

あいち SR 光源加速器の現状

PRESENT STATUS OF ACCELERATORS OF AICHI SYNCHROTRON RADIATION CENTER

藤本将輝^{#, A, B)}, 石田孝司^{A, B)}, 岡島康雄^{A, B)}, 郭 磊^{A, B)}, 高嶋圭史^{A, B)}, 大熊春夫^{D, B)},
金木公孝^{C)}, 鈴木遥太^{C)}, 森里邦彦^{C)}, 加藤政博^{E, F, A)}, 國枝秀世^{B)}
Masaki Fujimoto^{#, A, B)}, Takashi Ishida^{A, B)}, Yasuo Okajima^{A, B)}, Lei Guo^{A, B)}, Yoshifumi Takashima^{A, B)},
Haruo Ohkuma^{D, B)}, Kimitaka Kaneki^{C)}, Youta Suzuki^{C)}, Kunihiko Morisato^{C)},
Masahiro Katoh^{E, F, A)}, Hideyo Kunieda^{B)}

A) Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University

B) Aichi Synchrotron Radiation Center

C) SPring-8 Service Co., Ltd.

D) RCNP, Osaka University

E) HiSOR, Hiroshima University

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

Abstract

Aichi Synchrotron Radiation Center was built by cooperation of universities, research institutes, local government (Aichi Prefecture), and industries. The facility is operated mainly by Aichi Science & Technology Foundation, and is also supported by industry, universities, and Aichi Prefecture. Public use of the facility was started on March 26, 2013. Twelve beam lines, including two company-owned beamlines and one university-owned beamline, are in operation. The total operating time of the accelerators in FY2021 was 1979 hours, and the time for user operation was 1235 hours. The time when the accelerators could not operate was about 39 hours for the planned user operation time, and the percentage of the operation rate was about 97.0%.

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日の供用開始から今年で10年目を迎える[1-6]。

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。2021年度における加速器の総運転時間は1979時間であり、放射光ユーザーの利用時間は1235時間であった。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は約39時間であり、稼働率は約97.0%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5 T、偏向角12°の超伝導電磁石であり、30 keV 程度までの実用

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

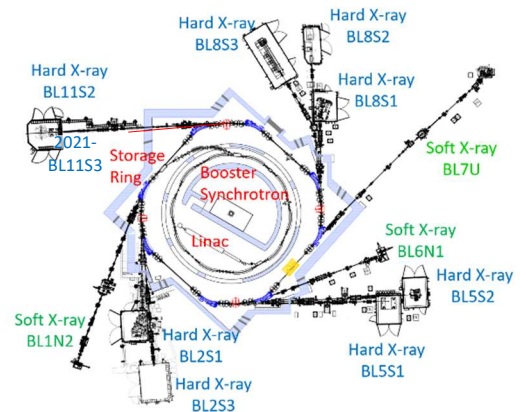


Figure 1: Layout of accelerators and beamlines.

強度を持つ放射光が得られるというあいち SR の特徴を担っている。直線部の1カ所には APPLE-II 型アンジュレータ1台が設置されている。Figure 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 (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

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)@直線部	(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

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 1 本が稼働を開始した。

利用申し込みの募集は 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。

2021 年度における全ビームライン 12 本の利用時間は、8,637 時間時間であり、2019 年度の 8,633 時間に次いで過去最多となった。一時的に利用者の来所を制限した前年度と異なり、感染対策に取り組みつつ年度を通じて通所利用を制限することなく運営した。一方、測定代行のニーズも依然としてあり、利用時間は前年度に次いで多い 833 時間に達した。

3. 光源加速器の状況

3.1 光源加速器の稼働状況

2021 年度における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。

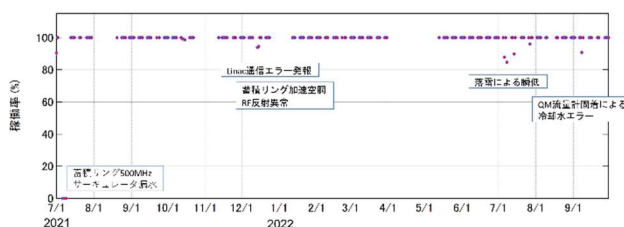


Figure 2: Percentage of operating time during July 1, 2021 to September 30, 2022.

2021 年 7 月 5 日には、蓄積リング 500 MHz 導波管に設置している RF サークキュレータの冷却用銅板から漏水があり、この週は運転停止となった。応急処置として、メーカーの工場に送った後はんだによる補修を行い、翌週の 7 月 12 日から通常通りの運転を再開した[7]。現在、冷却水路の工法を改良した RF サークキュレータを新造、現行のサーキュレータを予備として運用することで、突発的な RF に備える予定である。その後は、終日運転停止を余儀なくされる重故障は発生しておらず、おおむね順調に運転を維持しているが、2022 年 7 月には落雷が相次ぎ、瞬時停電による運転ロスが多発した。7 月 6 日は加速器運転中の 17 時半ごろに落雷があり、電磁石系統の冷却水温調器エラーが発報してビームアポートが発生した。また、翌日 7 月 7 日の夜間にも落雷があり、加速器タイミングシステムのエラーが発報したため自動起動シーケンスが動作しなかった。手動で復旧・起動を行ったため、ビーム入射の開始が遅れてユーザー利用時間に影響が出た。

9 月 8 日には蓄積リング四極電磁石冷却水の流量を監視している流量計のフロートセンサが固着し、流量異常が発報したため加速器の起動が遅れた。その後は流量インターロックをマスクし、四極電磁石および冷却水路に熱電対を取付け、温度を常時監視しながら加速器運転を行った。あいち SR では 2022 年度より電力使用量を抑えるため、加速器停止時の夜間は冷却水通水を停止しており、前日の止水位置からフロートが動かなくなると考えられる。後日流量計のオーバーホールを行ったところ、フロートが往来するシリンダーに錆が発生しており、摺動性が悪化したことが原因と考えられる。

3.2 ブースターシンクロトロン用半導体 RF アンプおよび超伝導偏向電磁石電源 DCCB の故障

あいち SR では、ブースターシンクロトロン用の加速 RF 供給源として TOMCO 製の半導体 RF パワーアンプシステムを導入している。このアンプは 8 モジュール 1 ユニットの 2 ユニットから構成され、交互に切替えながら 1 Hz で動作する。2021 年から 2022 年にかけて 3 台のアンプモジュールで故障が発生し、取外して回路基板を確認した

ところ、いずれも LDMOS パワートランジスタ (Ampleon BLF578)出力部の焼損が見られた。Figure 3 にアンプモジュール内部とトランジスタの焼損箇所を示す。現在は故障モジュールの修理と順次交換による補修対応を行っている。



Figure 3: Burnout in RF amplifier module of booster synchrotron.

また、2021年10月の定期メンテナンス後の調整運転時に超伝導偏向電磁石電源の再投入を行ったところ、大容量直流遮断器(DCCB; TERASAKI XS225NS)4台のうち、2台がトリップしたまま回復できない故障が見つかった。昨今の電子部品流通停滞により同型品の迅速な入手が困難であったため、同容量の遮断器をブラケットを介して取付けて現在まで運転を行っている。なお、DCCB故障によるユーザー利用への影響は無かった。2022年度中に同型遮断器を入手し、2023年には復旧する見込みである。

3.3 蓄積ビームのサイズ拡大と抑制対策

あいちSRでは、2017年頃より水平方向ビームサイズが突発的に拡大する現象が確認されており、2021年からはおよそ毎運転日で発生していた。必ず運転日午後に起きることから、加速器運転による温度上昇が発生条件となっていることが考えられ、蓄積リング全周にわたって温度調査を行ったところ、RF加速空洞が設置された蓄積リング直線部の上流側ゲートバルブで過熱が見つかった。ビームサイズ拡大の発生した2022年8月9日の加速器運転時間における、蓄積ビームの水平方向サイズとゲートバルブの温度の推移をFig. 4に示す。ゲートバルブの温度はフランジに熱電対を貼り付けて計測した。15時を過ぎたあたりでビームサイズが10%程度拡大し、それにともないゲートバルブの温度が急激に上昇しはじめることがわかる。このため、温度上昇によるゲートバルブのRFコンタクト接触不良を疑い、付近の空調器ダクトから冷風を分配してゲートバルブのフランジを冷却したところ、現象を抑制することができた。Figure 5に蓄積リングRF加速空洞直線部の上流側ゲートバルブに空調器吹出し口からダクトを配管した様子を示す。2022年8月から冷却を開始し、現在まで現象は発生していない。ビームサイズ拡大の発生原因については引き続き調査を行う予定である。

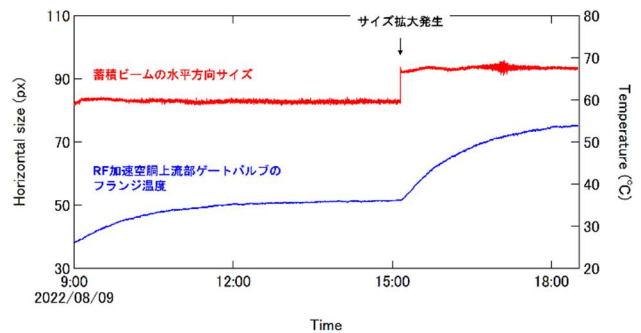


Figure 4: Horizontal size blowup of stored beam and temperature change of gate valve at the upstream of RF cavity.

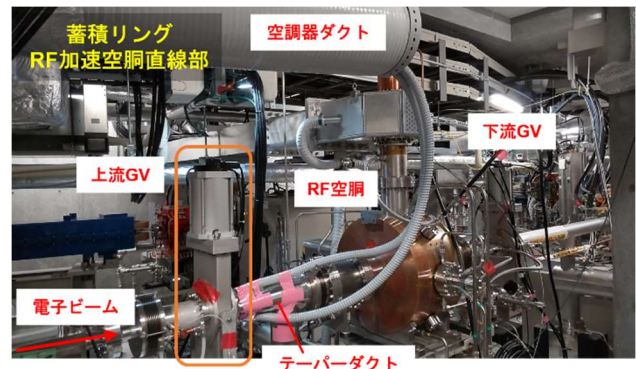


Figure 5: Cooling the gate valve with AC air dividing.

4. まとめ

あいちSRは2022年でファーストライトから10年目を迎える。2021年7月には蓄積リングの500MHzサーキュレータの漏水が発生し、その後長期シャットダウンをとまなう大きなトラブルは無いものの、半導体RFアンプモジュールや超伝導偏向電磁石電源遮断器の故障といった老朽化が目立ちはじめており、対応を進めているところである。また、ユーザー利用に影響を与える蓄積ビーム変動については、マシンスタディを通じて調査および対策を行いながら、安定した加速器運転の継続を目指している。

参考文献

- [1] <http://www.astf-kha.jp/synchrotron/>
- [2] 高嶋圭史 *et al.*, “中部シンクロtron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tron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tron光利用施設(仮称)のコミッションング”, 加速器, **9** (2012), 223-228.
- [5] 保坂将人 *et al.*, “あいちシンクロtron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tron光センターの概要と産業利用”, 軽金属, **70** (2020), 483-489.
- [7] 高嶋圭史 *et al.*, “あいちSR光源加速器の現状”, 第18回日本加速器学会年会(2021)プロシーディング, WEP054.