

# STORAGE RING AND INJECTORS FOR NAGOYA UNIVERSITY PHOTO-SCIENCE NANOFACILITY PROJECT

Y. Takashima<sup>1,A)</sup>, T. Yamane<sup>A)</sup>, Y. Takeda<sup>A)</sup>, K. Soda<sup>A)</sup>, S. Yagi<sup>A)</sup>, T. Takeuchi<sup>A)</sup>, K. Akimoto<sup>A)</sup>,  
M. Sakata<sup>A)</sup>, A. Suzuki<sup>A)</sup>, K. Tanaka<sup>A)</sup>, A. Nakamura<sup>A)</sup>, M. Hori<sup>A)</sup>, K. Seki<sup>B)</sup>, U. Mizutani<sup>A)</sup>,  
H. Kobayakawa<sup>A)</sup>, K. Yamashita<sup>B)</sup>, M. Katoh<sup>C),A)</sup>

<sup>A)</sup>Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603 Japan

<sup>B)</sup>Graduate School of Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602 Japan

<sup>C)</sup>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 universities, research institutes and industries. 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.

## 名古屋大学光科学ナノファクトリー計画のための 電子蓄積リングおよび入射器の検討

### 1. はじめに

名古屋大学ではX線利用を主目的とした小型シンクロトロン光利用施設 (NSSR) を中心に、学内における研究・教育だけでなく産業界との連携を目指した施設として“光科学ナノファクトリー計画”を推進している。ここでは、光源利用のための設備とともに、ナノ計測・解析さらにはモノ作りの拠点となるように周辺装置・施設・試作ラインの整備を行う。その中核となる放射光施設には、蓄積電子エネルギー1.2GeV、蓄積電流0.3A、周長62.4mの小型電子蓄積リングを設置する。偏向電磁石の1/3を超伝導電磁石とし、10本程度のX線ビームラインを設置することで多様なX線実験に対応させる。フルエネルギーのブースターシンクロトロンを備え、早期のトップアップ運転の実現を目指している。直線部には2機の挿入光源の設置を予定している。

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72 m × 72 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。

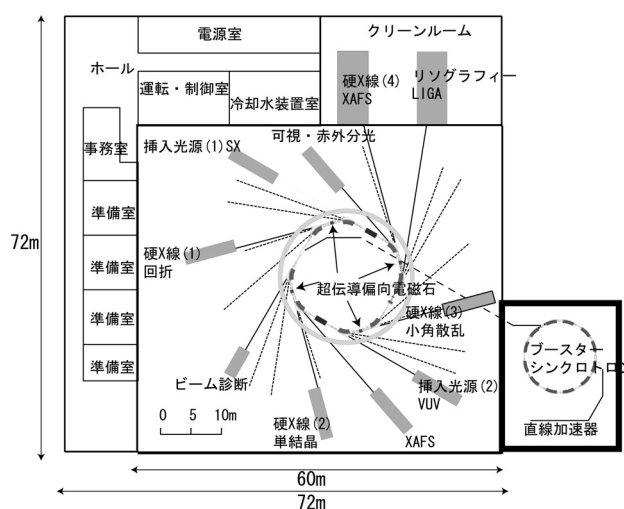


図1：NSSR光源、ビームライン配置案

<sup>1</sup> 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	$8.4 \times 10^{-4}$
モーメントム	0.022
コンパクションファクター	

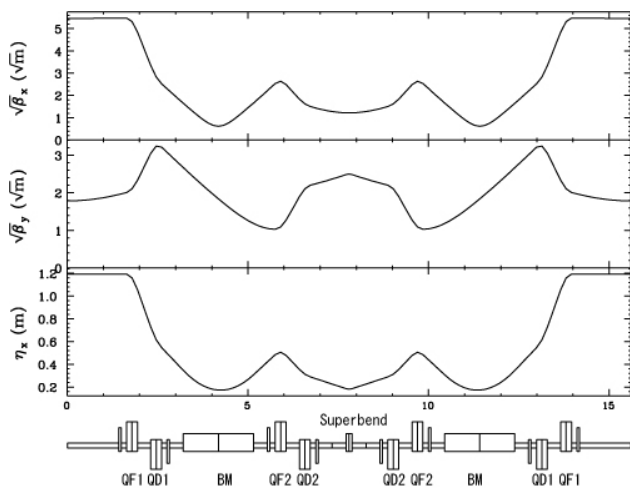


図2：ビームオプティクス

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。超伝導偏向電磁石はレクタングュラー型と仮定した。

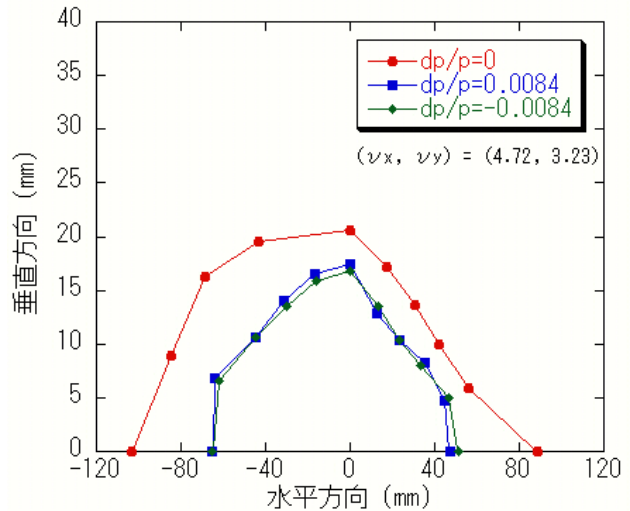


図3：ダイナミックアパーチャー

## 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。この方法はローレンスバークレー研究所のALSに導入されているが[1]、周長の短い小型リングにおいて、多数のX線ビームラインを引き出すために有効である。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。

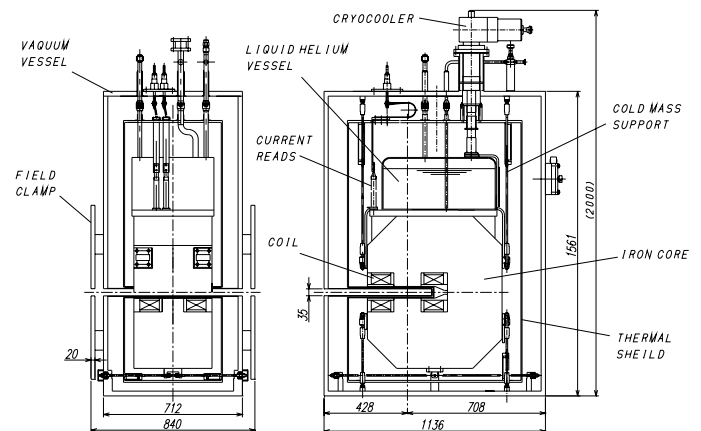


図3：超伝導偏向電磁石外形図案

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、真空ダクトのベーキングの容易さ、電磁石の交換の容易さを考えて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、それぞれの超伝導電磁石に1台ずつ配置する。冷凍機は2ステージタイプとし、第1ステージで熱シールドの冷却、第2ステージで液体ヘリウムの蒸発ガスを冷却する。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。

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	114 A/mm <sup>2</sup>
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	35 mm
鉄心ポールギャップ	60 mm
ポール形状	
(ビーム方向, 水平方向)	(110 mm, 140 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)

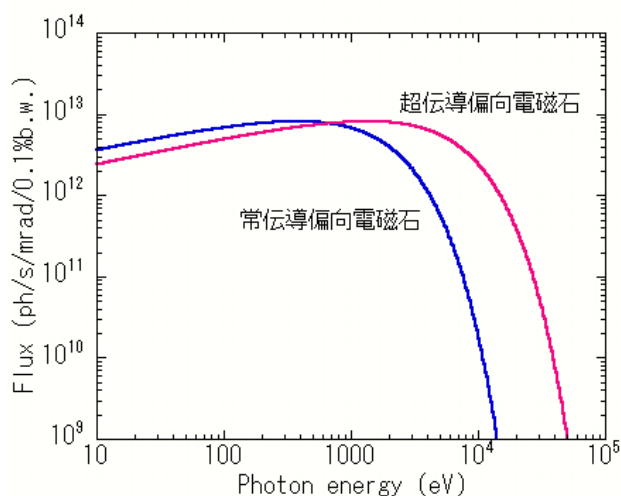


図4：放射光フラックス

#### 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	37.2 m
RF周波数	500 MHz
直線加速器	
ビームエネルギー	50 MeV
電流	10 mA
繰り返し	1 Hz
RF周波数	2856 MHz

#### 5. まとめ

名古屋大学では、「モノづくり」を念頭に置いた計測・分析拠点である“光科学ナノファクトリー”計画を推進している。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1.2GeV、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、トップアップ運転の早期実現を目指す。

#### 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