

SPring-8 8GeV 蓄積リングにおけるバンチ電流値の測定

吉岡正倫^{A)}、大島隆^{B)}、大端通^{B)}、佐々木茂樹^{B)}

^{A)}スプリングエイトサービス株式会社

〒678-1205 兵庫県赤穂郡上郡町光都 2-23-1

^{B)}高輝度光科学研究センター 放射光研究所

〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町光都 1-1-1

概要

SPring-8 8GeV 蓄積リングでは、2003年9月から暫定的 Top-up 運転を計画している。定電流 Top-up 運転を実施するためには、2436個の RF バケット全てのバンチ電流値を独立に測定し、設定した値より電流値の少ない RF バケットにビームを追加注入しなくてはならない。そのため Tektronix 社製 TDS7404 オシロスコープと BPM(ビーム位置モニタ)用ボタン電極を使用した各 RF バケットのバンチ電流値の測定モニタを整備した。バンチ電流値の測定方法及び測定結果について発表する。

1 はじめに

SPring-8 は、第三世代の大型放射光施設で、1997年10月の供用開始後から現在までに47本のビームラインが建設され、物質科学・地球科学・生命科学・環境科学・産業利用などの研究に利用されている。

ユーザー運転で利用されている多くのフィリングパターンのうち、ライフタイムが20時間程度となるシングル及びセベラルバンチの運転モードの期間は、1日2回入射となる事から、入射終了後にモノクロメータなどの光学系の温度変化による歪みの影響を少なくするために、光学系の熱負荷が一定になるまでユーザーの実験が中断されることと、蓄積リングの蓄積電流値の減少に比べて、実際の実験に利用している孤立バンチの電流値の減少は遙かに早いので、入射終了後、速やかにユーザーの実験が開始出来るようにすることが望ましい。

これらを解決する方法として Top-up 運転による入射がある。Top-up 運転は、挿入光源(ID)の Gap 値やビームライン(BL)のメインビームシャッターの開閉の状態に関係なく入射を行う方法である。その結果、ユーザーがビーム実験中であってもビーム入射を行え、ビーム電流値をほぼ一定にすることが出来るので、光学系の熱負荷も一定になり、温度変化による歪みの影響も少なくすることが出来る。

SPring-8 では、1999年から Top-up 運転の実現に向けた検討、装置の改良を行い、2002年中頃には、2003年秋からの暫定的 Top-up 入射のユーザー運転への導入という目標が設定され、目標の達成に必要なハードおよびソフトウェアの設計、製作が進められてきた[1]-[2]。

バンチ電流値を一定としたままの定電流 Top-up 運転を行うためには、蓄積リングへのビーム入射の前に2436個の RF バケット全てのバンチ電流値を測定し、設定した値より電流値が少ないバケットに追加注入を行う必要があ

る。また、時分割の測定を行っている放射光ユーザーから、バンチ電流値の最大値と最小値の差は、主バンチの電流値に対して、10%以内に収めるよう要請が出ている。そのためバンチ電流値の測定には、短い測定時間及び1%程度の精度が要求される。蓄積リングのシングルバンチのバンチ電流値測定は、以前より Tektronix 社製の TDS680B オシロスコープを使用して GUI (グラフィカルユーザーインターフェース) から測定を行っていたが、1つのバンチ電流値を測定するのに約2秒弱の時間がかかり、蓄積リング2436個の RF バケット全てのバンチ電流値を測定するには1時間以上かかり実用的でなかった。

今回フィリングパターンの表示用に Tektronix 社製の TDS7404 オシロスコープを購入した際に、これを利用して高速でデータの再現性の良い測定が出来ないか検討に入った。本稿では、バンチ電流値の測定方法と測定結果について述べる。

2 バンチ電流値測定方法

SPring-8 蓄積リングには1セルあたり6ヶ所、全周で276ヶ所に BPM があるが、3セルにある BPM の信号を以下の3通りの方法を使い Tektronix 社製の TDS7404 オシロスコープで、バンチ信号波形及びバンチ電流の時間変化を測定した。

- 1つのボタン電極の信号を直接測定 (図1参照)
- 4つのボタン電極の信号を180度 Hybrid で合成して測定 (図2参照)
- 4つのボタン電極の信号を Power Combiner で合成して測定 (図3参照)

オシロスコープは、外部トリガモードで動作させている。トリガ信号として、蓄積リング RF 基準信号 508.58MHz をハーモニクス数2436で分周して、8GeV 蓄積リングのビームの周りに同期した信号を作っている。オシロスコープは制御用 VME の GPIB カード及び LAN に接続されている。ワークステーションから送られる GPIB コマンドによって、オシロスコープの信号波形は LAN 経由で NFS サーバに保存される。サンプリングレートは20GS/s で、データは100回平均を行う。データ長は蓄積リング一周分 4.8μs 分で、データサイズはおおよそ 4Mbyte である。保存されたデータに対し、次式(1)の関数で重み付けによる補間を行う。補間後のバンチ波形はネガティブパルスなので (図6参照) バンチごとに最小値を取り出し、キャリブレーション処理・オフセット処理を行う。

$$f(x) = S \sin(x) / x \quad (1)$$

これらの値は、GUIで表示・保存を行うようにした。
蓄積リング 2436 個の RF バケツ全てのバンチ電流値を測定するために必要な時間は約 40 秒であった。

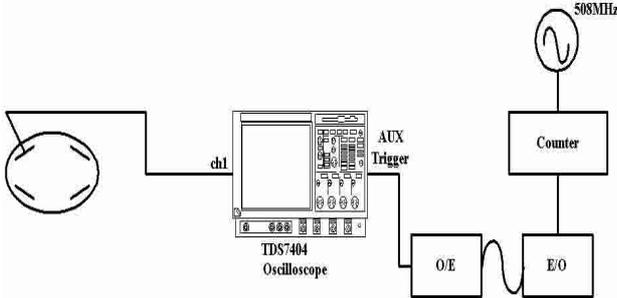


図 1：信号を直接測定した際の構成

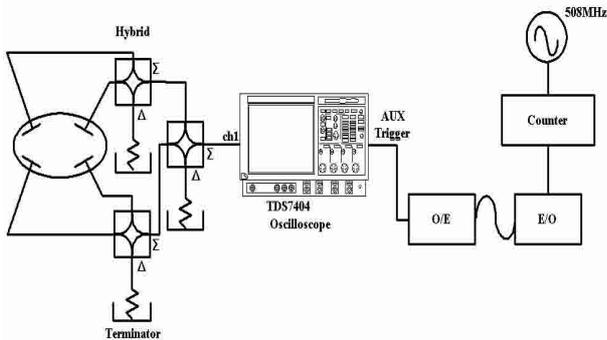


図 2：180 度 Hybrid を使用した構成

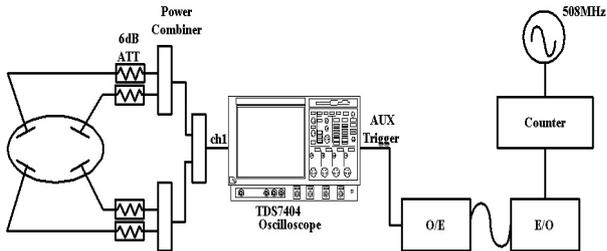


図 3：Power Combiner を使用した構成

3 バンチ電流値測定結果

バンチ電流値は、ユーザーがビーム利用中でフィリングパターンが 203bunches - (4bunches * 7) (注：等間隔の 203 バンチバケツのうち、等間隔に 4 バンチを 7ヶ所間引いたフィリングパターン。総バンチ数 175) の時、22:00 の定時入射を挟むように、一分周期で 18:00 から 24:00 まで測定した。

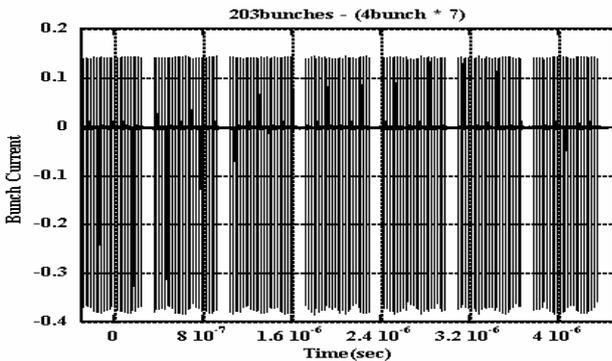


図 4：フィリングパターン (全バンチ数 175)

3.1 1つの電極を直接測定

一つの電極を直接測定した際のバンチ電流値と蓄積リングの蓄積電流値を図 5 に、測定時のバンチ波形を図 6 に示す。精度は最大値と最小値の差で~4%であった。

これは一つのボタン電極を使用している為、ビームの軌道変化の影響により、バンチ電流値が変化して見えると考えられる。

入射間隔の短い定電流 Top-up 入射をする場合のバンチ電流値測定には適さない。

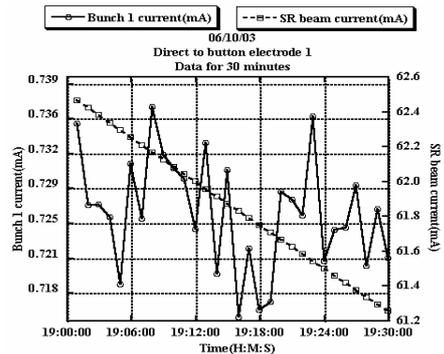


図 5：1つの電極を直接測定

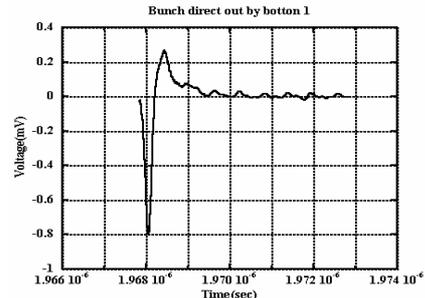


図 6：直接測定時のバンチ波形

3.2 4つの電極を 180 度 Hybrid で合成

4つの電極を 180度 Hybrid(R&K HYB-3)で合成した際のバンチ電流値と蓄積リングの蓄積電流値を図 7 に示す。BPM の 4 つすべての電極からの信号を Hybrid で合成していることにより、ビームの軌道変化の影響も少なく、精度は最大値と最小値の差で~0.5%と良好である。

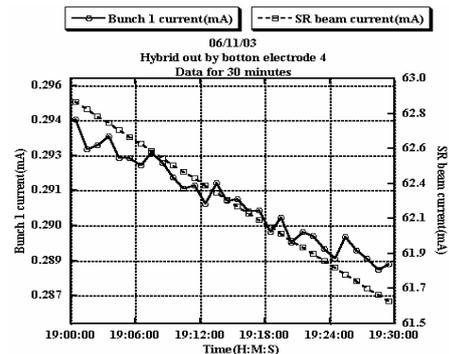


図 7：4つの電極を Hybrid で合成

補間後のバンチ波形を図 8 に示す。帯域が 5MHz から 1GHz の Hybrid を使用しているため、高周波成分がカットされている。そのため前後のバンチとの区別が困難であり、不連続のフィリングパターン時のバンチ電流値測定には適さない。

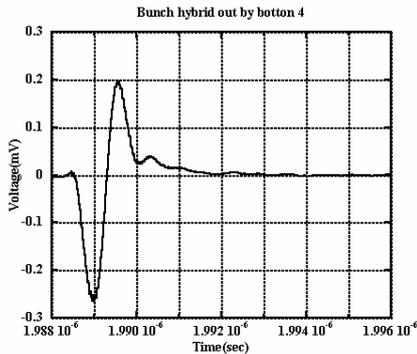


図 8 : Hybrid 使用時のバンチ波形

3.3 4つの電極を Power Combiner で合成

4つの電極を帯域が 10MHz から 2.5GHz の Power Combiner(Mini-Circuits ZFSC-2-2500 2 Way-0°)で合成して測定した際のバンチ電流値と蓄積リングの蓄積電流値を図 9 に示す。Hybrid を使用した際より若干悪いが、精度は最大値と最小値の差で~1%と良好である。

補間後のバンチ波形を図 10 に示す。Hybrid 使用時と違い前後バンチ前後の切り分けに問題はなさそうである。

蓄積リングの定時ビーム入射前後のバンチ電流値と蓄積リングのビームライン BL251D の Gap 値を図 11 に示す。22:10 の定時入射前後でバンチ電流値が減少しているように見える。ユーザービーム利用中の定時入射の前後には、全ビームラインの Gap が全開閉する。その際、シンクロナス位相が変化し 100 平均の間にバンチのビームの幅が実効的に広がり、最小値が小さくなったと推定できる。Top-up 運転時の蓄積リングへのビーム入射前後には、全ビームラインの Gap が同時に開閉するといったことは起こらないであろうから、バンチ電流値測定に与える影響は少ないと考える。

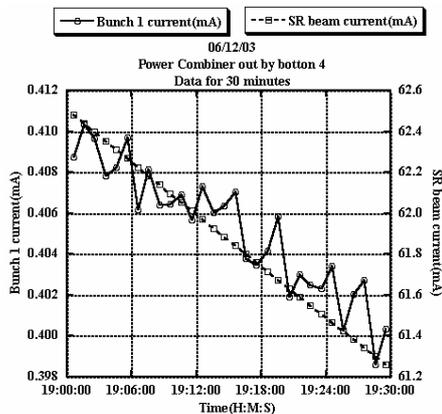


図 9 : 4つの電極を Combiner で合成

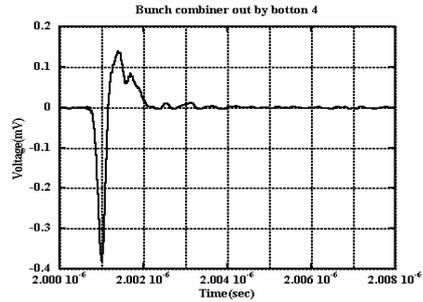


図 10 : Combiner 使用時のバンチ波形

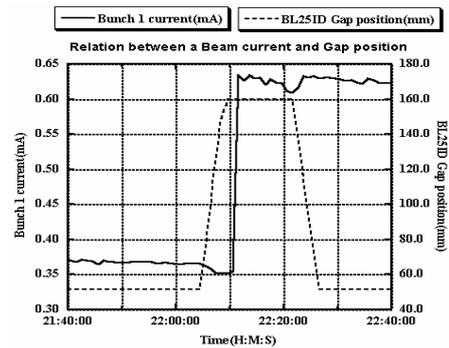


図 11 : バンチ電流値と ID Gap 間隔の関係

4 まとめ

Tektronix 社製の TDS7404 オシロスコープを使用し、BPM の 4 つのボタン電極信号を Power Combiner で合成して測定することにより、バンチ電流値の精度も精度は最大値と最小値の差で~1%と小さく、2436 個の RF バケット全てのバンチ電流値を測定するための方法として、満足の行く結果を得た。

また、フィリングパターンが 203bunches - (4bunches * 7) の際に蓄積リング定時ビーム入射後、バンチ電流値を測定した結果、バンチ電流値の最大値と最小値の差は、主バンチの電流値に対して、5%前後といった結果も得られた。

定電流 Top-up 運転の最低入射間隔は 1 分周期が考えられ、バンチ電流値測定に 40 秒近くの時間がかかる現在の測定では、入射シーケンスに負担をかける可能性がある。そのため今後、測定方法の改善・ソフトの改良等により測定時間を短縮するつもりである。

5 謝辞

外部トリガ用の信号を測定場所に整備するのに SPring-8 制御グループの方々にお願ひしました。この場をお借りして感謝いたします。

参考文献

- [1] 田中均、"SPring-8 における Top-up 運転への取り組み 加速器編"、第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、姫路、2003 年 1 月、11C4
- [2] 木村洋昭、SPring-8 における Top-up 運転への取り組み 利用系編"、第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、姫路、2003 年 1 月、11C5