

## あいち SR 光源加速器の現状

### PRESENT STATUS OF ACCELERATORS OF AICHI SYNCHROTRON RADIATION CENTER

高嶋圭史<sup>#, A, B)</sup>, 石田孝司<sup>A, B)</sup>, 郭磊<sup>A, B)</sup>, 藤本将輝<sup>F, A, B)</sup>, 保坂将人<sup>G, A)</sup>, 大熊春夫<sup>D, B)</sup>, 金木公孝<sup>C)</sup>, 鈴木遥太<sup>C)</sup>, 森里邦彦<sup>C)</sup>, 平山英之<sup>C)</sup>, 加藤政博<sup>E, F, A)</sup>, 竹田美和<sup>B)</sup>, 國枝秀世<sup>B)</sup>, Yoshifumi Takashima<sup>#, A, B)</sup>, Takashi Ishida<sup>A, B)</sup>, Lei Guo<sup>A, B)</sup>, Masaki Fujimoto<sup>F, A, B)</sup>, Masahito Hosaka<sup>G, A)</sup>, Haruo Ohkuma<sup>D, B)</sup>, Kimitaka Kaneki<sup>C)</sup>, Youta Suzuki<sup>C)</sup>, Kunihiko Morisato<sup>C)</sup>, Hideyuki Hirayama<sup>C)</sup>, Masahiro Katoh<sup>E, F, A)</sup>, Yoshikazu Takeda<sup>B)</sup>, Kunieda Hideyo<sup>B)</sup>

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

G) NSRL, University of Science and Technology of China

#### 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. Eleven beam lines, including one company-owned beamline and one university-owned beamline, are in operation. The total operating time of the accelerators in FY2020 was 1919 hours, and the time for user operation was 1360 hours. The time when the accelerators could not operate was about 18 hours for the planned user operation time, and the percentage of the operation rate was about 98.6 %.

#### 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9年目となる[1-6]。

供用開始当時のビームラインは6本であったが、現在では企業専用および大学によるビームラインそれぞれ1本を含む11本のビームラインが稼働しており、さらに企業専用ビームライン1本を新たに建設中である。2020年度における加速器の総運転時間は1919時間であり放射光ユーザーの利用時間は1360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18時間であり、稼働率は約98.6%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ている。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

<sup>#</sup> takasima@nusr.nagoya-u.ac.jp

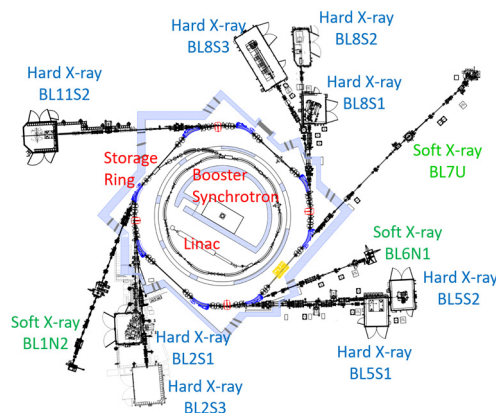


Figure 1: Layout of accelerators and beamlines.

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。

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	$8.4 \times 10^{-4}$
( $\beta_x, \beta_y, \eta_x$ )@superbend	(1.63, 3.99, 0.179)
( $\beta_x, \beta_y, \eta_x$ )@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

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、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 本が建設中である。

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。

2020 年度における全ビームライン 11 本の利用時間は、8,558 時間時間であり、2019 年度の 8,633 時間に次いで過去 2 番目の利用時間であった。測定代行による利用時間は、新型コロナウイルス感染症の感染リスクを忌避するユーザーのニーズにより、前年度の 2 倍以上の

958 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

Figure 2 は 2019 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 日毎に示した図である。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行われていない期間がある。

2020 年 9 月 8 日に Linac クライストロンヒータ電流値がインターロック下限値よりも低下し、インターロック下限値の再設定作業が終了するまで終日運転を停止した。2021 年 7 月 5 日には、蓄積リング 500MHz 導波管に設置している RF サー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。

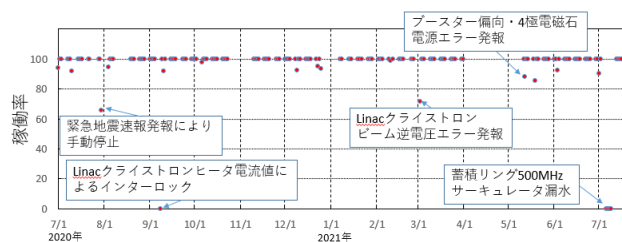


Figure 2: Percentage of operating time during July 1, 2020 to July 21, 2021.

RF サーキュレータからの漏水は、以下のような経過で判明した。2021 年 7 月 5 日(月)9:54 頃 蓄積リング RF 空洞 350 kV(規定値)まで昇圧、10:24 頃入射開始したところ、高エネルギー輸送路まで電子ビームは到達しているが、蓄積リングへ入射できないという現象が発生した。10:30 頃 蓄積リング RF 空洞電圧が 0 kV となっていたので再投入するも RF 空洞からの反射が大きく 260 kV 程度までしか昇圧できず、10:52 頃 現場調査により蓄積リング RF サーキュレータ部からの漏水を確認した。

Figure 3 は 2021 年 7 月 5 日の蓄積リング RF 空洞へ印可したパワーを示しており、青色が入射パワー、赤色が空洞からの反射パワーである。9:54 頃から約 30 kW の入力できていたが、10:10 頃にパワーが落ちており、これは導波管内の漏水によって反射パワーが増加したことが原因と考えられる。

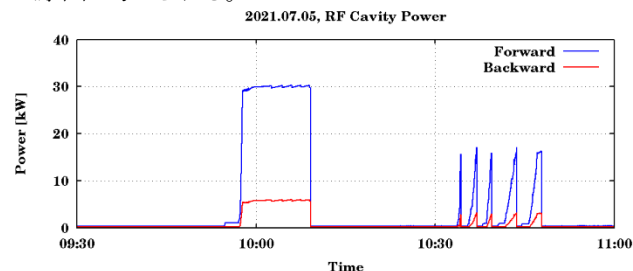


Figure 3: RF power applied to the RF cavity of the storage ring on July 5, 2021.

サーキュレータをメーカーに搬送し、調査を行ったところ、冷却用銅板の冷却水パイプのピンホールからの漏水であることを確認し、応急処置としてはんだによる補修を行い、翌 7/12(月)の週から通常通りの運転をおこなった。

### 3.2 ブースターシンクロtron及びビーム輸送路の真空系の改良

ブースターシンクロtronおよび蓄積リング入射セプタム部の真空悪化が 2015 年頃から発生しており、蓄積リング入射セプタム電磁石直下に据え付けられている Diode 型 500 L/s イオンポンプや高エネルギービーム輸送路部分に設置している 20 L/s イオンポンプの能力が低下している可能性を考え、2018 年からこれらの交換等、真空系の改良を行っている。

ブースターシンクロtronの入・出射セプタム部や蓄積リング入射セプタム部では、積層銅板が真空槽に設置されており、これらからのガス放出が真空悪化の原因として考えられる。そのため、真空能力の増強とイオンポンプの劣化を抑えるため、2019 年 4 月のメンテナンスで蓄積リング入射セプタム部に  $10^{-5} \sim 10^{-7}$  Pa 領域で使用できる新しいゲッター材を用いた NEG ポンプを増設した。また 2019 年 10 月にはブースターシンクロtronの入射セプタム部および出射セプタム部に同様の NEG ポンプの増設を行った。2020 年 10 月および 2021 年 4 月のメンテナンスにおいて、ブースターおよび蓄積リング入射セプタム部の排気能力を強化するため、イオンポンプの交換および NEG ポンプの追加を行った。2018 年 4 月以降に行った主な真空系の改良は Table 3 の通りである。

Table 3: Improvements in Vacuum Equipment

2018年4月	蓄積リング入射セプタム部の 500 L/s イオンポンプ及び高エネルギービーム輸送路の 2 台の 20 L/s イオンポンプを交換。
2019年4月	蓄積リング入射セプタム部に NEG ポンプを追加。
2019年5月	蓄積リング入射セプタム部及びブースター入・出セプタム部、出射キッカー部の排気ポート部の圧空弁及びターボ分子ポンプを遠隔制御化。
2019年10月	ブースター入・出射セプタム部へ NEG ポンプを追加。
2020年10月	ブースター入射セプタム周辺の 2 か所についてそれぞれ、20 L/s イオンポンプを 55 L/s へ交換し NEG ポンプ追加及び、55 L/s イオンポンプと NEG ポンプ追加。
2021年4月	蓄積リング及びブースター入射セプタム部の 500 L/s Diode 型イオンポンプを 300 L/s StarCell 型イオンポンプへ交換するとともに、NEG ポンプを能力の高いものに交換。

Figure 4 右図は 2021 年 4 月に蓄積リング入射セプタム部に取り付けた 300 L/s イオンポンプと NEG ポンプの写真であり、Fig. 4 左図は改良前の 500 L/s イオンポンプの写真である。

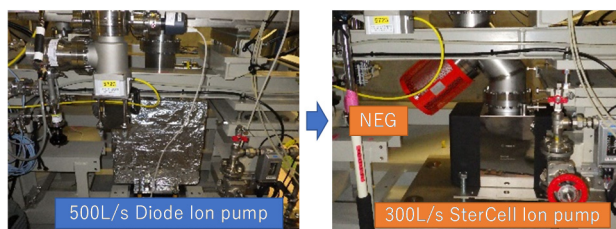


Figure 4: Ion pump and NEG pump at the septum magnet of the storage ring.

あいち SR 光源加速器ではイオンポンプコントローラとして Agilent 社 Dual を使用しているが、故障が多くなってきており、同タイプがすでに製造中止であるため、Gamma Vacuum 製コントローラ SPC への更新の準備を進めている。2021 年 4 月にブースター及び高エネルギー輸送路の 11 台のイオンポンプ用コントローラの更新作業を行った。Figure 5 は更新したイオンポンプコントローラの写真である。

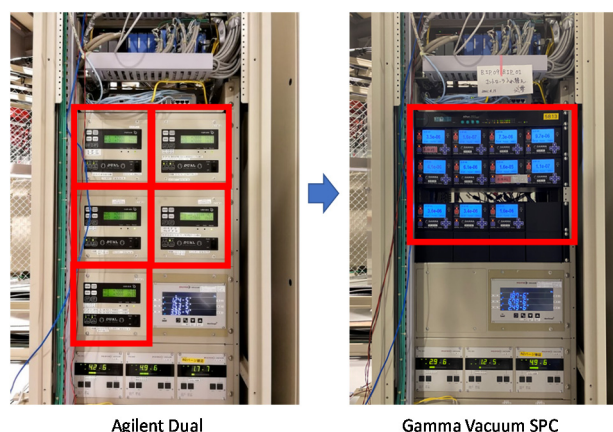


Figure 5: Ion pump controllers replaced in April 2021.

## 4. まとめ

あいち SR 光源加速器は調整運転を含めると 10 年目に入っている。2021 年 7 月には蓄積リングの 500 MHz 導波管に備え付けているサーキュレータの漏水のため 1 週間運転停止となった。電磁石電源コンデンサや PFN コンデンサの劣化等や、冷却水配管接続部のボルトの緩みも確認され、老朽化への対応を進めているところである。

## 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.