

## UVSOR 光源加速器の現状 2018

### STATUS OF UVSOR-III IN 2018

藤本将輝<sup>#</sup>, 郭 磊, 山崎潤一郎, 林 憲志, 手島史綱, 水口あき, 加藤政博

Masaki Fujimoto<sup>#</sup>, Guo Lei, Jun-ichiro Yamazaki, Kenji Hayashi, Fumitsuna Teshima, Aki Minakuchi,

Masahiro Katoh

UVSOR Facility, Institute for Molecular Science

#### Abstract

UVSOR, a 750 MeV synchrotron radiation facility at Institute for Molecular Science, passes the 35th anniversary this year, 2018, since its first light in 1983. After some major upgrades, the current machine, UVSOR-III, has been operated routinely 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 XUV 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. In spring of 2018, one of beamlines installed an APPLE-II type undulator began to provide circular polarized light to users experiments. The accelerator system has been operated steadily although some minor troubles happened such as vacuum or coolant leakage, many of which are due to aging. In parallel with the SR users operations, novel light source technologies such as CSR, CHG, FEL, edge radiation, laser Compton gamma-rays and so on have been developed. And in recent years, optical vortex XUV radiation from a helical undulator or vector beam as a unique application of the vortex radiation are studied actively at a beamline for R&D of light source, where is installed two APPLE-II undulators in tandem. These developments of SR light source will be nutritious seeds for advance researches in a range of research fields.

#### 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tron光利用を目的とした大学共同利用施設として運用されている。UVSOR は 1983 年のファーストライトから、今年で 35 周年を迎える。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。

ビームエミッタンスは約 17 nm-rad まで絞られ、極端紫外域において回折限界に達する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・宇宙科学や生命科学など幅広い分野で利用されている (Fig. 1)。

共同利用を展開する一方で、UVSOR では国内で唯一となった蓄積リングによる自由電子レーザー、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 型アンジュレータの円偏光モードを用いて、極端紫外領域における光渦の発生と利用についての世界に先駆けた研究を進めており、2018 年には 2 台のアンジュレータから生じた光渦の干渉によってベクトルビームの発生に初めて成功した。

本学会では、2017 年から 2018 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tronを入射器とした 750 MeV ストレージリングである。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、2017 年度には合計 42 週運転された。そのうち 36 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 (Fig. 4)。3 月から 5 月にかけて約 1 ヶ月半、また 10 月下旬に 1 週間のシャットダウン期間を確保し、保守作業を行った。これ以外に、8 月中旬と年末年始に 1 週間運転を停止した。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、



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

<sup>#</sup>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)
Emittance	17.5 nm·rad
Betatron Tune	(3.7 / 3.2)
RF frequency	90.11 MHz
Energy Spread	5.3E-4
RF Voltage	120 kV

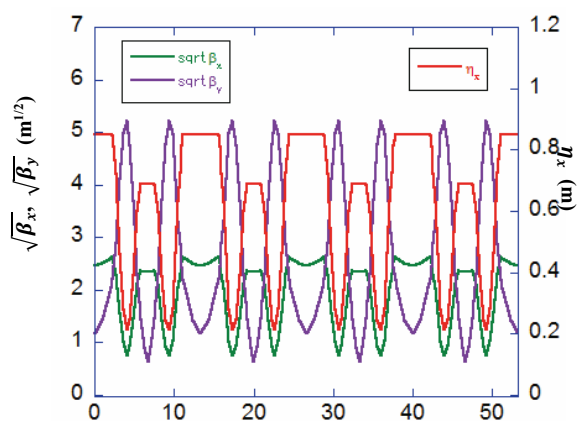


Figure 2: Betatron and dispersion functions of UVSOR-III.

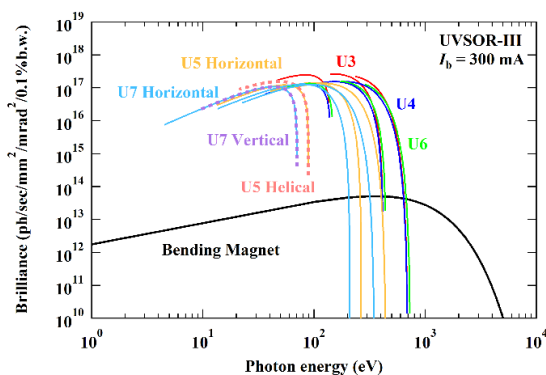


Figure 3: SR spectra of UVSOR-III.

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転に移行する。1 分毎に 10 秒間程度 1 Hz の繰り返して入射を行い、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。2017 年度には 214 グループ、延べ 1000 人を超えるユーザーが研究利用を行った。利用実験の多様化に対応するためマシンスタディによる運転調整も継続しており、2018 年春からはユーザー運転において APPLE-II 型アンジュレータを利用するビームラインで円偏光モードの運用を開始した。

2017 年度は大規模な事故はなく概ね順調に運転できたものの、現在に至るまで突発的なマシントラブルが頻発しており、その補修対応に追われている。2017 年夏にはブースターシンクロトロンビームダクトペロローズ部における真空漏れ事故により、二日間の運転停止を余儀なくされた。金属疲労により微小クラックが発生したと思われる、ダクト表面に液体シールを塗布することで対処した。また、冬には記録的な寒波により屋外に設置された冷却水冷却塔の放熱水路が凍結破損し、一時ビームラインを含む全システムへの冷却水の供給を停止した。そのほか、蓄積リングの複合電磁石六極コイルでホロコンダクターの破断による水漏れが見つかったため、2018 年春の長期シャットダウン時には保管していた試作機から同コイルを取り外しこれと交換した。また、同シャットダウン中に、老朽化の著しかったマスターオシレーター、ブースターシンクロトロンキャビティの冷却水チラーおよびクライストロンパルストランスタンクを更新した。共同利用への安定した放射光供給を維持するため、今後も引き続き老朽化した設備を更新していく予定である。

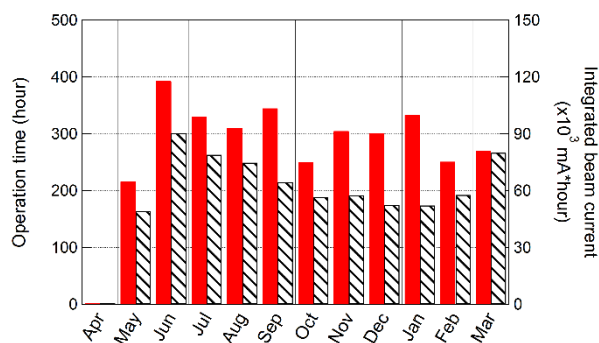


Figure 4: Operation statistics of UVSOR-III in FY2017.

### 3. 加速器高度化・光源開発

UVSOR-III は文部科学省の量子ビーム基盤技術開発プログラムの支援のもとに建設された BL1U と呼ばれる光源開発専用のビームラインを備える。BL1U は、外部レーザーを利用したコヒーレント放射光発生を目的とした 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、また、共振器ミラーを取りつけることで自由電子レーザー発振も可能であり、様々な光源開発研究が行われてきた。アンジュレータ軸上に実験ステーションが設置されており放射光の直接観測・利用が可能であるほか、ステーション下流部に設置された瀬谷・浪岡型分光器(真空光学 VMK-200-UHV)を接続することで分光実験も行うことができる。最近では、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すなどの成果があがっている[3-5]。また、直列配置された2台のアンジュレータを同時に動作することでらせん状波面の反転した光渦を干渉させ、ベクトルビームと呼ばれる新しい放射光の発生に成功した[6,7]。一方、分光器を用い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実験が世界に先駆けて行われるなど[8]、現在 BL1U では特色ある放射光の開発と利用法の開拓が同時進行で進んでいる。

光源加速器高度化の一環として、UVSOR におけるビーム不安定性についての調査を継続している。二度の大規模改修を経た後に、シングルバンチ運転において蓄積ビーム電流量が低下する傾向が確認されている。このため、ビーム電流を連続的に変化させながら、ストリークカメラを用いた電子バンチ長の測定および光クライストロン放射の波長スペクトルから解析されるビームのエネルギー広がり測定によって、蓄積バンチの縦方向不安定性が生じる条件を探った[9]。

これらの研究は、名古屋大 SR センター、広島大 HiSOR、SAGA-LS 等との共同研究によるものであり、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改修により、極端紫外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、放射光による極短紫外領域の光渦やベクトルビームといった新しい放射光源の開発を進めており、これらの光を利用した物質科学への応用研究を世界に先駆けて展開している。一方、設備の老朽化にともなうトラブルが増えており、今後も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] T. Kaneyasu, Y. Hikosaka, M. Fujimoto, H. Iwayama, M. Hosaka, E. Shigemasa, and M. Katoh, "Observation of an optical vortex beam from a helical undulator in the XUV region", J. Synchrotron Rad. 24, 934 (2017).
- [6] S. Matsuba, K. Kawase, A. Miyamoto, S. Sasaki, M. Fujimoto, T. Konomi, N. Yamamoto, M. Hosaka, M. Katoh, "Generation of vector beam with tandem helical undulators", Appl. Phys. Lett. 113, 021106 (2018).
- [7] S. Matsuba, *et al.*, in these proceedings.
- [8] 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. A 95 (2017), 023413.
- [9] K. Takahashi, *et al.*, in these proceedings.