

# KEKB 入射器の 2 バンチ加速に向けた BPM 読み出しとビームフィードバック

古川 和朗<sup>1,A)</sup>、上窪田 紀彦<sup>A)</sup>、諏訪田 剛<sup>A)</sup>、小幡 友典<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1 - 1

<sup>B)</sup> 三菱電機システムサービス 〒 305-0045 茨城県つくば市梅園 2 - 2 - 8

## 概要

KEKB 入射器の陽電子入射効率を倍増するために 2 バンチ加速が計画されている。96 ns 間隔で加速されるビームの位置を得るために、位置モニタ読み出しシステムでの信号の重なりを避けるための遅延ケーブルが調整され、波形ディジタイザを通して双方の位置情報を同時に抽出するソフトウェアが更新された。そのビーム情報を用いて、ビームを安定化させるためのエネルギーと軌道のフィードバックシステムも準備されつつある。2 つのバンチのエネルギー差は RF タイミングで調整され、さらに偏向電磁石によって平均軌道が安定化される。

## 1. はじめに

KEK の電子陽電子入射器は KEBK リングへ 8 GeV の電子と 3.5 GeV の陽電子を入射している。入射時間を短くすると実験効率が向上するため、入射器を安定に稼働させ、電子・陽電子の入射時間を短くするための機構がさまざまに工夫され、利用されている<sup>[1, 2]</sup>。しかし、電子の入射に比べると陽電子の入射時間が大きいいため、さまざまな問題を克服しながら、さらなる陽電子入射時間の短縮・向上を目指して、いくつかの試みが行なわれて来た<sup>[4]</sup>。

そのうち、ひとつの入射器の rf パルスで二つの陽電子バンチを加速しようとする計画が、2000 年から始まり、2001 年秋から運転に使用されようとしている<sup>[5]</sup>。

この複数バンチ加速の仕組みは、入射器とリングの間の rf 周波数の整数比の制限にしばられ、10.38 MHz という共通周波数でしか入射が可能にならない。rf パルスの幅の制限などから、現実的には、96.29 ns 離れた 2 つのバンチの加速だけが可能になる。

これまで、入射粒子の特性診断には、ストリップライン型のビーム位置モニタや、ビーム形状を測定するワイヤスキャナ、時間方向のバンチ構造を測定するストリークカメラなどが用いられてきた。このうちビーム位置モニタは、入射ビームを安定に保つために、常時、軌道やエネルギーのフィードバックに用いられているので重

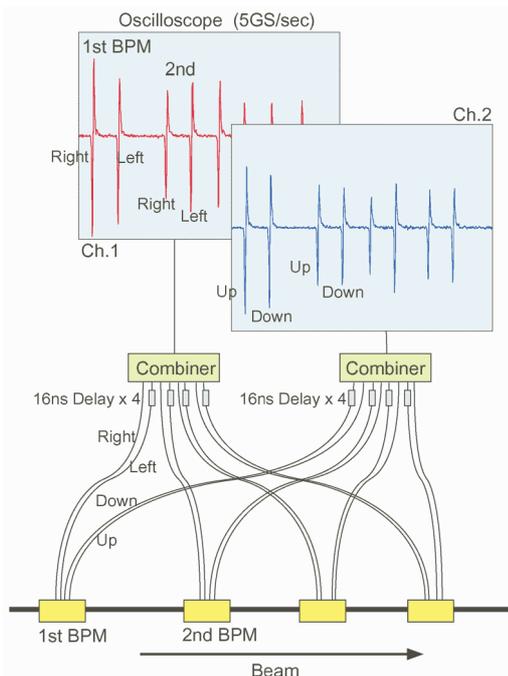


図 1: ビーム位置モニタの読み出しシステム

要である。この位置モニタが二つのバンチ双方に同様に働くことは、これまでのひとつのバンチのビームと同程度に二つのバンチのビームを安定化させるために、最も重要であると考えられる。

そこで、この二つのバンチの特性をこれまで同様の精度と繰り返しで、ビーム位置モニタで測定可能にし、ビームフィードバックにも利用することを計画した。

## 2. 位置モニタとデータ収集システム

入射器には 600 m に亘って 89 台の位置モニタ (BPM) が設置されている<sup>[6]</sup>。BPM の 4 つの信号が、クライストロンギャラリに 18 ケ所あるモニタステーションのうちの一つに接続される。場所によって 1 ケ所のモニタステーションに 2 台から十数台の BPM が接続されている (図 1)。

モニタステーションでは、BPM からの信号は遅延信号線によって適当に遅延され、2 チャンネル 5 Giga s/s の

<sup>1</sup>E-mail: kazuro.furukawa@kek.jp

デジタルオシロスコープ（Sony-Tektronix TDS-680B/C）に接続される。複数の BPM からの信号が一つの波形上に適当な間隔で現れることになる。一つの電極の信号はすそまで含めて約 5 ns の鋭い両極性信号となるが、それらが重ならないよう、1 バンチ加速の場合は 15 ns 以上の間隔を持たせている。

入射器のタイミング信号については、571MHz をクロックとしたビームトリガ同期信号が入射器全体に供給されている。BPM のオシロスコープはそのトリガ信号に同期して動作する。

オシロスコープはリアルタイムオペレーティングシステム (OS9) を用いた VME (Force 68060) システムに GPIB 経由で接続され、1 秒に 1 回波形が読み出される<sup>[7]</sup>。波形上でのビームトリガ信号からの相対時間情報により、それぞれの BPM の電極信号が切り出され、さまざまな較正係数を用いて処理された上で、ビーム位置情報が導かれる<sup>[8]</sup>。

ビーム位置情報は全体制御を司る Unix 計算機を經由して、通常の入射器制御システムの機構の中でさまざまに利用される<sup>[9]</sup>。先に書いたように、ビームモードにもよるが十数個のビームフィードバックループが、目的に応じて、1 秒から 10 秒程度の間隔で BPM 情報を利用している。

BPM の較正に関しては、設置前のワイヤによる 3 次までのマッピングや、信号線の減衰特性等の情報と、さらにビームを使ったアライメント情報等がデータベースに入っており、VME 上の信号処理で使われる。運転ソフトウェアは生信号の情報を使用することはなく、サーバから送られてくる、較正された位置情報のみを使用する。

入射器のビーム運転モードは大きくわけて KEKB  $e^-$ 、KEKB  $e^+$ 、PF  $e^-$ 、PF-AR  $e^-$ 、の 4 つがあるが、場所によっては、電流に 30 倍以上の差があるので、オシロスコープの入力アンプレンジを切り替えることによって幅広い測定範囲に対応している。

### 3. 2 バンチ加速に向けた位置モニタの改良

先に書いたように、一つのパルスの中の 2 バンチのビーム情報が同時に読み出せることが加速器内のビームを診断する上で重要であるが、われわれの情報収集機構では、それらの二つのバンチからの信号は、オシロスコープ上に波形が約 96 ns ずれて重なったような形で現れる。従って、幸いにして 96 ns という短い間隔で信号が増えるために高速の処理を改めて導入する必要はなかった。（もちろん、別に BPM を 1 秒に 1 回でなく、

50 Hz で読み出す計画があり、そちらはまた別の対策が必要になる。）

そうは言っても、18 のステーションのうち半数以上で、電極信号どうしが重なってしまったので、遅延信号線を追加した。一部は信号間の時間差を 8 ns 程度まで近づける必要があったが、信号処理には信号のピーク近傍の情報しか必要としないので、精度には影響しないと思われる。遅延線を追加したもののうちさらに半数以上では、重なりを避けるために、200 ns 程度の大きな遅延線を挿入せざるを得なかった。可能な範囲で再較正を行なったが、多少の精度の劣化は避けられなかったと思われる。重要な場所については、ビームを使用した再較正を行なっている。

オシロスコープの波形読み出し時間が、波形が長くなった分、長くなったが影響は小さく、1 秒に一回の読み出し繰り返しは維持することができた。

VME サーバや Unix サーバで使用されるデータ構造は共有メモリ上に載っているが、共通なものを除いて 2 バンチになったことで 2 倍に拡張された。また、個々のバンチを別に処理するコマンドが追加された。しかし、これまでのソフトウェアも変更しなくても自然に動作するよう留意した。

## 4. 2 バンチ加速対応の運転調整ソフトウェア

2 バンチ加速対応の BPM の仕組みと基本ソフトウェアは 2000 年夏に設計され、2001 年 3 月から、1 バンチ通常運転と 2 バンチ試験運転の双方に使用されており、問題無く動作している。秋からの 2 バンチ通常運転に向けてさまざまな運転ソフトウェアが準備され始めている。

例えば、図 2 は、低エネルギー部において、偏向電磁石を変更しながら二つのバンチの位置応答の相関を取って、ビームエネルギーを測定するためのツールである。この図では、電子銃のトリガタイミングを微調することによって、二つのバンチのビームエネルギーをほぼ合わせることができている<sup>[5]</sup>。

この他にも、後に述べるフィードバックループや数種類の軌道表示ソフトウェアなどが 2 バンチ加速に対応するよう修正され、試験運転にも使用されている。

## 5. ビームフィードバックの拡張

これまでの運転においても、多数のビームフィードバックループが使用され、特に KEKB 入射を安定させるために不可欠なものとなっている。2 バンチ加速運転

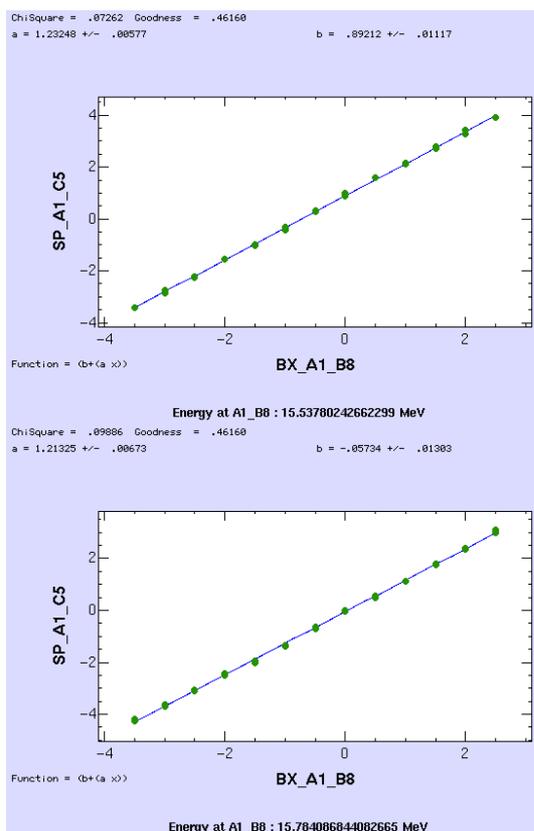


図 2: 低エネルギー部（集群部）での BPM と偏向電磁石を使用した 2 つのバンチのエネルギー測定ソフトウェアのグラフパネル。2 つのバンチ双方が 16 MeV 程度に調整されたところ。

についてはウェイク場による 2 つのバンチのビーム特性の違いを最低限に抑え、安定な加速を維持する必要がある。

SLED を使用した通常加速ユニットについては、SLED の鋭い出力波形と加速管の rf 充填時間の関係から、ビームの受けるエネルギー利得は rf のタイミングに対して数百 ns の幅を持ったピークとなる。96 ns 離れた二つのバンチのエネルギーを合わせるためには、縦方向のウェイク場を考慮しながら、エネルギー利得のピークのどのタイミングにビームを乗せるかを調整することになる。

この条件は、rf システムやタイミングシステムの安定度から考えて、大きく崩れるものでは無いと考えられるが、長時間の変動は有り得るものと考えている。

そこで、まず 1.7 GeV の 180 度アーク部（R セクタ）の BPM を使用して二つのバンチのエネルギー差を測定し、その前の B セクタの 8 台の加速ユニットの rf タイミングを調整することによって、エネルギー差を最小にする、遅いフィードバックを試験導入してみた。まだ、長時間の試験は行っていないが、外乱を与えることに

よって正常な動作が確認できているので、通常運転でも使用できるものと考えている。同様のエネルギー差フィードバックは、入射器の終端部にも設置する予定である。

その他にこれまで使用している軌道やエネルギーフィードバックは<sup>[2]</sup>、二つのバンチの間の重み付き平均のビーム位置やビームエネルギーをモニタ入力とすることで、これまで同様ビーム安定化に寄与できるものと考えている。これまでのフィードバックソフトウェアの中で、位置モニタ入力の部分を、二つのバンチ間の重みや、ビーム電流の重みなどを指定できるような仮想入力に置き換えることで、大きな変更を行わずに対処することができる。

## 6. まとめ

入射器の 2 バンチ加速に対応して、ビーム位置モニタの 2 バンチ同時読み出しが可能になり、試験運転にはなくてはならないものとなっており、2001 年秋からの KEKB 入射運転に役立つものと期待されている。

ビームを安定に維持するための軌道やエネルギーのフィードバックについても、2 バンチビーム位置読み出しを利用して、これまでの拡張を行なうことができる。また、エネルギー差を維持する機構も安定した運転に寄与することが期待される。

## 参考文献

- [1] K. Furukawa *et al.*, “Beam Switching and Beam Feedback Systems at Keks Linac”, Proc. 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, Himeji, 2000, p.111.
- [2] K. Furukawa *et al.*, “Energy Feedback Systems at the KEKB Injector Linac”, Proc. of ICALEPCS99, Trieste, Italy, 1999, p.248.
- [3] K. Furukawa *et al.*, “Towards Reliable Acceleration of High-Energy and High-Intensity Electron Beams”, Proc. LINAC2000, Monterey, U.S.A., 2000, p.630.
- [4] K. Furukawa *et al.*, “タンゲステン単結晶標的を用いた陽電子生成実験”, these proceedings.
- [5] Y. Ogawa *et al.*, “KEKB ライナックにおける陽電子倍増のための大強度 2 バンチ加速”, these proceedings.
- [6] T. Suwada *et al.*, “New Data-Acquisition System of Beam-Position and Wall-Current Monitors for the KEKB”, Proc. APAC’98, Tsukuba, 1998.
- [7] T. Obata *et al.*, “Reliable Controls with Diskless VME Computers at KEK Linac”, Proc. 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, Himeji, 2000, p.255.
- [8] N. Kamikubota *et al.*, “Data Acquisition of Beam-Position Monitors for the KEKB Injector Linac”, Proc. of ICALEPCS99, Trieste, Italy, 1999, p.217.
- [9] K. Furukawa *et al.*, “Accelerator Controls in KEKB Linac Commissioning”, Proc. of ICALEPCS99, Trieste, Italy, 1999, p.98.