

Design of Booster Ring for HiSOR-II and Study of Injection with Pulsed Sextupole Magnet

Atsushi Miyamoto^{1,A)}, Kiminori Goto^{A)}, Hiroshi Tsutsui^{A),B)}, Shigemi Sasaki^{A)}

^{A)} Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University

2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-0046

^{B)} Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

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

Abstract

We are designing the new compact low emittance SR source ‘HiSOR-II’ with booster ring. This booster ring is designed for top-up injection, and the circumference of ring is about 30m to install inside of the storage ring. We estimated the time to be necessary for injection to 300mA. Further we examined the injection using pulsed sextupole magnet and studied the specific parameters of the injection by simple simulation.

HISOR-IIブースターリングとパルス6極電磁石を用いた入射の検討

1. 将来計画HiSOR-II

1.1 HiSOR-II計画の概要

広島大学放射光科学研究センター(Hiroshima Synchrotron Radiation Center)では、現在放射光源リングHiSOR^[1]の後継機として、小型放射光源リングHiSOR-II^[2]計画を進めている。

HiSOR-IIはHiSORと同程度からより低い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小型低エミッタンスリングで、top-up運転を行うことでより安定かつ効率よい利用を目指す計画である。

1.2 蓄積リングの概要

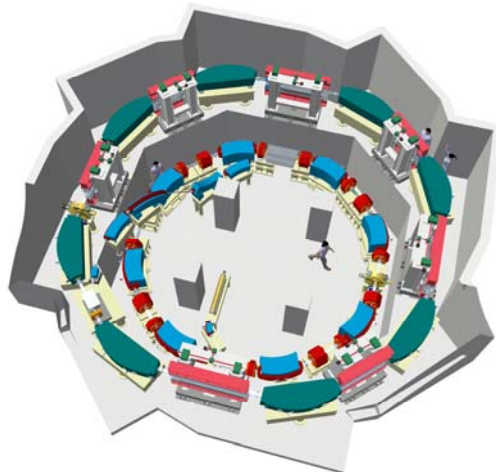


図1 HiSOR-IIの概要

表1 HiSOR-II蓄積リングの主要なパラメータ

Beam energy [MeV]	700
Circumference [m]	40.079
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	5.79e-04
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蓄積リングはMAX-lab.のMAX-III^[3]を参考にして設計されており、周長が約40m、エミッタンス13.6nmradを達成する第3世代小型放射光源リングである。

偏向および4極磁石には6極磁場までを発生する機能複合型電磁石^[4]を採用し、それらを1つのユニットとしてリターンヨークを共有することで、磁石相互間のアライメントエラーを抑制する構造となっている。図1にHiSOR-II蓄積リングの概要を、表1には主なパラメータを示す。

2. HiSOR-IIブースターリング

HiSOR-IIのブースターリングはHiSOR-II蓄積リングの内側または、現在HiSORへの入射器として稼働中の150MeVマイクロトロンが設置されている入射

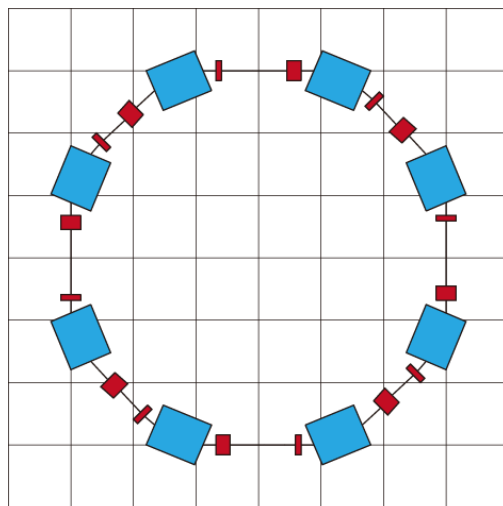
¹ E-mail: a-miyamoto@hiroshima-u.ac.jp

器室に設置されるために周長約30m以下である必要がある。またtop-up運転を行うことからビームエネルギー700MeV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100nmrad以下という条件で設計が進められている。

また、蓄積リングが非常に低エミッタンスであるためにTouschek寿命が短く、単バンチ運転での入射には数Hz程度の加速サイクルである必要もある。ブースターリングへの入射器としては、40MeV程度の線形加速器を新設するか、現在HiSORへの入射器として稼働している150MeVマイクロトロンを利用する2案を検討中である。

2.1 ラティス

ブースターリングのラティスの詳細については未決定であるが、FODO型やDouble Bend型が検討中である。図2に例としてFODO型のHiSOR-IIブースターリングの概要を、図3に1/4周のラティスと光学関数を、表2に主なパラメータを示す。



Grid size 1.5000 [m]

図2 FODO型のHiSOR-IIブースターリング

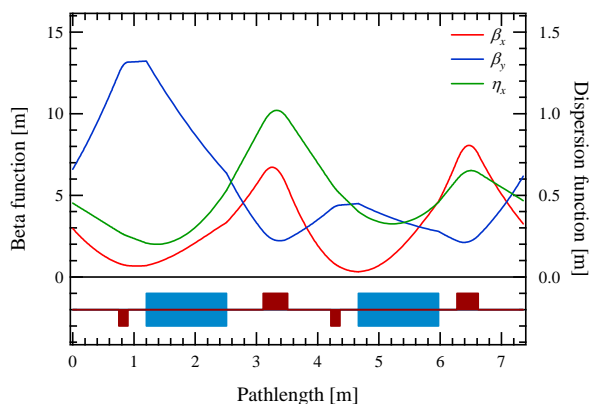


図3 ブースターリングの光学関数

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 150/Microtron
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

2.2 蓄積リングへの入射に必要な時間の見積もり

蓄積リングへのビーム入射は、入射器から単バンチを発生し、2つのリングを同期して行う予定である。こうすることで蓄積リングの任意のバケットに入射することができ、各バンチの電荷量を同一にすることが可能になる。

しかし、蓄積リングのバケットは27個もあり、またTouschek寿命が非常に短いので、電流安定度を向上するにはブースターの加速繰り返しは早いほうが望ましい。一方で渦電流による効果や電磁石およびその電源に必要なコストを考慮すると、現在のところ3Hz程度にするのが適当だと考えている。

この時、蓄積リングに300mAを蓄積するまでに必要な時間とその際に入射器に必要とされるピーク電流値を見積もった。その際200MHzの加速高周波に対して単バンチとするため、入射器からのビームはパルス幅を1nsとした。また、入射器を150MeVマイクロトロンとする場合には、現在使用中のマイクロトロンの仕様を満たす条件とするため、3バンチ加速することとしてある。

表3 入射に必要な時間

Injection mode (Linac)	Booster	Injector
Bunch	1	1
Repetition rate	3 Hz	3 Hz
Current	0.5 mA	50 mA 1 ns
Injection time	~5 min	
Injection mode (Microtron)	Booster	Injector
Bunch	3	3
Repetition rate	3 Hz	3 Hz
Current	0.15 mA	10 mA 1 ns
Injection time	~8 min	

見積もり結果は表3に示すようになり、50mA 1nsのビームを供給するLinacを入射器とした場合、必

要な時間は約5minとなり、マイクロトロンの場合には10mA 1nsのビームが必要で8min程度の時間で入射が完了すると見積もられる。

電流の安定度については、3Hzのブースターで27個のバンチに入射を行うには9sも必要であり、Touschek寿命から見積もられる300mA蓄積中の電流安定度は約0.36%となった。さらに安定度を必要とする場合には、蓄積リングヘランダウ空洞などを導入するか、加速高周波の周波数を下げるなどして、バンチ長を延ばすことによる長寿命化を計る必要がある。

3. パルス6極電磁石を用いた入射

3.1 パルス6極電磁石を用いた入射の概要

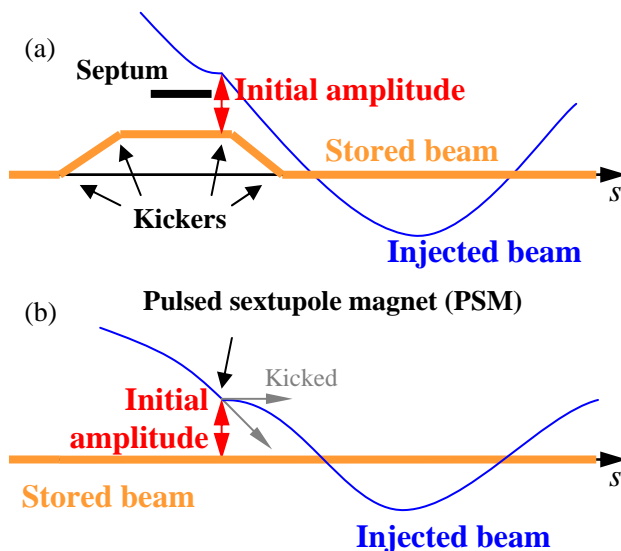


図4 一般的なビーム入射(a) とパルス6極電磁石を用いた入射法(b) の比較

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を検討中である。図4にその概要を示す。

6極磁場は中心付近の磁場がほぼゼロで、中心からの距離の2乗に比例した強さを持つ磁場であることから、中心付近を通過する周回ビームにはあまり影響を与えることなく、中心からある程度離れた位置に入射された入射ビームのみをキックすることができ、入射に必要な電磁石を1台のPSMだけで行うことができる。

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、その影響を十分考慮

する必要がある。図5にPSMによって蹴りを受ける入射ビームを位相空間上で見たものを示す。これからもわかるように、この入射法はチューンに非常に敏感で、PSMパルスが立ち下がった後にビームのベータトロン振幅が十分小さくなるためには、チューンも含めたいくつかのパラメータを適切に選択する必要がある。

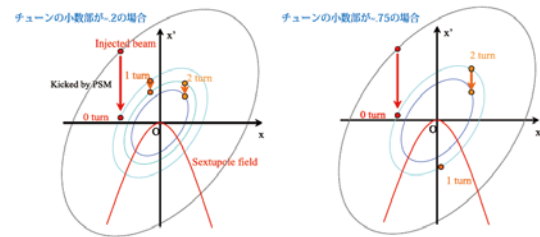


図5 位相空間で見たPSMによるビーム入射

3.2 入射パラメータの選択

PSMを用いてHiSOR-II蓄積リングへ入射した場合のシミュレーションを行った。ビームの入射位置、PSMの磁極長およびパルス長はそれぞれ-20mm、0.5m、3turnとして固定し、チューン、入射角およびPSMの強度を変化させて、10turn後の粒子の最大振幅を計算したものを図6に示す。この結果、入射条件を適切に選択すれば、30mm以下の振幅に抑えられる入射条件があることがわかったが、一方でチューンの選択にはそれほど自由度がないことから、パラメータの決定にはより詳細な計算と検討を要する。

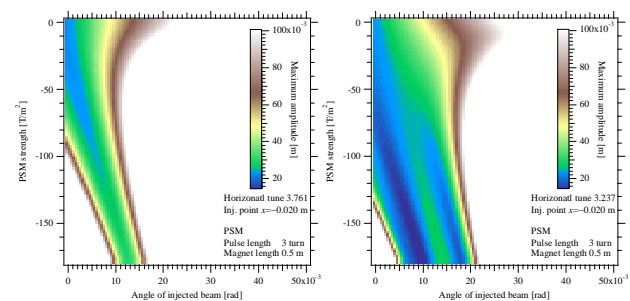


図6 チューン、PSMの強度および入射角と10ターン後のベータトロン振幅の関係

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] A. Miyamoto, et al., "Status and Future Plan of HSRC", in this proceedings.
- [3] G. LeBlanc, et al., "MAX-III, a 700 MeV Storage Ring for Synchrotron Radiation", EPAC2000, Vienna (2000).
- [4] S. Hanada, et al., "Study of Interference between Bending and Quadrupole Magnet for HiSOR-II", in this proceedings.