

PRESENT STATUS AND FUTURE PLAN OF COMPACT SR FACILITY HiSOR

T. Hori^{1, A)}, H. Tsutsui, K. Goto^{A)}, A. Miyamoto^{A)}, K. Yokoyama^{B)}

^{A)}Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University
2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-0046 Japan

^{B)}Graduate School of Science, Hiroshima University
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526 Japan

Abstract

The HiSOR facility was established in 1996 at Hiroshima University to promote research activities in materials science, especially in Solid State Physics using synchrotron radiation (SR), together with advanced education in such the fields. HiSOR is a compact racetrack-type ring of the 22-m circumference, with two undulators (linear and helical) in each the straight section. The critical wavelength 1.4 nm is resulted in the 700-MeV electron beam and 2.7-Tesla bending magnets. This VUV~soft X-ray facility has remarkable advantages in the undulator beam-lines of high resolution photo emission spectroscopy. From the late 2003, the ring was in operation at 350 mA stored current, and operation hours (user time) were extended from 10:00-18:00 to 9:30-20:00 since the last fall. The fundamental hardware have been completed, thus we are to start studying the future plan of the facility HiSOR-II.

小型放射光源HiSORの現状と将来構想

1. はじめに

広島大学放射光科学研究センターは、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国立大学法人で唯一の放射光源を擁するセンターとして1996年に設立された^[1]。HiSORは産業用に開発された小型リングをベースにしており、高磁場の常伝導偏向電磁石を利用して小型化されたものである^[2]。2台の180°偏向電磁石の構成からわかるように、エミタンスは $0.4\pi \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ と小さくない(表1)。しかしながら、光源に適合したビームライン(BL)を整備した結果、数eV~数百eVのVUV~Soft X-ray領域において<1 meVの分解能での光電子分光が実現しようとしている。すなわち、アンジュレータ光を利用した世界水準の高分解能光電子分光実験を行えることが最大の魅力である(図1のBL-1, -9)。

当初は学内共同教育研究施設として発足し、その性能が広く認知されるに至って2002年4月から全国共同利用施設へと移行し、現在では全国の軟X線ユーザーの利用に供されている。また、国内のみならず、中国や米国を始め広く海外の研究者との共同研究も展開されつつある。その特徴は、一大学に設置された小規模の全国共同利用施設として、可能な限り弾力的な運用形態でユーザーの便宜を図ることにあり、我々はこれを広島方式と称している。

表1にあるように、本光源の仕様は蓄積電流300 mAであるが、2003年に光源の基本整備(高周波系の改良)を完了した結果、現在は施設の使用許可上限の350 mAで定常運転を実施中である^[6]。カーボンナノチューブの光電子分光などで着実な研究成果が

得られつつある実績を踏まえ、放射光ナノサイエンスの研究拠点として積極的に活動を展開する5ヵ年計画が2005年度よりスタートした。以下に、HiSORの現状性能と将来への布石(HiSOR-II構想)について述べる。

表1 HiSORの主な仕様

Type	Racetrack Synchrotron
Injector	Racetrack Microtron
Beam Energy at Injection	150 MeV
at Storage	700 MeV
Magnetic Field at Injection	0.6 T
at Storage	2.7 T
Magnet Pole Gap	42 mm
Bending Radius	0.87 m
Circumference	21.95 m
Betatron Tune	Horizontal 1.72
Vertical	1.84
RF Frequency	191.244 MHz
Harmonic Number	14
RF Voltage	220 kV
Stored Current(Normal)	300 mA
Beam Filling Time	5 Minutes
Beam Lifetime(at 200 mA)	>8 Hours
Beam Emittance	$0.4 \pi \text{ mm} \cdot \text{mr}$
Critical Wave Length	1.42 nm
Photon Intensity(5 keV)	$1.2 \times 10^{11} / \text{sec} / \text{mr}^2$ /0.1%B.W./300 mA
Photon Beam Ports at Bend. Sec.	7×2 with 18° Interval
at Straight Sec.	2
Angular Width of Beam Port	20 mr
Ring Dimensions	Width 3.1 m
Length	12 m
Height	1.8 m
Beam Level	1.2 m
Total Weight	130 Ton.

¹ E-mail: tosihori@hiroshima-u.ac.jp

2. HiSOR施設の現状

HiSORは常伝導ながら2.7 Teslaの磁場を発生する2個の180°偏向電磁石からなる周長22mのレーストラック型リングであり、2本の直線部にそれぞれ約2mのアンジュレータ（リニヤーとヘリカル）が設置されている（図2）。

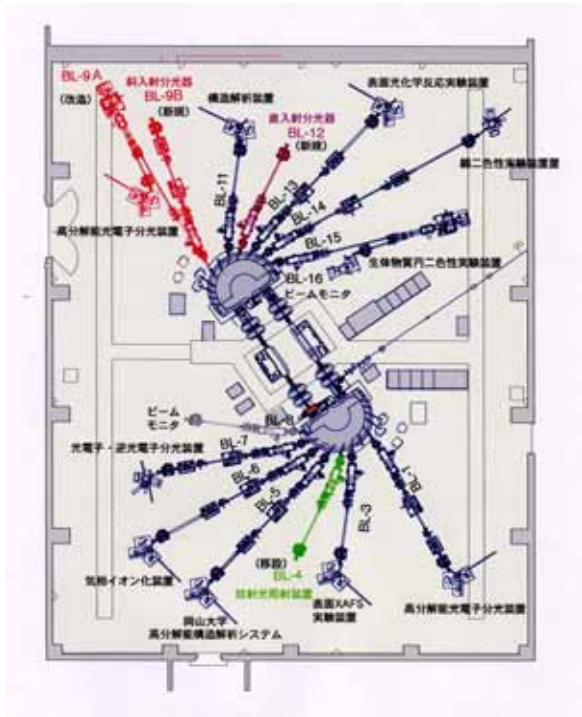


図1 HiSORの本体室（実験ホール）

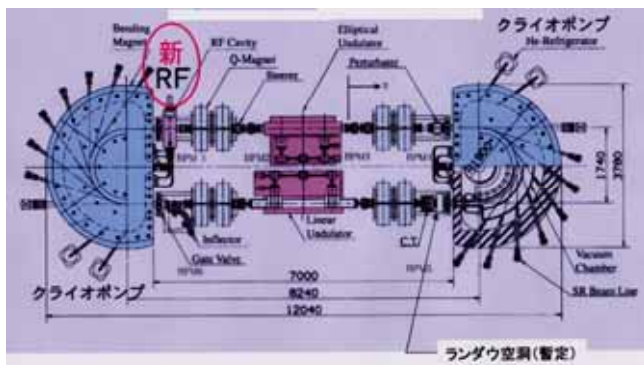


図2 HiSORのリング平面図

BLはアンジュレータ用を含め最大16本設置できる。BL-8, -16が光源のモニター用で、空きのBL-2, -10を除き、他はすべてユーザー用である。BL-8では、CCDカメラでのプロファイルのモニターやストリークカメラによるパンチ長の測定が可能である^[3]。なお、BL情報についてはWebで公開されている²。

本施設における第一の特徴は、アンジュレータ光を使用する極低温高分解能光電子分光にあり、BL-9には分岐ラインが設けられて調整中の段階である。

BL-1, -9を含め、整備を完了したBL-3（表面XAFS）とBL-7（光電子・逆光電子分光）の計4本が、現在全国共同利用に供されている。整備が終了次第、BL-14（磁気円二色性）なども順次共同利用に開放される予定である。

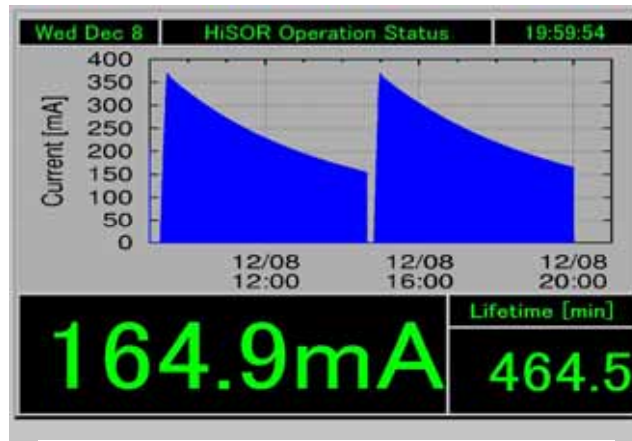


図3 現在の1日の運転状況

HiSORが定格300 mAを上回る申請の上限値350 mAで安定に運転できるようになったのは、RF系の改良が2003年度に完了して以降である。ポイントは、ビームに悪影響を及ぼすHOMを避けた新型空洞を導入したことであり、この新空洞は既に産業利用に特化したHiSORの姉妹機AURORA-2S（住重田無）において1A以上の大電流蓄積に威力を発揮した実績がある^[4]。また、同時に3倍高調波のランダウ空洞も導入し、将来に備えている。

空洞の置換によって、蓄積時のビーム位置安定性も改善されたことが判明しており、光源の安定化という点でも新空洞の効果が明らかである^[5]。ただし、現在でも光源のビームサイズの微小な変化や、アンジュレータのギャップ変更にもなう微小な位置変動は残っている。

2004年度後半から、ユーザーの利用時間を増やすために運転時間の延長を行った。現在は1日に2回入射しており、>350 mA入射して加速し、蓄積状態に移行する（図3）。この措置で、従来のユーザータイム10~18時が9時半~20時となり、1日2時間ほど利用時間が増加した（毎週火~金曜日）。寿命は8時間（@200 mA）程度であり、まだ真空の影響が見取れる。オペレータの外注などマンパワーの増強が前提であるが、更なる時間延長を予定している。

3. 将来構想（HiSOR-II）

リングが定格を上回る性能を発揮できるようになり、全国展開を図るナノサイエンス分野で着実な研究成果が出るようになったのを機会に、次のハードウェアの検討に着手することにした。すなわち、HiSOR-II と称し得る次期計画の概念をこれから固めてゆこうとするものである。

検討に際して、条件を以下のとおり設定した。

² <http://www.hsrc.hiroshima-u.ac.jp/>

1. E = 700 MeV : トップアップ運転も視野に
2. 周長C < 50 m : 可能な限り短く
3. I.D.用直線部 : L > 3m x 3箇所、L > 2m x 1箇所
4. $\epsilon < 50\pi$ nm-rad (現行の~1/10)
5. 現有敷地に設置できる規模 (Area~15m²)

HiSORが実現したこれまでの経緯を踏まえ、全国共同利用施設とはいえ、一大学に所属する施設として現実的な規模の軟X線放射光源を想定する必要がある。コスト面から判断して、現有敷地の空きスペースを活用できる大きさが望ましい。その前提のもとに、400 π nm-radという大きなエミタンスを1桁下げ、かつ現在の施設で本質的な役割を担っている挿入光源(アンジュレータ)を増設できるようにすることが狙いである。

稼動中(または建設中)のVUV ~ Soft X-rayリングで参考になると思われるものに、UVSOR-II(分子研)とLund大のMAX-III(スウェーデン)がある。挿入光源用の直線部スペースを確保するために、六角形(または擬似四角形)以上のリングになる。リングを小さくする意味で四極電磁石を節約できるMAX-III方式は魅力的であり、今後の運転状況に注目したい。検討中のラティスパラメータを表2に示す。図4は、UVSOR-II方式の六角形リング(C = 46 m, $\epsilon = 50\pi$ nm-rad)を既存の敷地に配置してみた一例である。既存のHiSORをブースターとして利用すれば、トップアップ運転も原理的には可能と考えられる。

HiSOR-IIもHiSORと同様、基本にある戦略は「軟X線を用いた物質科学(固体物理)の分野において、世界トップレベルの高分解能光電子分光を用いた研究拠点としての地位を保ち、更なる向上を図る」ことである。

- [3] I. Sakai, et al., "New Approach to Monitoring Photon Beam Using Visible Light on VUV Beamlines of HiSOR", Submitted to VUV14 (July 19-23, 2004) Cairns, Australia
- [4] H. Miyade, et al., "Beam Test of Compact SR Ring 'AURORA-2S' for X-ray Lithography", 1st Symp. on Accel. & Related Tech. for application, Tokyo, (1998) pp.49-52
- [5] T. Nakahara, et al., "Beam Measurements of the Improved Compact SR Ring 'HiSOR' ", 6th Symp. on Accel. & Related Tech. for Application, Tokyo (2004) pp.41-44
- [6] T. Hori, et al., "Status of Compact SR Ring 'HiSOR' ", 1st Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan, Funabashi (2004) pp.48-50

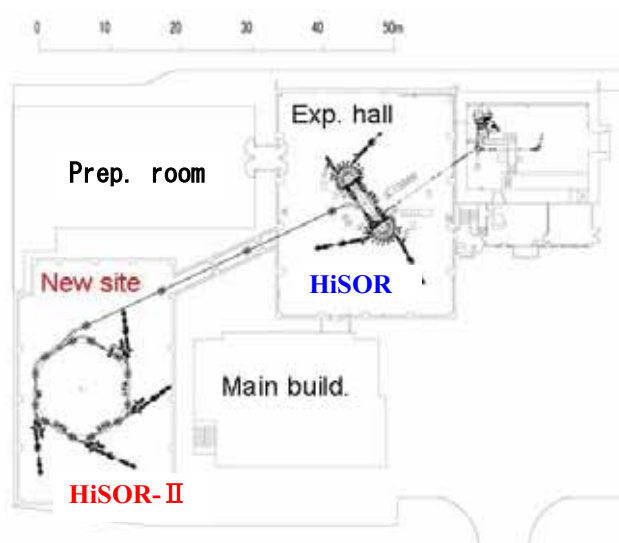


図4 HiSOR-IIの配置例

参考文献

- [1] K. Yoshida, et al., "Commissioning of a Compact Synchrotron Radiation Source at Hiroshima University", APAC'98, KEK (1998) pp.653~7
- [2] T. Hori, et al., "AURORA-2: Compact advanced SR Ring as an X-ray Source", 4th Int'l Conf. on SR sources & 2nd Asian Forum on SR, Kyongju, Korea (1995) pp.148-158

type	DBA-like		UVSOR-II-like		MAX-III-like	
	hexagon	square	hexagon	octagon	hexagon	octagon
Energy (MeV)	700MeV Bp=2.335 Tm					
Circumference (m)	55.479	40.479	45.879	51.679	39.879	43.679
Superperiodicity	6	4	6	4	6	4
Tune H	5.314	3.240	3.012	3.855	2.913	3.546
V	2.769	1.800	1.393	2.455	2.395	1.676
Natural emittance (π nm-rad)	7.0	30.2	49.5	21.9	31.9	22.0
Energy spread	4.708e-4	4.780e-4	4.455e-4	4.526e-4	5.447e-4	5.402e-4
Momentum compaction factor	0.01028	0.03835	0.03933	0.02119	0.05252	0.03376
Damping time L (msec)	10.457	7.867	7.745	9.005	10.062	10.843
H	19.292	13.336	20.323	21.162	9.455	10.518
V	20.344	14.844	16.824	18.951	14.624	16.017
Energy Loss (keV/turn)	12.735	12.735	12.735	12.735	12.735	12.735
Natural chromaticity H			-6.231	-9.405	-2.804	-2.893
V			-4.912	-6.537	-10.311	-7.170
Number of Bends	12	8	6	8	6	8
Number of Quads	QF 12 QD 12 QA 6	QF 8 QD 8 QA 4	QF 12 QD 12	QF 16 QD 16	QF 12	QF 16
Straight sections	3.5m x 6	3.5m x 4	3.5m x 6	3.5m x 4 2m x 4	3.5m x 6	3.5m x 4 2m x 4
Note * Designed by H. Tsutsui	(2005.02.23)				need development of Bends	

表2 HiSOR-II候補のパラメータ