

STATUS OF UVSOR-II

Masahiro Adachi[#]), Masahiro Katoh, 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

A 750 MeV synchrotron light source, UVSOR, has been operational since 1983. In 2003, the ring had a major upgrade to reduce the emittance and increase the straight sections available for insertion devices. Since then, the ring has been called UVSOR-II. Since 2010, the storage ring started to be operated for users fully with the top-up injection mode, in which the beam current is kept constant at 300 mA. In spring, 2011, a new undulator dedicated for light source development studies has been installed at a straight section, which was newly created by moving the beam injection point.

A new upgrade program is in progress. The bending magnets will be replaced with combined-function ones to reduce the emittance by about a factor of two. A new in-vacuum undulator will be installed in the last straight section reserved for insertion devices. A pulse sextupole magnet for injection without a bump orbit is under designing. The reconstruction will be completed in 2012. After this upgrade, the ring will be called UVSOR-III.

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 が全国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 1980 年代前半に設計・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]。2011 年 7 月現在、5 台のアンジュレータが装着され、また、全てのユーザータイムをビーム電流 300mA のトップアップモードで運転している^[4]。極紫外・軟 X 線を得意とする電子エネルギー 1GeV 以下の放射光源としては世界的にも最高水準の高性能といえる。

UVSOR は 15MeV の直線加速器と 600MeV のブースターシンクロトロンからなる専用入射器を備えている。運転開始当初は蓄積リングも 600MeV で運転されておりフルエネルギー入射が可能であった。しかし、その後、短波長放射光利用の需要に合わせるべく蓄積リングを 750MeV で運転するようになったため、600MeV で入射した後、蓄積リングで 750MeV まで加速する運転モードで長らく運転されてきた。しかしトップアップ運転導入のために 2005 年ごろより電源類の増強を進め、750MeV までの加速が可能となった。小型放射光リングとしては珍しく、専用のほぼフルエネルギーの入射器を備え

ていたために、早期のトップアップ運転導入が可能となった。

全国共同利用の放射光施設として運用される一方、光源開発研究も活発に行われている。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、最近では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]の発生に成功している。文部科学省量子ビーム基盤技術開発プログラムの下、入射点を移設することで作り出した新しい直線部に専用アンジュレータを設置し、また、専用ビームラインも建設が進行中である^[14]。今後は応用を視野に入れて研究を推進していく予定である。

以下、本報告では、加速器の現状及び現在進行中の高度化計画について述べる。

2. 加速器の現状

UVSOR-II は月曜日から金曜日まで、基本的に朝 9 時から夜 9 時までの 12 時間運転される。ただし木曜日の夜間のみ終夜運転を行っており、木曜日の朝 9 時から金曜日の夜 9 時まで 36 時間連続で運転を行う。月曜日はマシンスタディであり、火曜日以降はユーザー運転となる。1 週当たりのユーザー運転時間は 60 時間である。

2010 年度はユーザー運転を、100%、トップアップモードで運転した最初の年度となった。わずか数名の運転要員で、最長 36 時間連続のトップアップ運転を行うには、ビーム入射が安定的に行われることが必須である。2008 年度からトップアップ運転を試験的に実施しながら問題点の洗い出しと対策を行ってきた。その結果、直線加速器やビーム輸送系のパルス電源の分から時間のオーダーの変動が入射効率に大きな影響を与えることがわかった。デジタ

[#] adachi@ims.ac.jp

ルオシロスコープを活用した簡易なフィードバックシステムを構築することで、入射効率の変動は大幅に緩和された^[15]。また、アンジュレータの磁場印加に伴う入射効率の低下・変動も問題となっている。これに対しては磁極間に多数のワイヤ（マルチワイヤ）を張り線形・非線形効果を補正する手法を試みている^[16]。入射の瞬間の軌道の動きについては、分光実験などへの影響が見られたため、現在はビーム入射のタイミング信号を各放射光ビームラインへ配信し、入射の瞬間の短時間、データ取得を停止することで対応している。将来的には、バンパ軌道を伴わない、パルス多極磁石による入射方式を導入することを検討しており、磁石の設計が進行中である^[17]。

UVSOR のトップアップ運転は、1 分毎に最大 10 秒間、繰り返し 1Hz で既定の電流値に達するまで入射を行う、という方式となっている。ユーザー運転の大部分はマルチバンチモードで運転され、ビーム電流値は 300mA に保たれる。年に 1-2 週間実施されるシングルバンチモードでは 50mA を蓄積している。2010 年度後半には、ユーザーからの要望に応じて、日中シングルバンチモード、夜間マルチバンチモードといった運転も試行した。

トップアップ運転導入の効果としては、入射による中断なしに放射光利用実験が継続できること、放射光強度が一定になることでの取り出しビームラインの光学系の安定化などがあげられる。また、平均ビーム電流の増大も顕著である。トップアップ運転本格導入前の 2009 年と 100%導入後の 2010 年の月別の運転時間と積分電流値を図 1 に示す。運転時間そのものの増大も若干あるものの積分電流値がそれを上回って増大していることが見て取れる。

2011 年 3 月末までユーザー運転を継続した後、約 2 か月のシャットダウンに入った。この期間中には、2010 年度に入射路を移設することで作り出した新しい直線部に、光源開発用アンジュレータを設置した(図 2)。このアンジュレータは、APPLE-II 型アンジュレータ 2 台と分散部（バンチャー部）からなるものであるが、2011 年の春季停止期間に 1 台を設置し、残りは 9 月の停止期間に設置する予定である。

この直線部に設置されていた、DCCT とビームスクレーパについてはほかの直線部に移設した。特に DCCT については老朽化も進行しているので更新した。

直線部下流に光源開発専用ビームラインを建設するために、偏向電磁石真空ダクト 2 台を更新した。これらはいずれも通常の偏向ダクトにテラヘルツ光取り出し用ミラーを装着するための大型のミラーチャンバーが接続された特殊な形状のものである。またレーザー導入路及び自由電子レーザー用光共振器を建設するために、直線部上流側の偏向ダクトを、専用の光ポートを備えたものに交換した。真空作業完了後、ベーキングを実施、直ちに運転調整を開始し、6 月中旬よりユーザー運転を再開した。

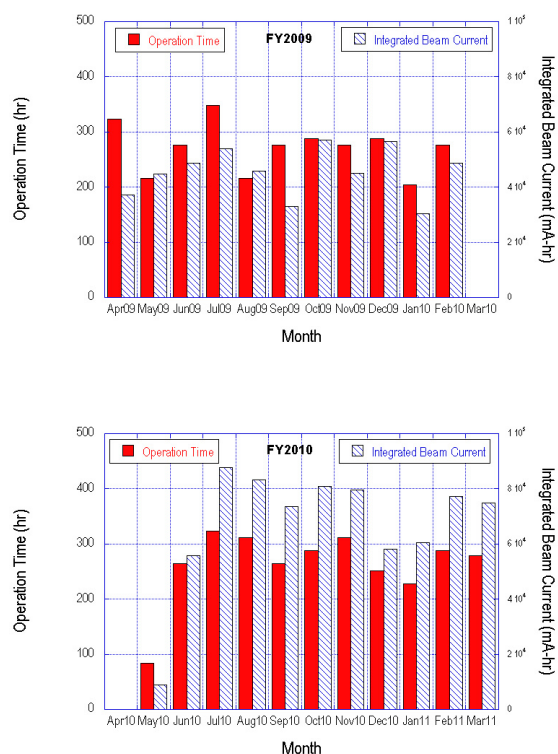


図 1：2009 年度（上）と 2010 年度（下）の月別運転時間と積分電流値。運転時間（赤）そのものやや増大しているが、積分電流値（青）が顕著に増大していることがわかる。

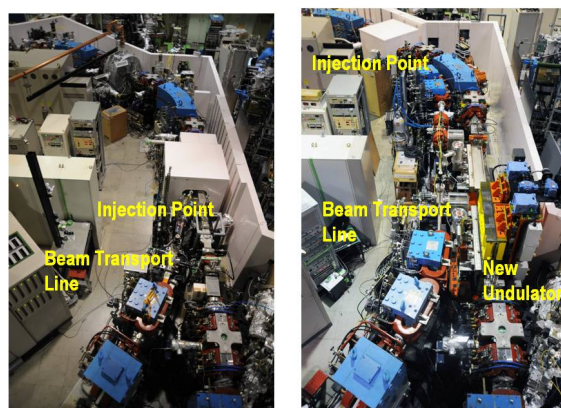


図 2：蓄積リングビーム入射点とビーム入射路終端部（左：2010 年度改造前、右：2011 年度アンジュレータ設置後）

3. 新たな高度化計画

第 2 世代の放射光源として建設された UVSOR は 2003 年にラティスの変更を含む大幅な改造を行い、低エミッタンス電子ビームとアンジュレータを組み合わせた高輝度性を特徴とする第 3 世代光源 UVSOR-II へ生まれ変わった。これを、さらなる低エミッタンス化、入射路の移設による直線部創出とアンジュレータ増設、トップアップ入射の導入を柱

として、さらに高度化する UVSOR-III 計画が進行している。直線部創出は前述した量子ビーム基盤技術開発プログラムの中で実現された。トップアップ入射は 2006 年以降の自助努力により実現された。2012 年には、偏向磁石を複合機能型とすることでエミッタンスを 15nm-rad 程度まで小さくする予定であり、現在、磁石の設計・製作が進行している。これには、建設以来 30 年近く使用され老朽化も進行している偏向磁石の更新という側面もある。また、6 台目となるアンジュレータが、挿入光源用として残された最後の直線部に装着される予定である。さらに高度なトップアップ入射を実現するためのパルス六極磁石の製作も進行している。UVSOR から UVSOR-II をへて UVSOR-III へ至るビーム光学クスの変遷を図 3 に示す。

UVSOR-III への転換が成功すると、周長約 50m のリングに 6 台のアンジュレータを装着し 100% トップアップ運転される高輝度低エネルギー放射光源となる。

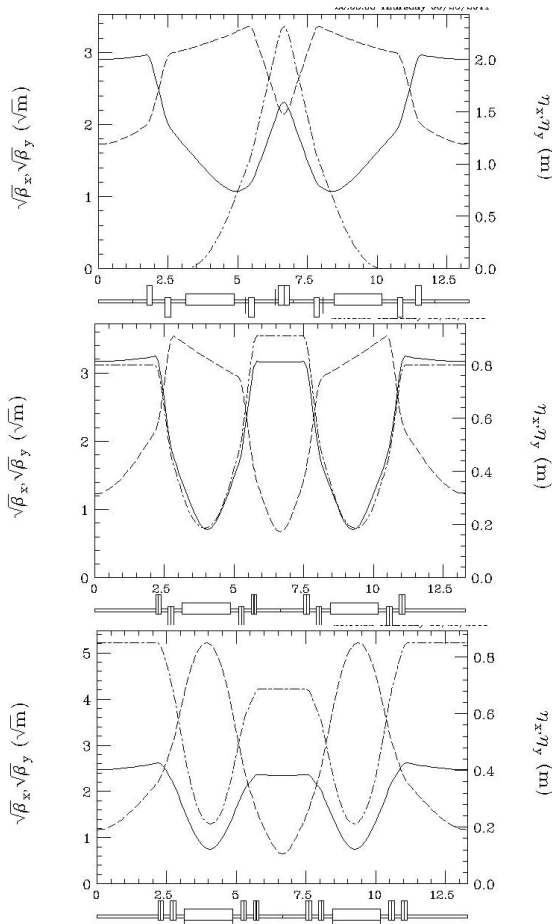


図 3 : UVSOR (上段)、UVSOR-II (中断)、UVSOR-III の光学関数 (下段)。それぞれリング 1/4 周分が示してある。エミッタンスは、それぞれ約 160nm-rad、約 27nm-rad、約 15nm-rad である。

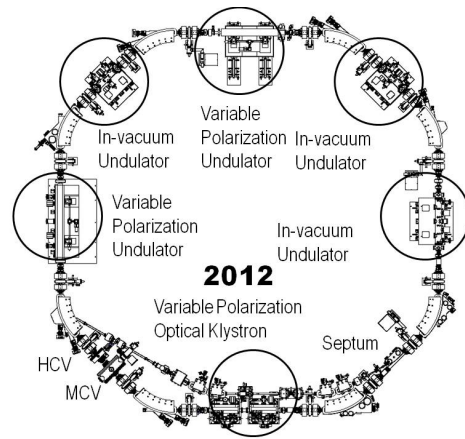


図 4 : UVSOR-III (2012 年度実現予定) の加速器配置図。周長約 50m のリングに 6 台のアンジュレータが設置される。

謝辞

入射路改造の一部は、文部科学省「量子ビーム基盤技術開発プログラム」のもとで実施された。トップアップ運転の導入、加速器の改造は、UVSOR 施設ビームライン系の職員の多大なるご支援・ご協力により行われた。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., Appl. Phys. Express 3 (2010) 122702
- [13] Y. Taira et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. Sect. A637 (2011) 5116-5119
- [14] M. Adachi et al., in these proceedings
- [15] H. Zen et al., in these proceedings
- [16] H. Zen et al., in these proceedings
- [17] Y. Gotoh et al., in these proceedings