

PRESENT STATUS OF UVSOR-II

Masahiro Katoh^{1,A,B)}, Masahito Hosaka^{A,B)}, Akira Mochihashi^{A,B)}, Jun-ichiro Yamazaki^{A)}, Kenji Hayashi^{A)}

^{A)} UVSOR Facility, Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences

^{B)} School of Physical Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)

Myodaiji, Okazaki, 444-8585 Japan

Abstract

After the upgrade in 2003, UVSOR-II, a 750 MeV synchrotron light source, has been operated successfully for about 40 weeks every year. In spring 2005, we have replaced main RF accelerating cavity to improve the Touschek lifetime. With this new cavity, we have started operating the ring with a small emittance of 27 nm-rad. Three undulators are in operation, all of which can be controlled from the SR beam lines by users. On the free electron laser study, it was demonstrated that a high average out-coupled power of several hundred milli-watt level could be achieved with the low emittance electron beam. Coherent terahertz radiation is being intensively studied to provide this intense radiation to users. An ultra fast laser that can be synchronized with the electron beam of UVSOR-II is under commissioning which will be used for various studies, such as laser bunch slicing or coherent harmonic generation.

UVSOR-IIの現状

1. はじめに

分子科学研究所極端紫外光研究施設の放射光リングUVSORは1983年の運転開始以来およそ20年間、全国共同利用の放射光施設として、真空紫外・軟X線からテラヘルツ・ミリ波にいたる、低エネルギー領域のシンクロトロン放射光を国内各地及び海外からの数多くのユーザーに安定に供給してきた。建設後20年近くが経過し、設備の老朽化、光源性能の競争力低下が深刻な問題となりつつあったが、幸い2000年度に提案されたUVSOR高度化計画^[1,2]が2002年度に予算化され、2003年春から夏にかけて加速器の大改造が行われた^[3,4,5]。四極及び六極電磁石の再配置などにより、最大で6台のアンジュレータが設置可能となり、ビームエミッタンスをそれまでの約1/6の27nm-radまで小さくすることが可能となった。また老朽化の進んだ超伝導ウィグラ1台とアンジュレータ1台が撤去され、2台の真空封止型アンジュレータが導入された^[6]。利用側では新しいアンジュレータ用ビームラインが稼動し^[7]、また、赤外ビームラインも大幅に増強された^[8]。

2003年9月よりユーザー運転を再開しその後およそ2年間順調に運転を続けている。運転スケジュールは1週間を単位として組まれ、月曜日はマシンスタディ、火曜日から金曜日はユーザー運転である。週末は原則として運転しないが、必要に応じてマシンスタディを行う場合もある。運転時間は朝9時から夜9時までの12時間である。

比較的小規模な施設であり、専任の加速器研究者は3名と少ないが、高度化改造後も光源開発研究は活発に続けられている。長年継続してきた自由電子レーザー研究では、最近は実用化に向けた技術開発に力を入れており^[9]、また、テラヘルツ領域でのコ

ヒーレント放射光の研究も開始した^[10,11]。ビーム物理学的な研究ではイオン捕獲現象に関する研究などに取り組んでいる^[12]。

2. 光源リングの現状

2005年6月現在、マルチバンチでは350mA、シングルバンチでは100mAを蓄積している。入射間隔は6時間である。現在の光源リングの主要パラメータをTable 1に示す。

2003年の高度化改造後、直ちにエミッタンス27nm-radでの運転に成功したが、Touschek効果による寿命の短縮を考慮し、2005年春までの約1年半はエミッタンス60nm-radでユーザー運転を行った。エミッタンス27nm-radでのユーザー運転を実現するために、2005年春に高周波加速空洞の増強を行った。新しい空洞の主要パラメータをTable 2に示す。従来の空洞に比べ、Q値、シャントインピーダンスが改善され、既設の定格出力20kWの高周波源をそのまま流用することで最大で従来の約3倍の150 kVの加速電圧が印加できる^[13]。

空洞更新後の2005年5月にエミッタンス27nm-radでユーザー運転を再開した。加速電圧は、2005年6月現在、安定な運転を最優先し100kVに設定してある。今後、運転経験を積み重ねながら段階的に150kVまで上げていく予定である。ビーム寿命は、2005年6月現在、RF空洞更新前のエミッタンス60nm-radの場合と同程度であり、今後RF空洞付近の真空度が改善するにつれて更に改善していくものと期待している。

¹ E-mail: mkatoh@ims.ac.jp

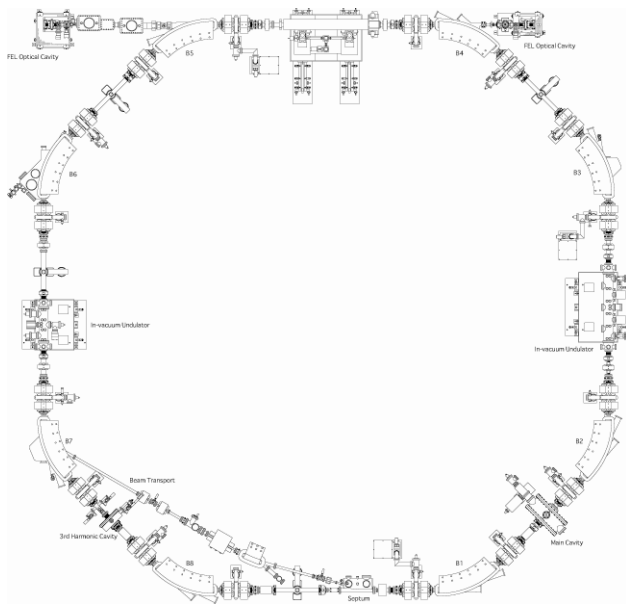


Figure 1. Present configuration of the UVSOR-II storage ring. The RF cavity has been moved from the straight section between B6 and B7 to a short straight section between B1 and B2. After the short undulator between B6 and B7 will be moved to the section between B5 and B6, a 3m long undulator will be installed, which will be the fourth undulator of this facility.

Table 1 . Main parameters of UVSOR-II

Electron Beam Energy	750 MeV
Circumference	53.2 m
Straight Sections	4m x 4, 1.5m x 4
Emittance	27 nm-rad
Energy Spread	4.2×10^{-4}
Betatron Tunes	(3.75, 3.20)
Natural Chromaticity	(-8.1, -7.3)
XY Coupling (presumed)	<10%
RF accelerating voltage	100 kV (max. 150kV)
RF Frequency	90.1 MHz
Beam Current	350mA (max. 500mA)

Table 2. Parameters of previous and present cavity.

	Previous	Present
Frequency	90.1 MHz	90.1 MHz
Cavity voltage	55 kV	150 kV
Shunt impedance	0.5 MΩ	2.45 MΩ
Unloaded Q	8000	20300
Coupling	1.75	1.34
Material	SUS + Cu	Cu (OFHC)
Cells	Re-entrant×1	Re-entrant×1
Coupler	Air-cooled	Water-cooled
Tuner	Plunger×1	Plunger×2
Inner diameter	1000mm	1175mm
Bore radius	50mm	55mm

3．入射器の現状

入射器は、2003年の高度化改造の際に電子銃、クライストロンパルス変調器他が更新され、その結果、ブースターシンクロトロン終端でのビーム強度がそれ以前の約3倍へと大幅に改善された。現在、入射は一日2回であり、1回の入射は15分程度で終了する。高度化でいくつかの主要装置が更新されたこと、また、実稼働時間が短いこともあり、比較的順調に運転されている。しかしここ数年、老朽化が主な原因と思われる故障が目立つようになってきているのも事実である。特に大形装置であるシンクロトロン電磁石電源では主要素子の破損を伴うような重故障が1-2年に1回程度の頻度で起きようになっており、また、故障した素子の代替品の入手が非常に困難になってきている。施設の最大の懸案事項となっていたが、幸い、2006年夏に更新できる見通しとなった。

この更新では、これまで最大600MeVであったブースターシンクロトロンの最高エネルギーを750MeVまであげることを予定している。これにより蓄積リングへのフルエネルギー入射が可能となる。これは将来のトップアップ運転の導入に道を開くものである。UVSOR-IIのような比較的低エネルギー・低エミッタンスのリングでは避けがたいTouschek効果によるビーム寿命の短縮を究極的に解決することにつながる技術であり、放射線遮蔽の増強など課題は多いものの、今後、導入に向けて積極的に検討を進めていく予定である。また、フルエネルギーでの入射はビーム軌道の安定性の観点からも望ましいものであり、その効果にも期待している。

4．挿入光源の現状

挿入光源は、現在、真空封止型アンジュレータ2台と可変偏光型1台の合計3台が稼働中である。高度化改造の一貫として新たに導入された2台の真空封止型アンジュレータに関しては、導入時に、ギャップ変更に伴う軌道変動をフィードフォワード制御により抑制することが可能な制御システムを新たに構築した^[14]。このため導入当初より、いわゆる「フリーチューニング」、すなわち、ビームライン側からユーザーが随時磁場強度変更を行うことが可能であった。高度化以前より稼働していた可変偏光型アンジュレータについては、後回しとなっていたが、2005年春に制御システムを更新し、フリーチューニングが可能となった。

先に述べたRF空洞の更新で、空洞設置場所が変わったことで（Figure 1）、これまでRF空洞と1m真空封止アンジュレータが占有していた4m直線部に3m級のアンジュレータが設置可能となった。2006年に1m真空封止型アンジュレータを現在空いている1.5m直線部に移動し、その跡地に3mの可変偏光型アンジュレータを導入する予定である^[15]。その他更に2台、磁石長1m程度の比較的短いアンジュレータもしくはウィグラの設置が可能なスペースがあり、これらの使用法に関する検討も既に開始している。

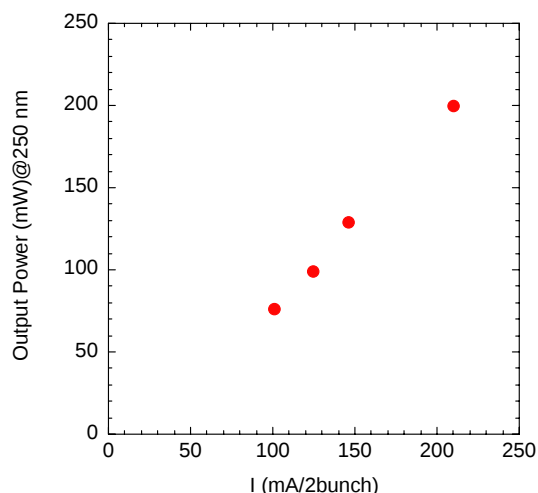


Figure 2. Out-coupled laser power at 250 nm.

5. 光源開発研究の現状

自由電子レーザー開発では、高度化改造により電子ビームが低エミッタンス化されたことで、特に短波長域での増幅率が大幅に向上したことが既に確認されている^[16]。現在、波長200-300nmの領域での大強度発振の実現と応用実験の実現に向けて準備を進めている。予備的な実験の段階であるが、波長250nmで数100mWの高出力を得ている（Figure 2）。また、波長200nm以下の短波長域での発振の実現を目指して準備を進めている。一方、昨年度より、フランスのグループと共同で自由電子レーザーに関する基礎的な研究も開始した。世界的にみても数少ない安定で大強度の発振が実現できる施設であり、今後も国際的な共同研究を積極的に推進していきたいと考えている。

2004年に検出に成功したコヒーレント放射と思われるテラヘルツ領域の大強度放射^[10,11]については、ビーム力学的な興味だけでなく、実用化を意識して、利用側の研究者とも連携しつつ研究を進めている。この後で述べる外部レーザーを用いたコヒーレント放射の発生法に関する研究もそのひとつである。

2005年春にUVSOR-IIの電子ビームと同期可能な極短パルスレーザーを導入し、現在立ち上げ調整中である。既設の自由電子レーザー光学路を流用し、レーザーパルスと電子線パルスをアンジュレータ中で相互作用させ、電子バンチの一部にエネルギー変調をかけることでバンチの一部を切り出す、いわゆるレーザーバンチスライス実験^[17]、その応用であ

るコヒーレント放射光の生成実験、また自由電子レーザーの発展型ともいえるコヒーレント高調波発生実験など複数の研究課題に用いる予定である。

ビーム物理学的研究では、ベータトロン振動数のビーム強度依存性の測定を通じたイオントラッピングの研究を行っている^[12]。真空度に依存するベータトロン振動数の変化を観測することに成功し、それがバンチのフィリングパターンまで考慮したイオン捕獲のシミュレーション結果と一致することを見出した。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会からの科学研究補助金（基盤研究B）により行われた。コヒーレント放射に関する研究は、木村真一（分子研）、高嶋圭史（名大院工）、高橋俊晴（京大原子炉）博士らと、また、自由電子レーザーに関する研究の一部はM. E. Couprie (France CEA), S. Bielański, C. Szwaj (Lille Univ. Sci. Tech.)博士らと共同で行われた。

参考文献

- [1] 加藤政博、放射光, Vol.14, No.3, 27-33 (2001)
- [2] M. Katoh et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 467-468 (2001), 68-71
- [3] 加藤政博、放射光, Vol.17, No.1 (2004), 10-16
- [4] M. Katoh, Synchrotron Radiation News 16(6) (2003), 33-38
- [5] M. Katoh et al., AIP Conf. Proc. 705 (2003), 49-52
- [6] A. Mochihashi et al., AIP Conf. Proc. 705(2003), 259-262
- [7] Y. Nonogaki et al., J. Electr. Spectr. Rel. Phenom. 144-147 (2005) 1113-1116
- [8] S. Kimura et al., AIP Conf. Proc. 705 (2003), 416-419
- [9] T. Gejo et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 528 (2004), 627-631
- [10] M. Katoh et al., Proc. 1st Annual Meeting Particle Acc. Soc. Japan (2004), 199-201
- [11] M. Katoh, ICFA BD Newsletter 35 (2005), 100-104
- [12] A. Mochihashi et al., Jap. J. Appl. Phys. 44 (1A) (2005), 430-437
- [13] A. Mochihashi et al., UVSOR-31 “UVSOR Activity Report 2003” (2004), 35
- [14] K. Hayashi et al., UVSOR-30 “UVSOR Activity Report 2002” (2003), 50-51
- [15] 保坂将人他、第18回日本放射光学学会年会 (2005), 8P010
- [16] M. Hosaka et al., presented at 2004 FEL Conference (Trieste, 2004)
- [17] Y. Takashima et al., UVSOR-31, “UVSOR Activity report 2003” (2004), 33