

# IMPROVED STABILITY OF INJECTION BUMP WAVEFORMS AT 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 stability of bump magnets is one of the most important issues for the stable top-up operation of electron storage rings. We have been real-time monitoring of bump waveforms using a bump waveform recorder on NewSUBARU. Misfires of bump magnets recorded were about ten times a day. The main reason of misfires was occasional fault of one of timing modules. By replacing the troubled module, misfires disappeared and deviation of timing jitter was greatly improved.

## NewSUBARU放射光施設における入射バンプ波形安定性改善

### 1. はじめに

現在、多くの放射光施設で蓄積電流の減少を補う為に随時ビーム入射を行い、電子ビームの蓄積電流値をほぼ一定に保つTop-up運転が採用されている。兵庫県立大学高度産業科学技術研究所(LASTI)のNewSUBARU放射光施設でも2003年6月よりTop-Up運転を実施しており、現在1GeV利用運転中の蓄積電流は220mAに保たれている。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

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)	220mA
最大入射繰り返し	1Hz
入射効率	<90%

蓄積電流値を一定に保ち、安定なTop-up運転を実現する為には入射ビーム、セプタム電磁石、バンプ電磁石等の長期間にわたる安定性が必要となる。

バンプ電磁石は電子ビームが入射されるタイミングに合わせて入射部付近の周回ビーム軌道を一時的にリング外側に曲げ入射ビーム軌道に近づける。バンプ波形の異常はビーム入射の失敗や入射効率の低下をもたらす可能性がある。実際、NewSUBARUではバンプ電磁石のミスファイアにより、一時的にビーム入射が出来ない不具合がこれまでに数回発生している。

我々はバンプ電磁石のミスファイアに伴うビーム入射の失敗を早期に検知する為に、入射バンプ波形データの取得、表示、監視、保存を行う事が出来るモニターシステムを開発した[1]。取得した波形

データを統計的に評価した結果、バンプ波形のピーク高さとピーク位置の標準偏差は±1%程度である事が解った。また1日に10回程度バンプ電磁石電源から波形が出力されておらずビーム入射に失敗している事も判明した[1]。

本報告では入射バンプ波形モニターを用いたバンプ電磁石ミスファイアの原因調査とその改善、及び入射バンプ波形のばらつきの改善結果について報告する。

### 2. システムの概要

#### 2-1 入射バンプ波形モニターシステム

入射バンプ波形モニターシステムではバンプ電磁石電源からのモニター出力波形をサンプリング速度2.5GS/sのオシロスコープを用いて、1波形当たり10000ポイントで取得する。波形を取得する為のトリガー信号はビーム入射用トリガー信号を用いた。オシロスコープで取得した波形データはLabVIEWで開発したアプリケーションによりPCに転送されリアルタイムに解析される。入射バンプ波形モニターシステム画面を図1に示す。

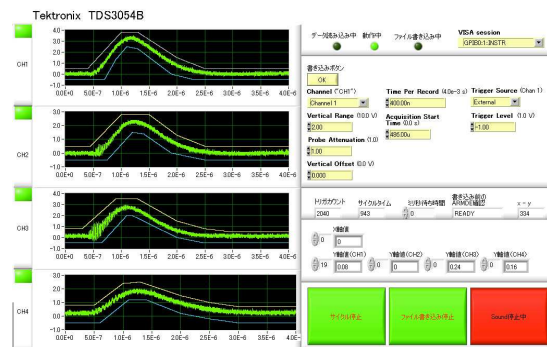


図1. 入射バンプ波形モニターシステム画面

<sup>#</sup> shinomoto@spring8.or.jp

NewSUBARUへのビーム入射は最大1Hzで行われる為、波形データの取得、表示、監視、保存等の一連の処理を全て1秒以内で完了させている。取得した波形データをリアルタイムでPC上のユーザインタフェースに表示させると同時に波形に異常がないかチェックを行っている。入射パンプ波形データに異常が見られた場合は、ユーザインタフェース上にアラームが表示される。全波形データはASCII形式でPC内のハードディスクへ保存され、ファイル名には日時が自動的に付加される。

### 2-2. パンプ波形データ解析プログラム

入射パ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為に、パンプ波形データ解析プログラム(図2)を開発した。本システムは入射パンプ波形モニターシステムで保存した波形データを読み取り、各波形の立ち上がり時間、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、平均及び標準偏差を求める事が出来る。

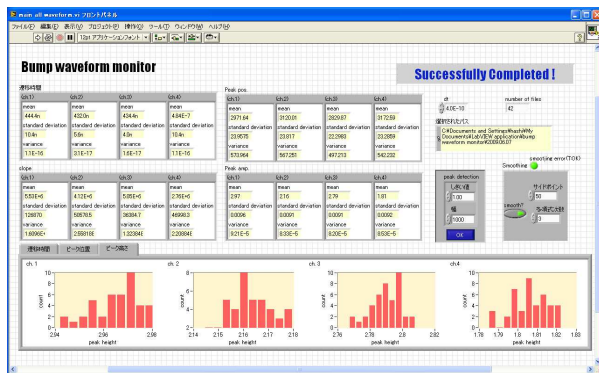


図2. パンプ波形データ解析プログラム画面

## 3. 入射パンプ波形のミスファイア

### 3-1. ミスファイアの原因調査

入射パンプ波形をモニターシステムで監視すると、4台のパンプ電磁石の波形が全く出力されない異常(ミスファイア)が1日に10回程度発生していた。4台全てのパンプ電磁石のミスファイアの原因として最も可能性が高いと考えられるのが、入射タイミング信号を生成している高周波NIMモジュールの不

具合である。セプタム電磁石、電子銃およびパンプ電磁石のトリガー信号を生成しているモジュール構成図の一部を図3に示す。

どのモジュールに不具合があるのかを特定するためには各モジュールから出力されるデジタル信号波形を調査する必要がある。そのために入射パンプ波形モニターシステムのプログラムを一部変更し、専用プログラムを作成した。パンプ電磁石のトリガー信号を1Hzで約3000発(通常、一日の利用運転におけるビーム入射の回数に相当)生成し、このプログラムを用いてパンプトリガー波形を調査した結果、やはり10回程度の信号欠落が見られた。信号欠落の原因となるモジュールが見つかるまで上流に向かって調査を行い、原因と思われるモジュールを特定する事が出来た。

問題のあったNIMモジュールはデジテックス研究所製の508MHz30ビットカウンター(17K32A型)で、RFクロックが480MHz~520MHzの周波数で動作する同期型30ビットカウンターである。このカウンターを予備品に交換して再度、出力信号の調査を行った結果、異常波形は全く見られない事から異常波形の原因はこのカウンターモジュールであると判断した。

### 3-2. タイミングモジュールの交換

不具合のあったカウンターモジュールをメーカーに返送し修理を依頼した結果、RF入力部のコンパレータとクロックディバイダの故障により誤動作していた事、またコンパレータを長期間高周波で動作させると断続的に信号が欠落する事が解った。また、このカウンターは製造から10年以上経過しており現行製品に比べ出力波形の精度が悪い為、以下のようなバージョンアップを行った。

- 1/N出力部、M出力部に使用しているコンパレータをMAX9690からMAX9691に変更。
- 最速部の初段カウンターU18をシナジー製からモトローラ製に変更。
- カウンター出力のターミネータを51Ωから100Ωに変更。
- 1/N出力、M出力の波形改善の為、R10とR15を10Ωから47Ωに変更。

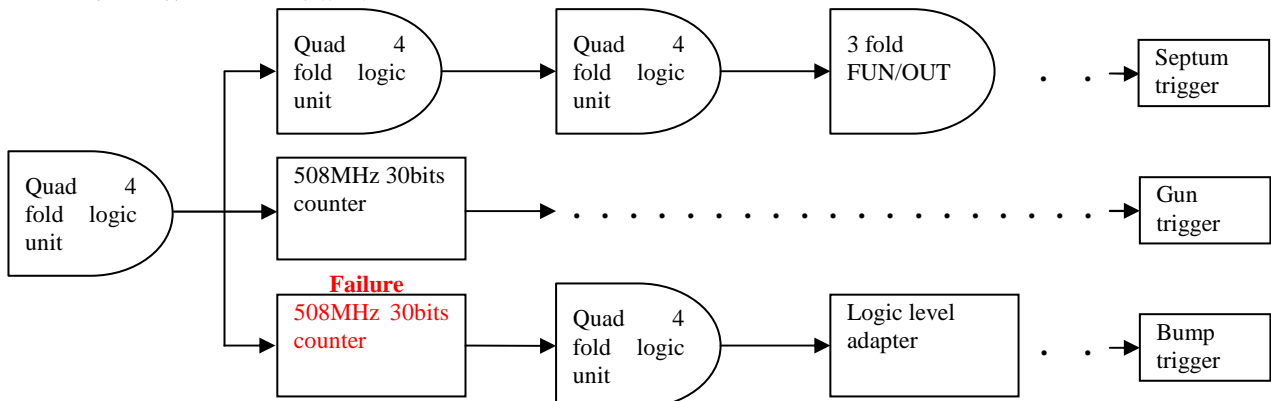


図3. RFタイミング信号生成モジュール構成図

### 3-3. バンプ波形の安定性改善評価

カウンターの交換後、1GeV利用運転中の入射バンプ波形を調査した結果、予想に反して依然としてバンプ波形のミスファイアが見られ、発生頻度も交換前と変わらず1日に10回程度発生していた。その後も引き続き入射バンプ波形モニターシステムで入射バンプ波形の監視を行っていくと、突如2010年度第1サイクル以降は全く異常が見られなくなった。

この時期を境にミスファイアが見られなくなった明確な原因は不明であるが、原因として可能性が高いのはモジュール間を配線している高周波ケーブルの接触不良である。各モジュールの波形調査の際も突然、出力信号が確認出来なくなることがあり、原因を調べようとして配線に触れている間に正常な信号が出力されて正常に復帰した事もあった。

また4台あるバンプ電磁石電源の内1-2台でしか異常波形が発生しない事も極まれに確認された。この原因はタイミング信号の欠落ではなく、電磁石電源から本当にパルス電圧が発生していないか、モニター出力の不具合が考えられる。バンプ電磁石が1台でも異常波形を出力するとビーム入射が出来ないと同時に、蓄積中のビームも失う事になるが、蓄積中のビームに影響は出ていなかった。これらの事よりバンプ電磁石電源のモニター出力に何らかの問題が有ったと考えられるが、現在ではこのような現象は起こっていない。

### 4. バンプ波形のばらつきの改善

不具合のあったカウンターの交換前後で一日間のバンプ波形のばらつきがどの様に变化したかを表2に示す。カウンターを交換した後、バンプ波形の立ち上り時間、ピーク高さ、ピーク位置の統計的なばらつきは改善された。特にピーク位置のばらつきの偏差は10分の1程度に軽減されており(図4)、不具合のあったモジュールのタイミングジッターの影響が大きかったことが分かった。

表2. 不具合のあったカウンターの交換前後におけるバンプ波形の一日のばらつき

カウンター交換前			
	平均	偏差量	偏差(%)
立ち上り時間(ns)	360.5	6.9	1.9
ピーク位置(ns)	2608.2	30.9	1.2
ピーク高さ(V)	3.7	0.02	0.5

カウンター交換後			
	平均	偏差量	偏差(%)
立ち上り時間(ns)	359.8	5.6	1.6
ピーク位置(ns)	2582.3	7.9	0.3
ピーク高さ(V)	3.6	0.02	0.6

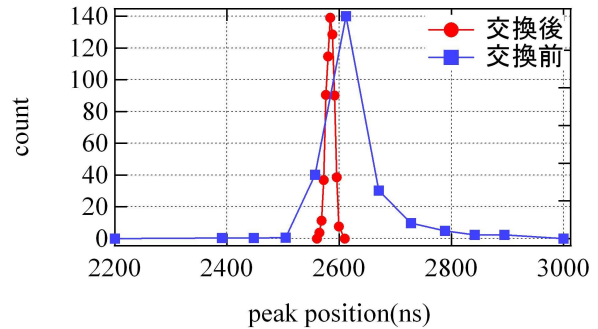


図4 バンプ波形のピーク位置分布

### 5. まとめ

安定なTop-up運転の実現には加速器構成機器の安定性が要求されるが、NewSUBARUではバンプ電磁石のミスファイア(欠落)により、一時的にビーム入射が出来ない状態がこれまで何度か発生したことがあった。入射バンプ波形モニターを開発し、入射バンプ波形を監視した結果、1日に10回程度ミスファイアが発生している事が判明した。

ミスファイアを引き起こしている原因の1つはバンプ電磁石のトリガー信号を生成しているタイミングモジュールの不具合であった。各モジュールから出力される信号を調査した結果、不具合の発生したカウンターモジュールを特定する事が出来、交換を行った。モジュールの交換により、ケーブルや他のモジュールの接触不良の問題が依然として残るものの、バンプ波形のミスファイアは改善された。

また不具合のあったモジュールの交換後、入射バンプ波形の立ち上り時間、ピーク高さ、ピーク位置のばらつきの偏差が改善された。特にピーク位置に関してはばらつきが約10分の1まで向上した。

入射バンプ波形モニターシステムとバンプ波形解析プログラムを使う事で、バンプ波形のリアルタイム監視、機器に生じた不具合の早期発見と迅速な対応が可能となり、ニュースバルの安定なTop-Up運転の実現に寄与することが出来る。

### 6. 参考文献

- [1] 篠本考秀、他、“NewSUBARU放射光施設における入射バンプ波形安定性評価”、第6回日本加速器学会年会(2009)