

Status of Accelerator Design for Nagoya University Small Synchrotron Radiation Facility.

Y. Takashima^{1,A)}, M. Hosaka^{A)}, M. Katoh^{C),A)}

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

^{B)}Graduate School of Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602 Japan

^{C)}Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences, Myodaiji-cho, Okazaki, 444-8585

Abstract

Nagoya University has a project to construct a new synchrotron light facility, called Photo-Science Nanofactory, to develop a wide range research on basic science, industrial applications, life science and environmental engineering in collaboration with the local government, universities, research institutes and industries in Aichi prefecture. The key equipment of the facility is a compact electron storage ring, "Nagoya University Small Synchrotron Radiation facility (NSSR)," which is able to supply hard x-rays. The energy of the stored electron beam is 1.2 GeV, the circumference is 62.4 m, the current is 300 mA, and natural emittance is about 53 nm-rad. The configuration of the storage ring is triple bend cell with twelve bending magnets. Eight of them are normal conducting magnets. Four of them are 5 T superconducting magnets (super-bends). The bending angle of the super-bend is 12 degrees and two or three hard x-ray beam lines can be extracted from each super-bend. Two insertion devices will be installed in the straight sections. The electron beam is injected from a booster synchrotron with the energy of 1.2 GeV as full energy injection. A 50 MeV linac is used as an injector to the booster synchrotron. The top-up operation is also planned.

名古屋大学小型シンクロトロン光施設計画の加速器設計の現状

1. はじめに

名古屋大学の立案による小型シンクロトロン光施設を核とした「光科学ナノファクトリー計画」を基礎として、愛知県、産業界、大学、研究機関が一体となり、地域密着型の小型シンクロトロン光施設計画の検討を行っている。愛知県はモノづくり産業の拠点であり、将来にわたって活力を持続発展させるために、科学技術の開発をリードする「知の拠点」計画を進めている。「知の拠点」計画ではナノテクノロジー、IT、バイオテクノロジーの研究開発・応用が重要視されており、多角的な計測分析データを取得可能なシンクロトロン光施設は「知の拠点」での地域共同利用施設として期待されている。

名古屋大学小型シンクロトロン光施設 (NSSR) は「光科学ナノファクトリー」計画の中心設備であり、小型でありながらX線利用が可能な光源とするため、蓄積電子エネルギー1.2GeV、周長62.4mの蓄積リングに、偏向角 12° の5T超伝導偏向電磁石を4台導入する予定である。それぞれの超伝導偏向電磁石から2~3本のX線ビームラインを取り出すことで10本程度のX線ビームラインが利用可能となる。蓄積リングへの入射には、将来のトップアップ運転を想定して1.2GeVブースターシンクロトロンを用いてフルエネルギー入射を行い、ブースターシンクロトロンへの入射は50MeV線形加速器を用いて行う計画である。

光源加速器及び実験ホールの配置案を図1に示す。およそ81 m × 66 mの建物内に光源リング及び実験ホールを配置した。実験エリアの外側に光源コントロール室や試料準備室、クリーンルームなどを配置し、一部クリーンルームにはシンクロトロン光を直接導くこととしている。電磁石電源類など加速器運転用機器はリング内側の空間に設置する。受電設備、冷却水設備、空調設備なども同じ建物内に設置する。入射器は隣接する建物に設置する。

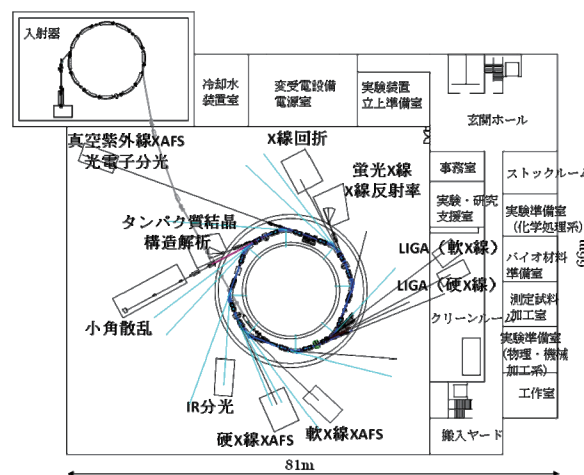


図1 : NSSR光源、ビームライン配置案

¹ E-mail: takasima@numse.nagoya-u.ac.jp

2. 電子蓄積リング

表1に蓄積リングのパラメーター案を示す。地域の中核となる施設であることと、コストパフォーマンス、運転・維持管理の容易さを考えて、周長は50 m を大きく超えないことを目標とした。光源リングの周長は62.4m、蓄積電子のエネルギーは1.2GeV、エミッタンスは約53nm-radである。ラティスの構造はTriple Bend セルの4回対称であり、硬X線を発生するために12台の偏向電磁石のうち4台を5T超伝導電磁石とする。常伝導偏向電磁石の偏向角は39°、超伝導偏向電磁石は12°である。それぞれの超伝導偏向電磁石から2~3本のビームラインを取り出すことで10本程度の硬X線ビームラインの建設が可能である。また、長さ約2.8mの直線部が4カ所あり、入射と高周波加速空洞用にそれぞれ1カ所使用する。残り2カ所には挿入光源を配置する予定である。

表1：蓄積リングパラメーター案

ビームエネルギー	1.2 GeV
周長	62.4 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
RF周波数	500 MHz
RF加速電圧	500 kV
バケットハイト	0.093
エネルギー広がり	8.4×10^{-4}
モーメントム	0.022
コンパクションファクター	

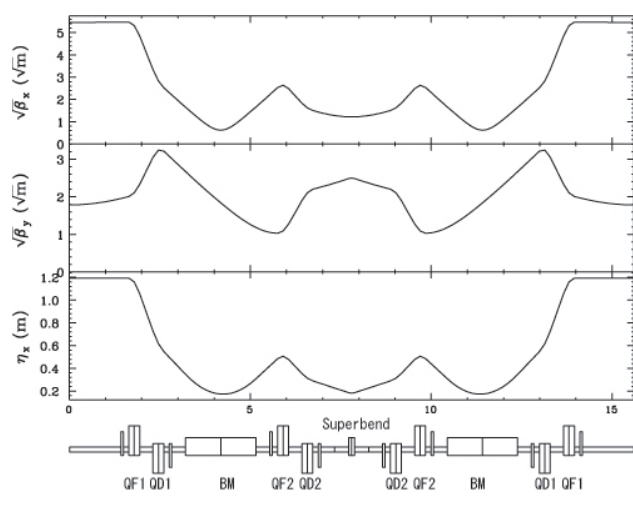


図2：ビームオプティクス

図2は1セル当たりのビームオプティクスである。超伝導偏向電磁石部分でのエネルギー分散を小さくすることで、ビームに対する多極成分の影響をでき

るだけ低く抑えることを考えている。図3はこのオプティクスにおいて、クロマチシティを補正後のダイナミックアパーチャーである。超伝導偏向電磁石については3次元磁場計算より求めた6極成分を考慮に入れ、クロマチシティの補正を行った。

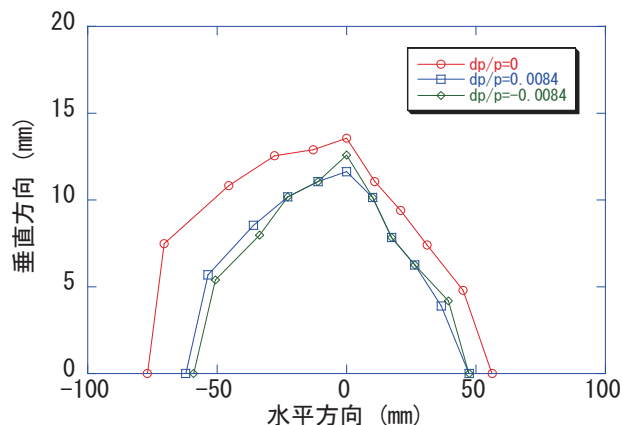


図3：ダイナミックアパーチャー

3. 超伝導偏向電磁石

1.2 GeVというビームエネルギーでありながら10 keV程度のX線の利用を可能にするため、蓄積リングの偏向電磁石の一部を超伝導電磁石とする^[1]。設置場所は、図1、図2に示すようにTriple Bendセルの3つの偏向電磁石のうちの中央部であり、蓄積リング全体で4台導入する。

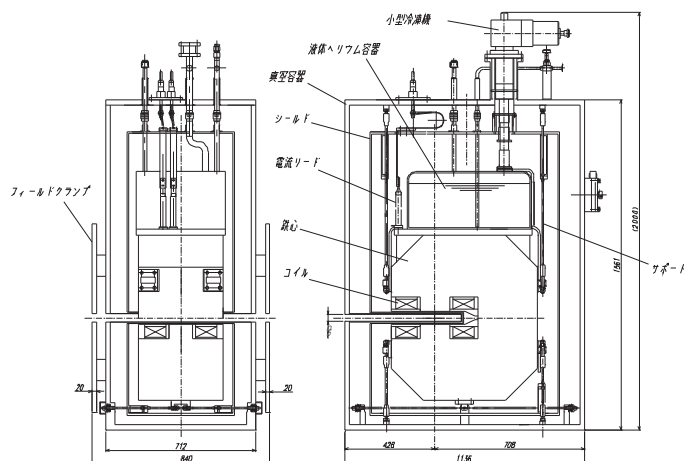


図3：超伝導偏向電磁石外形図案

図3は超伝導偏向電磁石の外形図の案であり、パラメーターを表2に示す。ピーク磁場は5Tとし、大きさは、フィールドクランプを含めたビーム進行方向が840 mm、幅1136 mm、高さ2000 mmである。鉄心形状はC型を予定している。冷却には、コストとメンテナンス性を考えて小型冷凍機を使用し、それ

それぞれの超伝導電磁石に1台ずつ配置する。液体ヘリウムタンクをクライオスタット内に配置し、伝熱板を介してコイルを冷却する。冷凍機の故障や停電時でも、液体ヘリウムを定期的に補充することによって運転が可能な構成とする。図4に超伝導偏向電磁石および常伝導偏向電磁石からの放射光フラックスを示す。図5には、超伝導偏向電磁石からの放射光取り出しポート案を示す。

表2：超伝導偏向電磁石パラメーター案

鉄心形式	C型
ギャップピーク磁場	5 T 以上
偏向角	12° (1.2 GeV)
コイル電流密度	127 A/mm ²
電流	150 A
超伝導線	NbTi/Cu
鉄心材料	SUY (電磁軟鉄)
ウォームボアギャップ	50 mm
鉄心ポールギャップ	80 mm
ポール形状 (ビーム方向, 水平方向)	(70 mm, 180 mm)
外形寸法 (軸方向, 高さ, 幅)	(840mm, 2000mm, 1136mm)
全体重量	3500kg
GM方式小型冷凍機	45 W (50 K), 1.5 W (4.2 K)

4. 入射器

入射には50 MeV線形加速器と1.2 GeVブースターシンクロトロンを使用する。表3にパラメーターを示す。蓄積リングでの加速を避けること、またトップアップ運転を可能とするために1.2 GeVでのフルエネルギー入射を行う。ブースターシンクロトロンのラティス構造はFODO型を予定しており、可能な限り小型とする。

図1に示すように、入射器室は蓄積リング室とは別に設け、入射路が放射光ビームラインの妨げにならないようにビーム輸送路は地下を通し、蓄積リングの内側から入射を行う。

表3：入射器パラメーター案

ブースターシンクロトロン	
最大ビームエネルギー	1.2 GeV
偏向電磁石	1.1 T
周長	38.4 m
RF周波数	500 MHz
直線加速器	
ビームエネルギー	50 MeV
電流	100 mA
繰り返し	1 Hz
RF周波数	2856 MHz

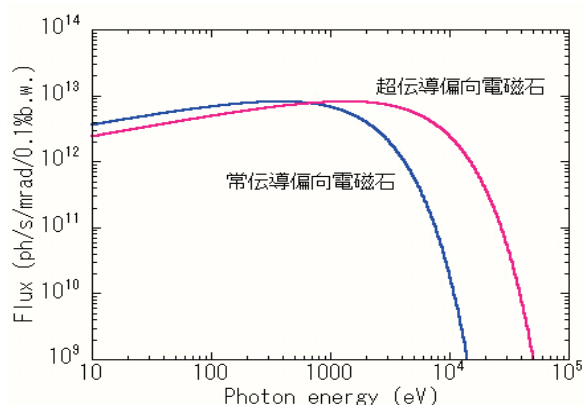


図4：放射光フラックス

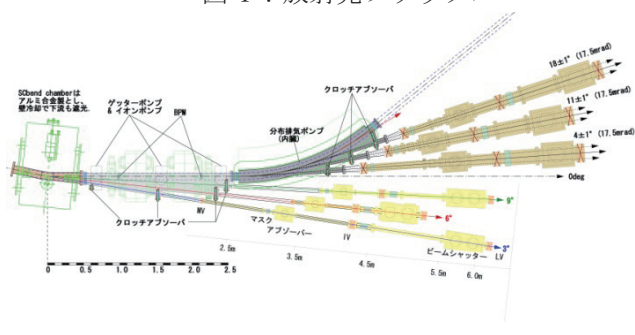


図5：超伝導電磁石からの放射光取り出しポート

5. まとめ

名古屋大学が提案してきた“光科学ナノファクトリー”構想は、愛知県の「知の拠点」計画に最適な施設として期待され、愛知県、産業界、大学、研究機関が連携してシンクロトロン光施設計画の実現を目指している。名古屋大学小型シンクロトロン光利用施設 (NSSR) はこの計画の中心設備であり、小型でありながらX線利用が可能な光源とするため、蓄積電子エネルギー1.2 GeV、周長62.4 mの蓄積リングに、偏向角12°の5 T超伝導偏向電磁石を4台導入する予定である。蓄積リングへの入射には1.2 GeVブースターシンクロトロンを用いてフルエネルギー入射を行い、トップアップ運転の早期実現を目指す。

謝辞

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設の堀洋一郎氏、物質構造科学研究所の谷本育律氏、宮内洋司氏、浅岡聖二氏には本計画の真空系、ビームライン基幹部等の検討において多大なご協力を頂いており、大変感謝致しております。

参考文献

- [1] D. Robin et al., "Superbend upgrade on the Advanced Light Source", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 538 (2005), 65-92