

Central Japan Synchrotron Radiation Research Facility Project

N. Yamamoto ^{*A)}, Y. Takashima^{A)}, M. Hosaka^{A)}, H. Morimoto^{A)}, K. Takami^{A)},
Y. Hori^{B)}, S. Sasaki^{C)}, S. Koda^{D)}, M. Katoh^{E,A)}

A) Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University, Nagoya, 464-8603 Japan

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

C) JASRI/SPring8, 1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198

D) Saga Light Source, 8-7 Yayoi gaoka, Tosu, Saga, 841-0005

E) UVSOR, Institute for Molecular Science, Okazaki, 444-8585, Japan

Abstract

A synchrotron radiation facility that is used not only for basic research, but also for engineering and industry-oriented research and development has been proposed to be constructed in the Central area of Japan, and the prefectural government, industries, universities, and research institutes in the Aichi area are working together to realize this proposal. The key equipment of this facility is a compact electron storage ring that is able to supply hard X-rays. The circumference of the storage ring is 72 m with the energy of 1.2 GeV, the beam current of 300 mA and the natural emittance of about 53 nmrad. The configuration of the storage ring is based on four triple bend cell. Eight of the twelve bending magnets are normal conducting ones and four of them are 5 T superconducting magnets (superbends). The bending angle of the superbends is 12 degrees and the critical energy is 4.8 keV. For the top-up operation, the electron beam will be injected from a booster synchrotron with the full energy and a 50 MeV linac is used as an injector to the booster synchrotron. Currently, six BLs are planned for the first phase starting from 2012.

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）計画のための光源加速器の検討

1. はじめに

近年、シンクロトロン光を用いた分析・計測手法はより一般的なものとなり、大学や研究機関による学術研究のみではなく産業界をはじめ幅広い分野でも取り入れられつつある。名古屋大学では1991年から基礎研究はもとより工学・産業への応用を念頭にシンクロトロン光利用施設計画の検討を開始しており、「小型」で「硬X線」が使える施設を目指し活動を行ってきた。

一方、愛知県では次世代モノづくり技術の創造・発信を図る「知の拠点」計画に取り組んでおり、名古屋大学が検討してきたシンクロトロン光利用施設は「知の拠点」に最適な施設として実現されつつある。この計画において中部シンクロトロン光利用施設（仮称）は、高度な計測・分析を担う地域の共同利用施設として期待されており、2012年度の供用開始に向け愛知県、産業界、大学、研究機関の連携の基に科学技術交流財団¹が整備・運営母体となってシンクロトロン光利用施設計画を進めている¹⁾。

名古屋大学では、2007年に「小型シンクロトロン光研究センター」が発足された。センターは光源部門、ビームライン部門、計測・分析部門で構成され、施設の設計・建設及び運営において学術と技術面を中心に指導的な役割を担うべく活動している。

本施設の電子蓄積リングは、これまで名古屋大学が検討してきた光源加速器の構成を採用し、小型でありながらX線の利用を可能にするため、電子ビ-

ムエネルギー 1.2 GeV, 周長 72 m に、ピーク磁場 5 T, 偏向角 12° の超伝導偏向電磁石を 4 台導入する予定である。1 台の偏向電磁石から 2 ~ 3 本の硬 X 線ビームラインを引き出すことで、全体で 10 本程度の硬 X 線ビームラインが利用可能となる。入射器はフルエネルギー入射可能なブースターシンクロトロンを備え、トップアップ運転を目指す。

昨年度の報告以降²⁾、当センターの光源部門では光源加速器設計においてコストや建屋の形状を考慮し全体の再検討を行い、各構成加速器の細かなパラメータや配置を変更した。本発表では中部シンクロトロン光利用施設（仮称）に導入予定である光源加速器について最新の検討結果を報告する。

2. 光源加速器

図 1 に光源加速器の配置を示す。光源加速器は蓄積リング、フルエネルギー入射可能なブースターシンクロトロン及び熱電子銃を用いた線形加速器から成る。蓄積リングとブースターの周長はそれぞれ 72 m と 48 m である。シンクロトロン光利用施設では建屋の中心に遮蔽壁を設け、その内部に蓄積リングとブースターを同心円状に、さらにブースターの内側に線形加速器を配置する。

2.1 電子蓄積リング

表 1 に電子蓄積リングのパラメータを示す。蓄積リングのラティス構造は 4 回対称の Triple Bend セルであり、2 台の常伝導偏向電磁石の間に 1 台の超伝導偏向電磁石を配置した構造を基本セルとする。常伝

* E-mail: naoto@nagoya-u.jp

¹ url: <http://www.astf.or.jp/>

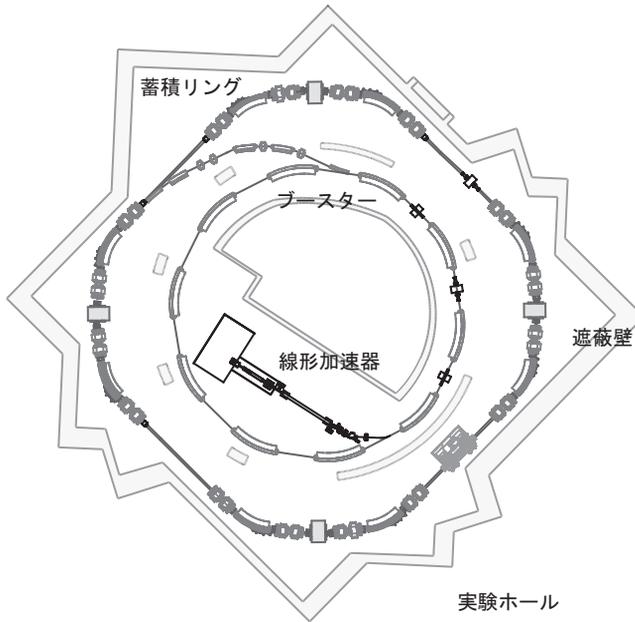


図 1: 光源加速器の配置

表 1: 蓄積リングのパラメータ

ビームエネルギー	1.2 GeV
周長	72 m
ビーム電流	300 mA 以上
水平垂直カップリング	1 % 以下
自然エミッタンス	53 nmrاد
ベータトロンチューン	4.72, 3.23
RF 周波数	500 MHz
RF 加速電圧	500 kV
RF パケットハイト	0.990 % 以上
ハーモニクス数	120
エネルギー拡がり	8.41×10^{-4}
β_x, β_y, η_x (直線部)	29.9, 3.72, 1.2 (m)
ラティス構造	Triple Bend cell, 4 回対称
常伝導電磁石	1.4 T, $39^\circ \times 8$
超伝導電磁石	5 T, $12^\circ \times 4$

導偏向電磁石の偏向角は 39° 、超伝導偏向電磁石の偏向角は 12° とする。ビームエネルギー、周長、自然エミッタンスはそれぞれ 1.2 GeV、72 m、約 53 nmrادである。4 つの直線部のうち入射部を除くと挿入光源に用いることができるスペースは 3 箇所あり、それぞれの長さは 5.2 m、4.3 m、2.5 m となる。

図 2 はリング 4 分の 1 周の光学関数である。本計画は、低エミッタンスを狙ったリングではないが、アンジュレータの使用も予定しており、合理的な範囲でエミッタンスを小さくしたいと考えている。このため、直線部に 1.2m の分散を残している。また、超伝導偏向電磁石中での多極成分の影響を抑えるため

に、超伝導電磁石中での水平方向のベータ関数が小さくなるように調整を行っている。

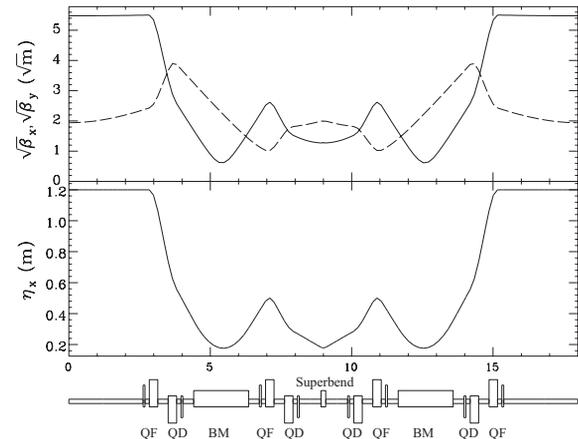


図 2: 蓄積リングの光学関数

本施設の光源加速器の最大の特徴は、1.2GeV という比較的低いビームエネルギーでありながら硬 X 線を多数のビームラインで利用するため、偏向電磁石の一部を超伝導とするとところにある。この方法は米国の第 3 世代リング Advanced Light Source (ALS) において建設後偏向電磁石の一部を置き換えるという形で採用されているが^[3]、本施設のように小型のリングに対して多数の硬 X 線ビームラインを設置する目的で建設当初から超伝導偏向電磁石を採用するのは世界的にも初めてとなる。

超伝導偏向電磁石の冷却には、小型冷凍機を用いた直接冷凍方式を採用する。これはそれぞれの超伝導偏向電磁石に 1 台または複数の小型冷凍機を配置し、液体ヘリウムを用いず冷凍機で直接コイルを冷凍する方式である。直接冷凍方式は液体ヘリウムを用いないことによってコスト面で有利だけでなく、クエンチした場合の対策などメンテナンス性でも有利である。

2.2 入射器

入射器はフルエネルギー入射可能な設計とし、蓄積リングの早期トップアップ運転化を目指す。表 2 に入射器のパラメータを示す。ブースターはトップアップ運転時の電流の安定度を向上させるため、入射効率をあげることをすなわち低エミッタンスなビームを供給することを目標とした。ブースターの加速周波数は蓄積リングと同じ 500 MHz であり、高周波アンプには半導体を用いる。

線形加速器はシンクロトロンが十分に安定して動作できるようエネルギーを 50 MeV 以上とする。加速の主周波数は広く用いられ要素技術が確立されている 2,856 MHz (S バンド) を用いる。線形加速器からブースターへの入射はオンアキシスで行うことを検討しており、マクロパルス長は 40 ~ 100 ns 程度とする。

オンアキシスでブースターに入射された電子ビームは 1.2 GeV まで加速された後、ファーストキッカーとセプタム電磁石により輸送路に導かれる。蓄積リ

表 2: 入射器のパラメータ

ブースターシンクロトロン	
入射エネルギー	50 MeV 以上
出射エネルギー	1.2 GeV
周長	48 m
ビーム電流	10 mA 以上
自然エミッタンス	250 nmrad 以下
RF 周波数	500 MHz
加速繰り返し	単発 ~ 1 Hz
ハーモニクス数	80
線形加速器	
エネルギー	50 MeV
ビーム電流	100 mA 程度
RF 周波数	2,856 MHz (S バンド)
マクロパルス長	40 ~ 100 ns 程度

ングには4つのキッカー電磁石を用いてローカルバンパを形成し、この電子ビームを入射する。蓄積リングで周回するビームのダンピング時間は約6msであり、入射ビームはこの時間の後、蓄積ビームと合流する。一回あたりの入射電流値は、蓄積リング換算で1mA以上を目標とする。

3. モニタ・制御系

蓄積リングにはビーム位置モニタ(BPM)と軌道補正電磁石を32台づつ、直流電流モニタ、RFロックアウト、ストリップライン、光モニタを各1台づつ、さらにコミッション時のためにスクリーンモニタを4台設置する。このうち軌道補正用電磁石は、6極電磁石に補助コイルを巻いて用いる。シミュレーションによると、超伝導電磁石磁場に1%の誤差がある場合、閉軌道歪みは最大で水平方向に9mm、垂直方向に1.8mm程度となる。補正後の閉軌道歪みは水平方向、垂直方向にそれぞれ100 μ m、40 μ mと予想される^[4]。なお初期の立ち上げ調整を迅速に行えるよう、周回毎のビーム通過位置やチューンの測定システムを用意する。現在この目的のため、本蓄積リングに最適化したターンバイターンBPM^[5]及びリアルタイムチューン測定システム^[6]を開発中である。

制御システムは加速器立ち上げ当初に各機器を確実に制御できること、将来比較的少人数で部分更新を繰り返しながら発展させていくことを考慮して構築する。制御は対称機器から離れた制御室で行い、これらの間の通信にはイーサネットを用いる。また、運転状態のモニタや実行された制御命令を保存しておき、少人数での運転体制下でも故障や異常の発見と復帰を迅速に行えるようデータベースシステムを構築することも検討している。通信プロトコルや制御統合システムはこれらの要件を満たす方式を採用する予定であり、現在検討中である。

4. まとめ

名古屋大学が進めてきたシンクロトロン光利用施設計画は、中部シンクロトロン光利用施設(仮称)として愛知県、産業界、大学、研究機関の連携の基に科学技術交流財団が計画を進めている。その設備スケジュールは図3に示すとおりであり、来年度中の建屋建設開始、2012年度には6本のビームラインによるシンクロトロン光供用開始を目指している。



図 3: 設備スケジュール

本施設の光源加速器は、エネルギー1.2GeV周長約72mの比較的小型の電子蓄積リングであるが、5T超伝導偏向電磁石を4台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、フルエネルギー入射可能な入射器を備えており供用開始1~2年後にはトップアップ運転による運営を開始する予定である。

建設予定地は、2005年に開催された愛知万博の長久手会場跡地に隣接しており、名古屋市の都心部から約20kmに位置する場所である。建設予定地のすぐ近くには東部丘陵線(リニモ)の駅があり、交通の便もよい。

参考文献

- [1] 高嶋 圭史, 加藤 政博, 渡邊 信久, 保坂 将人, 竹田 美和, 山根 隆, 曾田 一雄, "中部シンクロトロン光利用施設(仮称)計画", 日本放射光学会誌, 21(1), 10 (2008).
- [2] Y. Takashima, M. Katoh, M. Hosaka, N. Yamamoto, H. Morimoto, "中部シンクロトロン光利用施設(仮称)計画の加速器設計の現状", Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, (2008).
- [3] D. Robin, J. Krupnick, R. Schlueter, C. Steier, S. Marks, et al., "Superbend upgrade on the Advanced Light Source", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 538, 65-92 (2005).
- [4] Y. Suzuki, M. Katoh, Y. Takashima, M. Hosaka, N. Yamamoto, H. Morimoto, "中部シンクロトロン光利用施設(仮称)電子蓄積リングの閉軌道歪みとその補正", Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, (2008).
- [5] A. Nagatani, M. Hosaka, Y. Takashima, N. Yamamoto, K. Takami, M. Katoh, In these proceedings.
- [6] Y. Furui, M. Hosaka, Y. Takashima, N. Yamamoto, H. Zen, M. Katoh, In these proceedings.