

# INJECTION BUMP WAVEFORM MONITOR AT THE NEWSUBARU

Takahide Shinomoto<sup>A)</sup>, Satoshi Hashimoto<sup>B)</sup>, Yasuyuki Minagawa<sup>A)</sup>, Shuji Miyamoto<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup>JASRI/SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

<sup>B)</sup>LASTI/NewSUBARU, University of Hyogo, 1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

## Abstract

The stable beam injection with a high efficiency is one of the important issues for the stable top-up operation of a storage ring. In the NewSUBARU storage ring there have been some injection errors due to failures of injection bump magnets. In order to watch the stability of injection bump waveforms we have developed the bump waveform monitor, where acquired bump waveforms are inspected in real-time and saved in a PC. We also performed statistical research in the stability of bump waveforms. In this paper we report the bump waveform monitor and the stability of injection bump magnets in the NewSUBARU.

## NewSUBARU放射光施設における入射バンパ波形安定性評価

### 1. はじめに

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 (LASTI) のNewSUBARU放射光施設では、2000年から放射光利用運転を開始し、2003年6月から利用運転中のTop-Up運転を実施している。Top-Up運転とはビーム入射を随時行い、蓄積電流値をほぼ一定に保つ運転方式である。ビームラインで観測される放射光強度が一定になる等の利点がある為、多くの施設でTop-Up運転への取り組みが行われている。NewSUBARUではSPring-8線形加速器からエネルギー1GeVのビームを入射する。1GeVでの利用運転中は通常、Top-up運転を行い、蓄積電流は230mAに保たれる。表1にNewSUBARUの主要パラメータを示す。

表1. NewSUBARUの主要パラメータ

パラメータ	
蓄積エネルギー	0.5~1.5GeV
入射エネルギー	1.0GeV
リング周長	118.73m
蓄積電流 (1GeV Top-up時)	230mA
最大入射繰り返し	1Hz
入射効率	<90%

安定したTop-Up運転を行う為には、入射ビーム、セプタム電磁石、バンパ電磁石等の長期間にわたる安定性が必要となる。しかしNewSUBARUではバンパ電磁石のミスファイアが原因で、ビーム入射が出来ず、Top-Up運転を中断する事がこれまでに数回あった。Top-up運転中のバンパ波形異常による入射失敗を早期に検知する為、バンパ波形を常時モニターする事が要求される。

バンパ波形の異常の有無をリアルタイムに監視するために、バンパ波形データの取得、表示、リアル

タイム解析、保存を行うバンパ波形監視システムを開発した[1]。また保存した波形データを用いて統計的解析を行うプログラムを開発し、波形のばらつき具合を評価した。

本報告では我々の開発した入射バンパ波形モニターシステムの概要とNewSUBARUにおける入射バンパ波形の安定性評価について述べる。

### 2. システムの概要

#### 2-1 入射バンパ波形モニターシステム

電子ビームはバンパ電磁石とセプタム電磁石を使用して蓄積リングに入射される。4台のバンパ電磁石電源から出力されるモニター波形をオシロスコープ (Agilent TDS3054B) を用いて、サンプリング速度2.5GS/s、1波形当たり10000ポイントで取得する。バンパ波形を取得する為のトリガ信号として入射タイミング用信号を用いた。オシロスコープは GPIB-Ethernet Converter に接続され、専用のPrivate LANを経由して制御室内のPCと通信を行う (図1)。

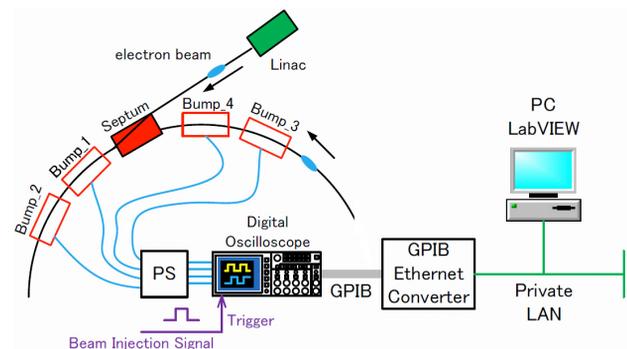


図1. 入射バンパ波形モニターシステム

蓄積電流の積み上げ時は1Hzでビーム入射を行うので、バンプ波形データの取得、監視、保存の一連の処理は1秒以内に完了することが要求される。

オシロスコープで取得された波形データはPCに転送され、PC上でリアルタイムに波形が表示される。当初はASCII形式で波形データの取得を行っていたが、データ転送に1秒以上時間が掛かり、1Hzでのビーム入射に追従できなかつた。データ転送をBinary形式へ変更する事により、データ量を1/4に削減でき、波形データの転送を0.6秒以内に収める事が出来た。今後、余裕を持たせる為に、0.5秒程度までデータ転送をさらに高速化したいと考えている。

本システムでは転送された波形データの表示と同時に、波形に異常がないかどうかをリアルタイムにチェックする(図2)。測定波形が上限もしくは下限を超えるとシステムは自動的に異常と判断し、PC画面上にアラームを表示する。

また取得した波形データはPC内のハードディスクにASCII形式で保存される。ファイル名には日時が自動的に付けられるが、異常波形発生時にはファイル名の最後にFalseが追加される。

本システムの開発に当たっては、処理の並列化やタイミング調整に工夫を施すことにより、波形データの取得、転送、波形監視、保存の全ての処理を1秒以内で完了する事が可能になり、1Hzでのビーム入射に対応出来た。本システムの開発には、グラフィック型言語であるNational instruments製のLabVIEWを用いた。本システムのユーザーインターフェース画面を図3に示す。

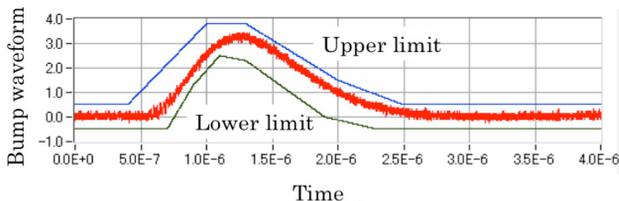


図2 バンプ波形における異常有無の監視

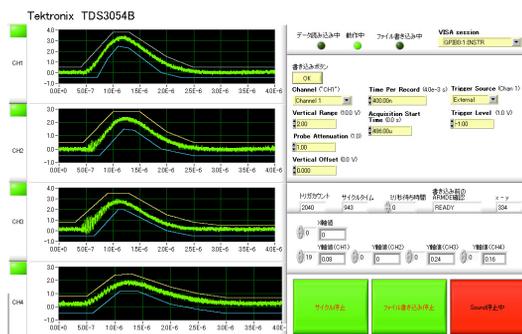


図3 入射バンプ波形モニターシステム画面

## 2-2. バンプ波形データ解析プログラム

NewSUBARUでは通常、1日に2000回以上のビーム入射が行われる。入射バンプ波形モニターシステムで保存した大量の波形データを統計的に解析するために、データ解析プログラム(図4)を開発した。本システムは任意の運転期間の波形データを読み取り、各波形の立ち上り時間、ピーク高さ、ピーク位置を計算する。またそれらの分布を評価して、平均値及び標準偏差を求める事が出来る。

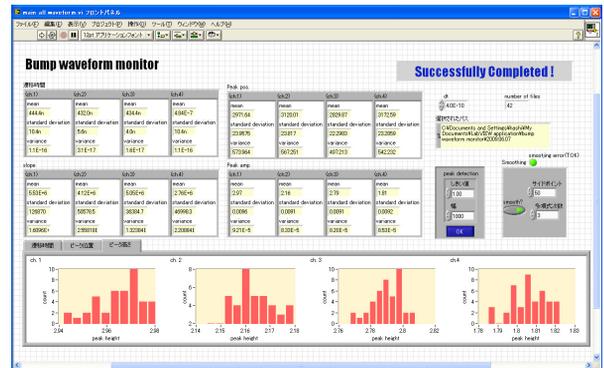


図4 バンプ波形データ解析プログラム画面

## 3. 入射バンプ波形の安定性評価

Top-up運転に悪影響を及ぼすバンプ電磁石の不具合として“バンプ電源から波形が出力されていない”、“波形のばらつき”の2つが考えられる。

### 3-1. バンプ波形モニター出力の線形性

バンプ波形データの取得にはバンプ電源のモニター出力を使用しているため、先ず電源の印可電圧とモニター出力値の線形性を確認した。バンプ高さの設定値を変更しながら、バンプ電磁石を300回励磁して、入射バンプ波形モニターシステムを用いて波形データを取得した。統計解析システムを用いて取得した波形データの平均値を解析した結果、バンプ設定値に対してモニター値は良好な比例関係にある事を確認した(図5)。

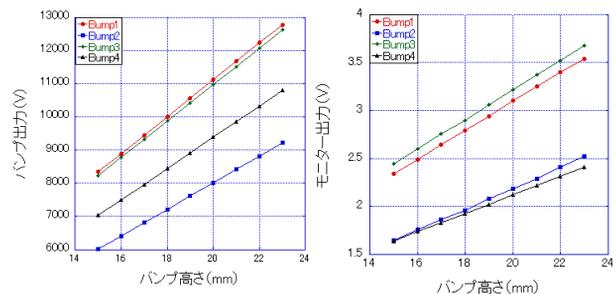


図5 バンプ高さ設定と波形ピークの関係

### 3-2. バンプ波形のミスファイアの頻度

入射バンプ波形を監視した結果、NewSUBARUではバンプ波形が全く出力されていない異常が1日に10回程度発生している事が明らかになった。数日間にわたっての、1日当たりのビーム入射回数及びバンプのミスファイア回数を表2に示す。ビーム入射回数のうち、平均して毎日0.3%程度がバンプ波形の異常により、入射に失敗している事になる。波形異常のほとんどはバンプ電磁石4台とも波形が出力されていなかったが、極まれに1台だけの時もあった。原因は今のところ不明である。

表2. 1日毎の入射回数とバンプのミスファイア回数

Date	Jul. 9	Jul. 10	Jul. 12	Jul. 14	Jul. 15	Jul. 17
入射回数	3207	1895	2093	1617	2185	3858
バンプミス回数	7	5	10	10	6	5
%	0.22	0.26	0.48	0.62	0.27	0.13

### 3-3. 1日におけるバンプ波形のばらつき

ある1日のバンプ (bump\_1) 波形データ (2185 回入射) から、1日におけるバンプ波形のばらつきがどの程度かを評価した結果、ピーク高さとピーク位置の標準偏差は1%程度である事が分かった。表3にそれぞれの平均と標準偏差、図6にばらつきの分布を示す。

表3. 1日におけるバンプ波形のばらつき

	平均	$\sigma$	$\sigma$ (%)
立ち上り時間(ns)	446.1	8.4	1.9
ピーク高さ(V)	1.8	0.0136	0.76
ピーク位置(ns)	3115.9	32.83	1.0

### 3-4. バンプ波形ばらつきの入射効率への影響

バンプ電磁石の設定値からどの程度、波形がずれると入射効率に影響するのかを調べるために、4台のバンプ電磁石の内の1台の設定値を変えながら、ビーム入射を行い、入射効率を計測した。

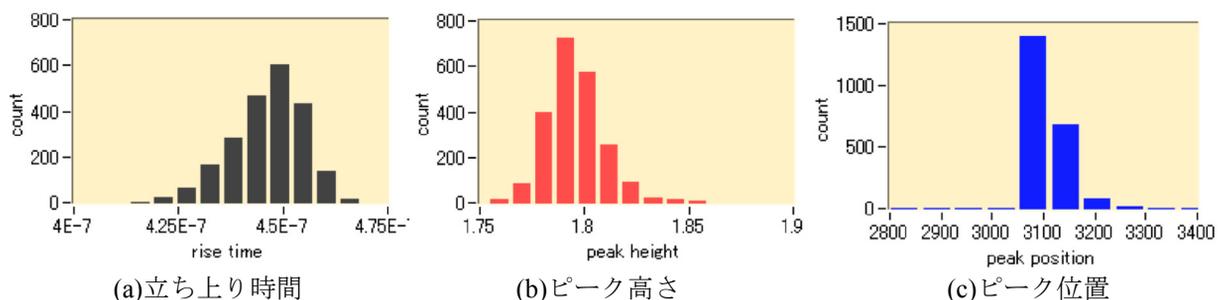


図6. バンプ波形のばらつきの典型的な分布

入射ビームに対するバンプ波形のばらつきの影響を調べるために、バンプ出力電圧を変化させながら入射効率を計測したが、 $\pm 5\%$ まで変化させても入射効率の悪化は観測されなかった。

また200mAまで電流を蓄積した状態でバンプの空打ちを行い、蓄積ビームが削れる量を測定することにより、バンプ波形のばらつきが蓄積ビームに与える影響を評価した。その結果、通常運転で使用しているバンプ設定値からのずれが $\pm 5\%$ 以上になると蓄積ビームを削り始めることが分かった。

従ってバンプ波形のばらつきが $\pm 5\%$ 以内であればビーム入射への影響は全く無く、これはバンプ波形のばらつきである $\pm 1\%$ に比べて十分大きな許容範囲である事が分かった。

## 4. まとめ

安定なTop-up運転の実現には入射バンプ波形の安定性が重要である。NewSUBARUでは入射バンプ波形データの取得、解析、保存を1Hzで行うことが出来る入射バンプ波形モニターシステムを開発した。このシステムにより、バンプ波形の異常の有無を即座に知ることが出来る。

バンプ波形の安定性を評価した結果、バンプ出力電圧が $\pm 5\%$ 変化してもビーム入射には影響は無く、バンプ波形のばらつき ( $\pm 1\%$ ) はこれに比べると十分精度が高く、入射効率のばらつきはバンプ波形のばらつきによる物では無い事が分かった。

また本システムにより、1日に10回程度バンプ電源から波形が出力されていない事を確認出来た。今後、この原因を調査する予定である。

## 5. 謝辞

資料整備の際にご助力を頂きましたJASRI制御・情報部門の川田健二氏に深く感謝いたします。

## 6. 参考文献

[1] S.Hashimoto et al., LASTI Annual Report, vol.9 (2008)