

# ビーム電流積分回路の特性

足立 昌俊<sup>1</sup>、安積 隆夫、花木 博文  
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丁目 1-1

## 概要

SPring-8 1 GeV 線型加速器では、現在計画されている 8 GeV 蓄積リングへのトップアップ運転に向けて、ビームモニタリングシステム、タイミングシステム、偏向電磁石、運転手順等の準備、検討がなされている。とくにビーム電流強度取得においては、蓄積リングへの各高周波バケットのビーム電流強度を精密に管理し、フィリングに対して 10 % 以下となる電荷量の均一性を常時、実現することが要請されている。線型加速器におけるビーム電流強度取得は、各部に配置したビーム電流モニターからの信号を電流積分回路に入力することでおこなわれる。この積分回路の諸特性取得、ならびに設定パラメータ最適化をおこない、さらに 0.15 % / の温度特性を得た。実際のビーム電流測定では、環境温度変化に伴う出力変動を抑えるため、積分回路は恒温槽内に収納されている。

## 1. はじめに

SPring-8 線型加速器では 8 GeV ブースターシンクロトロンへ 1 日に 1 回もしくは 2 回、約 10 分間程度、蓄積リングのフィリングに応じてビームパルス幅を 1 ns および 40 ns に切り替えて入射をおこなっている。またそれ以外の時間は 1.5 GeV 蓄積リングである NewSUBARU へビームパルス幅 1 ns の入射を断続的におこなっている。これと平行して 2004 年秋からは蓄積リングのトップアップ運転の導入を計画しており、実現に向けた検討、改良が進められ、線型加速器においてはエネルギー圧縮システム<sup>[1]</sup> や位相監視システム<sup>[2]</sup>、RF 周波数同期タイミングシステム<sup>[3] [4]</sup> などの導入をおこなった。これまで線型加速器から 8 GeV ブースターシンクロトロンへの入射ビーム電流は、壁電流モニター<sup>[5]</sup> から得られる電圧波形をオシロスコープでモニターし、これに換算係数を乗じて取得していた。安定なトップアップ運転を実現するためには、線型加速器から 8 GeV ブースターシンクロトロンへの入射電流を精度よく測定することが必要不可欠となるため、新たにビーム電流取得のための積分回路を設置した。積分回路は、Stanford Research System 社製の SR250 を採用することとした。この回路は NIM 規格 2 幅モジュールで、内部に Gate 信号を発生させる機能を備えている。モジュール前面の調整つまみにより Gate 幅を 2 ns から 15  $\mu$ s まで、また内部あるいは外部 Trigger 信号を基準として Gate

信号の遅延時間を 2 ns から 100 ms まで簡単に調整することができる。回路に入力されるパルス信号は、Gate 信号内にあるパルス信号のみが積分され、それに応じた DC 電圧が出力される。この積分回路は線型加速器から入射されるビームパルス幅 1 ns のパルス電圧に対して応答特性があり、ダイナミックレンジが広く、雑音に対しても優れた特性を備えている。積分回路によって取得された入射ビーム電流は、ネットワークを経由して SPring-8 制御システム "MADOCA"<sup>[6]</sup> (Message And Database Oriented Control Architecture) のデータベースに取り込まれる。取得されたデータは SPring-8 のネットワークに接続されたすべての計算機から Web ブラウザを用いて確認することができ、線型加速器の運転パラメータの決定および調整等に用いられる。本稿では新しく導入したビーム電流値取得システムの構成と、積分回路の特性について述べる。

## 2. システム構成

新しく導入したビーム電流値取得システムの概略図を図 1 に示す。線型加速器電子銃部、1 GeV 加速管部、線型加速器-シンクロトロン間ビーム輸送路 (LSBT)、線型加速器-NewSUBARU 間ビーム輸送路 (L4BT) の 4 箇所に設置した壁電流モニターからの信号は、加速管室からモニター室まで約 30 m の間を高周波同軸ケーブルにより導かれる。この信号は Weinschell 社製の電力分配器 Model 1870A によってそれぞれ 2 分岐される。一方は Tektronix 社製のオシロスコープ TDS684B により取得され、ビームの波形変動等の監視に用いられる。もう一方は積分回路 SR250 に取り込まれ、ビーム 1 ショットごとに電荷量取得をおこない、積分量に応じた DC 電圧が出力される。本システムを設置した当初、線型加速器電子銃の高電圧駆動に依存して、SR250 から出力される信号のグラウンドレベルに変動が生じていた。この問題は本システムで用いる各機器の電源部に Elgar 社製のノイズカットトランス AC LINE CONDITIONER, SERIES 3000B を導入し、かつ、信号入力部にトロイダルコアを介すことで軽減している。また後に述べる SR250 の持つ温度特性により、設置する場所の環境温度が変化すると、出力される DC 電圧に変動が生じる。この問題を解消するため、SR250 および電源は恒温槽に収納している。SR250 により得られた DC 電圧は VME の A/I ボードで取り込まれ、ネットワークを経由して SPring-8 データベースに送られる。

<sup>1</sup> E-mail: adachi@spring8.or.jp

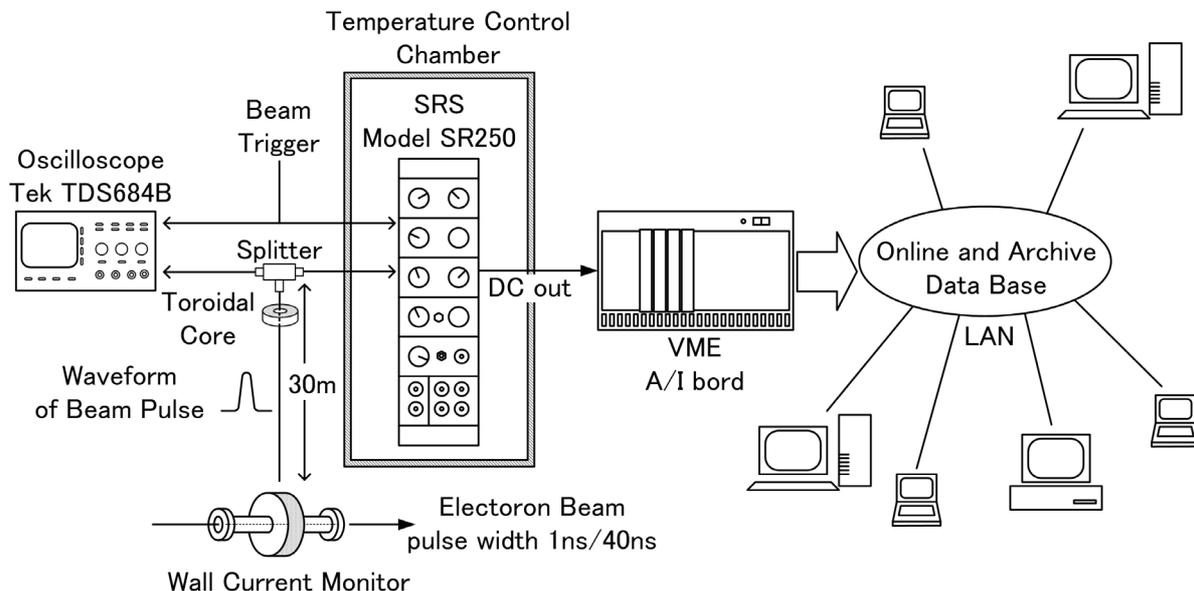


図 1 : ビーム電流値取得システム構成図

### 3 . 積分回路特性

#### 3.1 入出力特性

システムの導入に先立ち、積分回路 SR250 の各種特性データの取得をおこなった。このとき実際に得られた SR250 からの出力波形および Gate 幅を図 2 に示す。ただし、図に示した入力信号は、ケーブルによる遅延を施している。パルス発生器による 1 ns 幅の信号を SR250 に入力し、このとき得られる積分出力を電圧計で測定した。その際 Gate 信号内に Signal Output がおさまるように、Trigger 信号からの Gate 信号の遅延時間および Gate 幅の調整が必要である。各 Gate 幅ごとの入出力の関係を図 3 に示す。いずれの Gate 幅においても入出力直線性はきわめて良好な値を示している。また複数回の測定から得られる積分出力の標準偏差は、Gate 幅にかかわらず約 5 mV (1%) を示す。図 4 に入力信号一定での Gate 幅ごとの積分出力の変化と、積分出力平均に対する標準偏差の割合 (S/N 比に相当) の変化の様子を示す。Gate 幅が大きくなるにしたがい積分出力は減少し、S/N 比は悪化する。このことから Gate 幅は測定しようとする信号、つまり入射ビームのパルス幅に対して可能な限り小さくすることが重要である。しかし先に述べたように SPring-8 線型加速器では、ビームのパルス幅を 1 ns と 40 ns に切り替えて運転をおこなっている。そのためそれぞれのビームパルス幅に対して、別々の積分回路を用意した。

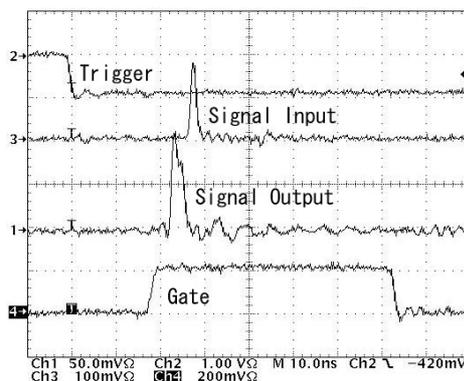


図 2 : 積分回路 “SR250” 特性試験での各入出力波形の様子

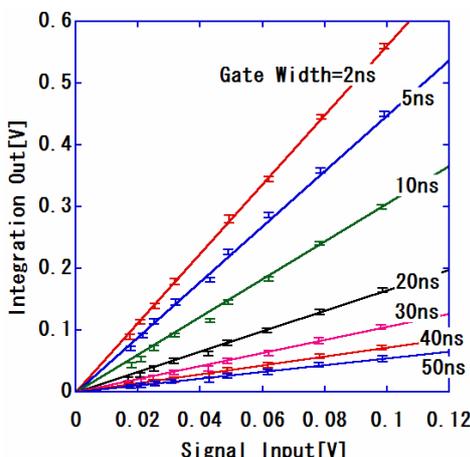


図 3 : 各 Gate 幅ごとの入出力の関係

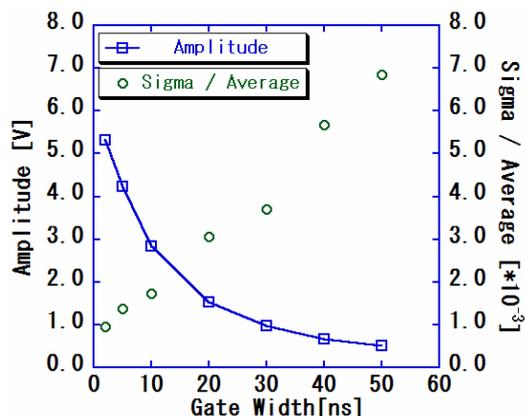


図 4 : 入力一定時の各 Gate 幅ごとの積分出力、および平均値に対する標準偏差の割合の関係

### 3.2 温度特性

積分回路の Gate 幅を 20 ns に固定し、一定電圧の信号を入力後、周囲温度を変化させて SR250 からの積分出力を測定した。このときの温度と出力電圧の関係を図 5 に示す。温度の上昇とともに積分出力は減少する。この変化量は温度約 1 °C に対し約 0.15 % で、いずれの Gate 幅においても同様の傾向を示す。一方、積分回路を設置するビーム計測室等、クライストロン室以外の場所では、雰囲気温度の変化は 1 日あたり  $22 \pm 5$  °C ほどになる。また四季の移り変わりにともなう寒暖差を考慮すると、1 年を通じた雰囲気温度の変化量は最大 20 °C にもなることが予測できる。この場合、1 年で積分出力が 3 % 変動することとなり、長期間におよびビーム電流の安定取得は実現できない。そこで積分回路をペルチェ素子により制御される恒温槽に収納し、雰囲気温度の変動を最小限に抑えることとした。先行して L4BT に恒温槽を導入し、安定した積分出力を得ることができるようになった。図 6 に、Web ブラウザによる積分出力履歴表示の様子を示す。

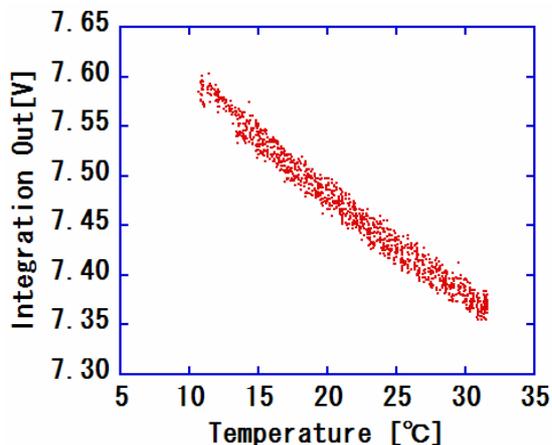


図 5 : 入力電圧および Gate 幅一定時の温度と出力電圧値の関係

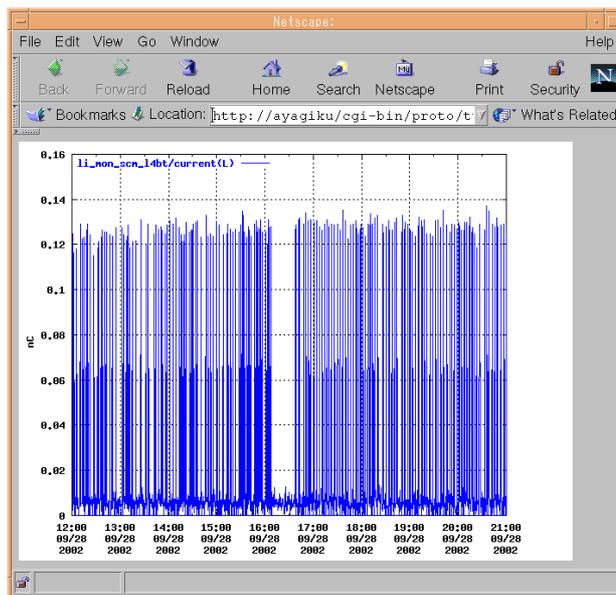


図 6 : Web ブラウザによる積分出力の履歴の様子

## 4 . まとめ

積分回路 SR250 を用いて長期間、安定にビーム電流値を取得するためには、測定しようとするパルス信号に対し、Gate 幅を出来るだけ短く設定する必要がある。これにより S/N 比を改善させることができる。また雰囲気温度の変化を最小限に抑えることにより、一層安定したビーム電流値取得が期待できる。

導入から数ヶ月が経過した現在、本システムは大きなトラブルもなく正常に動作を続けており、常時、ビーム電流強度の測定が可能となっている。また取得されたデータは逐一 SPring-8 データベースに格納され、SPring-8 サイト内の LAN に接続された全ての計算機から、簡単に履歴を確認できるようになった。

## 参考文献

- [1] T.Asaka, et al., "Performance of the energy compression system at the SPring-8 linac", 8<sup>th</sup> EPAC, Paris, June 2002. pp. 1079 - 1081
- [2] H.Hanaki, et al., in these proceedings.
- [3] Y.Kawashima, et al., "New synchronization method of arbitrary different radio frequencies in accelerators", Phys. Rev. ST Accel. Beams 4, 082001 (2001)
- [4] T.Asaka, et al., Nucl. Instrum. And Methods. Phys. Res., Sect. to be published.
- [5] K.Yanagida, et al., "Fast beam current monitor for SPring-8 linac", 14<sup>th</sup> AIP, Denton, Nov 1996. pp. 765 - 768
- [6] T.Masuda, et al., "Upgrade of linac control system with new vme controllers at SPring-8", 8<sup>th</sup> ICALEPCS, San Jose, Nov 2001. pp. 228 - 231

