

Upgrade of Readout System for Beam Position Monitors in the KEKB Beam Transport Line

Tomohiro Aoyama^{1,A)}, Takuya Nakamura^{A)}, Kenji Yoshii^{A)},
Naoko Iida^{B)}, Masanori Satoh^{B)}, Kazuro Furukawa^{B)}, Tatsuro Nakamura^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

Abstract

At the KEKB accelerator, electrons and positrons are injected from the LINAC to the storage ring through the beam transport (BT) line. LINAC had continuously injected each beam alternately every about a few minutes. In our linacs system, it is very important to switch acceleration devices from electron mode to positron and vice versa to keep high storage currents. To attain this, we have developed new readout system for the beam position monitors (BPMs) at the BT line, by which the fast monitoring is possible. For the old BPM system, it had been taken a few seconds to switch the beam modes and about one second to measure the beam positions. With the new system, measuring interval was achieved to be 20 msec, including switching time, and we demonstrated that new system contributed to stable beam operation. In this manuscript, we will report on a detail of the fast readout for the BT BPM system including its performance.

KEKBにおけるビームトランスポート用BPMの読み出し高速化

1. はじめに

KEKB Beam Transport (以降 BT) は、 e^-/e^+ の 2 本のビームラインから構成されており、数十秒間隔でそれぞれのビームラインを使って交互に KEK Linac (以降 入射器) から KEKB の e^-/e^+ の両リングにビームを入射している。KEKB を高いルミノシティで運転を続けるには、高い蓄積電流を安定に保つことが必要である。このため e^-/e^+ 同時入射システムの実現が不可欠となる。これは、 e^- と e^+ のビームを最短 20ms の間隔で交互に切り替えて、それぞれのリングに入射することができるシステムである。そして、安定した両リング同時入射を行うために、BT の BPM システムの高速化が必要となった。本稿では BT BPM システムの高速化について報告する。

2. BT 及び入射器の BPM システム

BT BPM によるビーム位置測定は、BPM の各電極からの信号波形を捕捉し、これを基にビーム位置及び電荷量等の演算処理が行われる。ビーム位置及び電荷量等の計算結果は、各 BPM 用に割り当てられた EPICS^[1] レコードに書き出され、様々な上位アプリケーションから利用される。

入射器では、 e^-/e^+ の同時入射時に対応した高速の BPM システム^[2] として、BPM の波形をオシロスコープで測定しその波形からビーム位置及び電荷量の演算を行いその結果を EPICS のレコードに書き出すシステムが開発された。

BT では、このシステムを基本とし、BT 用の BPM シ

ステムの開発を行った。

入射器のシステムでは、4 チャンネル有る BPM の信号の 2 チャンネル分をひとまとめとして、その片方の信号を遅延させて、もう片方の信号の後に重ねる事により、1 チャンネルの信号にまとめることで、2 チャンネルのオシロスコープを用いて 4 チャンネルの BPM 信号を捕捉し波形のデジタル化を行い、この情報を基にビーム位置及び電荷量等の演算処理を行っている。これは、BPM とオシロスコープの距離が上流の BPM より下流の BPM になるほどオシロスコープとの距離が離れる為、下流の BPM の信号波形ほど遅れてオシロスコープに届き、遅延回路(ディレイケーブル)により、2 チャンネル分の信号のタイミング変えて信号合成器により混ぜ、さらに 2 Bunch 入射を行って信号の数が増えても各 BPM の信号の波形が混じり合うこと無く、間隔を空けて各 BPM の信号波形を観測できる。(図 1)

BT では、4 チャンネルの BPM 信号を 4 チャンネルのオシロスコープを使用して、それぞれのチャンネルの波形を個別で測定し処理を行う。これは、各 BPM とオシロスコープの位置の関係が入射器とは異なり、測定する BPM の範囲の中間付近の位置にオシロスコープが設置してある為、BPM からの信号のオシロスコープへの到達する順番が入れ替わり、各 BPM の 1 チャンネル分の信号でも 2 Bunch 入射を行うと信号が混じり合い正しく測定できない部分が出来てしまう。そこに信号をさらに追加すると大半の BPM の信号が混じり合い正しく測定出来なくなってしまった為、4 チャンネルに分けて信号を取り扱う。(図 2)

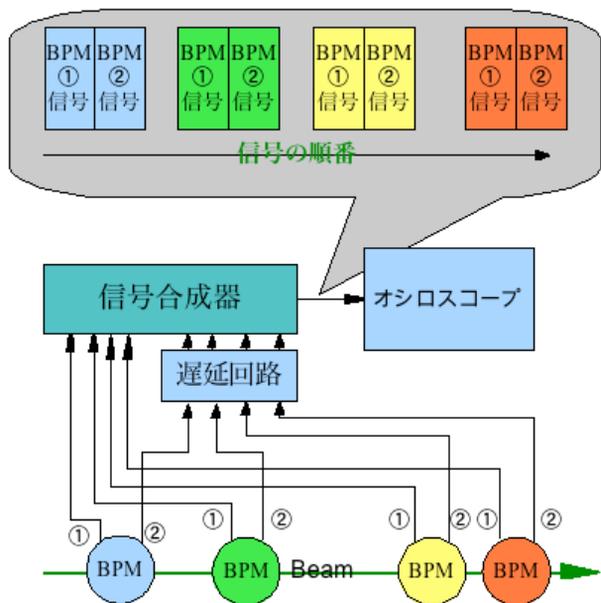


図 1 : 入射器のBPMシステムと信号 (オシロスコープの1チャンネル分)

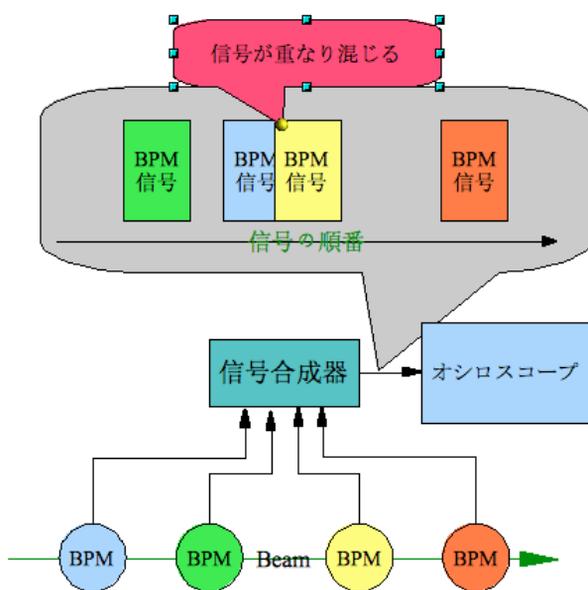


図 2 : BTのBPMシステムと信号 (オシロスコープの1チャンネル分)

3. オシロスコープのEPICS化

使用するオシロスコープは、4チャンネル入力のおシロスコープでOSとして、MS-Windows xp を使用しており、その上でオシロスコープのソフトウェアが動作している。

このオシロスコープ上でBPMソフトウェアを動かすために、オシロスコープのEPICS化を行った。

オシロスコープのEPICS化の為に、X端末のソフトウェアとしてCygwin^[3]をインストールし、EPICSは入射器でオシロスコープとの動作確認がとれているバージョン 3.14.8.2 を使用した。また、BPMソフトウェアがC言語で書かれているため、MS-Visual Studio のインストールも合わせて行った。

4. BT BPM用ソフトウェア

入射器に於いて開発されたソフトウェアを基本として、BT BPM用にいくつかの修正を行った。

変更点は、以下の通りである。

- ・入力チャンネルを2チャンネルから4チャンネルに変更。
- ・測定できるBPMの数を12台から32台増やす。(入射器ではe-/e+で同じBPMを使用しているがBTではe-/e+のBPMの場所が違う為、e-/e+をそれぞれ別のBPMとして扱う)
- ・オシロスコープの各チャンネルの信号(波形データ)のEPICSレコード化。
- ・波形の切り出し位置のEPICSレコード化。(BPMソフトウェア動作中に波形の切り出し位置を自由に変更できるようにする。入射器では、BPMソフトウェア起動時に波形の切り出し位置の設定ファイルを読み込む為、切り出し位置を変更する為には、プログラムを再起動する必要があった。)

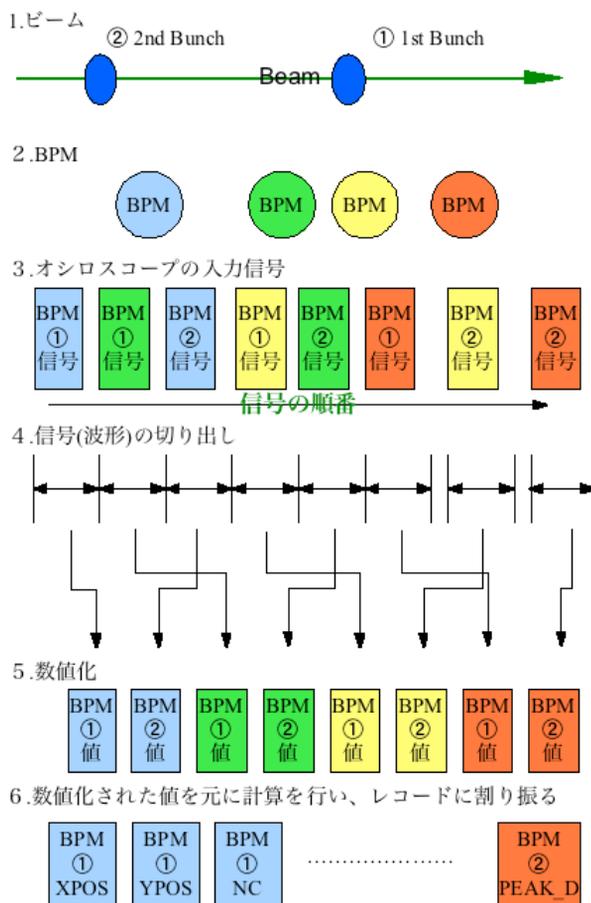


図 3 : BPM信号の処理過程

5. ビーム試験

上述の通り変更したBT用のソフトウェアを用いて、実際のビームを使用したBPM測定試験を実施した。

この結果(表1)、25Hz以上のビーム繰り返しに於いては、正常に動作しないことが確認された為、その原因を調査を行った。

入射器での運用方法では、1台のオシロスコープで平均4台のBPM信号を処理している。一方、BT用ソフトウェアでは、32台分の信号を処理している為、演算処理等の負荷が高くなっている。試験の為、測定するBPMの台数を16台に半減したところ、50Hzで動作することが確認された。しかしながら、実際の運用に於いては、BPMの台数を減らすことができない為、BPMの台数を32台に戻し、処理を減らせる項目を探ることとする。

表1：動作速度の検証結果

改良前	27Hz以上
改良前(BPM台数半分)	50Hz以上
不要なレコードの削除(A)	36Hz以上
現在BTでは使用していない処理の削除(B)	37Hz以上
A + B の両方を実施	47Hz以上

表2：運転時のe-/e+ビーム繰り返しとBPMソフトウェアの動作(改良前)

	e-:0Hz(なし)	e-:1~5Hz	e-:12.5Hz	e-:25Hz	e-:50Hz
e+:0Hz(なし)	△	○	○	△	△
e+:1~5Hz	△	△	△	△	×
e+:12.5Hz	○	◎	◎	○	×
e+:25Hz	○	◎	◎	△	×
e+:50Hz	△	×	×	×	×

ビーム入射の繰り返しの使用頻度
 ×:使用できない
 △:時々使用する
 ○:使用する
 ◎:良く使用する

BPMソフトウェアの動作
 追従できない
 追従できないがレコード書き出し値のミスはない
 追従できる

6. BPMソフトウェアの改良

減らせる項目として下記の項目が見つかった為、ソフトウェアを変更し動作速度を検証した(表1)。

- 不要なレコードの削除(A)。
e-用BPMのe+のEPICSレコード等の使用しないEPICSレコードの削除をすることで、EPICSレコード数半分になる。ただし、出力するEPICSレコードが減るだけで内部処理は変わらない。
- 現在BTでは使用していない処理の削除(B)。
入射器では使用しているがBTでは使用していないEPICSレコード及びその処理項目の削除である。EPICSレコード及びその計算処理、メモリ内のデータ領域の削減を行うことで、EPICSレコード数と計算処理、

データ領域が45%程度削減される。

動作速度を検証した結果(表1)、2つの項目を両方実施すると運転時に頻繁に使用される同時入射のビームの繰り返し周波数であるe+25Hz + e-12.5Hzの37.5Hzまで対応することが出来るため、この状態で運転に使用しつつ改良を進めることとなった。

表3：運転時のe-/e+ビーム繰り返しとBPMソフトウェアの動作(改良後)

	e-:0Hz(なし)	e-:1~5Hz	e-:12.5Hz	e-:25Hz	e-:50Hz
e+:0Hz(なし)	△	○	○	△	△
e+:1~5Hz	△	△	△	△	×
e+:12.5Hz	○	◎	◎	○	×
e+:25Hz	○	◎	◎	△	×
e+:50Hz	△	×	×	×	×

ビーム入射の繰り返しの使用頻度
 ×:使用できない
 △:時々使用する
 ○:使用する
 ◎:良く使用する

BPMソフトウェアの動作
 追従できない
 追従できないがレコード書き出し値のミスはない
 追従できる

7. まとめ、今後の課題

現在、一部の不具合を残しているが運転に使用出来る状態にまで到達した。この先、残っている課題に取り組み、更なる改良を続けることにより、秋の運転開始までに、課題を達成しを目指す。

- 動作の正確さ向上
波形の取得ミス(e-/e+の間違い)対策
波形でe-/e+を見分け、波形によるe-/e+の判断と入射器からの現在のビームがe-/e+のどちらのビームであるかを知らせる信号(イベントシステム⁴⁾)がくい違っている時には、EPICSレコードへの書き込みを無効にする。
- オシロスコープの電源ONで自動でBPMソフトウェアが立ち上がるようにする。
起動時に自動で最新の設定値で起動するようにする(設定テーブルファイルの自動生成を行う)
- 障害時の自動復旧
ネットワーク認識しなくなる等の再起動が必要なときに自動でオシロスコープの再起動を行う。ただし、連続再起動は行わない。様に前回の再起動から一定時間以上(数十分以上)再起動が行われていなければ再起動を行う。また、ソフトウェアダウンを検知し、自動でソフトウェアの再起動を行う。
- 速度の改善
コンパクトサブアレイの導入
現在使用しているEPICSのサブアレイレコードでは、必要な項目のデータを取得する

のにすべての項目をコピーしてからデータを取得することが、速度低下の原因と考えられる為。(図4)
 ただし、コンパクトサブアレイレコードを導入するには、EPICSのバージョンをBPMソフトウェアの動作確認が出来ていないもの上げる必要がある。

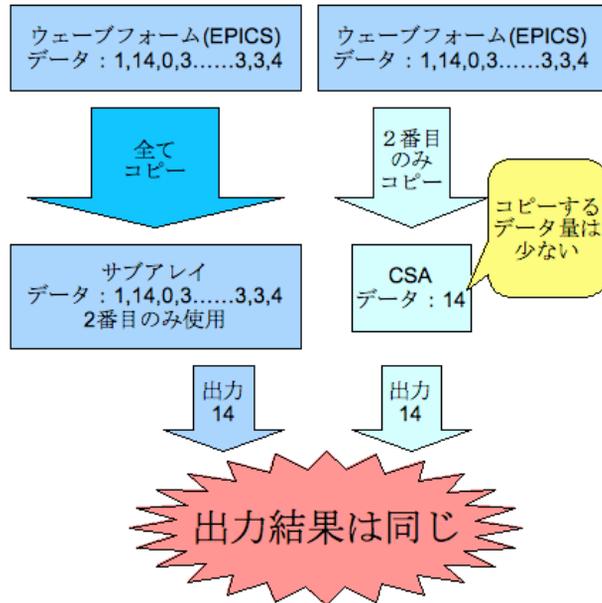


図4 : サブアレイとコンパクトサブアレイ (CSA) の比較

オシロスコープのファームウェアのバージョンアップ
 (メーカー予定 9月末)

- 調整パネルの簡素化
 切り出し位置の調整等の操作が複雑な為、
 パネル操作の手順を簡単にする。

参考文献

[1] EPICS WEB SITE “<http://www.aps.anl.gov/epics/>”
 [2] M.Satoh, “WindowsオシロスコープベースEPICS- IOCを用いた高速BPM-DAQシステムの開発”, Proc. 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, 2007
 [3] Cygwin WEB SITE “<http://www.cygwin.com/>”
 [4] Kazuro Furukawa. “PULSE-TO-PULSE BEAM SWITCH AT KEK ELECTRON LINAC”, Proc. 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Hiroshima, 2008
 [5] 佐藤政則, 日本加速器学会誌 第3巻2号 2006, p.171.
 [6] 佐藤政則, 日本加速器学会誌 第5巻2号 2008, p.144.
 [7] 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.
 [8] 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.
 [9] Takuya Kudou, et. Al., “Development of the user interface for the event system in KEK Linac”, in these proceedings.
 [10] Siro Kusano, et al., “INTRODUCTION OF EVENT TIMING SYSTEM IN KEK LINAC”, in these proceedings.