

BUNCH CURRENT MONITOR SYSTEM FOR NEWSUBARU

Yasuyuki Minagawa ^{#,A)}, Takahide Shinomoto^{A)}, Yoshihiko Shoji^{B)}, Satoshi Hashimoto^{B)}, Shuji Miyamoto^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute(JASRI)

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

^{B)} LASTI/NewSUBARU, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

At the NewSUBARU, so-called top-up operation has been used since June 2003. In 2009 we installed a bunch current monitor system using a digital oscilloscope. It enabled a bucket filling control to take full advantage of the top-up operation mode. We succeeded to maintain the filling pattern close to the desired by controlling beam injection.

ニュースバルのバンチカレントモニタの構築

1. はじめに

多くの放射光施設でトップアップ運転が行われるようになり、放射光利用者へのより安定な光の供給が行われるようになってきている。ニュースバル放射光施設でも 2003 年以来、1GeV、220mA 定電流のトップアップ運転を行っている。表 1 にニュースバルの主要パラメータを示す。

表 1 : ニュースバルの主要パラメータ

| パラメータ | |
|-------------|-------------|
| 蓄積エネルギー | 0.5~1.5 GeV |
| リング周長 | 118.73 m |
| RF 周波数 | 500 MHz |
| バケット数 | 198 |
| トップアップ時蓄積電流 | 220 mA |

ニュースバル利用運転時のバケットフィリングパターンは、2つの70バンチトレインとその間に低電流の30~40のバンチトレインが並んだ形(70+70+fill)で構成されている。これまでの利用運転では、入射バケットを予めプログラムしておき、自動で順番に入射していた。しかしこの入射方法では、電子銃のファイアミスや SPring-8 とニュースバルの入射切替え時の電子銃トリガーの空打ち等によって、必ずしも望んだ通りのフィリングパターンが得られず、ビーム不安定性などを引き起こす可能性が大きくなる。安定した光を供給するためには最適なフィリングパターンを維持する必要があるため、ビームの蓄積電流値が低くなっているバケットを選択して入射する方式を導入する事にした。ニュースバルは建設当初からシングルバケット入射であり、バケットを選択してビーム入射をすることは出来ていたが、各バケットに蓄積されたビーム電流値をデジタル化して見るモニタが存在していなかった。今回、SPring-8 のシステムをベース¹⁾にしたバンチカ

レントモニタ及びそれによるバケットフィリングコントロールシステムを構築したので報告する。

本システムを使用することで、フィリングコントロールが確実にになり、より安定なフィリングパターンを探索する R&D にも役立つと期待している。

2. バンチカレント測定

2.1 信号処理系

ニュースバルのバンチ間隔は 2ns であるため、各々のバンチの信号を分離するためには、500MHz 以上のアナログ帯域を持ったデジタルオシロスコープが必要となる。我々はアナログ帯域 4GHz、サンプリングレート 20Gs/s の Tektronix の TDS7404 を使用した。図 1 にバンチカレントモニタの信号概要図を示す。

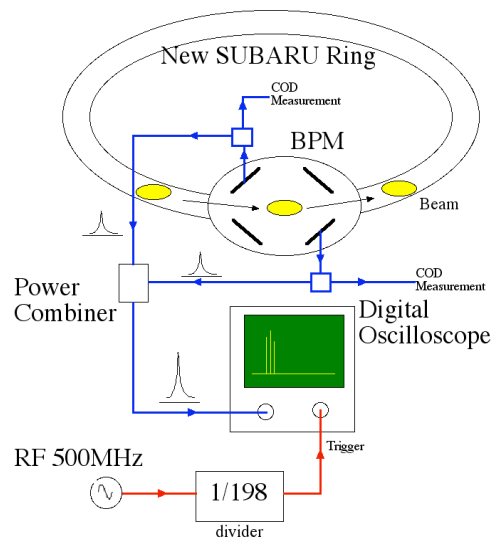


図 1 : バンチカレントモニタの信号概要図

バンチカレント測定に用いるビーム信号は COD 測定用の BPM(Beam Position Monitor)からの信号を分岐して使用した。無分散部の BPM を選択し、バンチカレント値がビームの変位に影響されないよう

[#] minagawa@spring8.or.jp

に BPM の対角位置のボタン電極の信号を合成してオシロスコープに信号を取り込んだ。オシロスコープへのトリガー信号はビーム周回のタイミング信号である。一般的には phase shifter を入れて 2 つの電極信号のタイミングを合わせるが、今回はタイミング差が 50ps 以下と小さかったため、phase shifter を入れていない。(図 2)

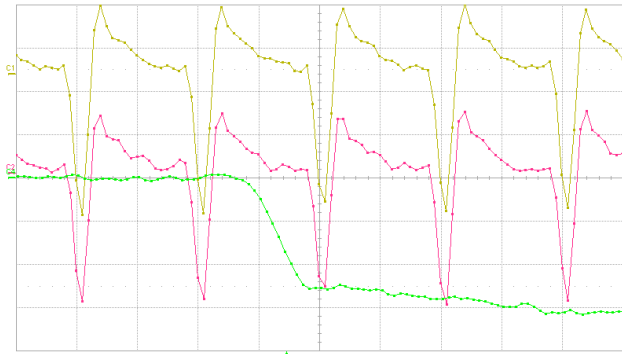


図 2 : 2つの電極信号。横軸は 1ns/div。緑線はトリガー信号

2.2 データ処理系

バンチカレントモニタは SPring-8 制御グループによって開発された制御システム MADOCA のフレームワークで制御している^[2]。図 3 にビーム入射までのデータプロセスの概略図を示す。システムコントロールの中心は入射制御 GUI(Graphical User Interface) である。

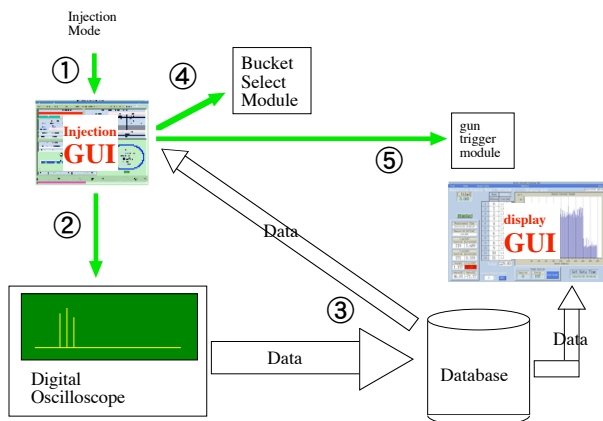


図 3 : ビーム入射までのデータプロセス概略図。数字はプロセスの順序を表している

現在、SPring-8 とニュースバルはビーム振り分け入射で両方ともトップアップ運転を行っており、優先権を持つ SPring-8 への入射中は 10 秒ほどニュースバルへ入射出来ない。モニタの処理はニュースバル入射の時間を避けて行う事が望ましいため、SPring-8 への入射時間を利用して行う。入射制御 GUI は振り分けモードを確認して、オシロスコープにバンチカレント測定開始のコマンドを出す。

オシロスコープ内での処理は、電極からの信号を

リング一周分にあたる約 400ns で 100 回測定して平均化して、8000 ポイントの電圧データを得る。バンチごと (40 ポイントごと) にデータを区切り、その最小値であるピーク値を計算する。そうして算出された 198 バンチ分のカレントデータをデータベースに書き出している。

入射制御 GUI には、2 種類のバンチカレントを持つ理想的フィリングパターンが設定されている。入射制御 GUI はニュースバルへビームを入射する前にデータベースにアクセスして、バンチカレントのデータを得る。次に理想フィリングの高電流値と低電流値の比をデータに加味して入射すべきバケットを決める。バケットセレクトした後に、線型入射器にガントリガーを出してビーム入射が行われる。

入射制御 GUI とは別にバンチカレントを表示する GUI もある。その表示 GUI において、算出されたピーク値の値から実際のバンチカレント値に変換するために single bunch 蓄積時の DCCT 値とピーク値の値を比較した。大電流ではバンチ長が伸びることを考慮して、この結果を 2 次曲線で fitting して校正式を作り、表示 GUI ではこの式をもとにバンチカレント値を表示している。

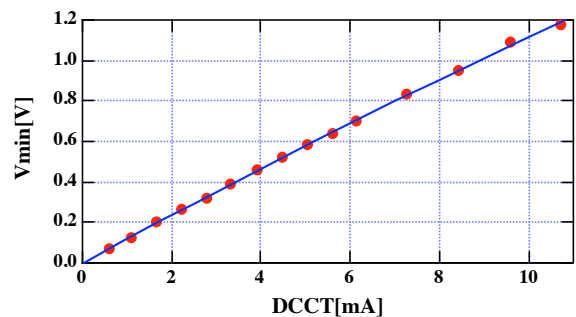


図 4 : single bunch におけるオシロスコープでのピーク値と DCCT 値

2.3 システムの問題点

バンチカレントモニタのオシロスコープの設置場所が電磁石の電源近くであったことから、BPM からの信号に想定以上のノイズが乗っていることが分かった。オシロスコープで 100 回平均をしているが、それでもバンチあたり $\pm 0.025\text{mA}$ くらいの誤差が生じている。100 回平均によるオシロスコープの測定時間は約 6 秒であり、これ以上平均回数を増やすと SPring-8 への入射時間中の測定が行えなくなってしまう。但し、ニュースバルのトップアップ運転で一回に入射されるビームカレントは $0.3\sim 0.5\text{mA}$ と大きいいため、 $\pm 0.025\text{mA}$ の誤差は問題ない。将来、ニュースバルへ一回に入射されるビームカレントをスリット機構で制限するような場合に、改めてノイズ対策を行う予定である。

バンチカレントの表示について、図 4 に示したグラフの校正曲線から各々のバンチのカレント値を算出するが、全てのバンチカレントを合計すると DCCT の値と 10%以下の差が出る事が分かった。

BPM からの信号を分岐する際に生じる微小な反射信号の寄与と、先行するバンチ信号のテイル部分の寄与がそれぞれ数%あり、これらが原因であると考えている。入射バケット選定への影響は小さいが、モニター値の不一致は運用上望ましく無い。これについては、トップアップ運転時にバンチカレントの合計した値が 220mA くらいになるように校正式の値を補正する対処を行った。

3. バケットセレクト入射の効果

バケットセレクト入射（バンチカレントの値が低いところに入射する機能）を使用した時と使用しなかった時のフィリングパターンを図 5 に示す。フィリングパターンは 70+70+fill パターンに設定している。最初のビーム積み上げでは、各バケットへの確実な入射より、積み上げ速度を優先させるためにビームが入っていないバケットが多数存在している。しかし、トップアップ運転に入ってバケットセレクト入射を開始すると、30 分ほどで空のバケットが埋まり、70+70+fill のパターンを形成できている。1 発のビーム入射が 0.3~0.5mA であるので、これ以上、フィリングパターンを平坦にすることは出来ない。約 7.5 時間後においても、理想に近いフィリングパターンを維持している。一方、従来の入射方法では、30 分経過後でも空のバケットはほとんど埋まっていない。約 7.5 時間後においては空のバケットはほぼ埋まるが、フィリングパターンに細かい凸凹が残っており、安定した入射によるトップアップ運転が出来ているとは言いがたい。また、タウチェック寿命のため電流値が高いバケットと低いバケットの電流比を維持出来ていない。

4. まとめ

トップアップ運転のためにバンチカレントモニターのシステムを構築して、2010 年から利用運転で用いており、安定した入射ができています。このシステムの構築によりフィリングパターンのコントロールが容易になり、利用運転中に何らかの要因でビームが削れた際にも、ビーム廃棄をせずにもとのフィリングパターンへ戻すことが短時間で可能になった。これは入射電荷の総量制限が厳しいニュースバルでは特に重要である。

またコンプトンγ実験やその他の R&D 用特殊フィリングにも対応できるとともに、より安定にビーム運用を出来るフィリングパターンの調査を行えるようになった。

謝辞

藤田貴弘氏、山下明広氏、増田剛正氏（JASRI）にはシステムの立ち上げにご協力いただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- [1] T. Ohshima et al., 第 2 回日本加速器学会年会報告集, 2005, p.618-620
- [2] R. Tanaka et al., Proceedings of ICALEPCS '97, Beijing, China, 1997, p.1

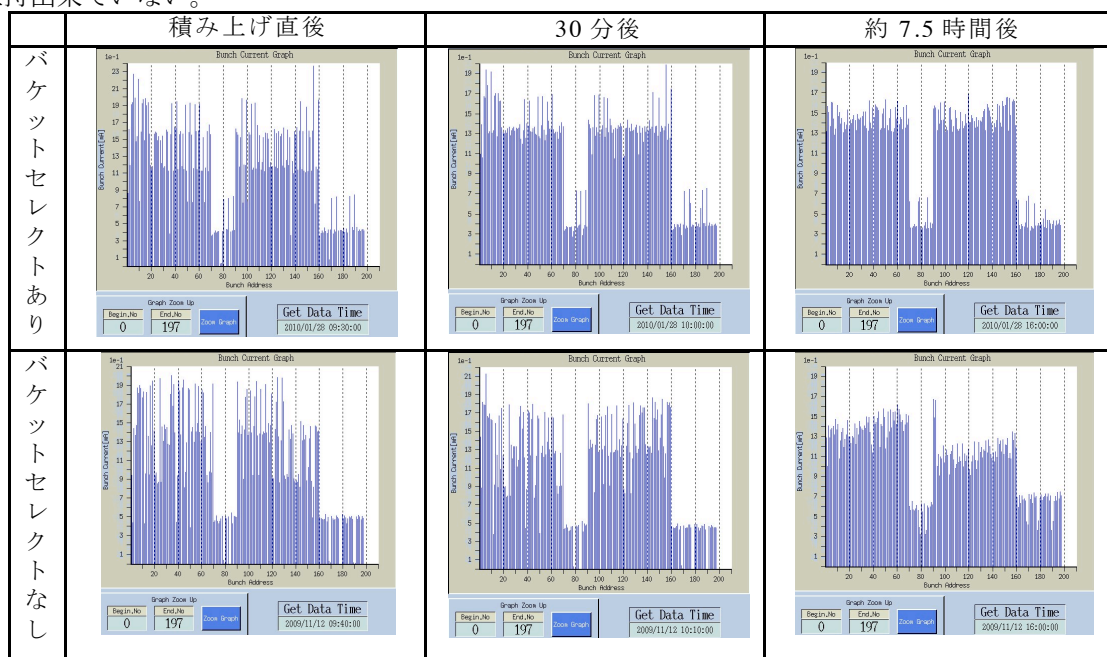


図 5 : バケットセレクト入射の有無によるフィリングパターンの変化