

## 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>, 保坂将人<sup>A, B)</sup>, 郭磊<sup>A, B)</sup>, 石田孝司<sup>A, B)</sup>, 平山英之<sup>C)</sup>,  
金木公孝<sup>C)</sup>, 鈴木遥太<sup>C)</sup>, 大熊春夫<sup>D, B)</sup>, 加藤政博<sup>E, F, B)</sup>, 竹田美和<sup>B)</sup>

Yoshifumi Takashima<sup>#, A, B)</sup>, Masahito Hosaka<sup>A, B)</sup>, Lei Guo<sup>A, B)</sup>, Takashi Ishida<sup>A, B)</sup>, Masami Kushida<sup>C)</sup>, Hideyuki Hirayama<sup>C)</sup>, Kimitaka Kaneki<sup>C)</sup>, Haruo Ohkuma<sup>D, B)</sup>, Masahiro Katoh<sup>E, F, B)</sup>, Yoshikazu Takeda<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University

<sup>B)</sup> Aichi Synchrotron Radiation Center

<sup>C)</sup> Spring-8 Service Co., Ltd.

<sup>D)</sup> RCNP, Osaka University

<sup>E)</sup> HiSOR, Hiroshima University

<sup>F)</sup> 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. Eleven beam lines, including one company-owned beamline and one university-owned beamline, are in operation. The total operating time of the accelerators in 2019 was 1942 hours, and the time for user operation was 1317 hours. The time when the accelerators could not operate was about 25 hours for the planned user operation time, and the percentage of the operation rate was about 98.2 %.

#### 1. はじめに

あいちシンクロトロン光センター(あいち SR) [1]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8年目となる。

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 蓄積リングから成っている。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、12 台の偏向電磁石のうち、4 台はピーク磁場 5 T、偏向角  $12^\circ$  の超伝導電磁石、8 台は磁場強度 1.4 T、偏向角  $39^\circ$  の常伝導電磁石である。直線部には APPLE-II 型アンジュレータ 1 台が設置されている。

供用開始当時のシンクロトロン光ビームラインは 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いる。2019 年度における加速器の総運転時間は 1942 時間であり放射光ユーザーの利用時間は 1317 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 25 時間であり、稼働率は約 98.2 %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、偏向電磁石の一部に超伝導電磁石を使用している。電子蓄積リングは 1.2 GeV と

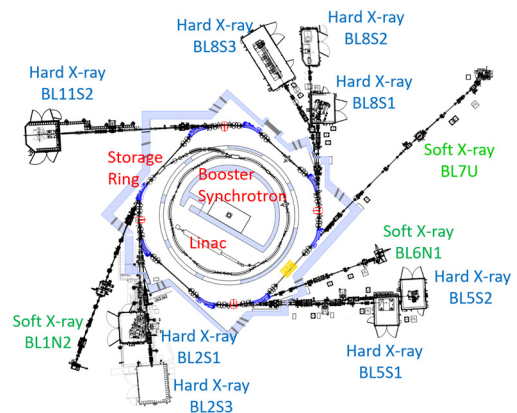


Figure 1: Layout of accelerators and beamlines.

いう比較的低い電子エネルギーであるが、ピーク磁場 5 T、偏向角  $12^\circ$  の超伝導偏向電磁石 4 台を備えることにより、光子エネルギーが 20 keV を超える放射光を 8 本のビームラインに供給している。Figure 1 は加速器及びビームラインの配置図である。

電子蓄積リングは Triple-bend セルの 4 回対称であり、1 つのセルを構成する 3 台の偏向電磁石のうち、中央の 1 台が超伝導電磁石、その他の 2 台が偏向角  $39^\circ$  の常伝導偏向電磁石である。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。

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

各超伝導偏向電磁石は、それぞれ 1 台の 4K-GM 小型冷凍機によって冷却されており、液体ヘリウムや液体窒素等の冷媒は使用していない。冷凍機は合計 8 台を所有しており、4 台が稼働中、残りの 4 台が予備となっている。毎年 4 月に行う光源加速器の定期メンテナンスの際に交換を行い、取り外した 4 台は次年度の定期メンテナンスでの交換や不具合が生じた場合に備え、メンテナンスを施して保管している。Table 3 は超伝導偏向電磁石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

Table 4 は挿入光源である APPLE-II 型アンジュレータ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。

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。

2019 年度における全ビームライン 11 本の利用時間は、8,633 時間となり前年度を 7.3% 上回り、過去最高の利用実績を記録した。測定代行も伸びている。3 月は新型コロナウイルス感染症の影響によりキャンセルが入ったが、空き待ちの企業や大学、測定代行への切替がこれを補い、ユーザー利用の減少は軽微な影響(100 時間程度の減。)にとどまった。

Table 3: Parameters of Superbend

Return York	C-Shaped
Conductor type	NbTi-Cu
Critical temperature	5.9 K
Cryo-system	2-stage GM cryocooler
Operating current	100 A
Current density(overall)	112 A/mm <sup>2</sup>
Magnetic field	5.1 T (6°), 4.7 T (4°, 8°)
Bending angle	12°
Warm bore gap	44 mm
Pole gap	82 mm
Pole length along beam	80 mm
Pole length transverse to beam	190 mm

Table 4: Parameters of Undulator

Type	Apple-II
Remanent field	1.3 T
Period length	60 mm
Number of period	33
Minimum gap	24 mm
Maximum K	
Linear	3.4
Vertical	2.0
Helical	1.7

### 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が行われていない期間がある。

2019 年度は、5 月にブースターシンクロトロン RF 用半導体アンプの故障、制御用 PLC の異常、直線加速器のイオンポンプ異常で稼働率が下がっている日があるが、2 日以上にわたって運転停止となるような事態は生じていない。

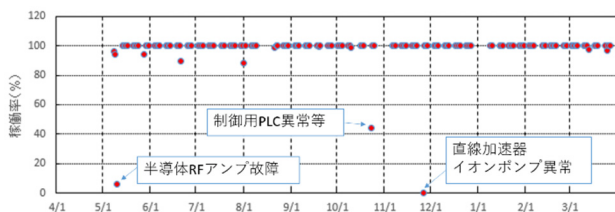


Figure 2: Percentage of operating time in FY2019.

2019年11月22日に、直線加速器の2台のイオンポンプがポンプ内部でガス放出を起こし、圧力が上昇する現象が発生した。11月27日にそのうちの1台を停止して運転を継続し、12月21日(土)に2台のイオンポンプの交換(Diode型からStar Cell型)を行った(Fig. 3)。12月22日(日)に加速管のエージング、電子銃の活性化、直線加速器からのビーム出射確認、12月23日(月)に蓄積リングでの蓄積確認を行った。回復に3日を要したが、ユーザー利用に影響はなかった。

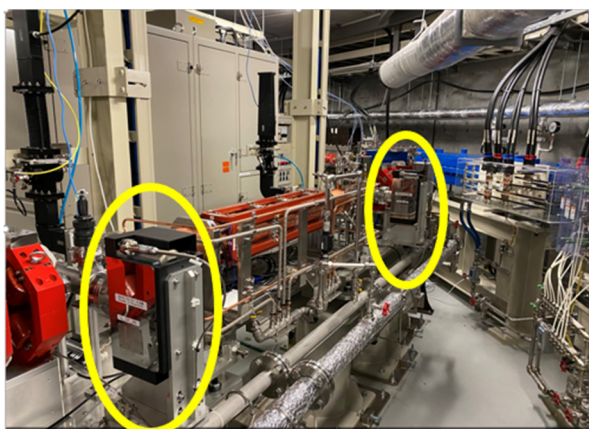


Figure 3: Ion pumps exchanged at linear accelerator.

ブースターシンクロトロン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年にこれらの交換を行った。

また、現在使用しているイオンポンプコントローラ(Agilent社Dual)の故障が多くなってきており、Dualはすでに製造中止であるため、Gamma Vacuum製コントローラへの更新の準備を進めている。

ブースターシンクロトロンの入射セプタム部や蓄積リング入射セプタム部では、積層鋼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トロン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。また、直線加速器の一部に残っている未交換

のDiode型イオンポンプをStar Cell型イオンポンプに交換する計画を進めている。

### 3.2 光源加速器に関する開発, 研究

アンジュレータギャップが36 mm以下になると水平方向の結合型ビーム不安定性によって電子ビームが失われる現象が生じている。これまでの研究から、アンジュレータが電子ビームのベータatron振動の広がりに影響を与えることが明らかになった。マルチワイヤ法によって、アンジュレータの多極磁場を補正し、不安定性の抑制を試みた。その結果、ベータatron振動数広がり回復し、不安定性の発生するアンジュレータギャップ値をより小さくできることを確認した[2]。

あいちSR電子蓄積リングの閉軌道歪みの補正は、毎朝の加速器の起動後、300 mA トップアップ運転に移行した直後に行っており、通常は1日の運転中でこの1回のみである。逐次的な閉軌道歪みの補正を行うことによって、この閉軌道の変化を抑える方法について研究を行っており、逐次的な閉軌道歪みの補正実験を行った。その結果、補正を行わない場合と比較して閉軌道歪みの時間変動を抑えることができることを確認した[3]。

## 4. まとめ

あいちSR光源加速器の運転は、調整運転を含めると9年目に入っており、これまでは長期間の運転停止に至る故障は起きていない。2019年度の加速器の稼働率は約98.2%であった。

ブースターシンクロトロンや直線加速器においてイオンポンプの不調が生じており、イオンポンプの交換やNEGポンプの追加を行った。イオンポンプコントローラの故障も多くなってきており、更新の計画を進めている。

## 参考文献

- [1] <http://www.astf-kha.jp/synchrotron/>
- [2] M. Hosaka *et al.*, "BEAM INSTABILITY CAUSED BY APPLE-II UNDULATOR AND ITS SUPPRESSION AT AICHI-SR" in these proceedings.
- [3] K. Nakao *et al.*, "Sequential correction of closed orbital distortion of Aichi SR electron storage ring" in these proceedings.