

FAST BEAM MODE SWITCHING SYSTEM AT KEK E⁻/E⁺ LINAC

Kazuro Furukawa^{*A)}, Tsuyoshi Suwada^{A)}, Masanori Satoh^{A)}, Eiichi Kadokura^{A)},
Katsuhiko Mikawa^{A)}, Yoshiharu Yano^{A)}, Artem Kazakov^{A)}

^{A)}High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

KEK 8-GeV Linac provides electrons and positrons to Photon Factory (PF) and B-Factor (KEKB). Because of the nature of those factory machines, both quantity and quality of the beams are required. In order to improve the injections, quasi top-up injections of electrons to PF and KEKB rings have been planned and a new beam transport line was built. Fast beam switching mechanisms are being developed and installed. Among those mechanisms the fast switching of linac parameters of timing signals, low-level rf devices, beam instrumentation and beam feedback systems need to be developed. In order to realize them the event distribution system is installed, and other sub-systems will follow the event notification. The rf synchronization scheme is also upgraded. The system is under testing part by part, and will be used in 2007.

KEK 電子陽電子入射器における高速ビーム切り替えシステムの構築

1. はじめに

KEK の電子入射器は KEKB-LER, KEKB-HER, PF, PF-AR の 4 つのリングに対してそれぞれ特性の異なるビームを供給している。それらのビームモードを切り替える場合には、どの電磁石を初期化するかに応じて 30 秒から 2 分の時間を必要としている。特にひとつのリングにおいてビーム開発研究を行う場合には、他のリングの実験への影響は大きく、安定な実験が阻害されることも少なくない。また、現在は KEKB においては通常連続入射 (Continuous Injection ModeTM) が行われているが、PF リングにおいても連続入射 (Top-up Injection) の要望が高まってきている。そこでまずは KEKB-HER と PF への電子入射について高速に切り替えができるようビームラインを構築し、切り替えのため更新を進めている [1]。

ビームモードの切り替えにおいては、制御機構やタイミング機構の更新も必要となり、パルス機器の遅延、低レベルマイクロ波、ビーム安定化フィードバック、などを高速で切り替える機構が必要となる。まずはそのような切り替え事象を広範囲に確実に通知するために、イベント分配システムを導入する。また、それぞれの機器が高速 (50Hz, つまり 20ms) な切り替え要求に応答する必要があり、主要な機器が改造を受けている。その上で、採用したイベントシステムが直接扱うことのできるタイミングの変更、そしてその他のパラメータの変更を高速に行なう。

このような仕組みを 2007 年の秋から運用できるよう準備を進めているが、これらの切り替えの機構について以下に述べることにする。

2. パラメータ切り替え

これまでの運転では、15 あまりの設定項目について 30 秒以上の時間を要してビームモードの切り替えを行っている [2]。これまでの速度を決めていたのは電磁石の初期化であったが、振り分け電磁石を初期化する必要が

あるようなモード切り替えでは、2 分近い時間を要していた。今回、パルス電磁石の導入によって切り替えの高速化が可能になり、特に以下のようなパラメータについて、切り替えの仕組みに変更を加える。

- パルス電磁石によるビーム振り分け
- 大電力マイクロ波源の運転・待機切り替え
- 低レベルマイクロ波パラメータ
- ビームモニタ読み出しモード
- マイクロ波測定モード
- ワイヤスキャナ・ビームモニタ

特に、マイクロ波位相切り替え等やビームモニタ読み出しについては、後に述べるイベントシステムとソフトウェアの協調が重要になる。また、ビーム特性やパラメータが高速に切り替わるため、操作上はそれぞれのビームモード毎に仮想加速器が見えるような仕組みを構築する必要があると思われる。

- 運転パラメータの操作と表示
- 情報履歴蓄積アーカイバ、またはビューワの多重化
- ビーム安定化フィードバックの多重化

などを検討している。上に挙げた個々の機構を試験しながら、現在の切り替え時間 30 秒から、徐々に 50Hz 切り替えまで進めていきたいと考えている。以下にこれらのパラメータ切り替えについて少し詳しく見ていく。

3. イベント分配システム

3.1 これまでのイベント分配

加速器システム全体が同期して、あるビームモードに切り替わり、正しく動作するように通知する機能をイベント通知と呼ぶことがある。これまではこのようなイベントは主に制御ネットワークを経由して各装置に通知され、必要があればパラメータの変更が行われてきた。切り替える必要があるパラメータの数は 500 個から 1000 個である。タイミング信号については、パルス繰り返しの 50Hz 毎に情報を伝えなくてはならないもの

*E-mail: <kazuro.furukawa@kek.jp>

もあり、15ヶ所のタイミングステーションのうち8ヶ所に4本のハードワイヤが張られ、どのパルスにビームが伴っているか、どのパルスでビーム測定を行うか、などを指定するイベントの通知に使用されてきた^[3]。これまでは電磁石の初期化に時間がかかったためこれら2つの機構で充分機能してきた。

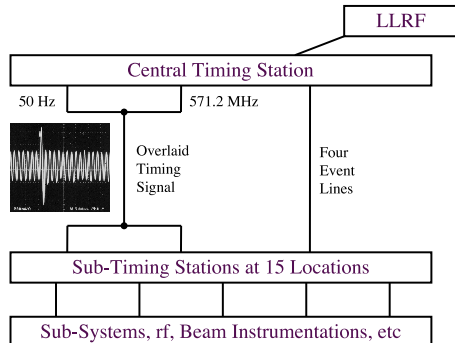


図1: これまでのイベントとタイミング分配システムの構成。

3.2 新しいイベント分配システム

今回、高速のビームモード切り替えを行なうため、多数の機器パラメータをイベントに同期して切り替える必要が生じ、Diamond放射光施設のために開発されたイベントシステムを導入することにした^[4, 5]。このシステムでは、イベント発生器が、イベント、クロック、タイムスタンプ、2kバイトまでのデータ、などを重畳して光ファイバ経由で送り出し、複数のイベント受信機がそれらを正確に再現する。これによってイベントに同期した情報を多数送ることができるだけでなく、図2のように全体の構成を簡略化することができ、保守も容易になると期待される。

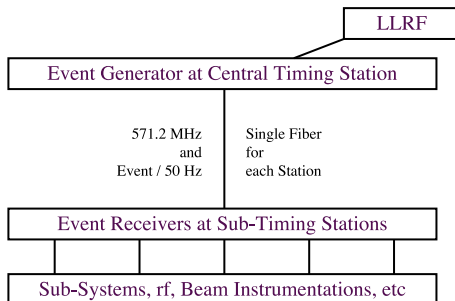


図2: イベントシステムによりイベントとタイミングの分配が容易になる。

タイミングも、このモジュールの使い方によって数十ピコから数ピコ秒程度まで精度を上げられる。現在のタイミングシステムの分配精度が4ピコ秒程度であるので、ほとんどの信号についてそのまま使用できると考えられる。これまではひとつのモジュールでひとつのタイミング信号しか発生できなかったが、このイベント受信機は十以上のタイミング信号を独立に発生できるので、保守にも有利となる。

イベントシステムで使用する制御モジュールは、イベントの高速処理のために複雑な機能を持ち、モジュール

上のFPGAやCPUにより拡張性も高い。制御ソフトウェアも複雑ではあるが、これまでに複数の研究機関が協力して開発してきたソフトウェアを使用することが可能で、独自の開発は最小限にすることができる。ソフトウェアはEPICS^[6]を使用するので、最近の入射器の方向性とも合致している^[7]。現在のところ、VME計算機とRTEMSという実時間処理オペレーティングシステム(RTOS)^[8]とEPICSを組み合わせることで試験を進めている。50 Hzでの切り替えを行うためにはRTOSの採用は必須と考えている。

当初は図3のように、入射器の前半1ヶ所と後半部分の6ヶ所に新しいイベント・タイミングシステムを導入する。将来は15ヶ所全てのタイミングステーションを置き換えることも想定している。

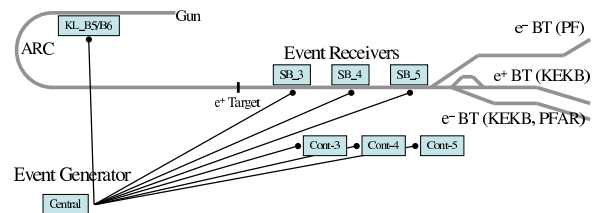


図3: 入射器内の当初のイベントシステムの配置。

4. 低レベルマイクロ波とタイミング

PF入射時の2.5 GeVとKEKB入射時の8 GeVという大きく異なる電子エネルギーを切り替えるために、マイクロ波源の運転・待機、タイミング信号、そして低レベルマイクロ波の設定を切り替える必要がある。運転・待機の切り替えと、タイミング信号の変更は、新しいイベント分配システムの機構のファームウェアの中で実現が可能であり、特別なハードウェアを用意する必要はない。

低レベルマイクロ波の設定値の切り替えについては、イベント分配システムからの信号で、確実に低レベルマイクロ波のアナログ量を変更できるような仕組みを試験している。切り替えイベントによってVME Busへの割り込みを発生し、それによって直前に送られた制御点のアナログ情報を設定する。ソフトウェアは先に述べたようにEPICS上に構築する。

当初、イベント受信機が設置される7ステーションのうち4つが、図4のような構成となり、1ヶ所目は、180度アークでの高速エネルギー調整に使用する。後半の3ヶ所はKEKB入射かPF入射かによって加速・減速を切り替え、さらに入射器終端でのエネルギー調整も行う。残りの3ヶ所はマイクロ波源の運転・待機の切り替えに用いる。

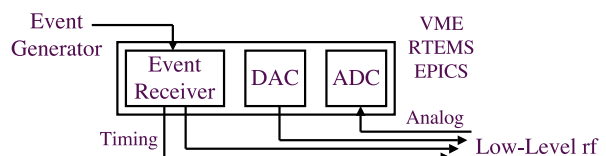


図4: 低レベルマイクロ波とタイミング信号の切り替え。

5. ビーム位置モニタ (BPM) 読み出し

通常の運転においては、入射器内に約 100 台設置されているビーム位置モニタがもっとも運転に重要であり、さまざまなビーム安定化フィードバック・ループや表示ソフトウェアで常時監視されるとともに、履歴蓄積の機構によって、後に入射ビーム特性の向上のための解析に使用されることも多い。

ビーム・モード切り替えが高速になれば、それらを区別する必要があり、まずは全てのパルスを読み出すことが重要になる。現在まで使用されている読み出し系は、情報を間引いて、1秒に1回までしかビーム位置を読み出せないため^[9]、複数の可能性をこれまで検討してきた^[10]。要求される測定精度を満たしながら、かつ、できるだけ能動的な装置の数を増やさずに保守性を高める解決策として、オシロスコープ (Tektronix DPO7104) を用いた読み出し系を新しく採用した。

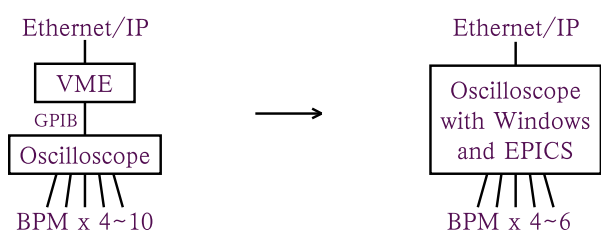


図5: これまで使用してきた BPM の測定系 (左) は 1 秒に 1 回しか読み出せなかったが、今回採用した測定系 (右) では 50 回以上の読み出しが可能で、さらに構成の簡略化と処理の分散化が容易になる。

図5のように、基本的な読み出しの考え方はこれまでの仕組みと同じであるが、このオシロスコープは 3 GHz の CPU を持った Windows オペレーティング・システムを搭載しているため、数十におよぶ較正係数を適用する位置モニタの情報処理をオシロスコープの上で行うことができ、50 Hz の高速処理や、96 ns しか離れていない複数バンチの処理にも対応できる。試験中のソフトウェアでは、これまでの入射器の制御ソフトウェアと同等の読み出しができるようにしているが、同時に EPICS ソフトウェアからの読み出しにも対応できるように調整を進めている。1 台の測定系で平均して 5 台の BPM を読み出すので、全体で 20 台以上の測定系が必要となるが、2006 年夏に 10 台を置き換えてビーム運転に使用し、ソフトウェアの検証を行った上でさらに交換を進める予定である。

Windows が実時間処理に対応していないことが懸念されるが、これまでの 50 Hz 連続読み出し試験では、平均して 100 万回の測定で 1 回程度の取りこぼししか起こさないことが分かっている。制御点について設定の抜けが起こることは致命的だが、読み出しではソフトウェアによる補正が可能なので、十分実用になると考えている。

6. その他の機構

BPM 以外のビーム測定やマイクロ波測定についても BPM と同様な対応が必要となるが、BPM に比べると常時全てのビーム・モードを測定する必要性は低いので、

当初はイベント受信器からビームモードの選択情報を確実に送り、これまでと同じ測定を行うことで、運転は可能であると考えている。

タイミングに関しては、KEKB と Linac のマイクロ波は同期が図られているので問題ないが、PF リングと Linac についてはそれぞれのリングでの周長補正があるために完全同期が不可能となっている。そのため、同期タイミングを発生できる回路を制作し、使用を始めている^[11]。今後さらに検証を進める予定である。

7. 考察とまとめ

50 Hz のビームモード切り替えに関して、個々の項目の実証は進みつつあるが、全体を確実に動作させることにはまだ困難も予想される。項目毎の検証を着実に進め、切り替え時間を徐々に減らしていこうと考えている。

当初は電子だけの切り替えではあるが、近い将来は陽電子も含めた切り替えが必要になり、陽電子の一次電子の電流強度は PF 入射用の電子の 100 倍の強度を持つため、低レベル・マイクロ波の高速制御の必要ヶ所も増大し、ビーム測定系のダイナミックレンジも問題になる。装置を増やすことで原理的には対応可能であるが、全体としての確実性を維持できるかどうか検討を継続している。

2007 年夏には全体の機構を動作させることが可能になる予定で、PF リングでの放射光実験と KEBB での B 中間子の物理実験に対し大きな貢献になると期待している。同時に運転を容易にするために仮想加速器の機構も充実させていきたい。

参考文献

- [1] M. Satoh *et al.*, "The KEK Linac Upgrade for the Fast Beam Mode Switch", *Proc. ICALEPCS2003*, Edinburgh, UK, 2006.
- [2] K. Furukawa *et al.*, "Beam Switching and Beam Feedback Systems at KEKB Linac", *Proc. of LINAC2000*, Monterey, USA., 2000, p. 633.
- [3] K. Furukawa *et al.*, "The Timing System of KEKB 8-GeV Linac", *Proc. ICALEPCS2003*, Gyeongju, Korea, 2003, p. 130.
- [4] T. Korhonen *et al.*, "Timing System of the Swiss Light Source", *Proc. ICALEPCS2001*, San Jose, USA., 2001, p. 638.
- [5] Y. Chernousko *et al.*, "Diamond Timing System Developments", *Proc. ICALEPCS2003*, Gyeongju, Korea, 2003, p. 244.
- [6] <<http://www.aps.anl.gov/epics/>>.
- [7] K. Furukawa *et al.*, "Lifespan of an Accelerator Control System and Transition to EPICS", *Proc. of 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society*, Tosu, 2005, p.424.
- [8] <<http://www.rtms.com/>>.
- [9] K. Furukawa *et al.*, "Beam Feedback Systems and BPM Read-Out System for the Two-Bunch Acceleration at the KEKB Linac", *Proc. ICALEPCS2001*, San Jose, USA., 2001, p. 266.
- [10] M. Satoh *et al.*, "Fast Data-Acquisition System for the Beam-Energy-Spread-Monitor", *Proc. ICALEPCS2003*, Gyeongju, Korea, 2003, p. 527.
- [11] K. Furukawa *et al.*, "Timing System Upgrade for Top-up Injection at KEKB Linac", *Proc. EPAC2006*, Edinburgh, U.K., 2006.