

あいちSRにおけるトップアップ運転の現状

PRESENT STATUS OF TOP-UP OPERATION AT AICHI SR STORAGE RING

山本尚人 ^{*A)}、保坂将人 ^{*A)}、高野琢 ^{A)}、真野篤志 ^{A)}、高嶋圭史 ^{A)}、加藤政博 ^{B)}
 N. Yamamoto ^{*A)}, M. Hosaka ^{A)}, T. Takano ^{A)}, A. Mano ^{A)}, Y. Takashima ^{A)}, M. Katoh ^{B)}
^{A)}NUSR, Nagoya University
^{B)}UVSOR, Institute for Molecular Science

Abstract

Since March of 2013 the user operation has been started with the top-up injection mode of the storage ring at Aich SR. The accelerators of Aichi SR consisted with a 50 MeV linac, an 1.2 GeV full energy booster and the storage ring. The operation current of the storage ring is 300 mA and the injection rate is up to 1 Hz. The single bunch injection scheme is employed and the electron beam can be injected into the arbitrary bucket of the storage ring. Up to now, the stability of 0.2 % for the stored beam current was achieved.

1. はじめに

あいちシンクロトロン光センター（あいちSR、旧称：中部シンクロトロン光利用施設）では2012年3月よりコミッションを開始し2013年3月より正式に供用開始を開始した。^[1] 当センターは公益財団法人科学技術交流財団^[2]を運営母体としており、名古屋大学シンクロトロン光研究センターの光源部門は加速器の日常の調整及び運転を担当している。あいちSRでは当初、減衰モードでの供用開始を予定していたが、コミッションが当初の想定より早く進んだこと、ビームライン側からの要望が多かった事を受け、供用開始当初からトップアップモードでの運転を行うこととなった。今年度、あいちSRでは火曜日から金曜日の10:00-18:30に蓄積電流300 mAのトップアップモードにおいて営業運転を行っている。

あいちSRの光源加速器は100 keVの直流型熱電子銃、50 MeVライナック、1.2 GeVのブースターシンクロトロン、超伝導偏向電磁石を用いた蓄積リングから構成される。^[3] 特にあいちSRでは加速器の検討段階からトップアップ運転を考慮しており、ブースターシンクロトロンをフルエネルギーにするなど装置側としては対応済みであったため、一部制御システムに改良を施すだけでトップアップ運転を実現することが可能であった。

あいちSRでは蓄積リングへのビーム入射はキッカー電磁石4台を用いたバンプ入射を行っている。現状ビームラインは全てバンプ起動の外側に設置されているため、大きな問題は生じていないが、今後予定されているビームラインの増設に対応するためには入射手法そのものを見直す必要がある。このため、我々はパルス多極電磁石を用いたビーム入射を検討している。

本論文においては、あいちSRにおける現状の入射器及びトップアップ運転について紹介する。

2. 光源加速器と入射の概要

光源加速器群の設計パラメータを表1に、各装置の配置図を図1に示す。蓄積リングへのビーム入射は、蓄

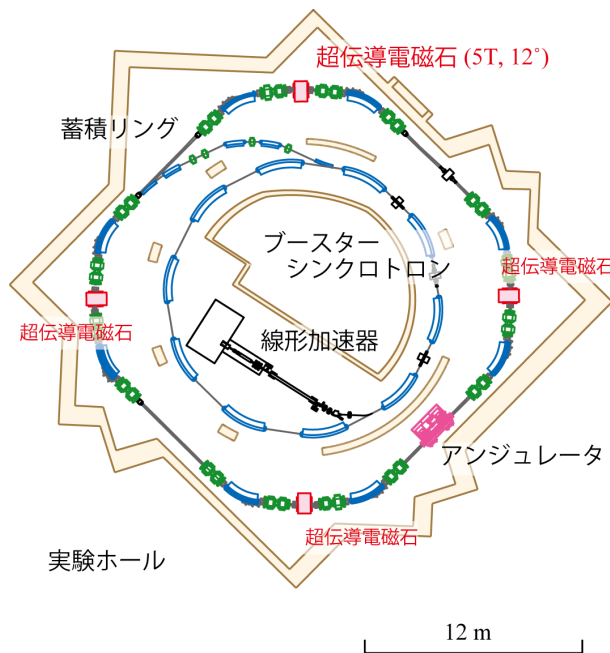


Figure 1: 光源加速器の概要図。蓄積リング、ブースターシンクロトロン、線形加速器から成る。

積リングの任意の1バケットに同期したタイミング信号を元に最大1 Hzにて行われる。電子銃ではタイミング信号を受けてパルス幅1 nsの100 keV電子ビームが生成される。生成された電子ビームは同じくタイミング信号に同期したRFにより2,856 MHzに対し2つないしは3つのバンチとなりエネルギー50 MeVでブースターシンクロトロンに入射される。ライナックからの電子ビームはブースターシンクロトロンにおいて周回する間に499.6 MHzに対するシングルバンチとなり、約600 msでエネルギー1.2 GeVまで加速される。

蓄積リングには4台の入射用キッカー電磁石が設置されており、これら電磁石により励起されたバンプ軌道の周りに1.2 GeVビームが入射される。バンプ軌道の励起時間は約2.2 μs(蓄積ビームの9周に相当)であり、

* naoto@nagoya-u.jp

Table 1: 光源加速器の設計パラメータ

Storage ring	
Electron energy	1.2 GeV
Circumference	72 m
Current	>300 mA
Natural emittance	53 nm-rad
Betatron tune	(4.72, 3.23)
RF frequency	499.654 MHz
RF voltage	500 kV
RF bucket height	>0.990 %
Harmonics number	120
Energy spread	8.41×10^{-4}
Magnetic lattice	Triple Bend Cell \times 4
Booster synchrotron	
Electron energy	50 MeV – 1.2 GeV
Circumference	48 m
Current	>5 mA
Natural emittance	200 nm-rad
RF frequency	499.654 MHz
Magnetic lattice	FODO Cell
Harmonics number	80
Injection scheme	On-axis (single turn)
Repetition rate	\sim 1Hz
Injector linac	
Beam energy	50 MeV
Charge per pulse	>1 nC
Normalized Emittance	$< 100 \pi$ mm.mrad
Energy Spread	$< 5 \times 10^3$
Pulse length	1 ns
RF frequency	2,856 MHz
Repetition rate	\sim 1Hz

Table 2: 入射における現状の達成状況

	設計(目標)値	達成値(平均)
ライナック出射電流	1 nC	1 nC
ブースター入射効率	-	60 %
ブースター加速効率	-	40 %
ブースター入射加速効率	30 %	24 %
蓄積リング入射効率	80 %	50 %
蓄積リング入射電流	1 mA	0.4 mA

比較的大きくダイナミックアパーチャが想定より小さくなっていることが原因ではないかと考えている。特にあいちSRでは超伝導電磁石を偏向電磁石に採用しているため六極成分が大きく、また垂直方向の不安定性を抑えるために線形クロマティシティを高め(+1.0,+4.9)に設定し運転を行なっている。

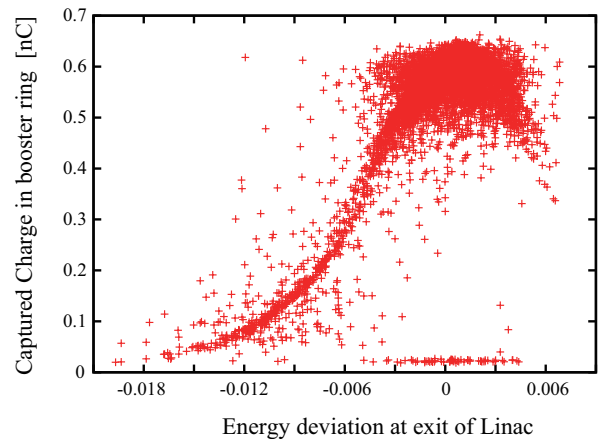


Figure 2: 特定の一日のライナックビームエネルギーとブースター入射効率の関係

電子ビームの減衰時間は約 5 ms である。

設計上において各効率は、ライナックからブースターシンクロトロンへの入射・加速効率が 30 %、ブースターシンクロトロンから蓄積リングへの移送・入射効率が 80 %となっている。ライナックからの出射電荷量は 1 nC であるため、上記想定が実現した場合には一回の入射で 1 mA が蓄積リングに入射されることになる。

3. 入射器の現状

現在のあいちSRにおける電子ビームの入射について達成状況を設計値と比較して表.2 に示す。ライナックの出射電流値およびブースターの入射加速効率は設計値と比べかなり近い値が達成されているが、ブースターシンクロトロンから蓄積リングへ入射効率が未だ設計値を満たしていない。これはブースターシンクロトロンと蓄積リングを結ぶ高エネルギー輸送路において一部電子ビームを損失していること、蓄積ビームの六極成分が

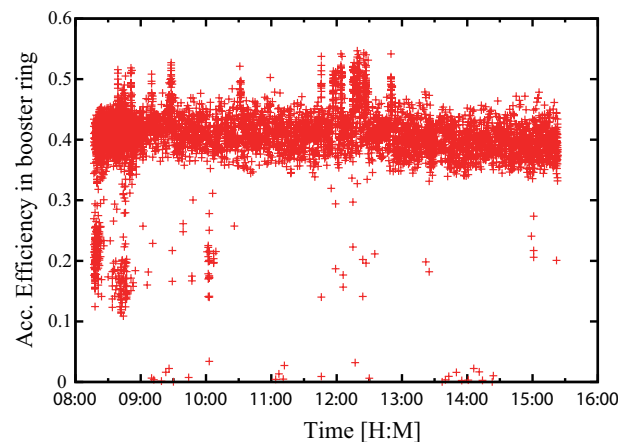


Figure 3: 特定の一日のブースター加速効率

図.2 と 3 に光源加速器供用運転中のある一日におけるライナックビームエネルギーとブースター入射効率の関係、ブースター加速効率をそれぞれ示す。図.2 は、ライ

ナックからの出射ビームのエネルギーが最大で 1.8% 程度ふらつくことを示している。このふらつきは比較的短い時間周期 (~10 秒程度) において一日にわたって存在しており、原因はライナックのクライストロンモジュレータの安定性によるものだと考えている。これに対し図.3 で示すブースターの加速効率是一日においてゆるやかな右下がりの傾向はあるが、ほぼ安定しており大きな変動はみられない。

これらのことから、あいち SR における入射の安定性は、ライナック、とくにクライストロン出力安定性に大きく依存しているといえる。今後、トップアップ運転中の蓄積電流値安定性を高めるにはライナックの安定性を高めることが重要である。

4. トップアップ運転の現状

4.1 蓄積電流値の安定性

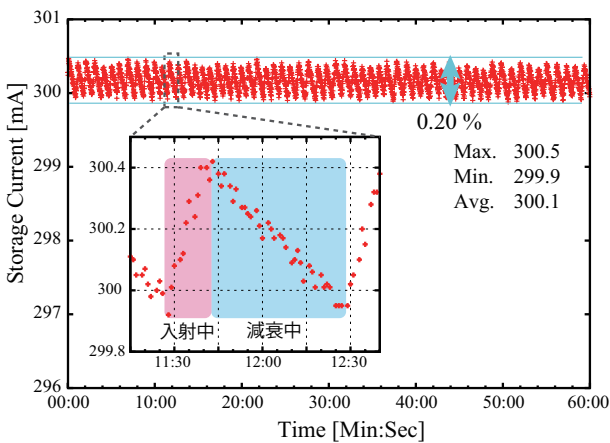


Figure 4: 特定の日の 2 時間の蓄積電流値変動の様子

図.4 に光源加速器供用運転中のある 2 時間における蓄積電流値変動の様子を示す。蓄積電流値は平均 300.1 mA に対し、最大 300.5 mA、最小 299.9 mA の間で変動しており、Peak-to-Peak での電流値変動幅は 0.2 % となる。最近の蓄積電流値 300 mA に対するビーム寿命は約 490 分程度であり、図.4 中に拡大して示すように、トップアップ入射は 1 分間おきの約 15 秒間の間隔で実行されている。また、あいち SR ではダストトラッピングと見られるビームロスが不定期に観測されている。2013 年 7 月においてわずかなビームロスも含めた発生数は 28 回であり、トップアップ運転を行う上においてこれら突発的な現象も無視できない状況となっている。

4.2 入射キッカーによる蓄積ビーム変動

図.5 に入射キッカー励磁による蓄積ビームの変動の様子を示す。本データは入射キッカーによりバンブ軌道を励起した際に蓄積ビームに励起されるビーム軌道の変動の様子を、バンブ軌道の外側において測定したものである。データはビーム位置検出器 (ボタン電極) からの出力をオシロスコープ (Lecroy DSO WavePro760Zi) を用いて計測し、ターンバイターンとして解析を行った。図中、矢印で示した位置が入射キッカーを励磁したタイミングであり、それ以前の時間に見られる位置のパラツキが計測・解析により生じたエラーだと考えられる。

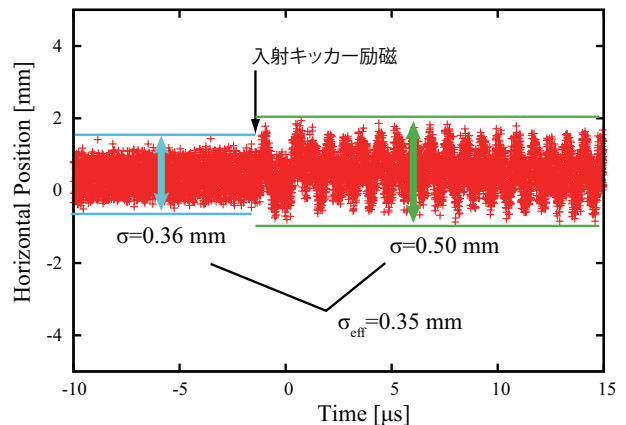


Figure 5: 入射キッカー励磁による蓄積ビームの変動

図.5 より入射キッカー励磁前に見られる位置のパラツキ (0.36 mm) が入射キッカー励磁後に 0.50 mm まで大きくなっている事がわかる。この結果より、入射キッカーにより励起されたビーム振幅は 0.35 mm と見積もられる。現状、あいち SR で行われているビームライン実験は積分方式が多く、微小な光の変動はあまり気にならないため、大きな問題とはなっていないが、この値は実効的なビームサイズとほぼ同程度であり、入射キッカーの調整が未だ十分ではない事を示している。

5. まとめ

あいち SR では当初の計画を前倒しし、供用開始に合わせて蓄積リングのトップアップ運転を開始した。現状、ダストトラッピング等によるビームロスを除くと 0.2% の安定度でトップアップ運転が維持できている。ただし、入射システムの調整、ダストトラッピングの問題など、数多くの問題が残されている。

また、冒頭で述べたようにあいち SR では今後のビームライン増設に備え、蓄積リング入射方式の変更も計画されている。我々はバンブ入射に代わり、パルス多極電磁石を用いた入射を近い将来に導入する予定である。

参考文献

- [1] Naoto Yamamoto, Masahito Hosaka, Kiyoshi Takami, Takumi Takano, Atsushi Mano, Hiroyuki MORIMOTO, Yoshifumi TAKASHIMA, and Masahiro Katoh. Beam commissioning of central japan synchrotron radiation facility. 加速器, 9(4):223–228, 2012.
- [2] <http://www.astf.or.jp/>.
- [3] N. Yamamoto, Y. Takashima, M. Hosaka, H. Morimoto, K. Takami, Y. Hori, S. Sasaki, S. Koda, and M. Katoh. Accelerators of the Central Japan Synchrotron Radiation Facility Project. In *Proceedings of IPAC10*, pages 2567–2569, 2010.