

## Upgrade Plan for Coherent Light Source Developments at UVSOR-II

Masahiro Adachi<sup>1,A,B)</sup>, Masahiro Katoh<sup>A,B,C)</sup>, Heishun Zen<sup>A,B)</sup>, Takanori Tanikawa<sup>A,B)</sup>, Shin-ichi Kimura<sup>A,B)</sup>, Jun-ichiro Yamazaki<sup>A)</sup>, Kenji Hayashi<sup>A)</sup>, Masahito Hosaka<sup>C)</sup>, Naoto Yamamoto<sup>C)</sup>, Yoshifumi Takashima<sup>C)</sup>, Yoshitaka Taira<sup>C)</sup>, Toshiharu Takahashi<sup>D)</sup>

A) UVSOR facility, Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences

38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki, 444-8585

B) School of Physical Sciences, The Graduate School of Advanced Studies (Sokendai)

38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki, 444-8585

C) Graduate School of Engineering, Nagoya University,

Furo, Chikusa, Nagoya, 464-8603

D) Research Reactor Institute, Kyoto University,

Kumatori, Sennan, 590-0494

### Abstract

We have been developing coherent light sources with wavelength from THz to VUV by using laser and electron interaction in the electron storage ring; Coherent Synchrotron Radiation, Free Electron Laser (FEL) and Coherent Harmonic Generations. Especially, the FEL have already been provided to the user application. This coherent light source development at UVSOR-II is advanced to the next stage. The five year plan has been started from FY2008, then the dedicated beam-lines for these coherent radiation sources will be constructed.

## コヒーレント光源開発のためのUVSOR-II改造計画

### 1. UVSOR-II

UVSORは1983年にはじめて電子ビームの蓄積に成功して以来、日本の主要なシンクロトロン光源の一つとして運転している<sup>[1]</sup>。2003年に行われたラティス<sup>[2]</sup>を含めた大規模な改造以降<sup>[3]</sup>、UVSOR-IIと呼ばれる。

図1にUVSOR-IIの電子蓄積リングの概略図を示す。UVSORではこれまで様々な改造が行われてきた。2003年に、それ以前の6分の1となる27 nm-radの低エミッタンス化を実現した。2005年には、主高周波加速空洞を更新するとともに、1.5m直線部へと移設した<sup>[4]</sup>。この更新によってRF加速電圧は3倍になり、ビーム寿命が改善した。2006年には、入射器及びビーム輸送系のフルエネルギー化を実現し、2008年度よりトップアップ運転も試験的に開始した<sup>[5]</sup>。

2003年の改造を経てUVSOR-IIにはそれまでの倍の8箇所の直線部が創出され、6箇所に挿入光源を導入可能である。現在、4箇所にアンジュレータを導入している。この内の1台(U5)は光電子分光ビームラインに高輝度VUV光を供給するとともに、以下に述べる自由電子レーザー(FEL)その他のコヒーレント光源開発にも利用している。

### 2. コヒーレント光源開発

通常の放射光はインコヒーレントな光である。これが、放射光がレーザーに最も劣っている点である。

放射光をコヒーレントな光にすることで、レーザーの高品質と放射光の高平均出力、広帯域といった特徴を併せ持った光を放射光利用者に提供することが可能となる。そのためUVSORでは蓄積リングを用いたコヒーレント光源開発を精力的に進めている。

Optical Klystron型のアンジュレータU5<sup>[6]</sup>を導入した直線部には、全長13.3mのFabry-Perot型光共振器が備わっている。これらの装置を用いてFELの開発と利用実験を進めている。2003年のラティスの改造と2005年の主高周波加速空洞の更新を経て自由電子レーザーの性能は飛躍的に向上した<sup>[7]</sup>。現在、199.4nmから800nmの広大な波長域でFEL発振が可能であり、平均出力は最高1Wに達する。また、可変偏光型のアンジュレータを用いているため、偏光も自由に変更できる。このような特徴をもったFELを用いて多くの利用実験が進められている<sup>[8]</sup>。

FELの取り出し窓を利用することで、電子蓄積リングへの外部挿入レーザー光の入射も可能である。電子蓄積リングに併設し、リングのRFと同期したTi:sapphireレーザーシステムで発振した高強度短パルスレーザーは蓄積中の電子バンチとアンジュレータ磁場内で相互作用し、Coherent Synchrotron Radiation (CSR)、Coherent Harmonic Generation (CHG)を起こす。

CSRはレーザーパルスとの相互作用によって電子バンチ上に形成されるレーザーパルスエンベロープに従った密度微細構造から偏向電磁石中で放射され

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

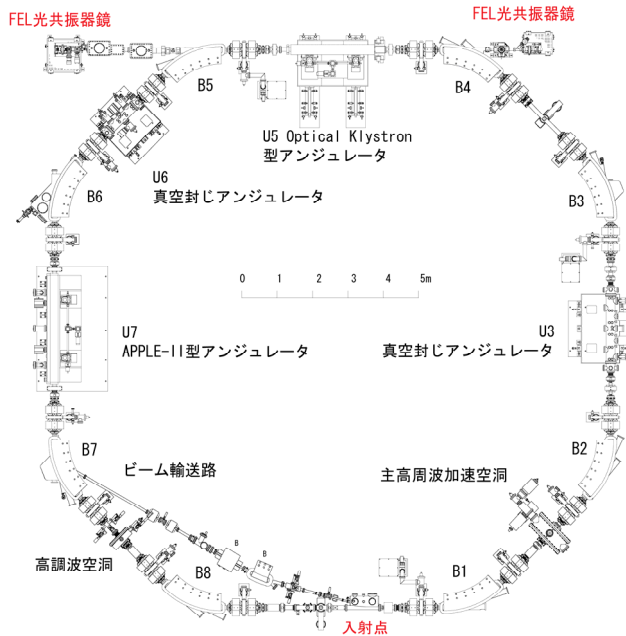


図1. 現在の電子蓄積リング概略図。現在、新たに挿入光源を導入可能な長直線部は存在しない。

るコヒーレント光である。これまでに、短パルスレーザーを用いて100fs程度の電子粗密度領域を作り、広帯域のTHz光を生成することに成功している<sup>[9]</sup>。さらに、干渉計により周期的な振幅変調を与えたレーザーパルスを用いて周期的な粗密度領域を作り、単色THz光を取り出すことにも成功した<sup>[10]</sup>。加えてレーザーパルスの振幅変調周期を変えることで単色THz光の波長を制御することにも成功した。

電子バンチにはレーザー波長と同一の周期密度変調も与えられる。アンジュレータ磁場内での増幅過程を通して高次成分も励起される。これにより直線部においてコヒーレントな高次高調波を取り出すことができる。これまでに3倍波(266 nm)の生成<sup>[11]</sup>、円偏光CHGの生成<sup>[12]</sup>に成功するとともに、CHGの基礎研究<sup>[13]</sup>も進めている。最近では、真空紫外域の観測系を整備し、より高次のCHGの検出にも成功した<sup>[14]</sup>。

### 3. UVSOR-II改造計画

UVSOR-IIにおけるコヒーレント光源開発は、量子ビーム基盤技術開発プログラムに採択され、2008年度から5カ年計画で研究が進められている。計画には蓄積リングの一部の改造と新しい直線部の創出、新アンジュレータの導入、レーザー装置の高度化、専用ビームラインの建設が含まれる。

#### 3.1 入射点の移動による新たな長直線部の創出

図2に改造後の電子蓄積リングの概略図を示す。UVSOR-IIには全長1.5mの短直線部と全長4mの長直線部がそれぞれ4箇所あり、長直線部には3台の挿入光源および入射点が配置されている。UVSOR-II改造計画では、入射点を短直線部へと移動することによ

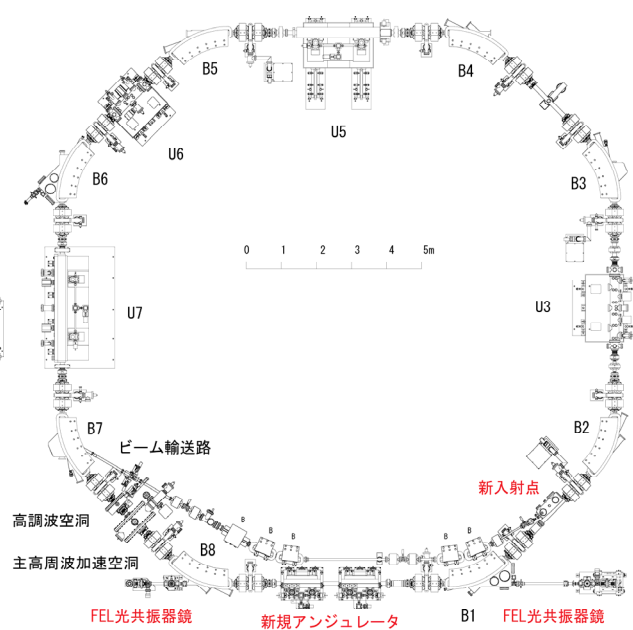


図2. 入射点移動後の電子蓄積リング概略図。新たに可動型のアンジュレータ架台を導入して、レーザー光とCHGとを分離する計画である。

て創出する新たな長直線部においてコヒーレント光源を発展させて、専用のビームラインを開発し、利用実験の開始を目指す。

#### 3.2 コヒーレント光源開発のための挿入光源開発

新規に創出する長直線部には、FELを含めたコヒーレント光源開発・利用に最適な挿入光源の導入を進めている<sup>[14]</sup>。FELだけでなくCHG、CSRにも適したモジュレータ・バンチャ・ラディエータ分離式の光クライストロン型アンジュレータを採用することとした。さらに可変偏光型とし、磁気回路構成としてはApple-II型を採用した。また、CHGは外部挿入レーザーと同軸に放射され、挿入レーザー光とCHGとの分離は容易ではない。そこで、モジュレータ部とラディエータ部との軸を水平面内で折り曲げ可能な機構を備えることで、同軸で放射されるCHGと入射レーザー光とを分離することとした。これによりCHGの純化と高強度化が期待できる。

#### 3.2 レーザーシステムの増強

これまでCSRおよびCHGの生成は、繰り返し周波数1kHz、エネルギー $\geq 2\text{mJ/pulse}$ 、パルス幅 $\geq 130\text{fs}$ (半値全幅)のレーザーシステム(発振器COHERENT社製Mira-900-Fおよび再生増幅器Legend-F-HE等)を用いて行ってきた。今後、CHGやCSRのユーザー利用を目指すにあたっては、コヒーレント光源の高出力化が一つの鍵となる。そのためには電子ビーム電流値とレーザーパルスエネルギーの増大が必要となる。そこで、蓄積電流の増大を目指したトップアップ運転の準備とともに<sup>[5]</sup>、レーザーシス

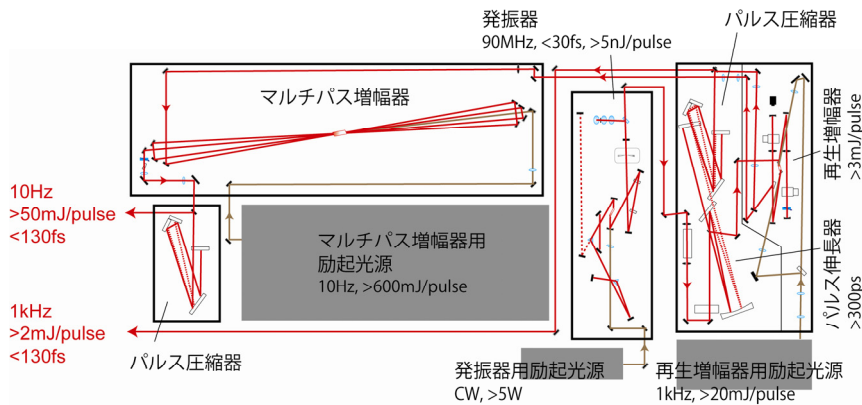


図3. 現在のレーザーシステム概略図。2008年度にマルチパス増幅器の導入を行い、繰り返し周波数10Hzで50mJ/pulseまで、1kHzで2mJ/pulse程度までの発振が可能となった。

システムの高度化を進めている。

2008年度にはマルチパス増幅器：COHERENT社製 Hydra-50 および励起光源：COHERENT社製 Powerlite8000-Pump、パルス圧縮器：COHERENT社製 COMP-100Fの導入を終え、エネルギー $\geq 50\text{mJ/pulse}$ 、繰り返し10Hz、パルス幅 $\geq 130\text{fs}$ (半値全幅)のレーザーパルスが利用可能になった(図3)。これによりCHGにおいてさらに高次の高調波生成が期待できるとともに、CHGを起こすのに必要な強度を持った高調波生成してシード光に用いることも可能となった。

2009年度には増幅器：COHERENT社製 Legend-HE-Cryo-10 相当システムを導入することで、繰り返し周波数1 kHzのシステムをエネルギー $\geq 10\text{mJ/pulse}$ へと増強する計画である。

#### 4. 改造スケジュール

UVSOR-IIの改造計画は今後、2009年度に新規アンジュレータのモジュレータ部の製作、繰り返し周波数1kHzのレーザーシステムのエネルギー $10\text{mJ/pulse}$ への増強を行い、2010年3月から3カ月程度運転を停止し、入射点の移動、直線部の整備などを行う予定である。

2010年度にはラディエータ部の製作、THzビームラインの整備を開始し、2011年度よりVUVビームラインの整備を開始するとともにCSRおよびCHGの利用実験を開始する計画である。

#### 5. 謝辞

本研究は量子ビーム基盤技術開発プログラムの支援を得て行われた。また、一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(基盤研究(B), 15360039)の支援の下に行われた。

#### 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. 879 (2007), 49-52.

[3] M. Katoh et al., "New Lattice for UVSOR", NIM A 467-468 (2001), 68-71.  
 [4] A. Mochihashi et al., "Upgrade of Main RF Cavity at UVSOR Storage Ring", Proc. EPAC2006, (2006, Edinburgh), 1268-1270.  
 [5] H. Zen et al., "Present status of UVSOR-II injector", in this meeting.  
 [6] S. Kimura et al., "Design of a helical undulator for UVSOR", J. Electron Spectrosc. Relat. Phonom., 80 (1996) 437-440.  
 [7] M. Hosaka et al., "Upgrade of the UVSOR storage ring FEL", NIM A 528 (2004), 291-295; M. Hosaka et al., "High Power Deep UV Lasing on the UVSOR-II Storage Ring FEL", Proc. FEL2006 (2006, Berlin), 368-370.  
 [8] T. Gejo et al., "The investigation of excited states of Xe atoms and dimmers by synchronization of FEL and SR pulses at UVSOR", NIM A 528 (2004), 627-631; M. Hosaka et al., "Status and Prospects of User Application of the UVSOR Storage Ring Free Electron Laser", AIP Conf. Proc. 705 (2004) 61-64; T. Nakagawa et al., "Measurements of threshold photoemission magnetic dichroism using ultraviolet lasers and a photoelastic modulator", Rev. Sci. Instr. 78 (2007), 023907. J. Takahashi, et al., "Chirality Emergence in Thin Solid Films of Amino Acids by Polarized Light from Synchrotron Radiation and Free Electron Laser", Int. J. of Molecular Sci., 10 (2009), 3044-3064.  
 [9] M. Shimada et al., "Coherent Terahertz Radiation at UVSOR-II", Jpn. J. Appl. Phys. 46, No. 12 (2007), 7939-7944.  
 [10] S. Bielawski et al., "Tunable narrowband terahertz emission from mastered laser-electron beam interaction", Nature Phys. 4 (2008), 390-393.  
 [11] M. Labat et al., "Coherent harmonic generation on UVSOR-II storage ring", Eur. Phys. J. D. e2007-00177-6 (2007).  
 [12] M. Labat et al., "Optimization of a Seeded Free-Electron Laser with Helical Undulators", Phys. Rev. Lett. 101 (2008), 164803.  
 [13] M. Labat et al., "Observation of Synchrotron Sidebands in a Storage-Ring-Based Seeded Free Electron Laser", Phys. Rev. Lett. 102 (2009), 014801.  
 [14] T. Tanikawa et al., "Spectral of VUV coherent light source by laser seeding at UVSOR-II", in this meeting.