

## あいち SR 光源加速器の現状

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

保坂将人<sup>#, A, B)</sup>, 高嶋圭史<sup>A, B)</sup>, 山本尚人<sup>C)</sup>, 高野 琢<sup>A, B)</sup>, 真野篤志<sup>A, B)</sup>, 加藤政博<sup>A, C, D)</sup>, 竹田 美和<sup>B)</sup>  
Masahito Hosaka<sup>#, A, B)</sup>, Yoshifumi Takashima<sup>A, B)</sup>, Naoto Yamamoto<sup>C)</sup>, Takumi Takano<sup>A, B)</sup>, Atsushi Mano<sup>A, B)</sup>,  
Masahiro Katoh<sup>A, D)</sup>, Yoshikazu Takeda<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603

<sup>B)</sup> Aichi Synchrotron Radiation Center, ASTF, Minamiyamaguchi-cho, Seto, Aichi, 489-0965

<sup>C)</sup> High Energy Accelerator Research Organization, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

<sup>D)</sup> Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences, Myodaiji-cho, Okazaki, 444-8585

#### Abstract

Aichi Synchrotron Radiation Center was built by cooperation of universities, research institutes, local government (Aichi Prefecture) and industries. The facility is operated by Aichi Science & Technology Foundation, with support by industry, universities, and Aichi Prefecture. Public use of the facility was started on March 26, 2013. In the 2014 fiscal year, 1,409 shifts of beam time with 6 beam lines were fulfilled in the top-up operation mode with 300 mA beam current. A pulsed multi-pole magnet for improving the orbit stability during the top-up beam injection is being installed this October.

#### 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[2]における中核施設として、愛知県瀬戸市に建設されたシンクロトロン光施設を所有する。あいち SR はシンクロトロン光を大学等の研究利用だけでなく、広く産業利用に提供することを目的としている。施設の運営は公益財団法人科学技術交流財団が行い、加速器やシンクロトロン光ビームラインなどに対する技術的な支援を、名古屋大学シンクロトロン光センターを中心とする大学連合が行っている。光源加速器は 2013 年 3 月の利用運転開始以来から現在まで比較的順調に稼働している。光源の初期故障やそれに伴うビームダンプが減り、2014 年度の光源稼働率 98.9 %に達している。また、全ビームラインの利用数は 1,409 シフト (1 シフト = 4 時間) で平均利用率は 78.4 %であった。Fig. 1 に 2014 年度の利用者の構成および地域別企業ユーザー利用状況について示す。あいち SR の利用の 66 %は産業利用 (産学連携を含む) であり、他施設と比べても高い割合になっている。また、産業利用の件数の 54 %が愛知県企業であり、愛知県を含めた中部地区の利用は 69 %となる。あいち SR のシンクロトロン光は産業利用 2013 年度に比べて大幅に増加しており、全体でも 33%の利用増となっている。

#### 2. 光源加速器とビームラインの現状

あいち SR の加速器群およびビームラインを Fig. 2 に、電子蓄積リングのパラメータを Table 1 に示す。光源加速器の詳細は他の文献[3]に詳しく書かれている

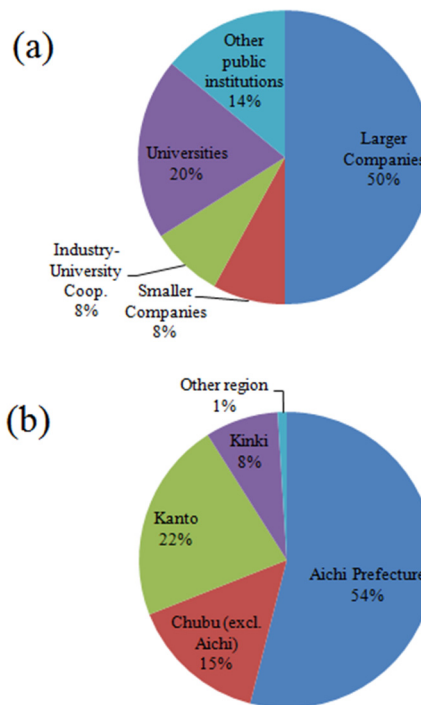


Figure 1: Users of Aichi-SR by (a) affiliation and (b) area for 2014.

るので省くが、ここではあいち SR の特徴を挙げておく。そのひとつは蓄積リングエネルギー 1.2 GeV で周長が 72 m といった比較的小規模ながら 20 keV 超の硬エックス線が利用可能なことである。

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

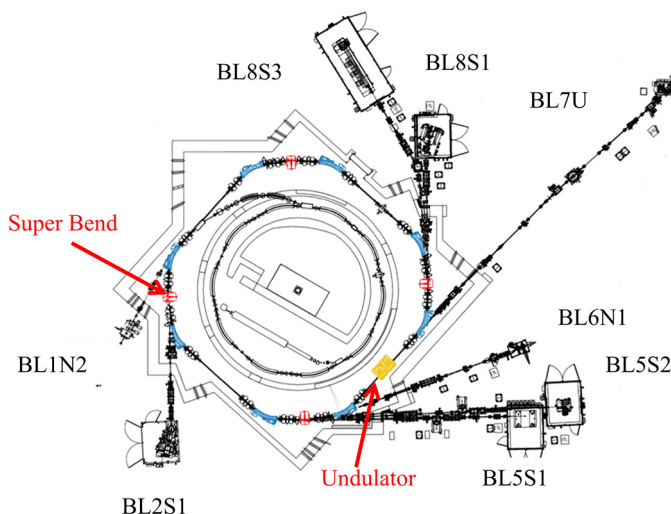


Figure 2: Accelerator complex and beamlines of Aichi-SR.

Table 1: Parameters of Aichi-SR Storage Ring

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| Beam Energy           | 1.2 GeV              |
| Circumference         | 72.0 m               |
| Beam current          | > 300 mA             |
| Lattice Type          | Triple Bend          |
| Natural Emittance     | 53 nm-rad            |
| Normal Bends          | 1.4 T × 8            |
| Super Bends           | 5T × 4               |
| Betatron tunes        | (4.73, 3.18)         |
| RF Frequency          | 499.702 MHz          |
| RF Cavity Voltage     | 350 kV               |
| Harmonic Number       | 120                  |
| Natural energy spread | 8.4×10 <sup>-4</sup> |

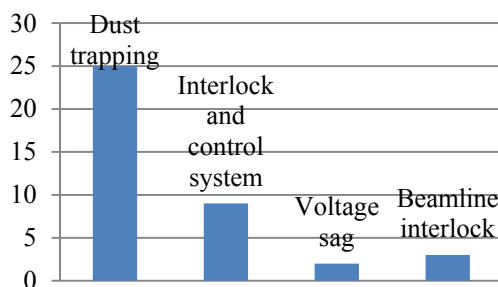


Figure 3: Breakdown of beam dumps (FY 2014).

硬エックス線の発生のために4台の偏向角12度5T超伝導偏向電磁石が用いられており、1台の超伝導偏向電磁石から最大3つのビームラインが設置可能である。もうひとつの特徴は蓄積電流値がユーザー利用中に低下しないトップアップ運転を採用していることで、そのために入射器に1.2 GeVのフルエネルギーまで加速できるブースターシンクロトロンを用いている。トップアップ運転は2013年の供用利用開始時点から導入され、供用運転中の蓄積電流値は300 mAに保たれ、その変化量は0.1%以内である。

シンクロトロン光は超伝導偏向電磁石、常伝導偏向電磁石およびアンジュレータから取り出され、それぞれ5本(BL2S1、BL5S1、BL5S2、BL8S1、BL8S3)、2本(BL1N2、BL6N1)、1本(BL7U)ビームラインが建設されている。さらに超伝導偏向電磁石を用いたビームライン3本(BL2S3、BL8S2、BL11S)の建設が進められている。

### 3. 加速器の運転状況

#### 3.1 ダストトラップの状況

あいちSRの供用利用運転開始直後から電子蓄積

リングにおいて電子ビーム寿命の急落する現象が観測されていた。この現象が起これると放射光モニターで測定される垂直方向ビームサイズが増大し、ほとんどのケースで蓄積ビームは完全に失われる。その後、電子ビームの再蓄積を行うと、寿命は完全に回復する。このようなビーム寿命の急落はビームの場によってビームダクト内のダストがトラップされるダストトラップが原因であると考えられる<sup>[4]</sup>。Fig. 3に示すように2014年度においてもこの現象がビームダンプの主要な原因となっており、2013年の供用開始からの累計ではすでに100件を超えている。パンチのフィリングを80バケットから110バケットに換えたところ、一定の効果があつた。さらに運転を続けているうちにダストトラップと見られる寿命の急落の頻度は減少し、2015年の5月~7月の運転においてビームが全て失われるような現象は見られなくなった。ビームダクト等に残っていたダストの源となるような汚れ等がこれまでの運転によって枯渇して、そのことでダストトラップの頻度が減ったのではないかと考えている。

#### 3.2 制御系およびモニター系の改善

光源加速器の制御およびモニター系の開発および

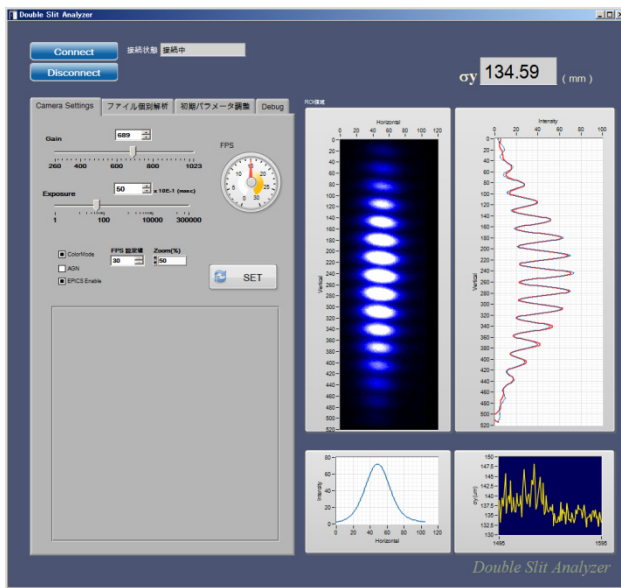


Figure 4: Real-time vertical beam size monitor.

改善が進んでいる。その一例を Fig. 4 に示す。あいち SR では可視域のシンクロトロン光の double slit を用いた干渉縞の観測<sup>[5]</sup>によって垂直方向のビームサイズを導出している。Fig. 4 で示したシステムは、干渉縞をリアルタイムでフィッティングして、それによって得られた visibility からビームサイズを導出している。

また、ビームライン担当者へ加速器情報の開示を行っている。例えばビーム軌道およびビームサイズの情報はサーバーを介して各ビームラインにリアルタイム配信を行っている。

## 4. 光源開発研究

### 4.1 パルス多極電磁石の導入

現在、あいち SR ではビーム入射に 4 台のバンプキッカーが用いられている。トップアップ運転時もバンプキッカーが用いられ、リング周長の約 1/2 を占めるバンプ軌道がバンプキッカー動作中の 2  $\mu$ sec の間に大きく変動する。また、バンプ軌道が完全に閉じていないために、リング全周に渡ってビームサイズの 20%~30%の振幅での振動がベータトロン減衰時間 (7 msec) の時定数で持続する。このようなトップアップ運転時のビームの揺れは、高速で実験条件を変える実験や時間分解測定に制限を与える。そこでトップアップビーム入射時の蓄積ビームの揺れを抑制するために、パルス多極電磁石を導入することを計画した<sup>[6]</sup>。パルス多極電磁石およびその電源はすでに製作され、現在、試験中である (Fig. 5)。パルス多極電磁石は 2015 年の 10 月に蓄積リングに導入される予定である。

### 4.2 ビーム不安定性の抑制

あいち SR の蓄積リングの電子ビームはコミッション当初から水平、垂直、エネルギー方向の全てに結合型ビーム不安定性が観測されている。

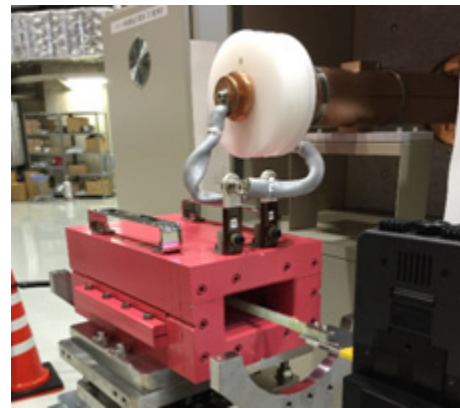


Figure 5: Pulsed multi-pole magnet in test bench.

現在の運転において水平および垂直方向の不安定性は 6 極電磁石によるクロマティシティの調整によって抑制されているものの、エネルギー方向の不安定性による集団的シンクロトロン振動は抑制できていない。この影響によって分散のある長直線部では水平方向ビームサイズが約 30 %増大し、アンジュレータビームラインのシンクロトロン光輝度を低下している。他のビームラインにおいても集団的シンクロトロン振動の振幅の変動によって輝度が刻々と変化するという支障が起きている。さらに、将来的に蓄積電流値を 500 mA まで上げることを検討しており、ビーム蓄積実験をすでに行っているが、蓄積電流値 400 mA 近辺で水平および垂直方向の不安定性の抑制を行うことが困難であることが判明している。このような不安定性を抑制するためにはバンチバイバンチフィードバック<sup>[7]</sup>を導入することが最も有効と考えられる。あいち SR ではすでに SPring-8 研究者の協力のもとにバンチバイバンチフィードバックのテスト実験は行われており、水平方向不安定性の抑制に成功している。さらに垂直およびエネルギー方向の不安定性も抑制できるシステムの導入を検討している。

## 参考文献

- [1] <http://www.astf-kha.jp/synchrotron/>
- [2] <http://www.astf-kha.jp/>
- [3] N. Yamamoto, et al., "BEAM COMMISSIONING OF CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY". 加速器, 9(4):223-228, (2012).
- [4] Y. Tanimoto, "Direct Observation of the Dust-trapping Phenomenon", Proceedings of IBIC2012, Tsukuba, Japan, 2012.
- [5] T. Mituhashi and M. Katoh, Proc. 5th European Particle Accelerator Conference, p. 1669, (1996), Sitge (Barcelona).
- [6] K. Itoh, et al., "DEVELOPMENT OF PULSED MULTIPOLE MAGNET FOR AICHI SR STORAGE RING" in this proceedings.
- [7] T. Nakamura, "High Precision Transverse Bunch-by-bunch Feedback System with FPGA and High Resolution ADC", 加速器 1(3):199 (2004).