio Horigome^{B)}, Kimitaka Kaneki^{C)}, Kunihiko Morisato^{C)}, Mamoru Kishida^{C)},
Masahiro Katoh^{D, E, A)}, Hideyo Kunieda^{B)}

A) Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University

B) Aichi Synchrotron Radiation Center

C) SPring-8 Service Co., Ltd.

D) HiSOR, Hiroshima University

E) UVSOR, Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences

Abstract

Aichi Synchrotron Radiation Center (AichiSR) was established by cooperation of universities, research institutes, the local government of Aichi prefecture, and industries. The facility is managed mainly by Aichi Science & Technology Foundation, and is also supported by industry, universities, and Aichi prefecture. AichiSR, a 1.2 GeV storage ring passed the first decade this year of 2023, since the start of its public use on March 26, 2013. Twelve beam lines, including two company-owned beamlines and one university-owned beamline, are operational. The total operating time of the accelerators in FY2023 was 2,059 hours, and the time for user operation was 1,407 hours. The time when the accelerators could not operate was about 51 hours for the planned user operation time, and the percentage of the operation rate was about 96.3%.

1. はじめに

あいちシンクロトロン光センター(あいち SR)は、愛知県の科学技術政策である「知の拠点あいち」計画における中核施設として、中部地区を中心とする大学、研究機関、産業界、愛知県の協力によって建設され、あいち SR が運営してきた。2013年3月26日の供用開始から2023年で10周年を迎えた[1-7]。

供用開始当時のビームラインは6本であったが、現在では2本の企業専用および1本の大学によるビームラインを含む、計12本のビームラインが稼働している。2023年度における加速器の総運転時間は2,059時間であり、放射光ユーザーの利用時間は1,407時間であった。2023年は冷却水系の故障に端を発するトラブルが相次ぎ、このため計画されたユーザー利用運転時間に対して光源が運転できなかった時間が約51時間発生し、稼働率は約96.3%であった。

2. 光源加速器およびビームライン

あいち SR 光源加速器は、50 MeV 直線加速器、1.2 GeV ブースターシンクロトロン、1.2 GeV 蓄積リングから構成される。蓄積リングは周長 72 m、ラティス構成は Triple-bend の 4 回対称であり、ユニットセルの 3 台の偏向電磁石の内、両端の 2 台は磁場強度 1.4 T、偏向角 39°の常伝導電磁石であるが、中央の 1 台はピーク磁場

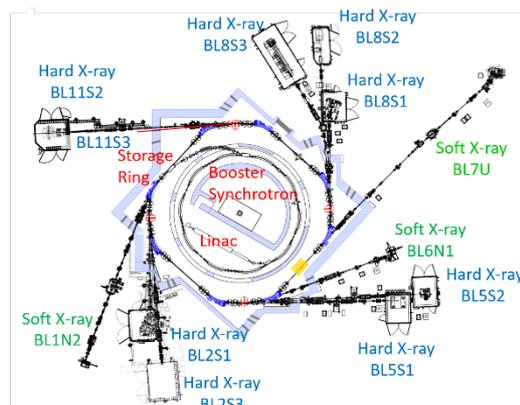


Figure 1: Layout of accelerators and beamlines.

5 T、偏向角 12°の超伝導電磁石であり、比較的小型な蓄積リングながら 25 keV 程度までの実用強度を持つ放射光の供給を可能としている。直線部の 1 ヶ所には APPLE-II 型アンジュレータ 1 台が設置されている。Fig. 1 は加速器及びビームラインの配置図であり、Table 1 および Table 2 は電子蓄積リング、ブースターシンクロトロン、線形加速器のパラメータである。

あいち SR では、開所当初の供用ビームラインは、硬 X 線 XAFS I (BL5S1)、粉末 X 線回折 (BL5S2)、軟 X 線 XAFS・光電子分光 I (BL6N1)、真空紫外分光

[#] m.fujimoto@nusr.nagoya-u.ac.jp

(BL7U)、薄膜 X 線回折 (BL8S1)、広角・小角 X 線散乱 (BL8S3) の 6 本であった。2015 年度より、軟 X 線 XAFS・光電子分光 II (BL1N2) および名古屋大学による単結晶 X 線回折 (BL2S1) の 2 本のビームラインが加わっている。さらに、2016 年度には利用申し込みが多い硬 X 線 XAFS のビームラインを新設 (BL11S2) し、2017 年 1 月より供用を開始した。また、企業専用ビームライン (BL2S3) も稼働を開始している。2017 年 6 月には、愛知県の「知の拠点あいち重点研究プロジェクト」のために建設した X 線トポグラフィ用のビームライン (BL8S2) も供用を開始した。また、2021 年 10 月には新たに超伝導偏向電磁石を光源とした企業専用のビームライン (BL11S3) が稼働を開始した。

Table 1: Parameters of Storage Ring

Beam energy	1.2 GeV
Circumference	72.0 m
Beam current	300 mA
Normal bends	1.4 T, 39°×8
Super bends	5 T, 12°×4
Lattice	Triple-bend cell
Natural emittance	53 nm-rad
Betatron tunes	(4.73, 3.19)
RF frequency	499.69 MHz
RF cavity voltage	350 kV
Natural Energy Spread	8.4×10^{-4}
(β_x, β_y, η_x) @ Superbend	(1.63, 3.99, 0.179)
(β_x, β_y, η_x) @ Long straight	(30.0, 3.77, 1.20)
Harmonic number	120

Table 2: Parameters of Booster Synchrotron and Linac

Booster synchrotron	
Beam energy	50 MeV - 1.2 GeV
Circumference	48.0 m
RF frequency	499.69 MHz
Harmonic number	80
Repetition rate	1 Hz
Linac	
Beam energy	50 MeV
Charge per pulse	~1 nC
Repetition rate	1 Hz
RF frequency	2856 MHz

利用申込みの募集は 2 ヶ月ごとに行っている。1 週間のうち、月曜日はマシンスタディ、火曜日から金曜日までがユーザー利用日であり、1 日の利用は、10:00 - 14:00、14:30 - 18:30 の 2 シフト (1 シフト 4 時間) で行われている。

2023 年度における全ビームライン 12 本の利用時間は、10,407 時間であり 2022 年開所以来最多となった。2023 年度は新型コロナウイルス感染症の影響も薄まり、測定代行は 2019 年時の割合に落ち着くなど、流行以前の雰囲気を取り戻した。2022 年度に引き続いて企業利用に大きな需要があり、ライナック冷却水トラブルによる運転停止などがあったものの光源スタディ日をユーザー運転に充てるなどして、前年に続く高い水準で利用時間数を

維持した。一方、昨今の電気代高騰などによる運用コスト上昇のため、あいち SR では 2024 年度よりおよそ 25% の利用料値上げを敢行した。

3. 光源加速器の状況

3.1 光源加速器の稼働状況

2023 年 8 月から 2024 年 7 月にかけて当初計画されたユーザー利用運転時間に対する光源加速器の運転時間の割合 (稼働率) を 1 日毎に示した図を Fig. 2 に示す。あいち SR では、毎年 4 月に 1 ヶ月ほど加速器のメンテナンス期間を設けており、5 月の連休明けからユーザー利用が行われている。また、10 月下旬にも 1 週間ほどのメンテナンス期間を設けている。年末年始は休暇及び調整運転のため、2 週間ほどユーザー利用の停止期間を設けている。

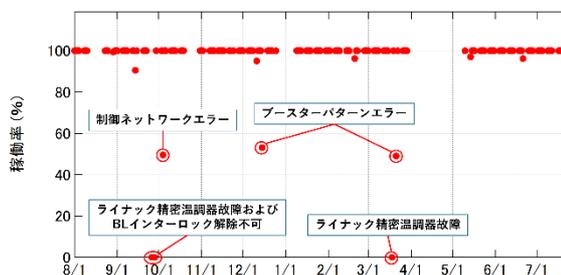


Figure 2: Percentage of operating time during August 1, 2023 to July 26, 2024.

2023 年 9 月 23 日に行った冷却水系定期点検の後にライナック冷却水精密温調器のコンプレッサーが故障して運転不能となった。急遽代替の冷却システムを構築したが、並行して発生したビームラインの冷却水流量インターロックが解除できず、3 日間の運転停止を余儀なくされた。9 月 30 日には故障したコンプレッサーを交換したが冷媒圧力スイッチに初期不良があり、2024 年 3 月 18 日に再び精密温調器が停止した。このため、2023 年度末まで代替システムで運転し、2024 年春期メンテナンス中に修理を行った。その後ライナック冷却水精密温調器は問題なく動作している。

また、2023 年 12 月 15 日および 2024 年 3 月 21 日のユーザー運転中にブースターシンクロトロンでビーム加速ができなくなった。過去にも同様のトラブルがあり調査を行ったところ、パルスパターンが勝手に書き換わっていることがわかった。運転プログラムのバグと思われ、パターンファイルの編集権限操作で対応した。

あいち SR では 2022 年度より、電力使用量を抑えるため加速器停止後の 20 時から翌 6 時の間は冷却水通水を停止する運用を継続している。朝の通水開始時に蓄積リング放射光アブソーバ系の流量低下エラーがしばしば発報するが、現在まで大きなトラブルは発生していない。

3.2 直線加速器冷却水精密温調の代替システム構築

2023 年 9 月に発生したライナック冷却水精密温調器の冷凍機コンプレッサー故障に際して加速器運転を維

持するため、応急的な代替冷却システムを構築した。家庭用水道配管として使用されるステンレスフレキパイプ 10 m を熱交換器として温調器恒温槽に投げ込み、ブレードホースで外部チラーに接続した。Fig. 3 にフレキパイプを水に沈めた恒温槽内の様子を示す。チラーは蓄積リング RF サーキュレータ冷却用の予備として保有していた冷却能力 2,500 W の Neslab 製 ThermoFlex TF25 を使用し、最大冷却の水温 5°C に設定して運転を行った。

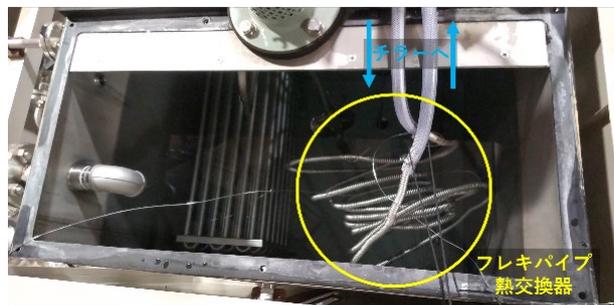


Figure 3: Hand-made heat exchanger using stainless steel flexible tube in constant temperature reservoir of linac coolant.

温調ヒーターやライナックへの送水ポンプといったその他の機能は、温調器の設備を用いた。

通常、冷却水温設定 35°C に対してライナック運転時の加速管温度は 34.8°C で安定するが、本システムでは 35.5°C 前後で推移し、このため S バンド RF 周波数を 2 kHz ほど下げることで平時と遜色ないライナック運転を行うことができた。なお、2024 年 3 月の精密温調器故障時にも、この代替システムを用いて 2 週間のユーザー運転を行った。

3.3 加速器真空排気系の更新

あいち SR では、ブースターシンクロトロンや蓄積リングの入射および出射セプタム真空槽に積層鋼板が設置されており、これら鋼板からのガス放出と思われる加速器

の真空悪化にたびたび悩まされている。このため、排気能力の増強とイオンポンプ劣化の低減を目的として、従来の排気容量 500L イオンポンプ (IP) から 300L IP と NEG ポンプの複合排気系への交換を 2018 年より順次行っており、2024 年春期メンテナンスで予定された全数の交換を完了した。

また、あいち SR では光源加速器の IP 用コントローラとして Agilent 製 Dual を使用してきたが、老朽化と同型番品の製造終息を受けて、Gamma Vacuum 製 SPC への変更を 2021 年より順次進めてきた。2024 年春期メンテナンスで予定された全 61 台の交換を完了した。

4. まとめ

あいち SR は施設利用を開始してから 2023 年で 10 年が経過し、2021 年に発生した蓄積リング RF サーキュレータ漏水事故を皮切りに、今回のライナック温調器故障を含む冷却水系のトラブルなど一週間程度のユーザー利用停止を要するトラブルが目立ちはじめている。これらはいずれも設備の老朽化が原因であり、このため加速器真空排気系の更新作業をはじめとした対応を順次進め、安定した加速器運転の継続を目指している。

参考文献

- [1] あいちシンクロトロン光センター, <https://www.aichisr.jp/>
- [2] 高嶋圭史 *et al.*, “中部シンクロトロン光利用施設 (仮称) 計画”, 放射光, 21 (2008), 10-18.
- [3] 竹田美和 *et al.*, “中部シンクロトロン光利用施設の建設がスタート”, 放射光, 23 (2010), 88-95.
- [4] 山本尚人 *et al.*, “部シンクロトロン光利用施設 (仮称) のコミショニング”, 加速器, 9 (2012), 223-228.
- [5] 保坂将人 *et al.*, “あいちシンクロトロン光センターの現状”, 加速器, 13 (2016), 1-7.
- [6] 竹田美和, “あいちシンクロトロン光センターの概要と産業利用”, 軽金属, 70 (2020), 483-489.
- [7] 竹田美和, “AichiSR10 周年記念誌”, https://www.aichisr.jp/topics_bl/10th-kinenshi.html