

THE EVENT TIMING SYSTEM IN KEK LINAC

Shiro Kusano^{1,A)}, Takuya Kudou^{A)}, Kazuro Furukawa^{B)}, Masanori.Satoh^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service CO., LTD.

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

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

Abstract

The KEK Linac injects the electron and positron beams into the KEKB-LER, KEKB-HER, PF and PF-AR rings with four different characteristics. In order to improve the beam operation efficiency, we have planned the simultaneous top-up operation for the PF and KEKB. The fast beam switching mechanisms are being developed and installed. For those mechanisms, the linac parameters of timing and low-level rf phase should be controlled in the pulse by pulse of 50 Hz. In this paper, we will present the event timing system to the KEK Linac control system in detail.

KEK LINACにおけるイベントタイミングシステム

1. はじめに

KEK電子陽電子入射器(KEK Linac)では、KEKB e⁺、KEKB e⁻、PF-Ring、PF-ARの4リングへ、異なる質(電荷量、エネルギーなど)のビームを供給している。従来のシステムに於いては、それぞれのリング入射に最適化された機器パラメータ(ビームモード)を切り替えるために数分要する場合があった。ビームモードの変更には、電子銃、タイミングシステム及びRF位相などの切り替えが要求される。特定のリングがビームスタディをおこなう場合、ビームモードの切り替えが頻繁になり、他のリングの実験に影響を与えることもあった。また現在では、KEKBリングでは蓄積電流を一定に保つ連続入射が行われているが、PFリングにおいてもトップアップ入射への要望が高まってきている。これらの要求を満足するために、KEK Linacの将来計画として、4つのリングにビームを同時に入射することを検討している^[1]。同時入射の実現のためには、KEK Linacのビームモードをビームパルス毎(最大50 Hz)に切り替えることが不可欠となる。

ビームモードの高速切り替え実現のため、イベントジェネレータ(EVG)及びイベントレシーバ(EVR)を用いた新タイミングシステムの導入を進めている^[2]。EVGは、ビーム入射パターン情報を基にイベントコードを生成し、EVRへ配信する。EVRは、EVGから受信したイベントコードに従い、パルス電磁石のタイミング・クライストロンの高電圧タイミング(ビーム加速・待機状態)・低レベルRF(LLRF)の位相・電子銃のタイミングなどの高速制御を行う。

新タイミングシステムへの移行は、2008年9月から順次おこなわれ、ビーム試験を重ねながら2009年4月には、KEKB e⁺/e⁻及びPFへの3リング同時入射に成功した。本稿では、イベントタイミングシステムについて、詳細に報告する。

2. イベントタイミングシステムの構成

2.1 ハードウェア構成

イベントタイミングシステムは、15台のVME(CPU MVME5500)及び1枚のEVG、16枚のEVR、約20枚のPVME303/323などのモジュール群から構成されている(図1)。EVGには、571MHzのRF Clockと各リングに同期された50Hzの信号(AC Clock)を入力している。RF Clockについては、EVGの内部に於いて5分の1に分周される。RF Clockは、イベント繰り返しの周期でもあり、この間隔(約8.5 ns)で様々なタイミングを設定可能である。EVGでは、イベント、クロック、タイムスタンプ及びデータなどを重畳して一本の光ファイバ経由でスター型に接続された各EVRに送信する(図2)。

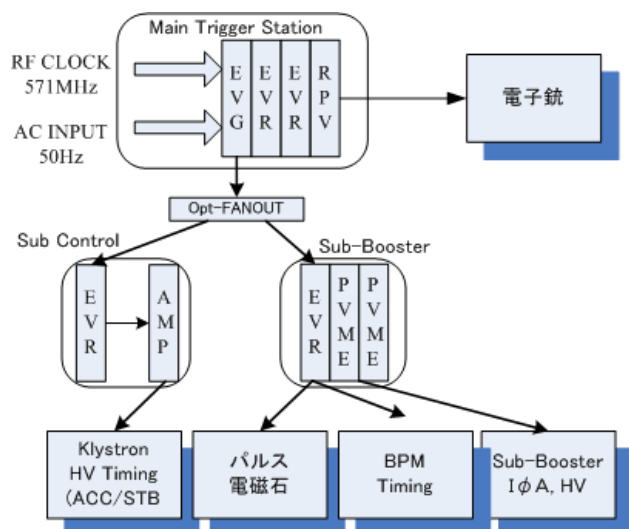


図1：イベントタイミングシステムの構成図

¹ E-mail: skusa@post.kek.jp

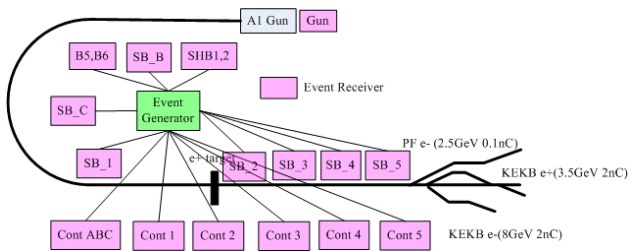


図2：イベントシステムの配置図

2.2 ソフトウェア構成

イベントタイミングシステムの基本ソフトウェアは、VME用OSではvxWorks 5.5.1、アプリケーションツールキットではEPICS Base R3.14.9を使用している。EPICSは二階層構造を持ち、Input/Output Controller(IOC)と呼ばれるサーバ部とオペレータインタフェースなどのクライアント部から構成され、サーバ・クライアント間には、Channel Access(CA)プロトコルを介して通信を行っている。

2.2.1 EVG/EVR用デバイスドライバ

EVGによるイベント情報の生成に於いては、同時入射運転で要求されるビームモードとして、運転用5種類、ビーム調整、スタディ用の5種類の総計10種類が必要となる。EVGで生成されたイベント情報を基に、EVRはクライストロン高圧タイミング、クライストロンRFタイミング、PVME303/323によるLLRF位相、パルス電磁石の制御を行っている。

2.2.2 PVME303/323デバイスドライバ

LLRFの位相制御には、VMEモジュールであるPVME323(Intenix社製 12bit Digital I/Oボード)を使用している。また、設定の読み返しをおこなうため、PVME303(Intenix社製 12bit Analog I/Oボード)を用いている。LLRFの位相設定値は、ビームモード毎に異なるため、EVGからのイベントコードを基に最適値が設定される。

2.2.3 RPV130デバイスドライバ

KEK Linacでは、ビームモード毎に異なる電荷量のビームを供給する必要がある。陽電子生成用の1次ビームとして、10 nCの電子ビームが要求される。KEKB e-モードに於いては、1 nCの電子ビーム、またPF及びPF-ARモードでは約0.1 nCのビームが必要とされる。この様に、同時入射においては、ビームモード毎に電子銃の設定値を高速に切り換える必要がある。このため、VMEモジュールであるRPV130(林栄精機社製 Interrupt & I/O Register 8ch)を組み合わせたシステムを構築している。EVGが生成するイベントコードを基に割り込み処理を行い、電子銃タイミング用光変換モジュールに対して現在のビームモードの情報をレベル信号で送る。

2.2.4 オペレータインタフェース

図3は、イベントコードを生成するための、入射パターン生成用ソフトウェアパネルの表示画面を示している。イベントタイミングシステム用オペレータインタフェースの開発環境には、KEK Linac及びKEKBのオペレータインタフェース開発に於いて広く利用されているPython/Tkinterを採用した^[3]。Pythonは、オブジェクト指向型のスクリプト言語であり、開発及び試験が容易である。また、EPICS用のモジュールが利用可能であるため、本インタフェース開発に最適である。

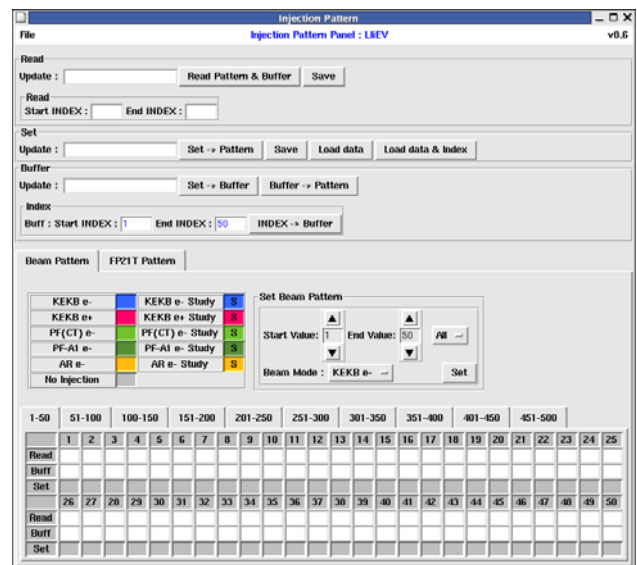


図3：オペレータインタフェースの一例

3. 問題点・課題

3.1 光ファイバの伝送距離

2008年9月にシステムを一部試験導入した際、第4副制御室及び第5副制御に於いて制御しているクライストロンの高圧タイミングがたびたび停止することがあった。これは、それぞれの副制御室がFANOUTから500 m以上離れているため、マルチモード用光ファイバではイベント情報を伝送することができなかったことに起因する。このようなトラブルを避けるため、EVRの光受信部とFANOUTの光送信部、光ケーブルをシングルモードに変更を行った。

3.2 RASボードによるリモート監視

本システムではVMEが多く使用されており、また広く分布して設置していることから、それらの正常動作を常時監視することは重要である。このようなことから、RASボード(LHS社製)によるVME監視システムの導入を検討している。RASボードには、VME電源の電圧、温度、ファンの状態やウォッチドッグタイマによるCPUの監視、CPUのリセット機能、CPUやネットワーク機器などのコンソールとリ

モート接続機能を持っている。これらの機能によりリモートでハードウェアリセットが可能となり、イベントタイミングシステムに不具合が生じた場合に於いても、迅速な原因究明及びシステム復旧時間の短縮化が期待される。さらに、本RASボードはターミナルサーバ機能を有しているため、VMEのネットワーク機能に不具合が生じた場合であってもシステム監視を継続することが可能である。また、VMEがシリアルポートより出力するシステム情報を得ることができるため、不具合時の原因の解明にも役立つと期待される。

3.3 VMEの原因不明による停止

2009年4月のシステム導入後、約3カ月の間一部のIOCがエラー表示もなく停止することが4回あった。停止する現象としては、OSそのものが停止する場合とEPICS IOCが停止する場合があった。当初はノイズでの停止も考えられたため、ケーブルへのコアの挿入やラックの密閉などのノイズ対策を施したが成果が得られなかった。今後、RASボードの導入により、システム情報の収集を行い不具合の原因を追究する。

3.4 パルスコイル不等間隔

KEK Linacでは、陽電子収束用電磁石として陽電子ターゲット直後にパルス電磁石を設置している。KEKB e⁺入射時には、入射率の向上や入射ノイズを防ぐため、ビーム繰り返しを変更することがあり、ビーム繰り返しに合わせてパルスコイルのタイミングも変更する。ビーム繰り返しを変更の際、パルスコイルがダウンするという不具合が時々発生することがあった。これはイベント情報の変更の際、パルスコイルのタイミングが一瞬不等間隔になることが原因であった。この対処として、現在のイベント情報と更新する情報の間にタイミングが不定期にならないような仕組み導入することを検討している。

3.5 rfパルスタイミング調整幅

KEK Linacでは、SLED空洞によるパルス圧縮やKEKBリングへの入射率向上のために、ひとつのパルス内に約96 ns離れた2つのビームバンチを加速する2 bunch 入射を行っている^[4]。このようにKEKBに於いては安定かつ精度の高いrfパルスタイミングが必要となっている。しかしながら、rfタイミング調整を行う場合、本システムのタイミング幅は約8.5 ns であるため、調整幅として精度が高いとは言えない。この対処として、EVRの機能の一部であるCurrent Mode Logic(CML)を使った信号の高精度化を検討している。EVRによるCML信号は、約400 psの精度を持っておりrfパルスタイミング調整幅としては十分と考えられる。しかしKEK Linacでは、NIMやTTL信号を扱うモジュールが多いため、CML/TTL,NIM信号変換モジュールが必要である。モジュールの作成し、試験を行う予定である。

4. まとめ

2006年より4つのリングへの同時入射に向けた取り組みとしてビームラインの改造、ビーム開発及び各種ソフトウェアの試験、開発を進めてきた。イベントタイミングシステムにおいては、2008年9月の一部導入からビーム試験を重ね、2009年4月から実際に3つのリングへの同時入射運転を行うことに成功した。

今後更に改良・改善を進め、システムの安定な運用に貢献し、またSuper KEKB を含めた今後の加速器においても有効に利用されると期待する。

参考文献

- [1] M.Satoh, et al., “高速ビームモード切り替えのためのKEK入射器アップグレード”, Proc. 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, 2006.
- [2] K.Furukawa, et al., “KEK電子入射器の高速ビーム切り替え機構”, Proc. 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Hiroshima, 2008.
- [3] T.Kudou, et al., “KEK LinacにおけるEvent System用ユーザーインターフェースの開発”, these proceedings.
- [4] Y.Ogawa, et al., “KEK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”, Proc. 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 2001.