

CONSTRUCTION OF CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY HAS STARTED

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

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

^{C)}JASRI/SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198

^{D)}Saga Light Source, 8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

^{E)}UVSOR, Institute for Molecular Science, 38 Nishigo-Naka, Myodaiji, Okazaki, 444-8585

Abstract

2012年の供用開始を目指し愛知県、地域の産業界、大学連合が進める中部シンクロトン光利用施設の建設がついに始まった。本施設は愛知県が進める「知の拠点」計画において、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いる。本施設を中心となる光源加速器はエネルギー 1.2 GeV の蓄積リング、フルエネルギー入射可能なブースターシンクロトン、50 MeV の線形加速器から成る。我々、名古屋大学シンクロトン光研究センターでは現在、各受注業者と協力し装置の詳細設計を行っている。

中部シンクロトン光利用施設の建設が始まる

1. はじめに

愛知県名古屋市の東方約 20km の豊田市、瀬戸市にまたがる地点において新たなシンクロトン光施設「中部シンクロトン光利用施設」の建設が始まった。当施設は愛知県が同地域において整備を進める科学技術の創造拠点「知の拠点」¹⁾の中心的設備として考えられている。

中部シンクロトン光利用施設は学术研究はもちろん、産業界をはじめ幅広い分野での利用を目的とし、計画段階から愛知県、地域の産業界、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）らが協力してきた。本施設の供用開始は 2012 年内を計画しており、(財)科学技術交流財団（以降、財団）²⁾が整備・運営母体となる。

名古屋大学では 1991 年からシンクロトン光施設建設の検討¹⁾を始め、2007 年には「小型シンクロトン光研究センター」を発足、2010 年春には「シンクロトン光研究センター（略称:NUSR）」と名称を変更し精力的に活動している。当センターは光源部門、ビームライン部門、計測・測定部門で構成され、建屋・設備の設計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。

本施設の概要と当初整備予定のビームラインの詳細については、参考文献²⁾で詳細を説明することとし、本発表では特に加速器装置に的を絞って説明する。

2. 光源加速器

光源加速器の基本設計は昨年既に終了しており、現在は加速器の受注業者と協力し製作に向けた詳細設計を行っている。

本施設的设计パラメータを表 1 に、各装置の配置図を図 1 に示す。光源加速器は蓄積リング、ブースターシ

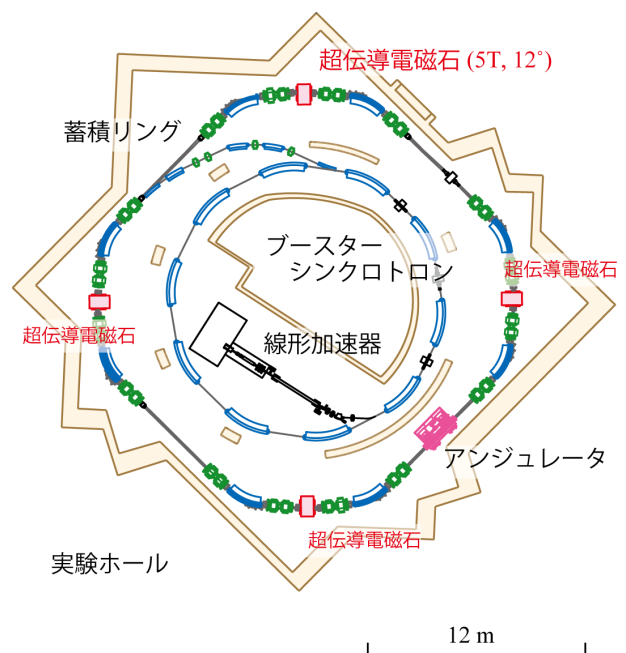


図 1: 加速器の概要図。蓄積リング、ブースターシンクロトン、線形加速器から成る。

ンクロトン（ブースター）及び線形加速器から成る。中部 SR 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。

光源加速器の特徴は蓄積リングの偏向電磁石に超伝導電磁石を採用したこと、トップアップ運転の早期実現のためフルエネルギー入射可能なブースターを備えることである。

* naoto@nagoya-u.jp

¹⁾<http://www.pref.aichi.jp/shin-san/>

²⁾<http://www.astf.or.jp/index.html>

表 1: 加速器のパラメータ

Storage ring	
Electron energy	1.2 GeV
Circumference	72 m
Current	>300 mA
Natural emittance	53 nm-rad
Betatron tune	(4.72, 3.23)
RF frequency	499.654 MHz
RF voltage	500 kV
RF bucket height	>0.990 %
Harmonics number	120
Energy spread	8.41×10^{-4}
Magnetic lattice	Triple Bend Cell \times 4
Normal bend	1.4 T, 39°
Superbend	5 T, 12°
$(\beta_x, \beta_y, \eta_x)$ @superbend	(1.63, 3.99, 0.179)
$(\beta_x, \beta_y, \eta_x)$ @straight section	(30.0, 3.77, 1.20)
Booster synchrotron	
Electron energy	50 MeV – 1.2 GeV
Circumference	48 m
Current	>5 mA
Natural emittance	200 nm-rad
RF frequency	499.654 MHz
Magnetic lattice	FODO Cell
Harmonics number	80
Injection scheme	On-axis (single turn)
Repetition rate	~1Hz
Injector linac	
Beam energy	50 MeV
Charge per pulse	>1 nC
Pulse length	1 ns
RF frequency	2,856 MHz
Repetition rate	~1Hz

2.1 蓄積リング

蓄積リングはエネルギー 1.2 GeV、周長 72 m であり、加速周波数は周長に合わせ 499.654 MHz を選んだ。ラティスは Triple Bend Cell の 4 回対象となっており、3 つの偏向電磁石のうち 1 つは超伝導電磁石となっている。図 2 に蓄積リング 1 セル分の光学関数を示す。超伝導電磁石では多極成分の存在が予測されるため、この部分のベータ関数 β 、ディスペーション関数 η を比較的抑えた設計とした。自然エミッタンスの設計値は 53 nm rad である。

セルの間には約 5 m の直線部が 4 つあり、ここに入射部、高周波空洞及びアンジュレータ等の挿入光源を配置する予定である。四極、六極電磁石には主コイルの他に補助的なコイルを設け、四極電磁石では局所的なチューン補正を六極電磁石では水平垂直の二極磁場とスキュー四極磁場を発生できるようにする。

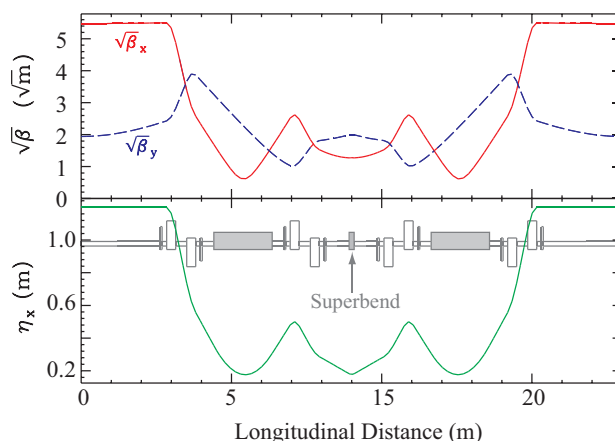


図 2: 蓄積リングの光学関数 (1 セルのみ)。

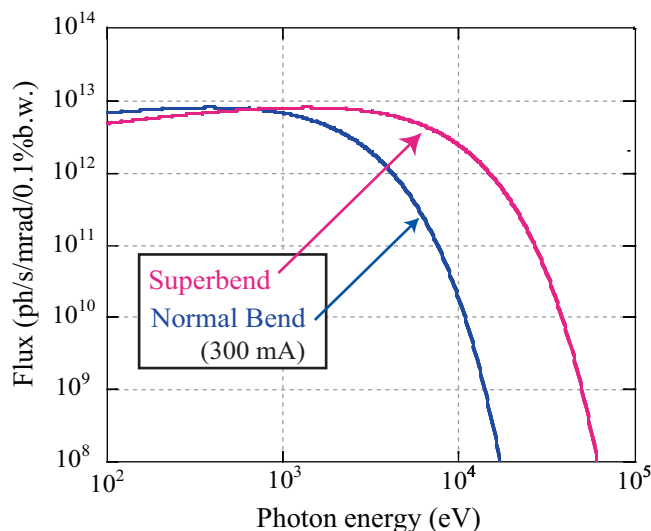


図 3: 超伝導及び常伝導偏向電磁石から得られる光スペクトル。

2.2 超伝導電磁石

中部 SR 施設では 12 個の偏向電磁石のうち 4 つに超伝導電磁石を採用する。超伝導電磁石の磁場強度は 5 T とし、蓄積エネルギー 1.2 GeV での臨界エネルギーは 4.8 keV となる。超伝導及び常伝導偏向電磁石からの光スペクトルを図 3 に示す。

表 2 に超伝導偏向電磁石の設計パラメータを示す。超伝導電磁石は運用時の安定性とメンテナンス性を考慮して設計しており、基本設計は米国 ALS で開発されたもの^[4]を参考としている。また、名古屋大学においても放医研より移設した超伝導ウイグラ試作機を用いて小型冷凍機や超伝導状態の安定性などについて基礎研究を行っており^[5]、これらの知見を踏まえ実機の仕様を決定した。

主な特徴は小型冷凍機を用いて主コイルを直接冷却し、通常運転時やメンテナンス時にも液体ヘリウムなどの冷媒を使用しないことである。小型冷凍機には 2 ステージの 4K-GM 冷凍機を用いる予定であり、冷凍機の間換・メンテナンスなどは低温のまま行いその後 24 時間以内の復旧を可能とする。室温からの冷却は 7 日間

表 2: 超伝導偏向電磁石の設計パラメータ

Return yolk	C-Shaped
Conductor type	NbTi-Cu
Critical temperature	5.9 K
Cryo-system	2-stage GM cryocooler
Operating current	100 A
Current density	112 A/mm ²
Magnetic field	5.10 (6°) T
	4.72 (4°,8°) T
Critical Energy @ 1.2 GeV	4.8 keV
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
Calculated Multi-pole	
Edge (vertical) focus	-0.198 /m
Sext pole	-6.50 /m ²
Skew sext pole	-5.92 /m ²

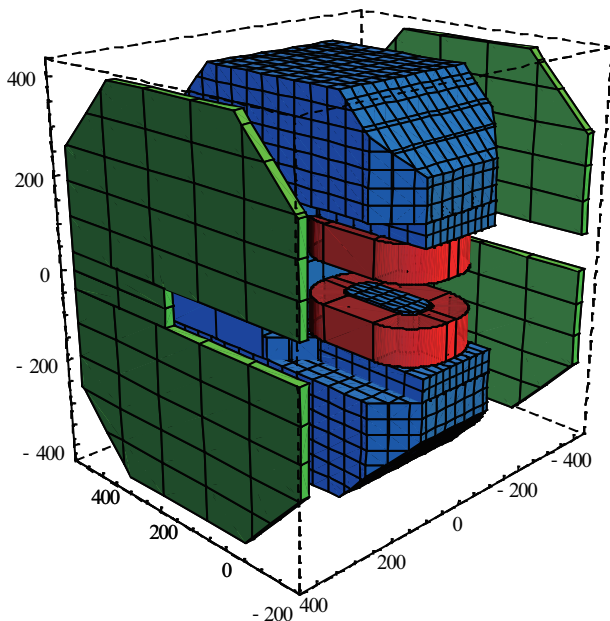


図 4: 超伝導偏向電磁石の計算モデル。コイル、磁極、フィールドクランプをそれぞれ赤、青、緑で示す。

以内に動作可能な状態にできることを目標とし、一次冷媒として液体窒素を用いることも検討している。

図 4 に Radia^[6] で作成した計算モデルを示す。緑で示したのはフィールドクランプであり、漏れ磁場を軽減する目的で設置する。Radia を用いた数値計算において超伝導電磁石内でのビーム軌道と運動学的な多極成分を求めた。電磁石の形状は矩形であるため電子ビームは偏向電磁石に対し 6 度の角度で入射し、偏向角度が最大 (12°) となるようビーム軌道を求めた。計算によると多極成分のほとんどは六極成分であり、その大きさは

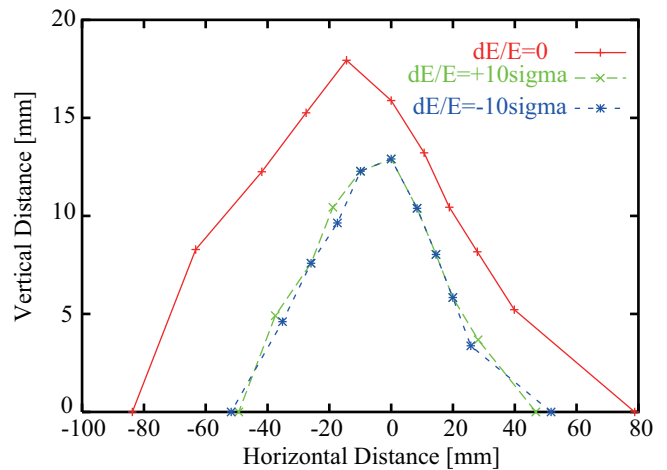


図 5: 設計中の超伝導偏向電磁石と偏向電磁石の多極成分を考慮した時のダイナミックアパーチャ。

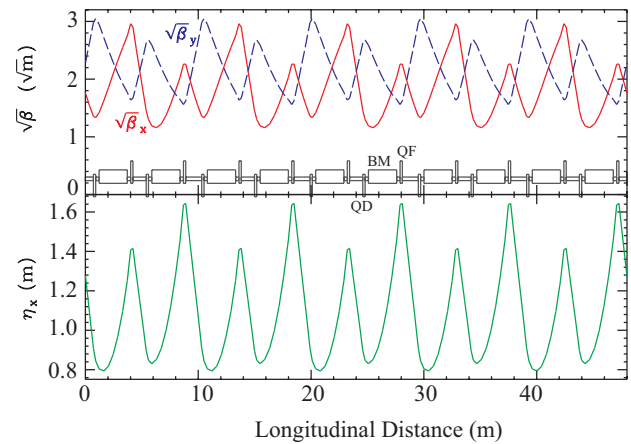


図 6: ブースターの光学関数。

-6.50 /m² となった。

上記で求めた超伝導電磁石の多極成分と設計中の常伝導偏向電磁石の多極成分を考慮して計算したダイナミックアパーチャを図 5 に示す。ダイナミックアパーチャは電子ビームのエネルギーがエネルギー広がり (表 1 を参照) の $\pm 10\sigma$ までずれた場合においても、十分な大きさである。

2.3 入射器

入射器はエネルギー 50 MeV の電子ビームを生成する線形加速器とその電子ビームを 1.2 GeV まで加速するブースターで構成する。中部 SR 施設では早期の供用開始を目指すため運転当初は通常自然減衰モードで光源加速器を運用するが、その後スタディを重ねただけ早い時期にトップアップモードでの運転に切り替える予定である。

入射器の繰返しは 1Hz とし、S-band の線形加速器で生成したパルス幅 1 ns の電子ビームをオンアキシスでブースターに導き加速、出射時約 200 nrad の電子ビームを局所バンブを用いて蓄積リングに入射する。入射効率は 1 回あたり 1 mA を目標とする。

ブースターは蓄積リングの内側に配置できる、入射

効率向上のため低エミッタンス化を目指すという2つの条件のもと設計した。前者は専有面積を抑え遮蔽壁を蓄積リングと共通化し建設コストを削減するため、後者はトップアップ運転時電流の安定度を向上させるためである。この条件を満たすラティスとして我々はFODO型を採用した。偏向電磁石を極性の反転する一対の四極電磁石で挟みこれを1セルとする構造であり、周回するビーム径を小さくできることが特徴である。中部SR施設では直線部の長さの異なる2セル(1.48 m, 1.18 m)を一対とした5回対称構造とし、周長48 m, 自然エミッタンス200 nmradとした。ブースターの主要パラメータを表1に示す。

2.4 制御・タイミング系

加速器の制御システムには、アルゴン国立研究所で開発されたEPICS^[7]を利用する。EPICSは汎用のイーサネット上で働く分散制御型のシステムであるため、任意の機器のみを組み合わせた運転試験・制御が可能であり、ハードウェアの交換やアップグレードにも応用が利きやすい。さらに、世界の多くの施設で用いられているという実績があること、マニュアルや拡張パッケージが豊富であることもEPICS採用の一つの理由である。数多くのマニュアル、拡張パッケージが存在することは、専属スタッフが存在せず限られた予算と人数で加速器を制御する我々のような施設では重要な特徴である。

線形加速器と2つのリングのタイミング同期には、トップアップ運転時の安定性を考慮しSPring-8とほぼ同様なシステムの採用を検討している^[8]。約500 MHzの蓄積リングの基準信号を元に任意波形発生器と周波数通倍器から線形加速器の2,856 MHzを生成し、これに同期した信号をガントリガーに利用する。この方法を用いることで、線形加速器で生成された1 nsのビームとブースターの高周波位相との同期を図り、ショット毎の電荷量の安定化を目指す。

3. まとめ

「中部シンクロトロン光利用施設」は主要装置・建屋の発注作業が終わり、2012年の供用開始に向け本格的に動き始めた。本施設は産・学・官の連携のもと、学術研究のみならず産業応用を強く意識した施設として運用される。名古屋大学シンクロトロン光研究センターは本施設において、光源加速器、ビームライン、建屋に至るあらゆる部分の設計に携わっている。

施設完成後は(財)科学技術交流財団が整備・運営を行っていく。さらに供用開始以降も、当センター光源部門が加速器の運転・メンテナンスを、ビームライン部門、計測・測定部門のメンバーが大学連合の一員としてビームライン装置の保守、ユーザーの分析支援などを行っていく予定である。

参考文献

- [1] Y. Takashima, T. Yamane, Y. Takeda, K. Soda, S. Yagi, T. Takeuchi, et.al., *AIP Conference Proceedings*, **879**, 75-78 (2007)
- [2] M. Hosaka, et.al., "中部シンクロトロン光利用施設の現状", *These Proceedings*, FSRP23

- [3] N. Yamamoto, Y. Takashima, M. Hosaka, H. Morimoto, K. Takami, et.al., "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" *Proceedings of the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Aug. 5-7, 2009
- [4] D. Robin, J. Krupnick, R. Schlueter, C. Steier, S. Marks, et.al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **538**, 65 - 92 (2005)
- [5] M. Yoshida, Y. Takashima, M. Katoh, M. Hosaka, N. Yamamoto, et.al., "中部シンクロトロン光利用施設(仮称)計画のための超伝導電磁石の検討" *Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Aug. 6-8, 2008
- [6] URL:<http://www.esrf.eu/Accelerators/Groups/InsertionDevices/Software/Radia>
- [7] URL:<http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [8] Y. Kawashima, T. Asaka and T. Takashima, *Phys. Rev. ST Accel. Beams*, American Physical Society, **4**, 082001 (2001)