

UVSOR 光源加速器の現状 2021

STATUS OF UVSOR-III SYNCHROTRON ELECTRON ACCELERATOR IN 2021

杉田健人^{#, A)}, 平義隆^{A)}, 藤本将輝^{A)}, 太田紘志^{A)}, 林憲志^{A)}, 山崎潤一郎^{A)}, 水口あき^{A)}, 加藤政博^{A, B)}
Kento Sugita^{#, A)}, Yoshitaka Taira^{A)}, Masaki Fujimoto^{A)}, Hiroshi Ota^{A)}, Kenji Hayashi^{A)}, Jun-ichiro Yamazaki^{A)},

Aki Minakuchi^{A)}, Masahiro Katoh^{A, B)}

^{A)} Institute for Molecular Science

^{B)} Hiroshima University

Abstract

After some major upgrades in 2012, UVSOR-III, has been operated routinely in the top-up injection mode with the beam current of 300 mA. 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 53 m long storage ring. 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 synchrotron radiation user operations, novel light source technologies such as coherent synchrotron radiation, coherent harmonic generation, free electron lasers, optical vortices, vector beams, laser Compton scattered gamma-rays and so on have been developed and provided to users.

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線及びガンマ線までの短波長領域、また、赤外からテラヘルツ光に至る長波長領域のシンクロトロン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、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、15 MeV 線形加速器、750 MeV ブースターシンクロトロンを入射器としたエネルギー750 MeV の電子蓄積リングであり、ビームエネルギー750 MeV、電流値 300 mA でトップアップ運転が行われている。周長 53 m にわたる電子蓄積リングの入射点および高周波加速空洞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 (Fig. 1)。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シンクロトロン光のスペクトルを示す。

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。現在アンジュレータビームライン 6 本、偏向電磁石ビームライン 8 本が稼働しており、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。

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シンクロトロン光発生やレーザーコンプトン散乱ガンマ線発生やアンジュレータによる光渦や原子のコヒーレント制御など、光源開発研究も活発に行われている。

加速器学会では、UVSOR の現状についてこれまで報告しているが[3-7]、本年会では最近の状況について報告する。

2. 加速器運転状況

2020 年度は合計 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開発及び通常の運転では実験できない共同利用の運転に充てられた (Fig. 4)。4 月の約 1 ヶ月はシャットダウンすることで保守作業を行い、8 月と 10 月、年末年始にも合計 4 週間のシャットダウン期間を確保した。共同利用運転時の UVSOR は、火曜日から金曜日まで運転している。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転に移行する。1 分毎に 10 秒間程度 1 Hz の繰り返しで電子ビーム入射を

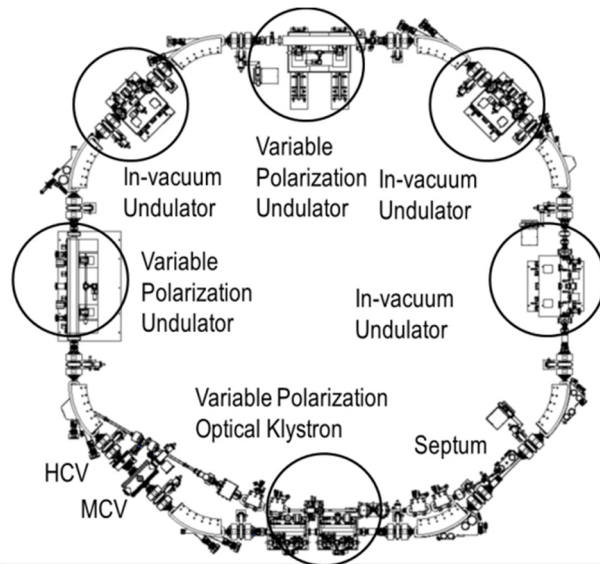


Figure 1: Layout of UVSOR-III storage ring.

[#] ksugita@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 bunch mode) 30 ~ 40 mA (single bunch mode)
Emittance	17.5 nm-rad
Betatron tune	Horizontal 3.70 Vertical 3.20
RF frequency	90.11 MHz
Energy spread	5.26×10^{-4}
RF voltage	120 kV

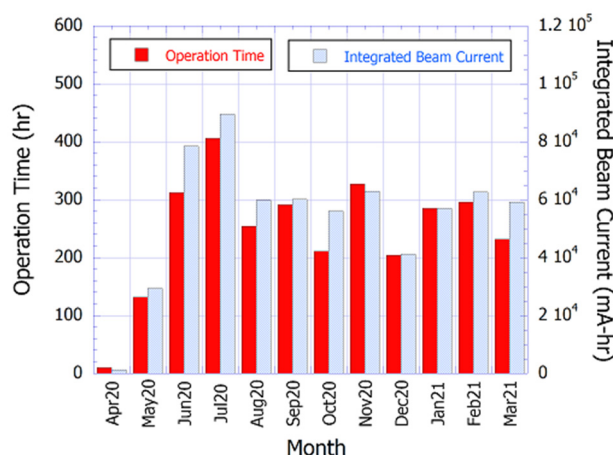


Figure 4: Monthly statistics in FY2020.

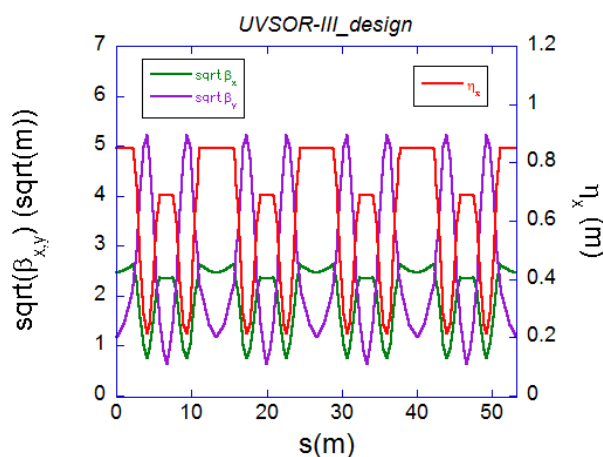


Figure 2: Betatron and dispersion functions of UVSOR-III.

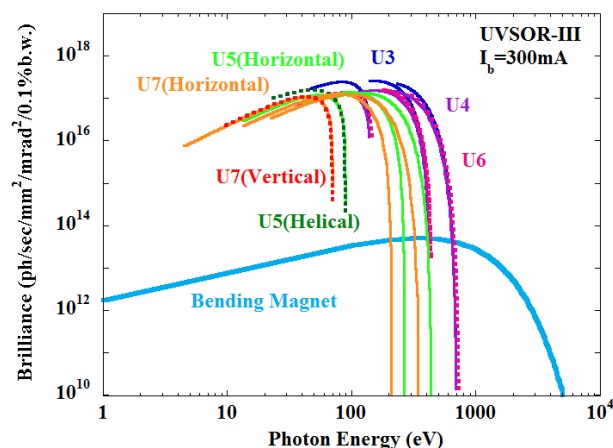


Figure 3: Synchrotron radiation spectra of UVSOR-III.

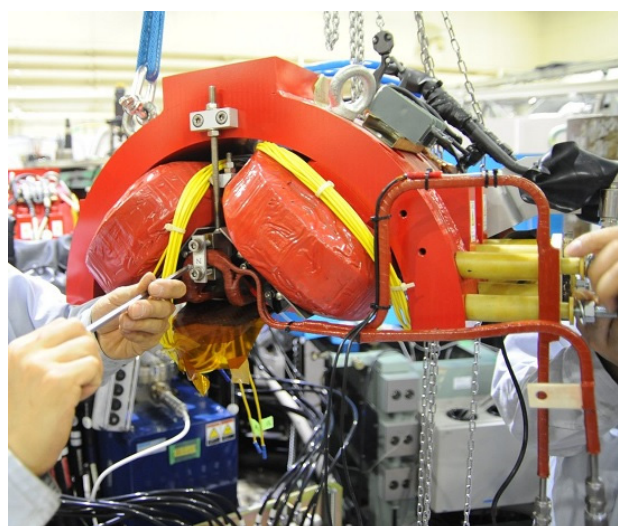


Figure 5: Replacing sextupole coil for multipole magnets.

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。

2020 年度のコロナ禍において、UVSOR はユーザーの研究活動の停滞を避けるために当初の計画通り運転を行った。しかし、ユーザーの所属機関が出張を禁止したためにキャンセルする事例が多くあった。2020 年度は約 220 件の共同利用申請があり、延べ 1200 人を超えるユーザーが UVSOR を利用した。

稼働から約 38 年が経過しているため経年劣化が目立ってきている。最近では、多極(4 極/6 極)電磁石の磁極面に巻かれた 6 極コイルからの冷却水の漏れが複数個所で起きていた。15 年間の使用で、冷却水パイプの壁が水流によって侵食されて穴が開き、水漏れが発生していた。そこで、全ての 6 極コイルの交換を決定し、2021 年 4 月に新品への交換が完了した(Figure 5)。

また、2021 年 7 月には出射部に取り付けられている放射光を切り出すための 4 象限スリットの冷却水パイプからこれも経年劣化によってピンホールが開き、冷却水の水蒸気が電子蓄積リング全体にまわることで真空破壊の事故が発生した。現在真空立ち上げ作業を行っている。

3. 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シンクロトロン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シンクロトロン光の直接観測・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、タンデムアンジュレータを用いたダブルパルスシンクロトロン光による原子のコヒーレント制御に関して成果が出ている[8]。また、円偏光アンジュレータから発生する高次高調波がらせん波面を形成する光渦であることを実験的に示す事に成功し[9]、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[10]。一方、分光器を用いて光渦のもつ軌道角運動量と分子・原子の相互作用を調べる実験が世界に先駆けて行われるなど[11]、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。

さらに、活発なユーザー利用として、レーザーコンプトン散乱で発生する超短パルスガンマ線を用いた陽電子計測によるバルク材料内部のナノメートル欠陥分析が行われている[12]。

一方で、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 の測定によって、蓄積バンチの縦方向不安定性が生じる条件を探った[13]。

参考文献

- [1] M. Katoh *et al.*, "Construction and Commissioning of UVSOR-II," AIP Conf. Proc. 705 (2004), 49-52.
- [2] M. Adachi *et al.*, "Design and Construction of UVSOR-III", J. Phys. Conf. Ser. 425 (2013), 042013.
- [3] M. Katoh *et al.*, "UVSOR 加速器の現状", Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, Japan, 2014, pp. 414-415.
- [4] M. Katoh *et al.*, "UVSOR-III の現状 2015", Proceedings of the 12th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsuruga, Japan, 2015, pp. 292-294.
- [5] K. Hayashi *et al.*, "UVSOR-III の現状 2016", Proceedings of the 13th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Chiba, Japan, 2016, pp. 1396-1397.
- [6] M. Fujimoto *et al.*, "UVSOR 光源加速器の現状 2017", Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sapporo, Japan, 2017, pp. 1344-1346.
- [7] M. Fujimoto *et al.*, "UVSOR 光源加速器の現状 2018", Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle

Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, 2018, pp. 1340-1342.

- [8] Y. Hikosaka *et al.*, "Coherent control in the extreme ultraviolet and attosecond regime by synchrotron radiation", Nat. Comm. 10, 4988 (2019).
- [9] M. Katoh *et al.*, "Helical Phase Structure of Radiation from an Electron in Circular Motion", Sci. Rep. 7, 6130 (2017).
- [10] S. Matsuba *et al.*, "Generation of vector beam with tandem helical undulators", Appl. Phys. Lett. 113, 021106 (2018).
- [11] T. Kaneyasu *et al.*, "Limitations in photoionization of helium by an extreme ultraviolet optical vortex", Phys. Rev. A 95 (2017), 023413.
- [12] K. Fujimori *et al.*, "Visualizing cation vacancies in Ce:Gd₃Al₂Ga₃O₁₂ scintillators by gamma-ray induced positron annihilation lifetime spectroscopy", Appl. Phys. Exp. 13, 085505 (2020).
- [13] K. Takahashi *et al.*, "UVSOR シングルバンチ運転時のバンチ長及びエネルギー広がり の測定", Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, 2018, pp. 1040-1043.