

UVSOR 光源加速器の現状 2017

STATUS OF UVSOR-III IN 2017

藤本将輝[#], 加藤政博, 山崎潤一郎, 林 憲志, 手島史綱, 水口あき

Masaki Fujimoto ^{#, A)}, Masahiro Katoh, Jun-ichiro Yamazaki, Kenji Hayashi, Fumitsuna Teshima, Aki Minakuchi

UVSOR Facility, Institute for Molecular Science

Abstract

UVSOR-III, a 750 MeV synchrotron radiation facility at Institute for Molecular Science, is operated for SR radiation users in the top-up injection mode with the beam current of 300 mA since 2012. The storage ring is one of the brightest SR source in VUV region with the low emittance of about 17 nm-rad. Currently, fourteen beamlines are operational with six undulators installed in the 50 m long storage ring. They provide SR lights in the broad spectral range from terahertz region to soft X-rays for many experiments performed by over 1000 researchers. In the end of 2016, as the accident of coolant leakage from an optical beam shutter, all operations were stopped for one-half months. It is urgent to prevent from troubles due to aging of the component, so the updates of hardware are conducted in order. Besides the leakage trouble, the accelerator system was operated steadily. In parallel with the SR users operations, UVSOR facility has been developed as the source of many synchrotron radiation techniques, CSR, CHG, FEL, edge radiation, gamma-ray radiation with laser Compton backscattering, *et al.*. In recent studies, the radiation of optical vortex is observed with the helical-mode of Apple-II undulator at BL1U. This novel source of optical vortex is developed for advance research of material science in DUV or VUV region now.

1. はじめに

分子科学研究所の極端紫外光研究施設 (UVSOR) は、真空紫外から軟X線までの短波長域、また、赤外からテラヘルツ光に至る長波長域のシンクロトロン放射光の研究利用を目的とした大学間共同利用の拠点として運用されている。UVSOR は 1983 年の稼働開始以降、2003 年と 2012 年の二度にわたり加速器の大規模な高度化が行われ、それぞれ UVSOR-II、UVSOR-III と改称されてきた[1,2]。現在稼働中の UVSOR-III は、ビームエネルギー 750 MeV、ビーム電流値 300 mA でトップアップ運転が行われており、周長約 50 m にわたる蓄積リングの入射点および加速部を除く全ての直線部に計 6 台のアンジュレータが挿入されている (Figure 1)。ビームエミッタンスは約 17 nm-rad まで絞られ、真空紫外域においては回折限界光の発生を実現するなど世界最高水準の高輝度光を供給することが可能である。現在 14 本の放射光ビームラインが稼働しており、分子・物質科学、材料科学、地球・



Figure 1: Overview of storage ring of UVSOR-III.

宇宙科学や生命科学など幅広い分野で利用されている。今後はビームラインの更新を行うことで、さらなる利用研究の幅を広げていく予定である。

共同利用を展開する一方で、UVSOR では共振器型自由電子レーザー、外部レーザーを併用したコヒーレント放射光発生やレーザーコンプトン散乱ガンマ線発生など、光源開発研究も活発に行われてきた。近年では Apple-II 型アンジュレータを用いた極短波長光渦の発生と利用についての研究を進めており、全く新しい光渦光源として世界に先駆けた応用研究が展開されている。

本学会では、2016 年から 2017 年にかけての UVSOR の状況について報告する。

2. 加速器運転状況

UVSOR-III は、15 MeV 線形加速器、750 MeV ブースターシンクロトロンおよび 750 MeV ストレージリングで構成される。Table 1 に主なパラメータを、Figure 2 にリング上の各セクションにおけるビーム特性を、また Figure 3 に各光源で発生する放射光のスペクトルを示す。

UVSOR-III は、2016 年度には合計 35 週運転された。そのうち 31 週は共同利用に供され、残りは加速器運転調整や光源技術開発に充てられた。4 月に約 1 ヶ月、また 10 月下旬に 1 週間のシャットダウン期間を確保し、これ以外に、8 月中旬の 1 週間については、職員の夏期休暇のため運転を停止した。また、11 月下旬から 1 月上旬の 1 ヶ月半にかけて、蓄積リングへの冷却水漏れ事故への対応のため運転を停止した。共同利用週では、火曜日から金曜日までは共同利用、月曜日また必要に応じて週末は加速器運転調整やマシンスタディを実施した。共同利用運転は 1 日当たり 9 時から 21 時までの 12 時間で夜間は停止するが、木曜日から金曜日にかけての夜間は終夜運転を行っている。このため、1 週間当たりの共同利用運転は計 60 時間となる。運転開始時の調整は通常 15 分程度で終了し、その後はトップアップ運

[#] mfmoto@ims.ac.jp

Table 1: Main Parameters of UVSOR-III

Accelerator	Linac (15 MeV) Booster Synchrotron (750 MeV) Storage Ring (750 MeV)
Circumference	53.2 m
Harmonic Number	16
Beam Current	300 mA (multi) / 40 mA (single)
Beam Current	17.5 nm·rad
Emittance	(3.7 / 3.2)
Betatron Tune	90.11 MHz
RF frequency	5.3E-4
Energy Spread	120 kV
RF Voltage	53.2 m

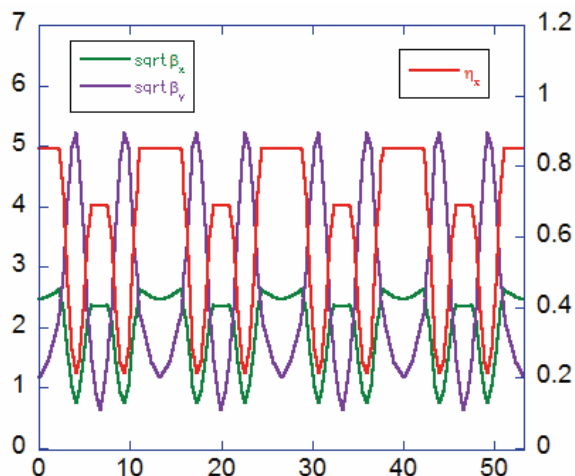


Figure 2: Betatron and dispersion functions of UVSOR-III.

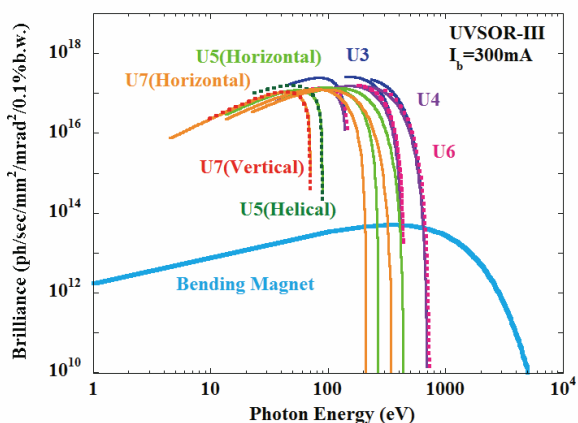


Figure 3: SR spectra of UVSOR-III.

転に移行する。1分毎に10秒間程度1 Hzの繰り返しで入射を行い、ビームを補給する。トップアップ運転中は、

ユーザーは入射によって中断されることなく実験を継続できる。

2016年夏以降のマシントラブルとしては、BL3U 下流に設置された光シャッター冷却水路の銅材が腐食して生じたピンホールから蓄積リング全体に冷却水が漏れ出し、光シャッターの撤去およびリングの脱水と真空立ち上げにおよそ1ヵ月半の運転停止を余儀なくされたことが挙げられる。その後も設備の老朽化に伴うトラブルが続いているが、いずれも短時間で復旧し、運転時間の延長などにより共同利用ビームタイムの確保を行っている。(Figure 4) また、2016年度に報告したブースターシンクロトロン四極電磁石の冷却水漏れについては、配管の破損の激しいものから冷却水路の新設作業を順次行っている。その他、2017年4月にはデフレクターを更新した。施設の持続可能性を高めるため、引き続き老朽化した設備の更新を行っていく予定である。

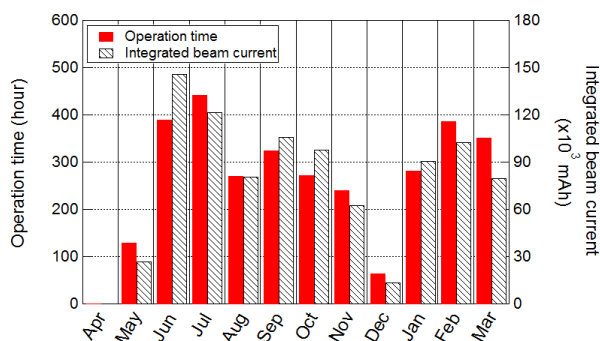


Figure 4: Operation statistics of UVSOR-III in FY2016.

3. 加速器高度化・光源開発

UVSOR-III は BL1U に光源開発専用のビームラインを備える。BL1U は、自由電子レーザー開発を目的とした2台の Apple-II 型アンジュレータから構成される光クライストロンを有し、共振ミラーを取り外せばビーム軸上に直接光を取り出して利用できることから、FEL を含めて様々な光源開発研究が行われてきた。また、2016年春に BL1U に設置された瀬谷・浪岡型分光器は実験に応じて光輸送路に接続され、光源開発と放射光の利用研究を平行して進めることができるようになった。現在は、円偏光アンジュレータから発生する高次光が波面がらせん状に伝播する光渦であることを実験的に示し[3,4]、引き続き放射光光渦の特性測定を集中的に行っている。さらに、2台のアンジュレータで発生した異なる波面をもつ光渦の干渉を用いてトポロジカル光を発生する研究を行っている[5]。BL1U は極短波長の光渦を発生できる光源として、光渦のもつ軌道角運動量と分子・原子の相互作用を探る研究が展開されており、真空紫外光渦による気体原子の電子状態の変化が世界に先駆けて実験的に調べられた[6]。また、光渦のみならず、レーザーコンプトンガンマ線を用いたイメージング技術の開発が引き続き行われている。

光源加速器高度化の一環として、現在 UVSOR におけるビーム不安定性についての調査を行っている。二度

の大規模改修に伴い、シングルバンチ運転において蓄積ビーム電流量が低下したことから、ストリークカメラを用いて蓄積バンチの不安定性を観測し、蓄積電流低下の原因を探っている[7]。また、老朽化した高調波空洞(HCV)のアップグレードを目標とし、ビーム不安定化に対する HCV の寄与を調べることで、変動抑制の条件を探る研究を行っている[8]。

これらの研究は全て、名古屋大、広島大、京大、佐賀 LS 等との共同研究であり、光源開発研究においても大学間共同利用設備として積極的な活動を行っている。

4. まとめ

UVSOR は二度にわたる大規模な高度化により、低エネルギー領域のシンクロトロン放射光源として優れた性能を有している。現在では、エネルギー750 MeVにおいて17 nm-radの低エミッタンスを維持しながら300 mAトップアップ運転を実現している。利用可能な直線部全てに計6台のアンジュレータを備えており、偏向電磁石を含めた14本のビームラインではテラヘルツ光から軟X線までの放射光を用いて分子・物質科学から地球・宇宙科学にいたるまでの幅広い領域で研究が行われている。また、放射光による極短波長の光渦光源の開発を進めており、世界に先駆けて物質科学への応用研究が開始している。今後は、設備の老朽化対策を進めながら施設の持続可能性の向上を図るとともに、共同研究者の協力を得て加速器・光源開発を推進していく。

参考文献

- [1] M. Katoh, M. Hosaka, A. Mochihashi, J. Yamazaki, K. Hayashi, Y. Hori, T. Honda, K. Haga, Y. Takashima, T. Koseki, S. Koda, H. Kitamura, T. Hara, T. Tanaka, "Construction and Commissioning of UVSOR-II," AIP Conf. Proc. 705 (2004), 49-52.
- [2] M. Adachi, H. Zen, T. Konomi, J. Yamazaki, K. Hayashi, M. Katoh, "Design and Construction of UVSOR-III", J. Phys.: Conf. Ser. 425 (2013), 042013.
- [3] M. Katoh, M. Fujimoto, H. Kawaguchi, K. Tsuchiya, K. Ohmi, T. Kaneyasu, Y. Taira, M. Hosaka, A. Mochihashi, Y. Takashima, "Angular Momentum of Twisted Radiation from an Electron in Spiral Motion", Phys. Rev. Lett. 118, 094801 (2017).
- [4] M. Katoh, M. Fujimoto, N. S. Mirian, T. Konomi, Y. Taira, T. Kaneyasu, M. Hosaka, N. Yamamoto, A. Mochihashi, Y. Takashima, K. Kuroda, A. Miyamoto, K. Miyamoto, S. Sasaki, "Helical Phase Structure of Radiation from an Electron in Circular Motion", Sci. Rep. 7, 6130 (2017).
- [5] S. Matsuba *et al.*, in these proceedings.
- [6] T. Kaneyasu, Y. Hikosaka, M. Fujimoto, T. Konomi, M. Katoh, H. Iwayama, and E. Shigemasa, "Limitations in photoionization of helium by an extreme ultraviolet optical vortex", Phys. Rev. A95 (2017), 023413.
- [7] K. Takahashi *et al.*, in these proceedings.
- [8] J. Hasegawa *et al.*, in these proceedings.