

PRESENT STATUS OF UVSOR-II INJECTOR

Heishun Zen^{1,A,B)}, Kenji Hayashi^{A)}, Masahiro Adachi^{A,B)}, Junichiro Yamazaki^{A)},
Naoto Yamamoto^{C)}, Masahito Hosaka^{C)}, Yoshihumi Takashima^{C)}, Masahiro Katoh^{A,B,C)}

A) UVSOR facility, Institute for Molecular Science, National Institute of Nature Science
38 Nishigo-naka, Myoudaiji, Okazaki, Aichi, 444-8585

B) School of Physical Sciences, The Graduate School of Advanced Studies (Sokendai)
38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki, 444-8585

C) Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603 Japan
2-62-8-507 Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo, 170-0013

Abstract

The UVSOR-II injector consists of a 15 MeV linac and a 750 MeV booster synchrotron. The full energy injection and test run of top-up operation were started from 2007. We have succeeded to keep the stored current around 300 mA for twelve hours in the UVSOR-II storage ring. However, sometimes the stored current gets lower due to reduction of injection rate caused by long term fluctuation of the injector. A feedback control system has been introduced to stabilize an electric septum which is used to inject electron beams from the linac to the synchrotron. By the feedback system, stability of the injection rate has been improved. From this fiscal year, study of injection with short electron pulses from the linac was newly started. We have already succeeded in single bunch injection. The single bunch injection will be used for top-up users runs in single bunch mode and also for free electron laser run and machine studies.

UVSOR入射器の現状

1. はじめに

UVSOR入射器は、15MeVの線形加速器とブースターシンクロトロンにより構成される。ブースターシンクロトロンは2006年の電磁石電源の更新により、電子バンチを750MeVまで加速することが可能となり、2007年の輸送路偏向電磁石電源の更新により、蓄積リングへのフルエネルギー入射が可能となった[1]。線形加速器、ブースターシンクロトロンの概略図を図1に、典型的な運転パラメータを表1に示す。

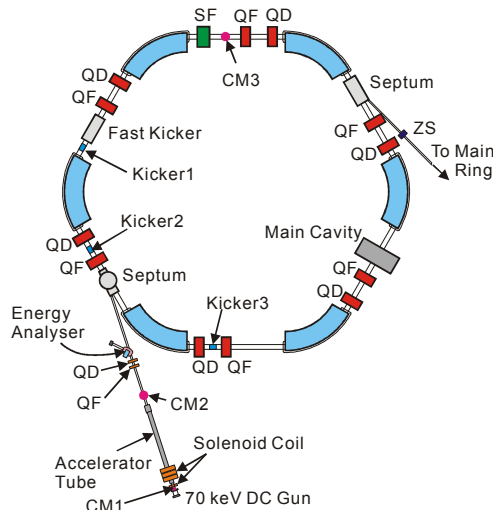


図1：入射器の概略図

表1：典型的な運転パラメータ

Linac	
RF frequency	2856 MHz
Beam Energy	15 MeV
Energy Spread	1.6 %
Beam Current	~100 mA
Macro-pulse Duration	1.5 μs
Booster Synchrotron	
Maximum Beam Energy	750 MeV
Injection Energy	15 MeV
Beam Current	~32 mA
Circumference	26.6 m
RF Frequency	90.1 MHz
Harmonic Number	8
Bending Radius	1.8 m
Lattice	FODO x 8
Horizontal Betatron Tune	2.25 (designed)
Vertical Betatron Tune	1.25 (designed)
Momentum Compaction	0.138
Repetition Rate	1 Hz (750 MeV)

UVSOR-IIでは2007年の更新以降、マルチバンチモードにおいてTop-up運転に向け試験運転を行っている。また、本年度よりシングルバンチモードでのTop-up運転に向け、電子銃の短パルス運転に基づくシングルバンチ入射試験を開始した。本論文ではTop-up運転時の安定性と安定化、およびシングルバンチ入射試験の現状を報告する。

¹ Email: zen@ims.ac.jp

2. Top-up試験運転

現在、UVSORでは毎週木曜日の午後9時から翌日金曜日の午前9時にかけてTop-up試験運転を行っている。Top-up運転においては一分間のうち電子の入射が最大12秒間行われ、12秒間の間にビーム電流が303mAを超過した場合には入射を停止するという運転形態をとっている。

図2に2009年6月4-5日の蓄積電流推移を示す。蓄積電流は概ね300mAに保たれているが、ブースターシンクロトロンを周回する電荷量の変動により、蓄積電流量の増減がみられる。ブースターシンクロトロンの周回電荷量の変動は主にLinacの高周波加速管へ供給される高周波電力の変動および入射用静電Septumの電圧変動によるものと考えられる。そこで、入射Septum電圧のfeedback制御を今年7月より開始した。図3にfeedback使用時、不使用時のSeptum電圧とブースターシンクロトロン周回電荷量の時間変化を示す。図よりfeedback不使用時にはSeptum電圧の大きなドリフトが観測され、それによってブースターシンクロトロン周回電荷量の低下が著しいこと、またfeedback制御によりドリフトが抑制され、周回電荷量を保つことが出来ていることが分かる。加えて、クライストロン出力の変動によりブースターシンクロトロンの周回電荷量変動が引き起こされていることが分かる。このことから、今後はクライストロン出力補償するfeedback制御を導入し更に安定した入射器・Top-up運転を目指し開発を進めていく。

3. シングルバンチ入射

3.1 概要

これまで、UVSORではRF Knockoutによるバンチ純化法を用いてシングルバンチ状態を達成してきた[2]。この手法では、蓄積リングに入射された4バンチの内、不要な3バンチを蓄積リング中でダンプしているため、各ビームラインにおける発生放射線量が大きく、シングルバンチ状態でのTop-upユーザー運転は困難であった。そこで本年度より、入射器でシングルバンチを作り出し、それを蓄積リングに入射するシングルバンチ入射の調整運転を開始した。また、この入射法は近年UVSORで行われているコヒーレント光源開発に対しても実験の簡便化やTop-up状態での実験等、大きな貢献が期待される。

UVSORにおいて使用しているDC電子銃には長パルス(2 μ s)運転、短パルス(5ns以下)運転用の二つのGrid Pulser電源が備わっている。短パルス用Grid Pulser電源を用いて電子銃から生成された短パルス電子ビームは進行波型加速管にて15 MeVまで加速され、マクロパルス幅5ns以下、マイクロパルス繰り返し周波数2856MHzのパルストレインとなり、ブースターシンクロトロンに入射される。ブースターシンクロトロンのRF周波数は90.1MHzであり、1バケット当たり11nsの時間幅を有するため、Linacにより加速されたマクロパルス中の電子バンチ全てが1バケット中に入射され、750MeVまで加速される。安定

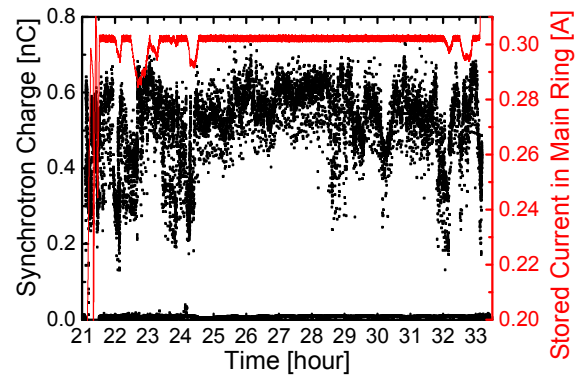


図2：2009年6月4日から5日にかけてTop-Up運転時のシンクロトロン周回電荷量と蓄積電流の推移

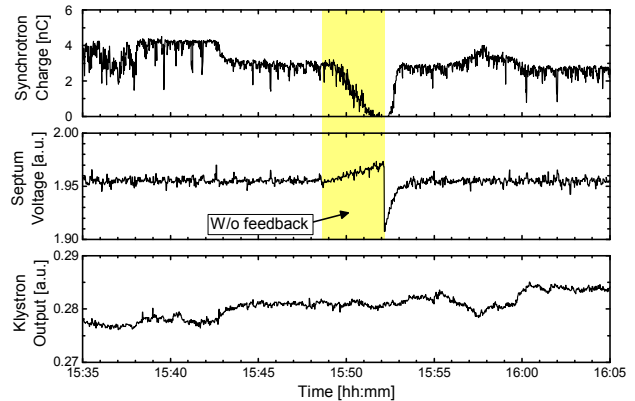


図3：ブースターシンクロトロン周回電荷量・入射Septum電圧・クライストロン出力の時間変化

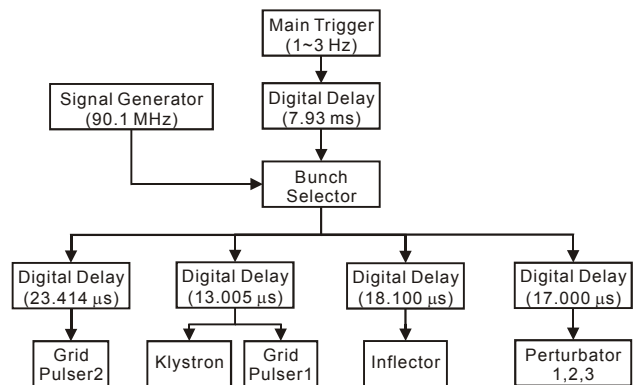


図4：タイミング系概略図

に狙ったバケットに電子を入射するためには、ブースターシンクロトロンの90.1MHz高周波と電子銃・Linac用クライストロン・入射用Septum・Kicker1、2、3の運転タイミングの同期が不可欠である。

3.2 タイミング系の更新

シンクロトロン高周波と線形加速器およびブースターシンクロトロンの入射系の同期のために、タイミング系の更新を行った。図4に更新後のタイミング系を示す。蓄積リングに存在する16バケットの内指定バケットと同期したタイミング信号がBunch Selectorにより生成され、適切な時間遅延を与えられた後、電子銃・クライストロン・入射用Septum・

Kickerへ配られる。本更新以降、マルチバンチ運転においても同様のタイミング系を使用している。

3.3 ビーム電流波形

図1のCM1、CM2を用いて計測した電子銃短パルス運転時のビーム電流波形を図5に示す。電子銃直後・加速管後でのパルス幅はそれぞれ約5ns・6nsであった。また、加速管後のビーム波形には加速周波数2856MHzに対応する振幅変動が観測された。

図1のCM3を用いて計測したシンクロトロン周回電子の電流波形を図6に示す。電流波形のピーク間隔はシンクロトロン1周に対応する88nsであり、シングルバンチ周回が確認された。

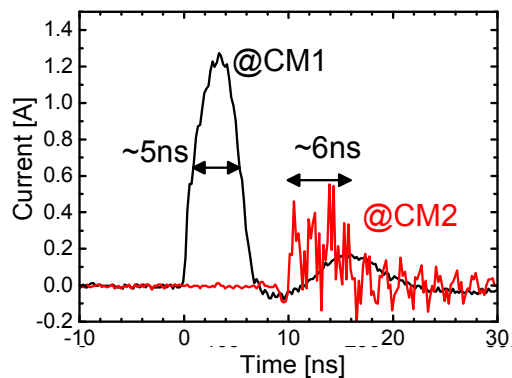


図5：電子銃短パルス運転時の電流波形

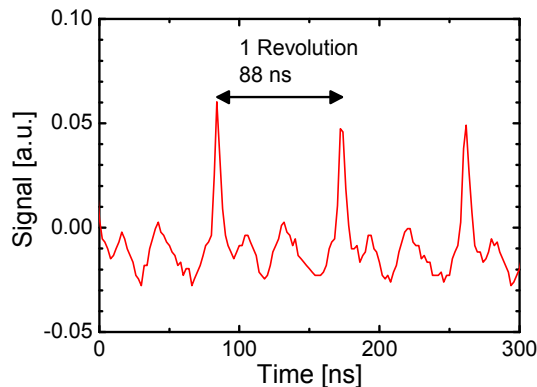


図6：シンクロトロン周回電流波形

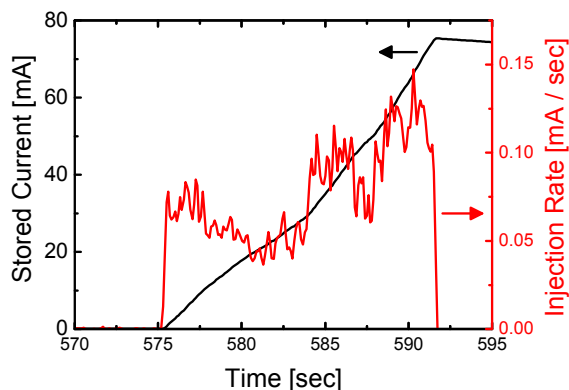


図7：シングルバンチ入射時の蓄積電流と入射レートの推移

3.4 入射レートと純度

図7にシングルバンチ入射時の蓄積電流および入射レートの推移を示す。図より、入射レートは約0.05~0.15mA/sであり、約17分間で76mAまでの蓄積が可能であった。この入射レートは従来のRF Knockoutを用いて行われていたシングルバンチ運転時の入射レートと同等であり、実用に耐えることが確認された。

また、前記のシングルバンチ入射法を用いて蓄積リングに20mAまで蓄積し、フォトンカウンティング法[3]によって純度を計測した結果を図8に示す。前方バケット、後方バケットへ入射された電荷量は十分に少なく、指定バケットのみへの入射が正しく行われていることが分かる。

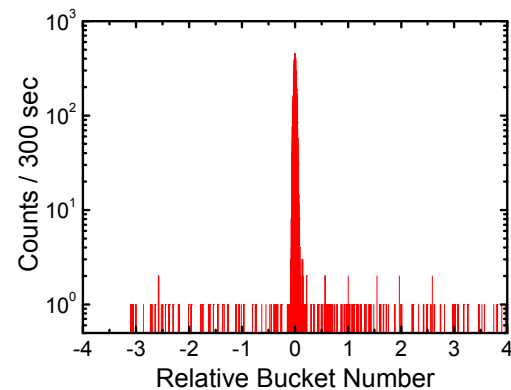


図8：シングルバンチ入射時の純度計測結果

4. まとめ

UVSOR-IIにおけるTop-up試験運転は概ね良好で、12時間の間ほぼ一定に蓄積電流を保っているが、入射器の運転条件の変動により、時折、蓄積電流が低下してしまう。入射器の変動抑制のため、Linacからブースターシンクロトロンへの入射に用いられている静電Septumの安定化を行い、ブースターシンクロトロン周回電荷量の安定度の向上を行った。また、電子銃短パルス運転に基づくシングルバンチ入射試験を行い、0.05~0.15mA/secの入射レートにて純度良く入射可能であることが分かった。今後はクライストロン出力変動補償により入射器の安定性の向上を行っていくと共に、シングルバンチTop-up運転に向けて運転調整を進めていく予定である。

参考文献

- [1] M. Adachi, et al., "Status of UVSOR-II Accelerators; 2008", Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp.716-718, 2008.
- [2] A. Mochihashi, et al., "Improvement of RF-KO System in UVSOR," UVSOR Activity Report 2002, 2002
- [3] T. Obina, et al., "Measurement of the longitudinal bunch structure in the Photon Factory positron storage ring with a photon counting method," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 354, pp.204-214, 1995.