

# PRESENT STATUS OF ACCELERATORS OF THE CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY

Yoshifumi Takashima <sup>#,A,B)</sup>, Masahito Hosaka<sup>B)</sup>, Naoto Yamamoto <sup>B,A)</sup>, Kiyoshi Takami<sup>B)</sup>,  
Hiroyuki Morimoto<sup>C)</sup>, Atsushi Mano<sup>B)</sup>, Takumi, Takano<sup>B)</sup>, Yoshikazu Takeda<sup>C)</sup>, Masahiro Katoh<sup>D,B)</sup>,  
Yoichiro Hori<sup>E,B)</sup>, Shigeki Sasaki<sup>F,B)</sup>, Shigeru Koda<sup>G,B)</sup>

A) Graduate School and School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603

B) Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603

C) Aichi Science & Technology Foundation, Minamiyamaguchi-cho, Seto, Aichi, 489-0965

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

E) High Energy Accelerator Research Organization, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

F) Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8), Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

G) Saga Light Source, 8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-000

## Abstract

“Central Japan Synchrotron Radiation Facility” is the principal facility of the project of Aichi prefecture, “Knowledge Hub Aichi,” to establish a new research center for technological innovations in collaboration with universities, research institutes, local government and industries. Installation of Accelerators, 50 MeV linac, 1.2 GeV booster synchrotron and 1.2 GeV storage ring, started late in September 2011 and has been completed in March 2012. Beam commissioning started in March 2012 and the first synchrotron radiation from the storage ring was observed in July 18, 2012. The facility will become open for users in fiscal year 2012.

## 中部シンクロトロン光利用施設の加速器の現状

### 1. はじめに

中部シンクロトロン光利用施設<sup>[1]</sup>（中部 SR 施設）は、愛知県が次世代モノづくり技術の創造・発信の拠点として整備する「知の拠点あいち」<sup>[2]</sup>における中核施設として、中部地区の大学、産業界、行政の協力の下で整備がすすめられている<sup>[3-7]</sup>。地域共同利用施設として、大学や研究機関からの利用はもとより、産業界からの利用を重視した施設である。

施設の運営は、公益財団法人科学技術交流財団<sup>[8]</sup>が行い、加速器やビームライン等に対する技術的な支援を名古屋大学シンクロトロン光研究センターを中心とする大学連合（名古屋大学、名古屋工業大学、豊橋技術科学大学、豊田工業大学）が行っている。建設地は、2005年に開催された愛知万博の長久手会場に隣接しており、名古屋市の中心部から東に約20 kmの場所である。

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。蓄積リングの周長は 72.0 m と比較的小型であるが、ピーク磁場 5 T、偏向角 12° の超伝導偏向電磁石 4 台を導入することにより、10 本を超える X 線ビームラインが建設可能である。また、フルエネルギーで入射可能な入射器を備え、トップアップ運転が可能である。

建屋は、2010年8月に建設がはじまり、2011年8月にほぼ完成した。加速器やビームラインを設置



図1：建屋写真。上は外観（2011年12月1日撮影）、下は実験ホール内部（2012年7月17日撮影）。

# takasima@numse.nagoya-u.ac.jp

するための精密測量及び加速器設置に関連する作業が2011年9月下旬よりはじまった。2012年3月には直線加速器のビーム調整を開始し、2012年7月18日に蓄積リングの常伝導偏向電磁石から発生したファーストライトを観測した。2012年度中の供用開始に向けて調整を進めている<sup>[2]</sup>。

図1は、建屋の外観と実験ホール内部の写真である。

## 2. 施設、加速器の概要

施設をコンパクトにするため、すべての加速器は実験ホール中央部の遮蔽壁の中に配置している。入射器であるブースターシンクロトロン及び直線加速器は、蓄積リングの内側に配置している。図2は施設の1階及び2階の平面図である。

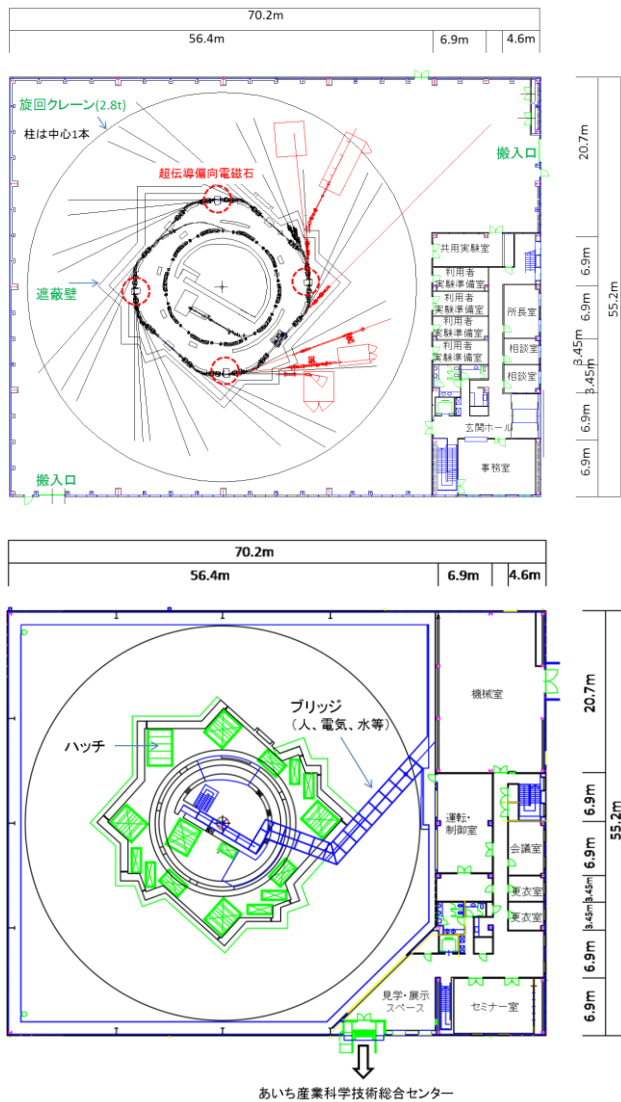


図2：施設1階（上図）及び2階（下図）平面図

電磁石電源及びクライストロン等の高周波源は、遮蔽壁上部及び遮蔽壁中央部のスペースに配置して

いる。加速器制御室は建屋の2階に位置しており、加速器へのアクセスは、実験ホール周囲にあるキャットウォークと遮蔽壁上部をつなぐブリッジを通ることによって行う。加速器用電源ケーブルや冷却水の配管等も、このブリッジを通して運ばれている。

実験ホールに備え付けられているクレーンは、2.8 tの旋回クレーンであり、実験ホール中心部分の柱を軸として旋回する。実験ホール内部の柱はこの1本のみであるため、ビームラインの配置が柱によって制限を受けることがない。

遮蔽壁天井には、矩形のコンクリート板で作られた取り外し可能なハッチを設けており、ビームライン基幹部や超伝導電磁石、挿入光源等へ実験ホールの旋回クレーンを用いてアクセスすることができる。

表1に加速器のパラメータを示す。本施設における光源加速器の最大の特徴は、電子蓄積リングのエネルギーを1.2 GeVという比較的低い値に抑え、偏向電磁石の一部を超伝導とすることで硬X線を発生することである。

表1：蓄積リングパラメータ

ビームエネルギー	1.2 GeV
周長	72.0 m
ビーム電流	> 300 mA
常伝導偏向電磁石	1.4 T, 39°×8
超伝導偏向電磁石	5 T, 12°×4
ラティス構造	Triple Bendセル4回対称
自然エミッタンス	53 nm-rad
ベータトロンチューン	(4.72, 3.23)
RF周波数	499.654 MHz
RF加速電圧	500 kV
バケットハイト	0.99 %
エネルギー広がり	$8.4 \times 10^{-4}$
モーメントム	0.019
コンパクト化ファクター	
( $\beta_x, \beta_y, \eta_x$ )@superbend	(1.63, 3.99, 0.179)
( $\beta_x, \beta_y, \eta_x$ )@直線部	(30.0, 3.77, 1.20)
ハーモニクス	120

入射器パラメータ

<b>ブースターシンクロトロン</b>	
ビームエネルギー	50 MeV - 1.2 GeV
周長	48.0 m
ビーム電流	~5 mA
RF周波数	499.654 MHz
ハーモニクス	80
繰り返し	1 Hz

### 直線加速器

最大ビームエネルギー	50 MeV
パルス当たりの電荷量	~1 nC
繰り返し	1 Hz
RF周波数	2856 MHz

蓄積リングをはじめとする加速器は、基本的には実績のある技術を用いて設計を行い、開発的な要素は最小限にして建設及び立ち上げ調整を短期間で終了できるようにする方針で計画を進めてきた。

蓄積リングは3台の偏向電磁石を含む Triple Bend Cell を基本構造とするが、3台のうち2台は常伝導偏向電磁石であり、その間に1台の超伝導偏向電磁石を配置する。この基本構造を4回繰り返すことでリングを構成する。直線部4本を確保し、入射、RF加速、2台の挿入光源に用いる。

偏向電磁石1台あたりの偏向角は、常伝導電磁石で $39^\circ$ 、超伝導電磁石で $12^\circ$ である。常伝導と超伝導磁石の偏向角の配分は、X線ビームラインを多数建設するためには超伝導部分が多いことが望ましいが、一方、超伝導部分が大きすぎると、放射損失が増大するため高周波加速系の能力を高める必要が出てくる。本計画ではPF型の500 MHzのRF空洞<sup>[9]</sup>を採用しており、上記の配分以上に超伝導部分を増やそうとすると空洞を2台にする必要が出てくる。また、米国の第3世代リング Advanced Light Source (ALS) においては、ビームエネルギー1.9 GeVで偏向角 $10^\circ$ の超伝導偏向電磁石が安定に稼働しているという実績がある<sup>[10]</sup>。本施設の1.2 GeVで偏向角 $12^\circ$ はALSの超伝導磁石と同様な設計で実現できるものと期待される。このように、今回採用した Triple Bend セルの4回対称のデザインは、最小の建設コストで十分なX線ビームライン数が確保できるように最適化されたと考えている。

入射器の主要なパラメータを表1に示す。入射には、1.2 GeVのブースターシンクロトロンを採用する。常伝導と超伝導2種類の偏向電磁石が混在することから蓄積リングでの加速・減速を避け、フルエネルギーでの入射を行う。これにより立ち上げ調整も簡略化できる。さらに、いわゆるトップアップ入射を行うことにより、蓄積ビーム電流値を概ね一定に保つことができる。

ブースターシンクロトロンのRF周波数は蓄積リングと同じ500 MHzである。ラティス構成は、いわゆるFODOセルを採用し、できるかぎりコンパクトになるように設計されている。シンクロトロンの加速繰り返しは1 Hzである<sup>[5]</sup>。

シンクロトロンへ入射するための前段加速器は、加速エネルギーは50 MeVの直線加速器である。加速周波数は要素技術の確立されているSバンドを用いる。直線加速器の基本構成は、電子銃、プリバンチャー、バンチャー、加速管からなる。電子銃のグリッドは0.6ナノ秒程度の幅でパルス動作させ、トリガーをシンクロトロンおよび電子蓄積リングの加速周波数500 MHzと同期させる。直線加速器の繰り返し周波数はシンクロトロンと同期した1 Hzである<sup>[3]</sup>。

### 3. 加速器建設の経過と現状

以下に、加速器建設の経過をまとめる。

- ・2009年12月 加速器を東芝が落札。
- ・2010年8月 建屋建設開始。
- ・2011年9月 建屋精密測量、加速器設置作業開始。
- ・2012年3月 直線加速器ビーム調整開始。
- ・2012年3月25日直線加速器50 MeV加速。
- ・2012年4月19日ブースターでビーム周回(50 MeV)。
- ・2012年4月28日ブースターで1.2 GeV加速。
- ・2012年7月18日蓄積リングでの蓄積に成功。

2012年7月末において、直線加速器からの電子ビームはパルス幅約0.6 ns、電荷量約0.7 nC、規格化エミッタンス約 $100\pi$  mm-mrad (rms)、エネルギー広がり約0.8% (rms)、ブースターシンクロトロンによる加速効率約2%、蓄積リングにおける蓄積電流は約10 mAを実現している<sup>[4]</sup>。

### 4. まとめと今後の予定

中部シンクロトロン光利用施設は、愛知県が次世代モノづくり技術の創造・発信の拠点として整備する「知の拠点あいち」における中核施設として整備が進められている。加速器は2012年3月に完成し、その後のビーム調整によって2012年7月18日に蓄積リング常伝導偏向電磁石から発生するファーストライトを観測した。今後は2012年度中の供用開始に向けて当初の仕様を満たすよう調整を進めていく。

### 参考文献

- [1] <http://www.astf-kha.jp/synchrotron/>
- [2] <http://www.astf-kha.jp/>
- [3] M. Yamamoto, et al., "DESIGN OF THE 50MEV LINAC OF THE CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY", These Proceedings, THPS027
- [4] N. Yamamoto, et al., "COMMISSIONING OF ACCELERATORS OF THE CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY", These Proceedings, THPS040
- [5] K. Nakayama, et al., "BOOSTER SYNCHROTRON FOR THE CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY", These Proceedings, THPS046
- [6] A. Murata, et al., "ACCELERATOR SYSTEM FOR THE CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY", These Proceedings, THPS047
- [7] S. Matsuda, et al., "VACUUM SYSTEM FOR THE CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY", These Proceedings, THPS058
- [8] <http://www.astf.or.jp/>
- [9] M. Izawa, S. Sakanaka, T. Takahashi, K. Umemori, Proceedings of APAC04, 389 (2004).
- [10] D. Robin et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 538, 65 (2005).