

広島大学放射光科学研究センター光源加速器の現状

PRESENT STATUS OF HISOR

加藤政博^{#,A,B)}, Yao Lu^{A)}, 島田美帆^{C,A)}, 宮内洋司^{C,A)}, 後藤公徳^{A)}
Masahiro Katoh^{#,A,B)}, Miho Shimada^{C,A)}, Hiroshi Miyauchi^{C,A)}, Kiminori Goto^{A)}

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

^{B)} UVSOR, Institute for Molecular Science

^{C)} KEK

Abstract

The synchrotron light source, HiSOR, at Hiroshima University's Synchrotron Radiation Research Center has been operating stably for about 25 years since it began operation in 1996. The annual beam time opened for users reaches 1,500 hours, and synchrotron radiation in the vacuum ultraviolet and soft X-ray regions is supplied to domestic and foreign researchers mainly in the materials and life sciences. The HiSOR accelerator consists of a 150 MeV injection microtron and a 700 MeV compact electron synchrotron. Although the electron synchrotron is small with a circumference of 22 m, it has two straight sections and two undulators, and can generate vacuum ultraviolet light of high brightness. In addition, synchrotron radiation from normal conducting high field bending magnet of 2.7 T covers a wide wavelength range centered on soft X-rays. In recent years, the deterioration of the accelerator hardware and the decline in competitiveness in terms of light source performance have become conspicuous. We are designing a new electron storage ring with moderately small size, much lower emittance and more straight sections for undulators. Also, we are examining utilization of the present accelerators as the injector for the new ring.

1. はじめに

広島大学放射光科学研究センターは共同利用・共同研究拠点として低エネルギー放射光を国内外の物質・生命科学を中心とする利用者に供給している。その中核である電子エネルギー700 MeV 周長 22 m の小型ストレージリング HiSOR は、1996 年の稼働以降、およそ四半世紀を越えて安定に稼働を続けている。共同利用のための年間のビームタイムは 1500 時間に及ぶ。しかし、最近では、加速器の老朽化や競争力低下が進み、一方で、利用者からのより高輝度な放射光への要望も高まっており、将来計画の検討を急いでいる。大学の施設として適正な規模ながら先端研究が行える一定の先進性と競争力を有する光源加速器を、適性の予算規模で実現する必要があると考えている。

2. 加速器の現状

HiSOR 光源加速器は、入射器である 150 MeV レーストラック型マイクロトロンと光源リングである 700 MeV 小型電子シンクロトロン(ストレージリング)からなる。加速器及び挿入光源の主要パラメータを Table 1 に、また、施設の機器配置を Fig. 1 に示す。シンクロトロンはレーストラック形状であり、偏向部には 180 度偏向磁石が用いられている。この偏向磁石は常伝導磁石にもかかわらずビーム蓄積時の磁場強度が 2.7 T と極めて高いことが大きな特徴であり、ビーム入射時においても磁場強度は 0.6 T と比較的高く、これにより低エネルギー入射にもかかわらず放射減衰時間が短く 2 Hz 程度の繰り返しでのビーム入射が可能となっている。強磁場を生成するための大型の偏向磁石は放射線の遮蔽の機能も有しており、きわめて合

[#] mkatoh@hiroshima-u.ac.jp

理的な設計となっている。低エネルギー放射光源であるが、強磁場偏向磁石からは真空紫外から X 線に至る広い波長領域において十分な強度で放射光を供給できる。2 つの直線部には直線偏光型と可変偏光型の 2 台のアンジュレータが設置されており、真空紫外線領域の高輝度放射光を供給している。放射光は偏向磁石ヨークに設けられた16個の穴を通して実験装置に導かれる。

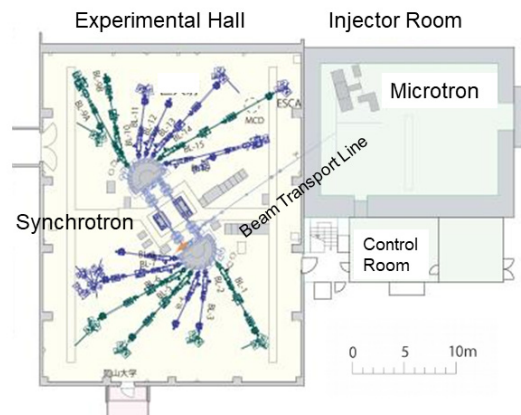


Figure 1: HiSOR accelerators and SR experimental hall.

加速器の運転は毎週月曜日の調整運転、マシンスタディに始まり、火曜日から金曜日は放射光利用にあてられる。放射光利用では午前 9 時と午後 2 時半の 2 回入射が行われ、夜 8 時に運転を終了する。150 MeV の電子ビームを約 350 mA まで入射したのち、700 MeV まで加速する。入射・加速に関わる作業は通常 30 分程度で終了する。入射中、放射光利用者は実験ホールから退出する必要がある。一日の典型的な運転パターンを Fig. 2 に示す。

近年は加速器本体の大幅な改造・高度化は行っておらず、老朽化対策を順次進めている。通常の年間運転スケジュールは、8月に運転停止し、保守点検作業を行い、9月に調整運転、10月から運転再開というものである。2021年度の月単位での運転時間の推移を Fig. 3 に示す。また最近数年間の年間運転統計を Fig. 4 に示す。

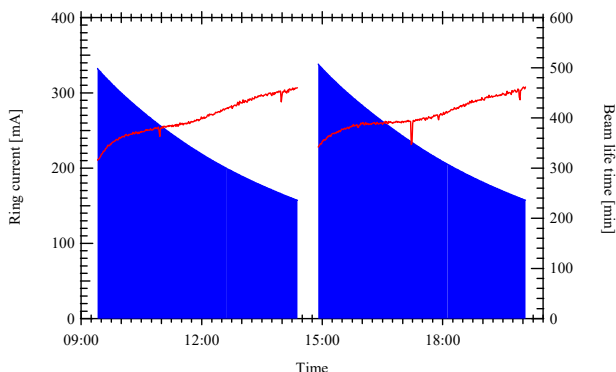


Figure 2: Typical operation pattern in a day.

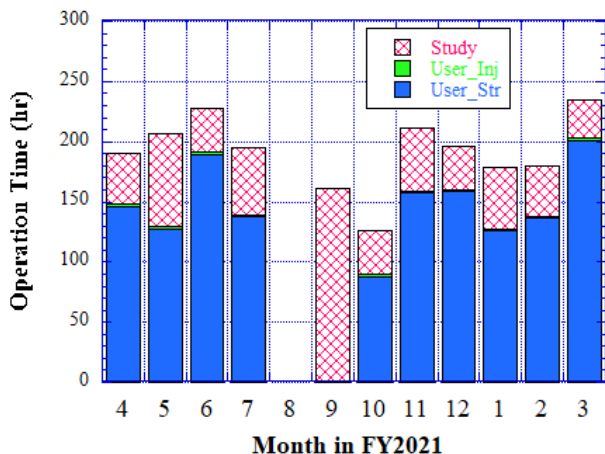


Figure 3: Operation statistics in FY2021.

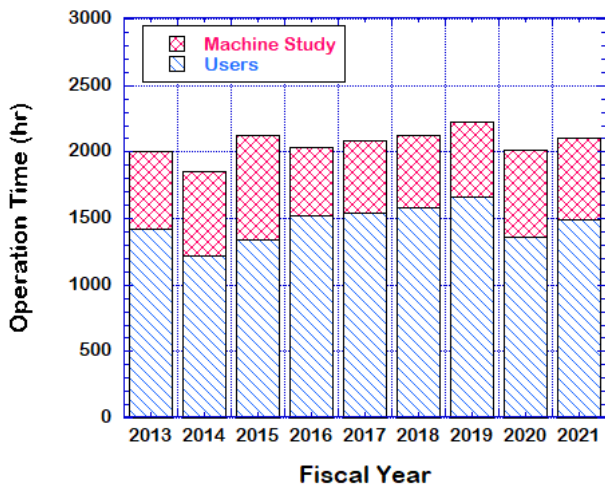


Figure 4: Operation time in the past 9 years.

Table 1: Main Parameters of HiSOR Accelerator

Circumference	21.95 m (Racetrack)
Bending radius	0.87 m
Beam energy (Inj.,Str.)	(150, 700) MeV
Magnetic field(Inj.,Str.)	(0.6, 2.7) T
Injector (Microtron)	150MeV, 2Hz, 2mA, 2μsec
Betatron tune (H,V)	(1.72, 1.84)
RF frequency	191.244 MHz
Harmonic number	14
RF voltage	200 kV
Stored current	300 mA
Natural emittance	400 nmrad
Beam life time	~10 hours@200 mA
Critical wavelength	1.42 nm
Undulators	(length, period, max. B)
Linear undulator	2.35m, 57mm, 0.41T
APPLE-II undulator	1.85m, 78mm, (H)0.86, (V)0.59, (C)0.50 T

3. 将来計画

HiSOR 加速器は、極めてコンパクトであること、また、運転維持管理の容易さ、放射線防護の容易さなど、大学の放射光センターの限られたマンパワーで長期にわたり安定な運用を継続するための数多くの優れた特徴を持っている。一方、コンパクトさや無駄のない合理的な設計であるが故に、新しい加速器技術や放射光源技術を導入することが困難である。このため、将来計画は既存装置の改良・高度化ではなく、全く新しい光源加速器を建設する方向で計画が練られてきた[1]。比較的最近の案では、周長約 50 m、電子エネルギーは 500 MeV で真空紫外領域の高輝度アンジュレータ光の利用で施設としての特長を出す方向である。しかし、このような新規の光源の建設が容易に認められる状況ではないことから、代替案の検討も進めている。

建設コストの大幅な低減は計画の実現可能性を飛躍的に高めると考えられる。このため、既設加速器の入射器への転用や既存建屋の可能な限りの再利用などを検討している。小型放射光源における次期計画の進め方では、MAX-II[2]や ASTRID-2[3]など、旧ストレージリングを新リングへの入射器に転用する例がある。このような場合、早い加速繰り返しは困難であるものの、フルエネルギーの入射器を安価に入手できるという点は大きな魅力である。HiSOR-2 のビームエネルギーを 500 MeV とすると、現在の HiSOR の最大エネルギー 700 MeV よりも低くフルエネルギー入射器として利用できる可能性がある。もともと HiSOR の電磁石は 700 MeV では強く飽和した状態であるが、500 MeV であれば極端な飽和ではなく励磁電流値も大幅に下がることから、加速時間も短くなる。

ストレージリング本体も、より小型化する方向で設計を進めている。Figure 5、Fig. 6 に設計例を示す。電子ビームエネルギー 500 MeV、周長約 30 m で直線部 6 本を確保する。リングの直径は現在の HiSOR の長軸と概ね同じである。コンパクトさを実現するために磁石は全て複合機能型とする必要がある。また、ビーム寿命の確保のため

に高調波空洞の利用、トップアップ運転の導入は必須である。これらは今後の検討課題である。

エミッタンスは 17 nm-rad が達成できる見通しであり、これは現在の HiSOR の約 1/20 でありアンジュレータ放射光の輝度は大幅な向上が期待できる。一方、現状の HiSOR の大きな特徴の一つである軟 X 線領域を広くカバーできる広帯域性は失われることになる。この点は、今後の本施設における利用研究の方向性に大きく影響することから、慎重な検討が必要であると認識している。

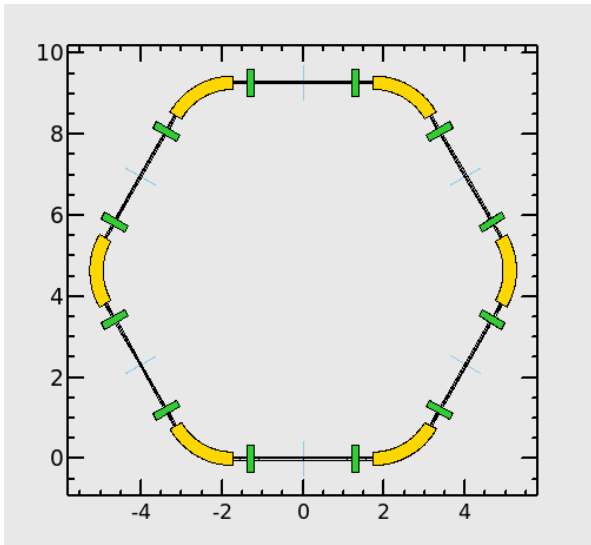


Figure 5: A design of new storage ring.

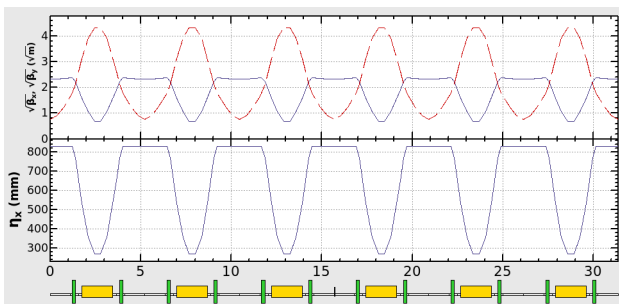


Figure 6: A design of new storage ring lattice.

4. まとめ

HiSOR は極めて安定に可動を続けているが、稼働後四半世紀超が経過し、施設全体の老朽化に加え、世界各地で建設の進む新光源に比較しての競争力の低下が深刻となってきている。ストレージリングが極めて合理的で完成度の高い設計であるがゆえに冗長性がなく、改良や新技術導入が困難であり、既存の加速器に改良を加えることでの高度化の可能性は見出せていない。次期計画として現在のおよそ2倍となる周長約 50 m の新しい光源リングと専用入射器の建設を提案してきたが、その実現は容易ではない。大学の加速器施設として適正な予算規模で次期計画を実現するためには、既存の加速器や周辺設備も有効活用することで建設費の低減が不可欠と考えている。また、多数の放射光源が稼働している我が国において、大学が保有する放射光源に求められ

る役割を十分に考慮したうえで設計検討を進める必要があり、国内外の放射光分野の動向を慎重に見極めながら次期計画の検討を進めていきたい。

謝辞

HiSOR の日常運転業務に多大なる貢献をしている広島大学放射光科学研究センターの利用系の教職員に感謝申し上げる。

参考文献

- [1] S. Matsuba *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. 1350, 012015 (2019).
- [2] G. LeBlanc *et al.*, Proc. EPAC'96, 345 (1996).
- [3] S.P. Möller *et al.*, Proc. IPAC2013, 64 (2013).