

## Future Plan of Hiroshima Synchrotron Radiation Center - HiSOR-II

Atsushi Miyamoto<sup>#,A)</sup>, Kiminori Goto<sup>A)</sup>, Hiroshi Tsutsui<sup>A),C)</sup>, Shinji Hanada<sup>B)</sup>, Toshitada Hori<sup>D)</sup>, Shigemi Sasaki<sup>A)</sup>

A) Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University  
2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-0046

B) Department of Physical Science, Graduate School of Science, Hiroshima University  
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8526

C) Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

1-1, Yato-cho 2-chome, Tanashi, Tokyo 188-8585

D) RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science  
2-1, Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

### Abstract

The HSRC is a synchrotron radiation facility of Hiroshima University established in 1996. The emittance of the storage ring, HiSOR is not small because it is based on an industrial SR source, and it has only two straight sections for insertion devices. In order to improve the HiSOR performance, we are planning to install a new type quasi-periodic undulator. Additionally we are designing a new compact low emittance SR source so called 'HiSOR-II'. We referred to MAX-III so that we are able to make the storage ring to accommodate in the designate area and to satisfy demand specifications.

## 広島大学放射光科学研究センター将来計画 - HiSOR-II

### 1. はじめに

広島大学放射光科学研究センター(Hiroshima Synchrotron Radiation Center)は、固体物理学をはじめとする物質科学研究を推進するために、小型放射光源 HiSOR<sup>[1]</sup>を有するセンターとして 1996 年に設立された。当センターは設立から 14 年が経過し、利用成果も数多く輩出され、ユーザーからもアンジュレータビームラインの増強や光源の高度化が望まれるようになってきた。そこで将来計画として、低エミッタンス第 3 世代小型放射光源リング HiSOR-II を建設する計画が進められている。図 1 に計画の全体予想図を示す。

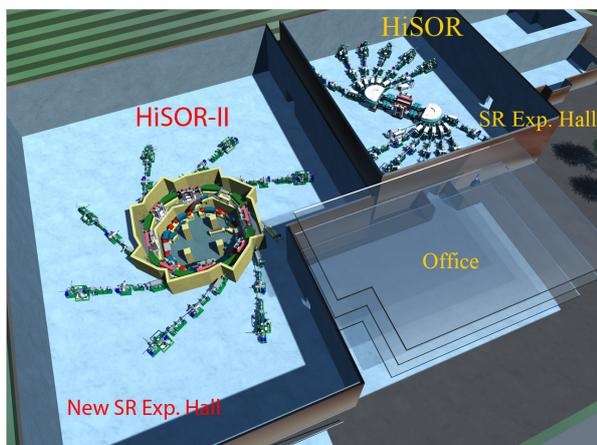


図1:HiSOR-II 計画全体予想図

### 2. 小型放射光源リング HiSOR-II

HiSOR-II は HiSOR と同じエネルギー領域の数 eV ~数百 eV の VUV~軟 X 線領域の光を発生する挿入光源を主光源とするリングである。各電磁石は HiSOR-II とほぼ同規模の光源リングである MAX-lab.の MAX-III<sup>[2]</sup>を参考にして、機能複合型とすることで小型化と低エミッタンス化の両立を図っている。図 2 に HiSOR-II 蓄積リングとブースターリングの概要を、図 3 に蓄積リングの光学関数、表 1 には主なパラメータを示す。



図2:HiSOR-II 蓄積リングとブースターリング

<sup>#</sup> a-miyamoto@hiroshima-u.ac.jp

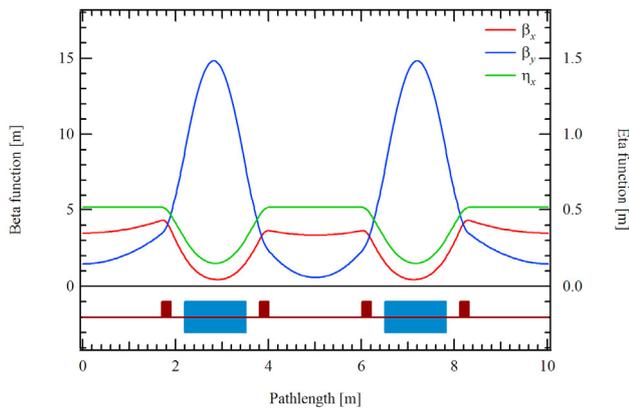


図3:HiSOR-II 蓄積リングの光学関数

表1:HiSOR-II 蓄積リングの主なパラメータ

Beam energy [MeV]	700
Circumference [m]	40.079
Maximum bending field [T]	1.4
Bending radius [m]	1.667
Betatron tune	(3.761, 2.846)
Chromaticity	(+1.0, +1.0)
Natural emittance [nmrad]	13.57
Momentum spread	$5.79 \times 10^{-4}$
Momentum compaction factor	0.0319
Bunch length [mm]	37.0
Harmonic number	27
RF Frequency [MHz]	201.962
Touschek lifetime [min]	40.7
Straight sections	3.4 m×4
	2.0 m×4

HiSOR-II の内側にはブースターリングが配置されており、top-up 入射を行うことができるようになっている。また、ブースターリングを半地下に置き、蓄積リングとの高さを変えることで、両リングの電磁石間における磁場干渉の抑制や、ブースターリングに必要な放射線遮蔽壁の厚さの節約が可能となっている。

## 2.1 放射光のスペクトル

偏向磁場が HiSOR の 2.7 T に対して 1.4 T となるため、偏向部からの放射光のエネルギーは低くなる。一方、アンジュレータからの光の強度は、アンジュレータの高度化とエミッタンス縮小によって 1 桁以上向上することが計算によって予想される。図 4 は HiSOR と HiSOR-II の輝度スペクトルを比較したも

のである。図中の HiSOR-II のスペクトルに用いたアンジュレータは、現在 HiSOR の楕円偏光アンジュレータとの更新が進められている周期長 78 mm の APPLE-2 型アンジュレータ<sup>[3]</sup>の仕様を基に、全長等を HiSOR-II の長直線部に合わせた仕様としたものである。

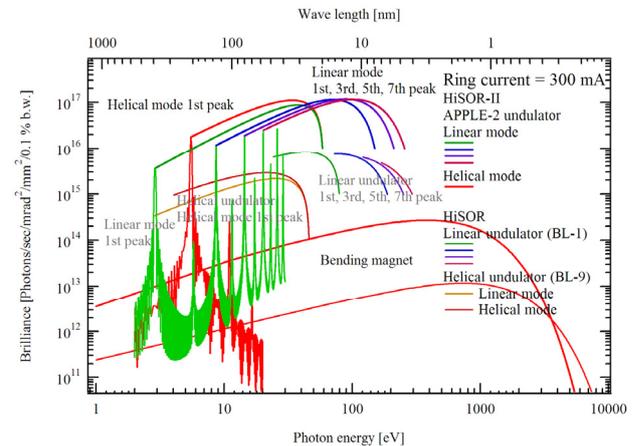


図4:HiSOR と HiSOR-II の放射光スペクトルの比較

## 2.2 機能複合型電磁石ユニット

HiSOR-II の偏向電磁石は偏向磁場だけでなく、収束磁場も発生し、さらに磁極端部を円弧にすることで 6 極成分も発生する形状となっている。また、4 極電磁石は 6 極成分も発生する磁極形状とし、リングの電磁石数を減らす設計となっている。また、1 つの偏向電磁石と両隣の 2 つの 4 極電磁石でヨークを共有する構造とするため、電磁石間の磁場干渉の影響を検討する必要もある。

このような複雑な電磁石の設計においては、計算コードを用いた設計が重要であり、現在 3 次元磁場計算コードを用いた設計<sup>[4]</sup>が進められている。

## 3. HiSOR-II ブースターリング

HiSOR-II 蓄積リングへは top-up 入射運転を行う計画であるが、そのブースターリングは蓄積リング内側地下に設置される。そのため、ブースターリングは周長約 30 m と非常に小型にする必要がある一方、蓄積リングとブースターリングの間の放射線遮蔽壁が必要なくなる上、電磁石間隙からの漏れ磁場による磁場干渉が少なくなるという利点もある。

### 3.1 ブースターリングのラティス

ブースターリングは蓄積リングへ top-up 入射を行うことからビームエネルギー 700 MeV であるとともに、入射時のビーム損失を少なくするためにエミッタンスが 100 nmrad 以下という条件で設計が進められている。現在は FODO 型で検討されており、図 5 にブースターリングの単位セルである 1/4 周分の光学関数を、表 2 に主なパラメータを示す。

# a-miyamoto@hiroshima-u.ac.jp

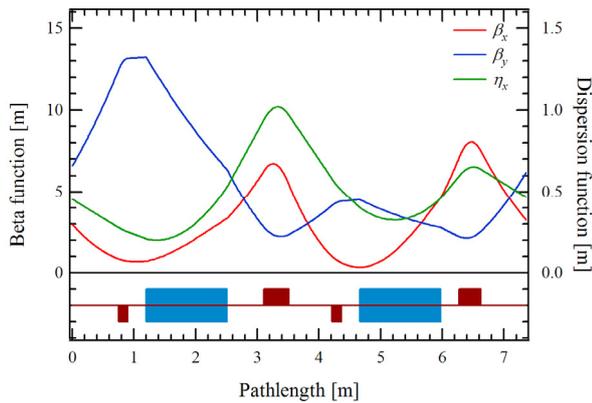


図5:ブースターリング 1/4 周のラティス

表2:ブースターリングの主なパラメータ

Circumference [m]	29.688
Beam energy [MeV] (Ext.)	700
(Inj. /Injector)	~40/Linac
Maximum bending field [T]	1.4
Bending radius [m]	1.667
Betatron tune	(3.258, 1.169)
Natural chromaticity	(-4.518, -3.779)
Natural emittance [nmrad]	86.5
Momentum compaction factor	0.065
Harmonic number	20
RF Frequency [MHz]	201.962
Repetition rate [Hz]	3
Straight sections	1.55 m × 4

### 3.2 蓄積リングへの入射に必要な時間の見積り

ブースターリングは top-up 入射に対応するために単バンチ運転を行う。しかし、HiSOR-II 蓄積リングの Touschek 寿命が短いので、全バンチへ入射を行う時間を短くするためにも、数 Hz 程度の加速サイクルは必要である。ブースターリングへの入射器としては、40 MeV 程度の線形加速器を新設する計画である。これにより、HiSOR とは独立に運用することが可能になる。

見積りの結果、蓄積リングに 300 mA までビームを蓄積するために必要な時間は、パルス長 1 ns、ピーク電流 50 mA のパルスビームを入射器から供給できる場合には、3 Hz の加速繰り返しの単バンチ運転を行うブースターリングを用いても 5 分程度で完了することが分かった。

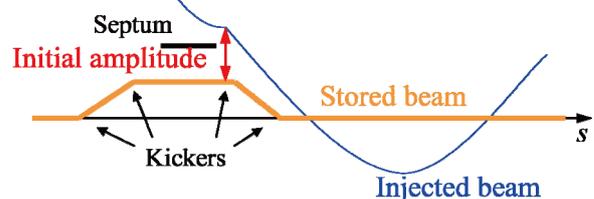
蓄積電流の安定度は、バンチ数とブースターリングの加速繰り返しおよびビーム寿命で決まってしまう。300 mA 蓄積中の安定度は、入射効率を 100%としても 0.36%程度しかないことがわかった。さらに

安定度を必要とする場合には、バンチ長を伸ばして Touschek 寿命を延ばすか、RF 周波数を低くしてバンチ数を減らすことを検討する必要がある。

### 3.3 パルス 6 極電磁石を用いたビーム入射

リングへのビーム入射は一般的にパルス電磁石を用いたバンチを形成して行われるが、HiSOR-II のような小型リングでは、それらの機器を設置するスペースを確保することが困難な場合も多い。そこでパルス 6 極電磁石(Pulsed Sextupole Magnet; PSM)を用いた新しい入射法<sup>[5]</sup>を検討中である。図 6 にその概念図を示す。

#### 一般的なビーム入射



#### PSMを用いた入射

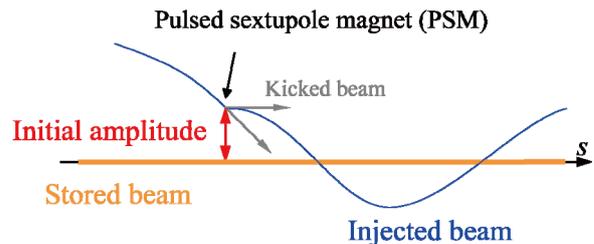


図6:PSM を用いたビーム入射の概念図

しかし、PSM に印加するパルス長がリングの周回周期より長くなる場合には、入射ビームは複数周回にわたって蹴りを受けるために、その影響を考慮する必要がある。つまり、この入射法はビームの各周回の位相空間上の位置に非常に敏感であると言える。

入射後ある程度周回した後にビームのベータatron 振幅が十分小さくなるためには、チューンやビームの入射位置と入射角、PSM の蹴り角等の多くのパラメータを適切に選択する必要があり、現実的に可能な入射条件の検討を行っている。

### 参考文献

- [1] K. Yoshida, et al., "Commissioning of a Compact Synchrotron Radiation Source at Hiroshima University", Proc of APAC'98, KEK (1998), pp.653-657.
- [2] G. LeBlanc, et al., "MAX-III, a 700 MeV Storage Ring for Synchrotron Radiation", EPAC2000, Vienna (2000).
- [3] S. Sasaki, et. al., "Effectiveness of Introducing a Quasi-Periodicity in APPLE-II type Variably Polarizing Undulator", in this proceedings.
- [4] S. Hanada, et. al., "Study of interference between bending and quadrupole magnet for HiSOR-II", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, pp.554-556.
- [5] H. Takaki, et. al., Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan (2008), pp.725-727.