

UVSOR-III の現状 2015

STATUS OF UVSOR-III IN 2015

加藤政博^{A)}、林憲志^{A)}、山崎潤一郎^{A)}、
Masahiro Katoh^{#,A)}、Kenji Hayashi^{A)}、Jun-ichiro Yamazaki^{A)}
^{A)} UVSOR Facility, Institute for Molecular Science

Abstract

UVSOR-III, a 750 MeV electron storage ring is routinely operated for synchrotron radiation users in the top-up injection mode with the beam current of 300 mA. Six undulators are operational in this 50m long storage ring. The emittance is about 17 nm-rad. Currently, fifteen beam-lines are operational, which cover the broad spectral range from the terahertz wave to the soft X-rays. In the fiscal year 2014, the ring was operated for 42 weeks, 36 of which were for synchrotron radiation users and the remainder for machine conditionings and machine studies. In spring 2015, one of the ceramic vacuum ducts for the kicker magnets was replaced, because of a trouble of the internal metal coating. Construction is in progress at a new beam-line BL1U, which is dedicated for light source technology developments and their applications such as resonator free electron laser, coherent harmonic generation, coherent synchrotron radiation, laser Compton gamma-rays.

1. はじめに

分子科学研究所の小型放射光施設 UVSOR は 1983 年のファーストライト以来、真空紫外から軟 X 線、また、赤外線・テラヘルツ波といった長波長のシンクロトロン光の利用に特化した全国共同利用の光源装置として運用されてきた。この間、2003 年、2012 年頃を中心に、二度にわたる加速器の大幅な改造を実施し、これに合わせて加速器の呼称も UVSOR-II、UVSOR-III と改めてきた^[1, 2]。現在の加速器、すなわち UVSOR-III は、ビーム電流値 300mA でトップアップ運転され、周長約 50m のリングに 6 台のアンジュレータが設置されている。電子ビームエミッタンスは約 17nm-rad で運転されており、真空紫外域に特化した放射光源としては世界最高水準の高輝度を実現している。放射光ビームラインは現在 15 本が稼働しており、分子科学、物質科学、材料科学など幅広い分野で利用されている。

共同利用の展開の一方で、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いる。

本論文では、2014 年から 2015 年にかけての UVSOR 加速器の状況について報告する。

2. 加速器運転状況

UVSOR-III は 2014 年度には合計 42 週運転され、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。4 月には約 1 か月のシャットダウン期間を確保した他、10 月下旬には計画停電に合わせた 1 週間のシャットダウンを確保した。これ以外に、8 月中旬の 1 週間及び年末年始の 2 週間については、職員の休暇の取得を考慮し運転を停止した。

[#] mkatoh@ims.ac.jp

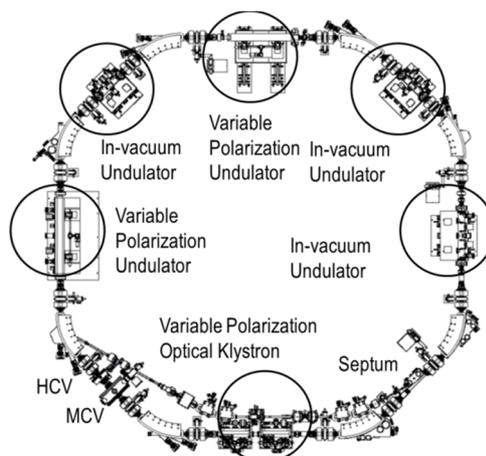


Figure 1: Layout of UVSOR-III storage ring.

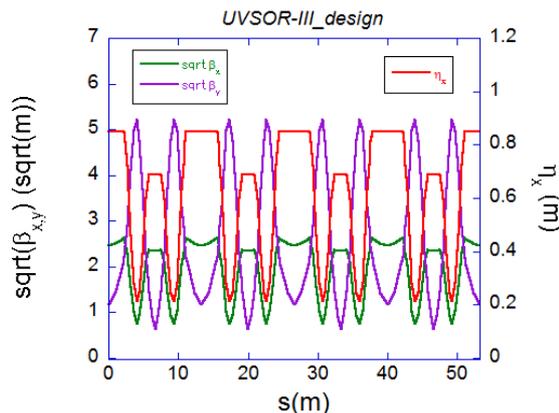


Figure 2: Optical functions of UVSOR-III.

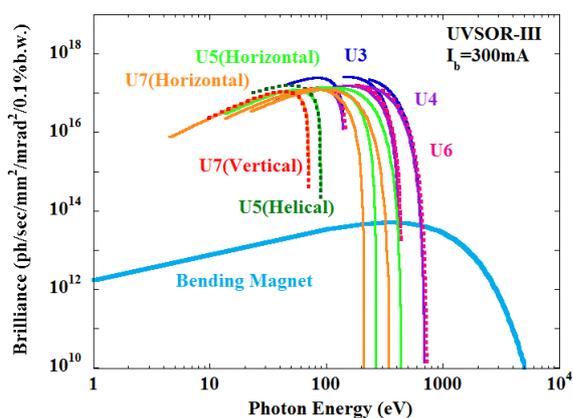


Figure 3: Synchrotron radiation spectra of UVSOR-III.

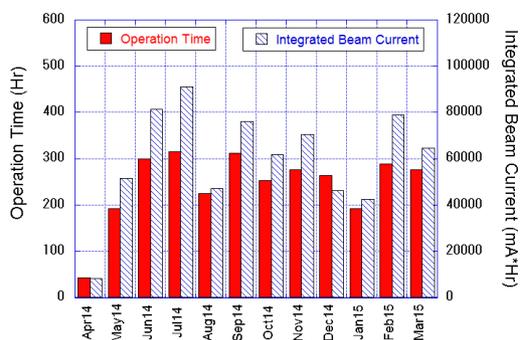


Figure 4: Operation statistics of UVSOR-III in FY2014.

Table 1: Main Parameters of UVSOR-III

Electron Energy	750 MeV
Circumference	53.2 m
Beam Current	300 mA (top-up)
Emittance	16.9 nm-rad
Energy Spread	5.3E-4
Betatron Tunes	~(3.7, 3.2)
Number of Straight Sections	4m x 4, 1.4m x 4
Number of Undulators	6
RF Frequency	90.1 MHz

共同利用週では、月曜日は加速器調整及びマシンスタディ、火曜日から金曜日までは共同利用、週末は運転を停止するが、必要に応じてマシンスタディ等を実施する場合もある。共同利用運転は 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う。1 週間当たりの共同利用運転は 60 時間となる。年間 36 週運転することで年間約 2000 時間の放射光利用ビームタイムを確保している。

朝の立上調整は通常 15 分程度で終了し、その後は、トップアップ運転に入る。1 分毎に約 10 秒程度 1Hz の繰り返しで入射を行い、ビームを補給する^[3]。利用者は入射による中断なく実験を継続できる。ビーム電流値はマルチバンチモードで 300mA、シングルバンチモードで 50mA である。

2014 年度夏以降のマシントラブルとしては、主加速空洞の water-load からの冷却水漏れがあったが、幸い交換部品があり、数時間で復旧できた。その他、小さなトラブルがいくつかあったが、いずれも短時間で復旧し、当日の運転時間延長などにより予定された共同利用ビームタイムを確保することができた。なお、2012 年の加速器改造以降、ビームサイズの増大を伴う蓄積ビームの突然の損失が多発するようになり、ダスト捕獲などの可能性を疑い原因の究明を続けているが、いまだ解決には至っていない。

2014 年春の加速器改造後の立ち上げ調整中に、三倍高調波空洞付近で真空の急激な悪化が観測され、調査の結果、冷却水流路から超高真空系へのリークが見つかった件については、シール材による応急処置を行いその後特に問題なく運転を継続している。リークした電極部の製作は完了し、2015 年春に交換する予定であったが、加速器チームのマンパワーやシャットダウン中の他の作業量を考慮し、交換を 1 年延期した。

2012 年の加速器の改造の後、入射用キッカーのうち 1 台から強い高周波が漏洩しているのが発見され、キッカー用セラミックダクトに何らかの異変が発生している可能性があったが、2015 年春に取り外したところ、帯状に内面の金コーティングが失われているのが発見された。予備のダクトと交換したところ高周波の漏れは無くなった。ビームへの影響については調査を継続している。

3. 加速器高度化・光源開発

2014 年春に、長年放射光利用とともに自由電子レーザー開発にも併用されてきたアンジュレータを APPLE-II 型に改造したことで一連のアンジュレータの高度化は一段落着いた。Figure 1 に示す通り、6 台のアンジュレータが配備され、5 台は放射光利用に供されている。Figure 3 に示す通り、数 eV から数 100eV の低エネルギー放射光の広い領域で高輝度放射光を発生できるが、特に 100eV 以下の低エネルギー領域の高輝度光は SPring-8 など硬 X 線発生用の高エネルギーリングでは発生することが難しく、UVSOR の特徴が出せる領域となっている。

これら 5 台のアンジュレータとは別に、文部科学省の量子ビーム基盤技術開発プログラムのもと、光源開発用として導入された光クライストロン型アンジュレータについては、専用ビームラインの高度化を進めており、2015 年春のシャットダウン中には、自由電子レーザー用光共振器の設置、レーザーコンプトン散乱実験用レーザー光導入ポートの整備、コヒーレント放射や光渦などの取り出しと利用のためのビームラインフロントエンド整備を進めた。

試験運転中の入射用パルス六極磁石は、これまでキッカー電磁石の一台を取り外してリングに設置し、試験運転を行っていたが、2014 年春に場所を移設し、常時使用が可能となった。現在、実用化へ向けた調整を進めているが、入射効率が 25%程度と低いことが目下の課題となっており、研究を継続している^[4]。

超高速テラヘルツ検出器を用いたマイクロバンチング不安定性に伴うテラヘルツ光の観測を行った結果、マイクロバンチング不安定性の時間空間発展を観測することに世界に先駆けて成功した^[5]。

4 まとめ

UVSOR 光源加速器は 2012 年を中心とする 2 回目の大幅な改造により UVSOR-III へと生まれ変わった。ダストトラッピングと思われるビーム損失、多数の挿入光源の稼働による入射効率の変動、リング室の気温変動による軌道の不安定性など、改善すべき問題は数多い。今後さらに改良を継続し、電子ビームの高輝度特性を 100%活かせる安定な運転状態を実現することを目指している。

UVSOR-III を用いた様々な加速器技術・光源技術開発も進めているが、加速器改造によるビームタイムや人事異動などに伴う一時的なマンパワーの欠如などで研究の進捗はややペースダウンしているが、名古屋大学、京都大学、リール大学（仏）などとの共同研究を通じて外部のマンパワーを導入することで、幅広い研究を何とか進めているところである。

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. Adachi, H. Zen, J. Yamazaki, K. Hayashi, A. Mochihashi, M. Shimada, M. Hosaka, "Full Energy Injection and Top-up Operation at UVSOR-II", AIP Conf. Proc. 1234, 531 (2010).
- [4] N. Yamamoto, H. Zen, M. Hosaka, T. Konomi, M. Adachi, K. Hayashi, J. Yamazaki, Y. Takashima, M. Katoh, "Beam injection with pulsed multipole magnet at UVSOR-III", Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A767 (2014) 26-33.
- [5] E. Roussel, C. Evain, C. Szwaj, S. Bielawski, J. Raasch, P. Thoma, A. Scheuring, M. Hofherr, K. Ilin, S. Wunsch, M. Siegel, M. Hosaka, N. Yamamoto, And Y. Takashima, H. Zen, T. Konomi, M. Adachi, S. Kimura, M. Katoh, "Microbunching Instability in Relativistic Electron Bunches: Direct Observations of the Microstructures Using Ultrafast YBCO Detectors", Phys. Rev. Lett. 113, 094801 (2014).