

# Development of the fast BPM data acquisition system using Windows oscilloscope-based EPICS IOC

Masanori Satoh<sup>1,A)</sup>, Hu Yong<sup>B)</sup>, Takuya Kudou<sup>C)</sup>, Shiro Kusano<sup>C)</sup>, Tsuyoshi Suwada<sup>A)</sup> and Kazuro Furukawa<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK),

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> Brookhaven National Laboratory

Upton, New York 11973, USA

<sup>C)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

## Abstract

The KEK Linac is a 600-m-long injector, which provides the beams for the four independent rings (KEKB e-/e+, PF and PF-AR). The non-destructive beam position monitor (BPM) is indispensable diagnostic tool for the long-term stable beam operation. In the KEK Linac, approximately one hundred BPMs with the four strip-line type electrodes are utilized for the beam orbit measurement. The orbit data is used for the orbit and energy feedback loops. Towards the simultaneous top-up injection of KEKB and PF, the Linac has been upgraded for aiming the fast beam-mode switching operation. We developed a new fast BPM DAQ system using a Windows-based digital oscilloscope since the 50 Hz beam position measurement is strongly required for the fast beam-mode switching operation. In this paper, we will present the system description of the new BPM DAQ system and the result of its performance test in detail.

## WindowsオシロスコープベースEPICS IOCを用いた高速BPMデータ収集システムの開発

### 1. はじめに

KEKの電子陽電子入射器(以下、入射器)は、4つのリング(KEKB電子/陽電子、PF及びPF-AR)へ、異なる品質のビームを供給している。PF及びPF-ARリングには、通常1日2回の定時刻入射を行っている。一方、KEKBリングへは連続入射を行っており、入射器のビームモード(機器パラメータ)を数分毎に切り替えて入射し、電子/陽電子リングの蓄積電流値をほぼ一定に保っている。KEKBリングでは、更なるルミノシティ調整効率向上のため、ビームモード切り替え時間の短縮化が望まれている。一方、PFリングでは、近年主流となっているトップアップ運転への要望が高まっている。このため、KEKB連続入射及びPFトップアップ同時実現のための入射器アップグレードが進められてきた<sup>[1, 2]</sup>。本アップグレードの目的は、20 ms間隔(50 Hz)毎に入射器のタイミング信号、低電力RF位相などを制御し、パルス毎に異なるリングへのビーム入射を実現する事である。今年度より、3リング同時トップアップ入射が実現され、将来のKEKBアップグレードへ向けて、PF-ARを含めた4リング同時入射も検討されている。

入射器では、安定なビーム運転を実現するために、約100台の非破壊型ビーム位置モニタ(以下、BPM)<sup>[3]</sup>が設置されており、BPM情報を基にしたビーム軌道及びエネルギー安定化フィードバックを行っている<sup>[4]</sup>。同時入射運転に於いては、パルス毎のビームモードが異なるため、すべてのパルスについての

ビーム位置計測が不可欠となる。従来のBPMデータ収集(以下、DAQ)システムでは、最大DAQ速度が1 Hz程度と低速であり、また、10年以上前に導入された機器であるため、維持管理が非常に困難であった。これらの理由より、50 Hzビーム位置計測を目指した新BPM DAQシステムの開発が行われた。本稿では、新システムの構成及び性能評価について詳細に報告する。

### 2. BPM DAQシステム

#### 2.1 システム構成

入射器では、全長約600mに渡り約100台の4電極ストリップライン型BPMが設置されている。BPM電極から得られるアナログ信号は約3 ns幅のバイポーラ型であり、SMAコネクタ型真空フィードスルーを介して約30 mの同軸ケーブルに接続され、地上部のモニタステーションへ送られる。モニタステーションでは、複数台のBPMからのケーブルがケーブルコンバイナボックスへ接続され、適切なケーブルディレイを通して信号が合成される。これにより、少ないチャンネル数で、複数のBPM信号をアナログデジタル変換することが可能となる。図1に、BPM DAQシステムの構成図を示す。

旧BPM DAQシステムは、VME計算機(OS9; Force 68060/50 Hz)及び2チャンネルのデジタルオシロス

<sup>1</sup> E-mail: masanori.satoh@kek.jp

コープ(Tektronix TDS 680B/C; 8 bits; 5 GSa/s)から構成されていた。オシロスコープを用いて捕捉された波形データは、 GPIB接続されたVME計算機により読み込まれ、各バイポーラ信号の振幅値を算出した後、 予め計測されているBPMマッピング情報及びケーブル損失係数を適用し、ビームの水平・垂直位置及び電荷量を算出する。これらの情報は、上位のサーバ計算機群(HP Tru64 UNIX/Linux)へ送られた後、ビーム軌道・エネルギーフィードバックを始めとした様々なソフトウェアに於いて利用される。旧システムでは、19台のDAQシステムを用いて、約100台のBPM信号を処理していた。

新システムは、旧システムのVME計算機及びオシロスコープを、4チャンネルの高速デジタルオシロスコープ(Tektronix DPO7104; 10 GSa/s, 8 bits, Windows XP (P4/3.4 GHz), Gigabit Ethernet)へ置き換えた物である。旧システムでは、2チャンネルのオシロスコープが使用されていたため、コンバイナボックスから出力される信号は、CH1へ垂直方向、CH2へ水平方向の電極信号が入力されていた。入射器BPMでは、KEKB陽電子生成用一次電子ビームである10 nCから、PF及びPF-AR用0.1 nC電子ビームまで、幅広い電荷量のビーム計測が必要とされる。このため、従来のシステムでは、ビームモード毎にオシロスコープの垂直レンジを切り替えた計測を行っていた。しかしながら、このような方式を用いた場合、50 Hzでのビーム計測は不可能となるため、新システムにおいては、コンバイナボックスからの出力を二分し、大電荷

(10 nC)モード用の信号をCH3(垂直)/CH4(水平)へ入力し、これ以外(1 nC/0.1 nC)のモード用としてCH1(垂直)/CH2(水平)へ入力する。この方式を用いることにより、すべてのチャンネルの垂直レンジを変えることなく使用し、ビームモード毎に波形捕捉のチャンネルを選択した高速データ処理を行っている。

## 2.2 DAQソフトウェア

新システム用DAQソフトウェアは、旧システム(VME/OS9)用に開発されたものをWindows用に移植し、EPICS<sup>[5]</sup> IOCとして動作させている。本ソフトウェアは、Microsoft Visual Studio 2005/C++、TekVisa及びEPICS base R3.14.8.2を用いて開発された。新システムのオシロスコープは、ファームウェアがWindows OS上で動作しており、ユーザー開発のアプリケーションを同機上で実行する事が可能である。このため、旧システムで必要とされたVMEの様な追加の制御用計算機が不要であり、保守性の向上が期待される。

同時入射運転のために、新タイミングシステムとして、イベント生成/受信システムが導入された<sup>[6, 7]</sup>。これは、VME64xバスを基本とし、一台のイベント生成システムが複数台の受信システムと光ファイバーを介してスター型接続され、タイミング、RFクロックなどの情報を高速通信で共有する物である。イベントシステム用ソフトウェアも、EPICSを基本として開発されており、ビームパルス毎のモード情報は、EPICSレコード経由による設定及び読み出しが可能である。

新システムでは、50 Hz毎に更新されるビームモードレコードを常時監視し、レコードの更新に続く外部トリガ信号と同期した信号捕捉を行う。この際、モードに対応したチャンネル及び演算処理係数が使用され、位置データ等の計算結果は、各オシロスコープ上で動作しているEPICSレコードへ書き込まれる。これらのレコード情報は、軌道表示パネル等の上位アプリケーションから直接読み出されている。

## 3. 新システムの性能評価

### 3.1 波形補足速度

新システムを用いて、波形データ捕捉速度の評価を行った。評価用ソフトウェアは、オシロスコープのWindows上に於いてEPICS IOCとして動作させた。本試験では、オシロスコープの同時使用チャンネル数及び波形捕捉データ点数を独立に変化させた場合の処理速度を測定した。また、オシロスコープのディスプレイ更新機能をオフとし、外部トリガ信号として15 MHzの矩形信号を用いた。

図2に、本測定の結果を示す。データ点数を1 kポイントから500 kポイントまで変化させ、それぞれ

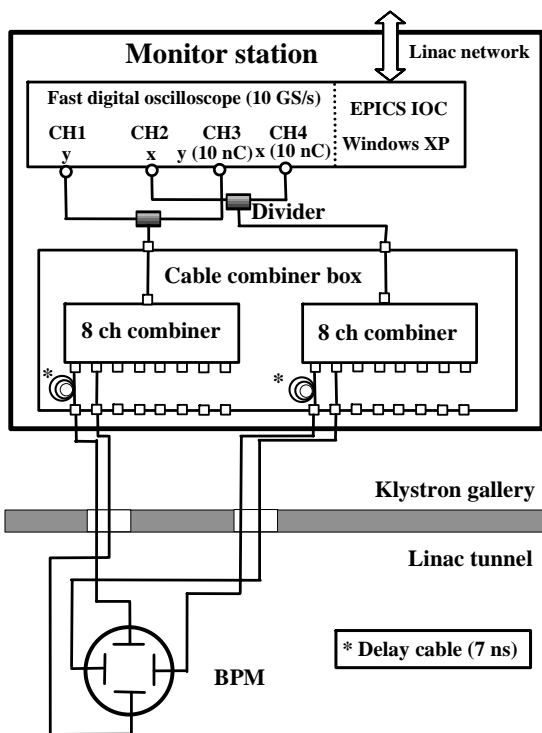


図1 : BPM DAQシステムの構成図

れの場合について、使用チャンネル数を1チャンネルから4チャンネルまで増加させた。測定結果は、連続100回行った測定値の平均をグラフ化したものである。入射器のBPM DAQでは、同時に2チャンネル計測を行い、データ点数はモニターステーションに因って異なるが、最大20 kポイントである。図2の結果より、これに対応するDAQ速度は150 Hz以上であり、波形補足後の演算処理時間を考慮しても、50 Hzでのビーム位置計測を行うためには十分な性能である事が確認できる。

また、50 Hzトリガに於ける波形捕捉欠落を調査したところ、三日に一度程度の頻度であり、長期安定動作が期待できる。但し、このような安定性は、ネットワーク負荷及びオシロスコープのCPU負荷などに依存するため、実運用上では注意が必要となるであろう。

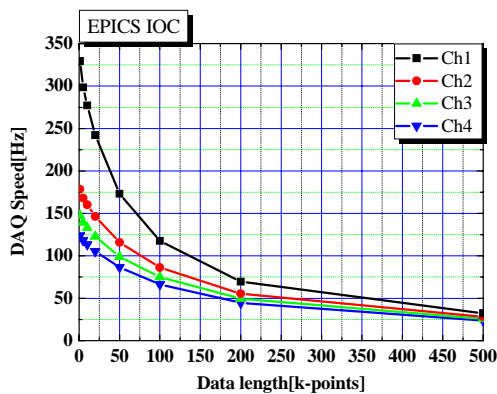


図2：EPICS IOCによる波形補足速度

### 3.2 50 Hzビーム試験

運転用ソフトウェアを用いて、KEKB電子/陽電子及びPF用ビームを交互に20 ms間隔で出力してビーム試験を行った。図3は、入射器アーク部のBPM(R0\_42)に於ける2時間分の電荷量データをプロットした物である。電荷量のばらつきは、測定BPM位置上流でのビームロスに起因すると思われる。測定データ毎のタイムスタンプ間隔を調べたところ、

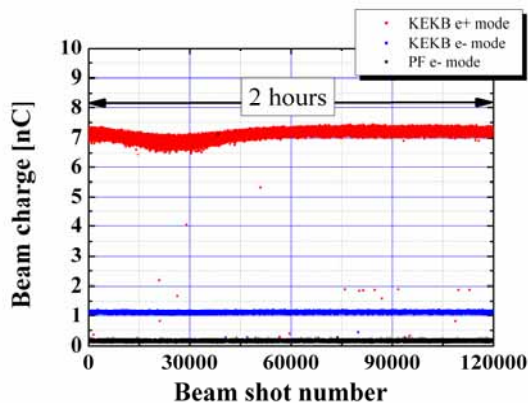


図3：EPICS IOCによるDAQ速度

ほぼ20 ms間隔となっており、50 Hzビームの安定した位置測定が行われていることを確認した。また、ビーム軌道・電荷量表示用ソフトウェアを開発した(図4)。これを用いて、モード毎のパネル表示及び監視を行い、実運用に役立てている。



図4：新BPMシステム用軌道表示パネル

## 4. まとめと今後の課題

入射器では、高速ビームモード切り替えによるKEKB・PFの3リング同時トップアップ入射に成功した。これに伴い、Windowsベースの4チャンネルデジタルオシロスコープを使用した高速BPM DAQシステムを開発した。19台の旧システムは、23台の新システムへすべて置き換えられ、安定な50 Hzビーム位置計測が実現している。運転用ソフトウェアは、EPICSを基本として構築され、各オシロスコープは、独立したEPICS IOCとして動作している。これにより、拡張性及び保守性の高いシステム構成を実現している。また、本システムを基本として改良された同様なシステムが、KEKB-BT用のBPM DAQシステムとして開発・運用されている<sup>[8]</sup>。

今後は、陽電子生成標的の下流のビームラインに於いて、KEKB電子/陽電子の1 nCビーム及びPF/PF-AR用0.1 nCビームを別々のオシロスコープチャンネルにて処理することにより、0.1 nCビームの測定分解能向上を目指す予定である。

## 参考文献

- [1] 佐藤政則, 日本加速器学会誌 第3巻2号 2006, p.171.
- [2] 佐藤政則, 日本加速器学会誌 第5巻2号 2008, p.144.
- [3] T. Suwada, et al., "Stripline-type beam-position-monitor system for single-bunch electron/positron beams", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 440 (2000) pp.307-319.
- [4] K. Furukawa, et al., "BEAM FEEDBACK SYSTEMS AND BPM READ-OUT SYSTEM FOR THE TWO-BUNCH ACCELERATION AT THE KEKB LINAC", Proc. of ICALEPCS2001, San Jose, 27-30 Nov. 2001.
- [5] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [6] Takuya Kudou, et. Al., "Development of the user interface for the event system in KEK Linac", in these proceedings.
- [7] Siro Kusano, et al., "INTRODUCTION OF EVENT TIMING SYSTEM IN KEK LINAC", in these proceedings.
- [8] Tomohiro Aoyama, et al., "Upgrade of Readout System for Beam Position Monitors in the KEKB Beam Transport Line", in these proceedings.