

## STATUS OF UVSOR-II ACCELERATORS; 2007

Masahiro Katoh<sup>1</sup>, Akira Mochihashi, Miho Shimada, Jun-ichiro Yamazaki, Kenji Hayashi  
UVSOR Facility, Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences  
38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki, 444-8585

### Abstract

After the major upgrade in 2003, the UVSOR-II electron storage ring has been successfully operated with low emittance of 27 nm-rad. Four undulators are now operational and two short straight sections are reserved for future undulators. In 2007, the energy upgrade of the booster synchrotron and the beam transport line has been completed. The full energy injection test was successful. Top-up injection will be introduced hopefully within one year.

## UVSOR-II光源加速器の現状; 2007

### 1. はじめに

UVSOR電子蓄積リングは電子エネルギー750MeVのVUV領域を得意とするシンクロトロン放射光源である<sup>[1]</sup>。稼動開始は1983年であり既に四半世紀が経過しようとしている。2003年に大規模な改造を施し、低エミッタンス化、直線部の増強とアンジュレータの増設を実現した<sup>[2,3,4]</sup>。それ以降このリングはUVSOR-IIと呼ばれている。引き続き2005年には高周波加速空洞の更新<sup>[5]</sup>、2006年にはブースターシンクロトロンのフルエネルギー化とアンジュレータの増設、2007年には入射路のフルエネルギー化を実現した。

現在、UVSOR-IIはエミッタンス27nm-radで定常的に運転されている。最近稼動を始めたMAX-IIIと並び、1GeV以下のVUVシンクロトロン光源としては世界的にも最も高輝度なリングのひとつである。蓄積ビーム電流値はマルチバンチモードで350mA、シングルバンチモードで100mAである。アンジュレータは4台が稼働中であり、更に2台が設置可能となっている。

UVSOR-IIは全国共同利用施設として年間40週程度運転されている。一日の運転時間は放射線申請上の理由で12時間に制限されていたが、昨年度、24時間への変更が認められた。運転要員の不足のため、ユーザー利用は1日12時間のままであるが、夜間はビームラインの立ち上げ調整、自由電子レーザー利用研究などに随時利用されている。

長年UVSORは600MeVでビームを入射した後750MeVまで加速をしていたが、入射器のエネルギー増強に成功し、今年7月からは750MeVのフルエネルギー入射でユーザー運転を実施している。近い将来、トップアップ運転を実現したいと考えている。

本報告ではフルエネルギー入射、可変偏光アンジュレータの導入を中心に最近のUVSOR-II光源加速器の状況について述べる。

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	$4.2 \times 10^{-4}$
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
Filling Beam Current	
(multi-bunch mode)	350 mA
(single-bunch mode)	100 mA

### 2. フルエネルギー入射

建設当初、UVSORの入射器は15MeVの直線加速器と600MeVブースターシンクロトロンで構成されていた。一方、蓄積リングも当初は600MeVで運転されていたが、その後まもなく750MeVで運転されるようになった。このため、長年、リングへは600MeVで入射し、蓄積後750MeVまで加速する、という形で運転が行われてきた。入射、加速とも技術的には特に問題はなく、入射器のフルエネルギー化の問題は長い間放置されてきた。

しかしここ数年、製造後20年以上が経過したシンクロトロン電磁石電源で重故障が続き、保守部品の確保も極めて困難になってきていた。一方、先進的な施設ではいわゆるトップアップ入射が行われるようになってきた。これは数分間隔でビームを入射することで蓄積電流値をほぼ一定に保つ技術であり、シンクロトロン光強度が一定に保たれること、光学素子への熱負荷の変動がなくなりビームラインの安

<sup>1</sup> E-mail: mkatoh@ims.ac.jp

定性が高まること、など利用上のメリットは大変に大きい。トップアップ運転を導入するには入射器のフルエネルギー化は必須である。

電源の老朽化、トップアップ運転の導入をにらんで、電源の更新によるブースターシンクロトロンフルエネルギー化を検討した。電磁石製造元の協力を得て実施した磁場計算の結果、偏向電磁石、四極電磁石とも改造無しで750MeV加速に対応可能であることがわかった。これらの結果を元に電源の仕様を固めた。受電容量、ケーブル容量などの制約で、加速繰り返しは600MeVの場合は約3Hzのものが750MeVでは1Hzに制限されるが、従来の効率であれば実用上十分な入射レートが確保できると判断した。電源の更新は2006年に予算化され実施することができた(図1)。

これに引き続き、2007年春には入射路偏向電磁石電源の更新を実施した。この電源も20年以上稼働を続けたものであり、更新が急がれていた。入射路についても磁場計算を行い、電源の更新のみでフルエネルギー化できることを確認した。また入射路の四極電磁石は電磁石、電源とも改良することなくフルエネルギー対応で運転できることを確認した。

ブースターシンクロトロンの取り出し用キッカー電磁石、セプタム電磁石、蓄積リングの入射用セプタム電磁石、キッカー電磁石などのパルス電源類も、電磁石本体、電源とも改造無しでフルエネルギー入射に対応可能であった。

シンクロトロンはまず600MeV加速を再現することを最優先にコミショニングを行い、比較的順調に立ち上げることができた。その後およそ半年間運転を継続した後、入射路の偏向電磁石の更新が完了したのを受けて、フルエネルギー加速、フルエネルギー入射の調整を開始した。数回のスタディにより750MeVまでの加速器に成功し、引き続きリングへのフルエネルギー入射にも成功した。7月よりユーザー運転もフルエネルギー入射で実施している。7月末現在で入射レートは、加速繰り返し1Hzで0.5mA/secであり、実用上は問題がないが、さらに入射レートを向上するべくスタディを継続している。



図1. 新ブースターシンクロトロン電磁石電源。

今後ビーム輸送系のビームモニター、インタロックシステム、タイミングシステムなどの整備を進め、また、並行してビーム輸送効率の向上に向けたスタディを継続し、1年以内くらいを目標にトップアップ入射の実現を目指している。

表2. シンクロトロン電磁石電源

最大出力電流値	1700 A
最大出力電圧	1200 V
最大電力	1.4 MW
加速繰り返し	1Hz (750MeV) 3Hz (600MeV)

### 3. 可変偏光アンジュレータ

2003年の高度化改造により、リングは4m直線部4本を有することとなったが、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、3mクラスのアンジュレータを設置できる場所は2箇所しかなかった。2005年にRF空洞を更新した際に、旧空洞を撤去し、新空洞は高度化改造で新たに創出された4箇所の1.5m直線部のうち1箇所に移設した。また、同じ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、3mクラスのアンジュレータを導入できるスペースを確保することができた。

利用者との議論を経て、光電子分光ビームラインへ高輝度VUV光を供給するために可変偏光アンジュレータを導入することが決定された<sup>[6]</sup>。ビームラインの設計とのマッチングを考慮し、磁気回路構成としてはAPPLE-II型を採用することとした。

アンジュレータは2006年秋リングに設置された。ステンレス鋼製の真空チャンバーの内径は垂直方向18mmであり、真空封止型アンジュレータを除くと、リング内での最小アパーチャとなる。

導入後直ちに立ち上げ調整を開始した。磁石間隙変更に伴う軌道変動のフィードフォワード制御の調整も順調に進み、7月現在、水平偏光モードでは全磁石間隙値について、また、垂直偏光モードについては磁石間隙値30mm以上の領域で、利用者の随時波長変更が可能となっている。垂直偏光モードで磁石間隙値が小さい領域については非線形効果によると思われる寿命の短縮が観測されており、現在対策を検討中である。

表3. 可変偏光アンジュレータ主要パラメータ

磁気回路	APPLE-II型
周期数	40
周期長	76 mm
磁極長	3.04 m
磁極間隙	24 - 200 mm
最大K値	5.4 (水平偏光) 3.6 (垂直偏光) 3.0 (円偏光)

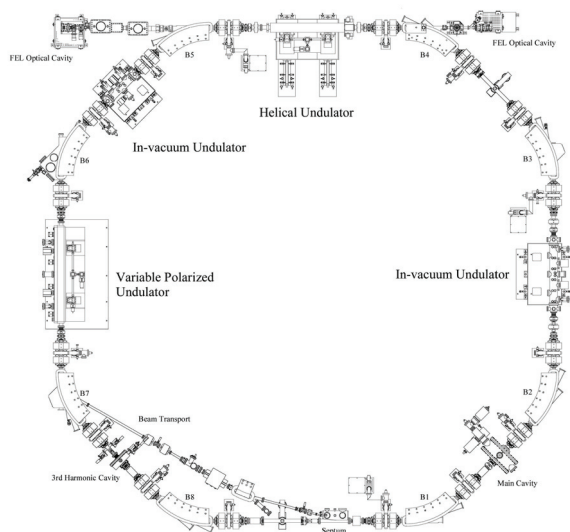


図2. UVSOR-II電子蓄積リングの機器配置

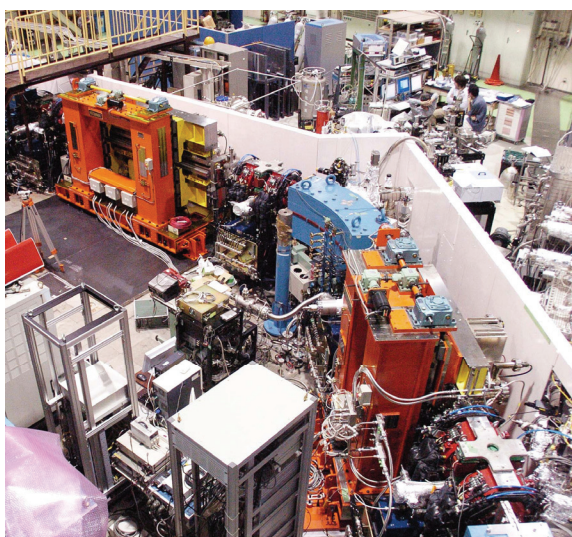


図3. 新可変偏光アンジュレータ (左奥) と真空封止型アンジュレータ (右手前)

#### 4. ビーム物理学研究、加速器技術開発等

UVSOR-IIは比較的小型の加速器ではあるが適度な余裕があり、小型装置の設置や放射光取り出しポートの利用などは比較的容易に行える。スタッフの数が少ないため、意思決定に時間がかかることもない。このため、ビーム物理学研究、加速器技術開発、光源開発研究などの研究活動を展開するには最適な施設である。光源開発研究に関しては別稿でまとめて述べるとして<sup>[7]</sup>、ここでは比較的最近のビーム物理学、加速器技術に関する研究活動について紹介する。

UVSOR-IIのような低エネルギー且つ低エミッタンスのリングでは、いわゆるTouschek効果による電子損失がビーム寿命を強く制限する。Touschek寿命を精度よく計測することは、寿命改善に向けた加速器調整にとって重要である。しかしながら、残留ガス

散乱による電子損失と分別して計測することが難しい。Touschek散乱でRFバケットから飛び出した電子が次のRFバケットに捕獲される現象をPhoton Counting法を用いて観測することで、Touschek寿命を計測する手法を考案した<sup>[8]</sup>。

UVSOR-IIではシングルバンチ運転中にある閾値を超えるとコヒーレントシンクロトン放射と思われる大強度放射がテラヘルツ領域で観測される<sup>[9]</sup>。このような現象はいくつかの蓄積リングで観測されているが国内ではUVSOR-IIからの報告が最初であった。何らかのビーム不安定性が関与しているといわれているがその詳細は明らかになっていない。この大強度放射の発生機構を実験的に明らかにすべく、検出系の整備を進めているところである。

UVSOR-IIでは数時間オーダーでの軌道変動が観測される。その原因を特定すべく、加速器各部の温度と軌道変動の関係を調べている。これまでにリングの周長とリング室床面温度の明確な相関関係が見出されている<sup>[10,11]</sup>。今後、軌道安定化に重心を移して研究を継続していく予定である。

#### 謝辞

ブースターシンクロトン及び入射路の電磁石の磁場計算は三菱電機株式会社による。可変偏光アンジュレータ用真空チャンバー設計に際してはKEK堀洋一郎博士に助言をいただいた。

#### 参考文献

- [1] M. Katoh et al., "Present Status of UVSOR-II", AIP Conf. Proc. 879 (2007) 192-195
- [2] M. Katoh, et al., "Construction and Commissioning of UVSOR-II", AIP Conf. Proc. 705 (2004) 49-52
- [3] M. Katoh et al., "New Lattice for UVSOR", NIM A 467-468 (2001), 68-71.
- [4] A. Mochihashi et al., "In-vacuum Undulators in UVSOR Electron Storage Ring," AIP Conf. Proc. 705 (2004) 259-262
- [5] A. Mochihashi et al., "Upgrade of Main RF Cavity in UVSOR-II Electron Storage Ring", Proc. EPAC2006 (2006, Edinburgh), 1268-1270
- [6] S. KIMURA et al., "Design of a High Resolution and High Flux Beamline for VUV Angle-Resolved Photoemission at UVSOR-II", AIP Conf. Proc. 879, 2007, 527-530.
- [7] M. Katoh et al., "Status of Light Source Developments at UVSOR-II; 2007", in these proceedings
- [8] A. Mochihashi et al., "Touschek lifetime measurement with a spurious bunch in single bunch operation in the UVSOR-II electron storage ring", Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 572 (2007) 1033-1041
- [9] Y. Takashima et al., "Observation of Intense Bursts of Terahertz Synchrotron Radiation at UVSOR-II", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 35 (2005), L1131-1133
- [10] K. Suzumura et al., "Variation of Circumference of UVSOR-II", UVSOR Activity Report 2006, 37 (2007)
- [11] K. Suzumura et al., "Development of a BPM Displacement Measurement System at UVSOR-II", UVSOR Activity Report 2006, 38 (2007)