

STATUS OF UVSOR-II

Masahiro Katoh¹, Masahiro Adachi, Heishun Zen, Jun-ichiro Yamazaki, Kenji Hayashi
 UVSOR Facility, Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences
 38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki, 444-8585

Abstract

Top-up operation for users has been started at UVSOR-II, a 750 MeV synchrotron light source. The beam current is approximately kept constant at 300 mA in the multi-bunch mode and at 50 mA in the single bunch mode. The free electron laser and the coherent light source experiments are also run in the top-up mode. In spring 2010, the beam transport line and a part of the storage ring were reconstructed to move the injection point from a long straight section to a short one, to create a space for new undulators which will be installed in next spring for developing coherent light sources.

UVSOR施設の現状

1. はじめに

自然科学研究機構分子科学研究所の放射光施設 UVSORは1983年の稼働開始以来、極端紫外光からテラヘルツ波に至る低エネルギー放射光を全国の利用者に供給を続けている。放射光ビームラインは現在12本が稼働しており、そのおよそ2/3が共同利用に供されている。残りは分子科学研究所所属の研究者の専用ラインである。年間約40週運転し、利用者数は年平均800人を超える^[1]。

UVSOR施設の中核装置である750MeV電子蓄積リングは、典型的な第2世代の極端紫外光源用リングとして設計・建設されたが、2000年以降改造を重ね、現在では、エミッタンス27nm-rad、挿入光源用直線部6本を有する高輝度光源UVSOR-IIに生まれ変わっている^[2, 3]。2010年6月現在、4台のアンジュレータが稼働している。

ここ数年はいわゆるトップアップ運転の実現を目指して加速器の高度化を続けており、既に2年前より試験的にユーザータイムの一部をトップアップモードで運転してきたが^[4]、2010年7月以降、全てのユーザータイムをトップアップモードで運転している。

光源開発研究では、長年継続している共振器型自由電子レーザー^[5]に加えて、最近外部レーザーを利用した光発生に関する研究開発に力を入れている。テラヘルツ領域のコヒーレント放射光^[6, 7, 8]、真空紫外領域のコヒーレント高調波光^[9, 10, 11, 12]、レーザーコンプトンガンマ線^[13, 14]の発生に成功している。今後は、文部科学省量子ビーム基盤技術開発プログラムの下で、入射点を移設することで作り出した新しい直線部を利用して、応用を視野に入れて研究を推進していく予定である。

本報告では、トップアップ運転の状況、入射点の移設による直線部増設などを中心に、UVSOR-II加速器の現状について述べる。

表 1: UVSOR-II の主要パラメータ

Electron Energy	750 MeV
Circumference	53.2 m
Natural Emittance	27 nm-rad
Natural Energy Spread	4.2×10^{-4}
RF Frequency	90.1 MHz
Harmonic Number	16
Bending Radius	2.2 m
Straight Sections	4m x4, 1.5m x4
RF Voltage	~100 kV
Betatron Tunes	(~3.75, ~3.20)
Momentum Compaction	0.028
Natural Bunch Length	108 ps
Beam Current	
(multi-bunch mode)	300 mA (top-up)
(single bunch mode)	50 mA (top-up)

2. トップアップ入射

UVSOR-IIは1GeV以下の低エネルギー放射光リングとしては世界最高レベルの低エミッタンスマシンであり、Touschek効果による寿命の短縮が避けられない。従来、6時間毎にビーム入射を行ってきたが、入射直後で350mAのビーム強度が再入射直前には120mA程度まで低下する。刻々と放射光強度が変化することに加え、加速器本体や放射光ビームライン光学素子への熱負荷も変化することが電子ビームや放射光ビームの安定性を損ない、放射光利用の妨げとなる。ビーム寿命の改善のために、高調波空洞の利用^[15]や高周波加速空洞の増強^[16]を行ってきたが、究極的にこの問題を解決するためにトップアップ入射の導入を計画し、準備を進めてきた。

これまでに放射線遮蔽の増強、入射器及び入射路

¹ E-mail: mkatoh@ims.ac.jp

のフルエネルギー化を完了し、2008年後半よりユーザー利用マシンタイムの一部に試験的にトップアップ入射を導入した。UVSOR-IIのトップアップ入射は1Hzの繰り返して入射器を動作させ、所定の電流値に達するまで最大10秒間入射を継続する。10秒間以内に目標電流値に達した場合にはその時点で入射を中断する。これを1分毎に繰り返すことで一定電流値を実現している。マルチバンチモードでは300mA、シングルバンチモードでは50mAで12時間以上連続のトップアップ運転に成功した^[17]。

現在の入射用キッカー磁石の配置と磁場強度では、入射効率の最適条件下ではバンチ軌道が閉じないことから、入射の瞬間に電子軌道が動き、これがビームライン側では放射光強度の瞬間的な変化となって観測される。一部の実験では計測結果に無視できない影響が出ることから、入射タイミング信号を配信し、入射時にはデータ取得を停止することで影響を取り除くことに成功した。この結果を受けて、2010年7月以降はユーザー運転を100%トップアップ運転で実施している。将来的にはパルス多極磁石を用いた入射方式の導入^[18]により、この問題を解決したいと考えている。

トップアップ運転下では、これまで運転に深刻な影響を与えることのなかった入射器の長時間の安定性が問題となっている。24時間連続運転でないことによる加速器室温や電源装置・加速器本体の温度変化などに起因するものと思われるが、パルス電源を中心に、数分から数時間スケールでの比較的ゆっくりした出力変動が観測されている。デジタルオシロスコープを活用した簡便なフィードバックシステムが非常に有効に機能し、運転の省力化に威力を発揮している。

シングルバンチモードでのトップアップ運転ではライナックを短パルスモードで運転し、ブースターシンクロトロンからシングルバンチにしている。時間解放射光実験のため1年に2週間程度シングルバンチ運転を実施しているが、これまでは Touschek 効果のためビーム寿命が非常に短く4時間毎に入射が必要であった。トップアップ運転の導入により入射による中断のない一定電流での実験が可能となり、実験効率は大幅に向上した。また、自由電子レーザーやコヒーレント光源開発などもトップアップ運転下で実施できるようになり、研究開発の効率も大きく向上している^[4]。

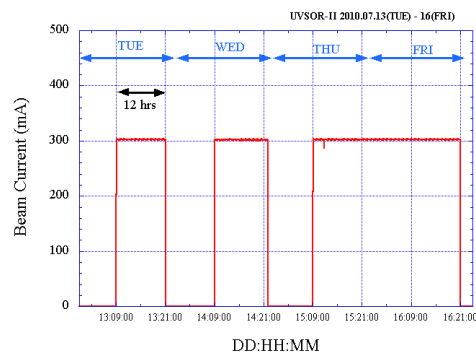
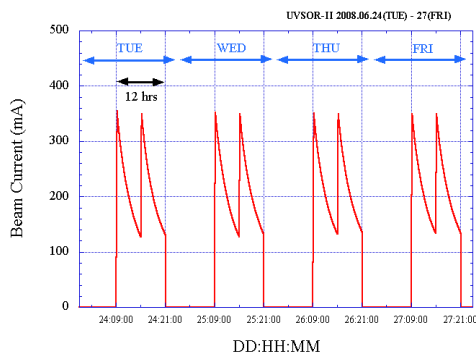


図1. UVSOR-IIの蓄積ビーム電流。毎週火曜日から金曜日までのユーザー運転での蓄積ビーム電流。トップアップ導入前(上)と導入後(下)。1日12時間運転を基本とし、現在では木曜日から金曜日夜まで36時間連続で運転している。

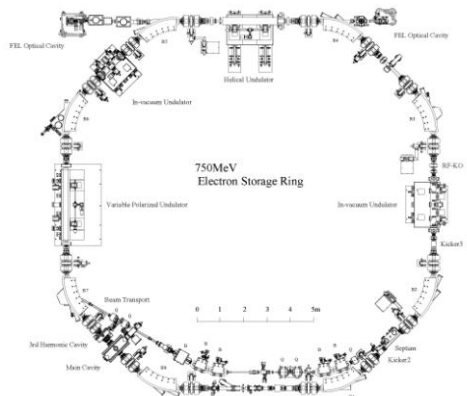
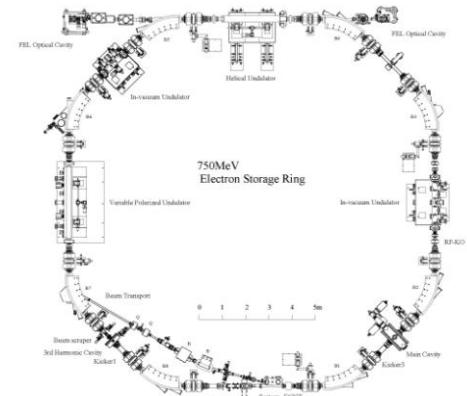


図2. 2010年春改造前後のUVSOR-II (上; 改造前、下; 改造後)。入射路の移設により新たに4m直線部1本が挿入光源に利用可能となった。

2003年の高度化改造^[2]により、リングは4m直線部4本、1.5m直線部4本の計8本を有することとなった。4m直線部のうち1本は入射、もう1本は高周波加速空洞と1mの真空封止型アンジュレータに利用されていたため、アンジュレータを設置できる4m直線部は2本のみであった。2005年にRF空洞を更新した際に、旧空洞を撤去し、新空洞は1.5m直線部に移設した^[16]。また、同じ直線部にあった1m真空封止型アンジュレータも別な1.5m直線部に移設した。この結果、4m直線部3本がアンジュレータに使用可能となり、可変偏向型アンジュレータ1台を導入することができた^[19]。

残る4m直線部は入射点であったが、これをアンジュレータ用とするために、入射路に偏向磁石3台四極磁石3台を追加することで延長し、1.5m直線部に入射点を移す改造を2010年春に実施した。改造前後のリングの機器配置を図2に、また、入射点付近の様子を図3に示す。この改造のために、入射路の改造に加えて、セプタム電磁石、キッカー電磁石、RF空洞、その他ビーム診断機器類の移設を行った。改造は2010年3月から5月の3ヶ月間で予定通り終了し、1ヶ月間の立ち上げ調整運転の後、6月末よりユーザー運転を再開した。

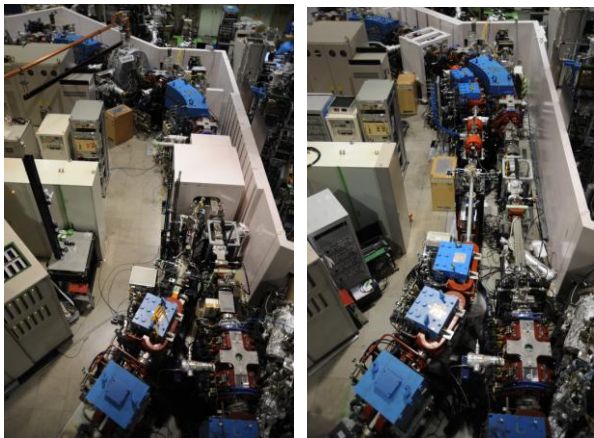


図3. 蓄積リングビーム入射点とビーム入射路終端部 (左: 改造前、右: 改造後)

4. 将来計画

2010年春の改造により4m直線部全てが挿入光源に利用可能となった。今回新たに創出された直線部には2011年春にアンジュレータ2台を直列に設置し、外部レーザーを利用したコヒーレントテラヘルツ放射光やコヒーレント高調波発生の開発研究や利用法の開拓に利用される予定である^[20]。自由電子レーザー研究も新しい直線部で展開する予定である。残る直線部は1.5m直線部1本となる。この直線部へのアンジュレータの導入とビームラインの建設が次の課題となる。また、これまで長年、自由電子レーザーや光源開発研究に使用されてきた可変偏光型光クライストロン^[21]の磁石列を交換し、可変偏光型ア

ンジュレータとして輝度を向上し、光電子分光研究専用とすることも計画している。

蓄積リングでは、収束電磁石系は2003年に更新しているが、偏向電磁石が製造後30年に近付きつつあり、これを複合機能型偏向電磁石に交換することで更なる低エミッタンス化を実現することを検討している。

以上のような近未来の将来計画を着実に実現しつつ、施設の全面更新を視野に入れた本格的な次期計画の検討を今後数年間かけて行う予定である。極紫外・軟X線からテラヘルツ波まで、我が国における低エネルギー放射光研究の将来を担う施設として、国内外の大型施設の動向や加速器技術の発展をにらみつつ、超低エミッタンスリング、シングルパス自由電子レーザー、低エネルギーエネルギー回収型ライナックなど様々な可能性を検討していきたいと考えている。

謝辞

入射路改造、コヒーレント光源開発は、文部科学省量子ビーム基盤技術開発プログラムのもとで実施されている。2010年春の改造では、保坂将人、山本尚人、高見清、持箸晃の各氏にご協力いただきました。感謝いたします。

参考文献

- [1] e.g. UVSOR Activity Report 2009 (2010)
- [2] M. Katoh, et al., AIP Conf. Proc. 705 (2004) 49-52
- [3] M. Katoh et al., NIM A 467-468 (2001), 68-71.
- [4] H. Zen et al., presented at iPAC10.
- [5] M. Hosaka et al., Proc. FEL2006 (2006, Berlin), 368-370
- [6] M. Shimada et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No.12 (2007) pp.7939-7944
- [7] S. Bielawski et al., Nature Physics, 4 (2008) 390-393
- [8] M. Shimada et al., Phys. Rev. Lett. 103, 144802 (2009)
- [9] M. Labat et al., Euro. Phys. J. D Vol. 44, No. 1 (2007) 187-200
- [10] M. Labat et al., Phys. Rev. Lett. 101, 164803 (2008)
- [11] M. Labat et al., Phys. Rev. Lett. 102, 014801 (2009)
- [12] T. Tanikawa et al., in these proceedings
- [13] Y. Taira et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. Sect. A (2010), doi:10.1016/j.nima.2010.02.035
- [14] Y. Taira et al., submitted to Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. Sect. A.
- [15] M. Hosaka et al., Proc. 25th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop (Shanghai, 2001), 171-173
- [16] A. Mochihashi et al., Proc. EPAC2006 (2006, Edinburgh), 1268-1270
- [17] M. Katoh et al., presented at SRI09 (2009, Melbourne)
- [18] H. Takaki et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 13, 020705 (2010)
- [19] S. Kimura et al., Rev. Sci. Instr. 81, 053104-(1-7) (2010)
- [20] M. Adachi et al., in these proceedings
- [21] S. Kimura et al., J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena 80 (1996)437