

THE EVENT TIMING SYSTEM IN KEK LINAC

Takuya Kudou ^{#,A)}, Shiro Kusano ^{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 injector linac provides the different energy of electron and positron beams for the PF, PF-AR and KEKB rings. In order to improve the beam operation efficiency, we have planned the simultaneous top-up operation for the PF and KEKB rings. For such operation scheme, it is strongly required for the ordinary timing system to be replaced by the new fast system. Towards the simultaneous top-up, we have adopted the event generator/receiver system based on VME64x bus as a new timing system, and we have developed the EPICS IOC for this new timing system. The new timing system works very well for the long-term daily beam operation. In this paper, we present the status of event timing systems 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(以下、入射器)では、KEKB(8 GeV 電子/3.5 GeV 陽電子)、PF (2.5 GeV 電子) 及び PF-AR (3 GeV 電子^{##}) の 4 つの異なるリングへビームを供給している。2006 年より進められてきた入射器アップグレード^[1]により、2009 年 4 月以降、日常ビーム運転で 3 つの異なるリング (KEKB 電子・陽電子及び PF) への同時トップアップ入射を実現している。本運転には、入射器の最大ビーム繰り返し 50 Hz(20 ms 間隔)ごとに異なるタイミング信号を生成し、約 1km に亘って分散設置されている数百台の制御装置へ供給することが求められる。このため、単純な遅延モジュール群から構成される従来のタイミングシステムを、イベントタイミングシステムを中心とした新システムへ置き換えることが必要となった。

イベントタイミングシステムは、VME64x モジュールである Event Generator (以下、EVG) 及び Event Receiver (以下、EVR) から構成されている。EVG は、ビーム繰り返し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基づき、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)・低電力 RF 位相及び電子銃タイミングなどの高速制御をおこなう物である。旧タイミングシステムから新イベントタイミングシステムへの更新は現在も進められており、また、運転用ソフトウェアの改良も継続しておこなわれている。本稿では、イベントタイミングシステムの構成、現状及び将来の課題について詳述する。

2. イベントタイミングシステム概要

イベントタイミングシステムは、19 台の

VME64x クレート及び CPU (MVME5500)、MRF 社製の EVG、EVR^[2]、PVME303 (ADC)/PVME323 (DAC)などのモジュール群から構成されている(図 1)。EVG には、571.2 MHz の RF Clock 及び各リングに同期された 50 Hz の信号(AC Input)が入力される。EVG で使用可能な Clock は 50 MHz~125 MHz のため、RF Clock は EVG の内部に於いて 5 分の 1 に分周される。EVG は、イベント、クロック、タイムスタンプ及び 2 キロバイト長までのデータなどを重畳し、一本の光ファイバー経由にて出力する。EVG とスター型トポロジー接続された多数の EVR は、これらの情報を正確に再現する事が可能である。一系統の光ファイバー接続のみ必要であるため、全体の構成を簡略化することが可能であり、保守作業の軽減及び耐障害性の向上が期待される。

制御用ソフトウェアは、Experimental Physics and Industrial Control System^[3] (EPICS)を基に開発し、実時間処理オペレーティングシステムである VxWorks 上で動作させている。現在、本システムを用いて、電子銃モード選択信号、クライストロン高圧タイミング信号、パルス電磁石タイミング信号及びサブブースタークライストロン位相制御用アナログ信号を供給している。

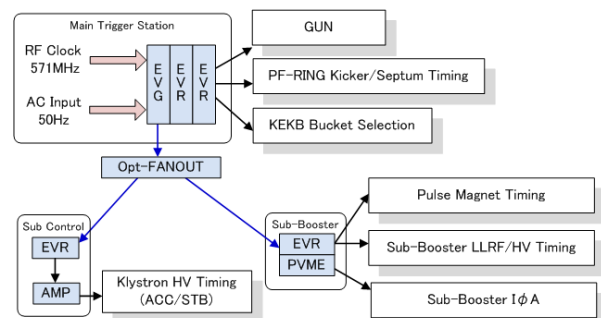


図 1 : イベントタイミングシステムの構成図

[#] kudoh@post.kek.jp

^{##} メインリングにて、6.5 GeV まで加速される。

3. ソフトウェア構成

本システムは VME (OS: vxWorks 5.5.1) 上で EPICS Input/Output Controller (IOC) として動作している。EVG 用 IOC がビーム繰り返しパターンに応じたイベントを生成し、EVR 用 IOC がそのイベントを受信する。その後、EVR が受信したイベントに応じて、予め定義されたタイミング信号の出力をおこなう。

3.1 ビームモード

本システムに於けるイベントは、ビームモードに基づいて管理・生成している。ビームモードの一覧を、表 1 に示す。ビームモードとして、入射先リング、ビームの種類を基に分類した 10 種類に、入射なし(ビームなし)モードを加えた計 11 種類を用意している。入射なしモードは、入射をおこなわない、すなわちビームなしの場合であるが、常時 50 Hz のタイミング信号を必要とするクライストロンのために用意したモードである。

表 1 : ビームモード一覧

ビームモード名	ビームの種類
KBE	KEKB e- 運転用
KBP	KEKB e+ 運転用
PFE	PF e- 運転用 (3T 電子銃使用)
QFE	PF e- 運転用 (A1 電子銃使用)
ARE	AR e- 運転用
JBE	KEKB e- 試験用
JBP	KEKB e+ 試験用
RFE	PF e- 試験用 (3T 電子銃使用)
SFE	PF e- 試験用 (A1 電子銃使用)
ZRE	AR e- 試験用
NIM	入射 (ビーム) なし

3.2 イベントの種類

配信可能な全てのイベントは、イベントコードと呼ばれるイベントを判別する値を基に定義されている。クライストロンをドライブするサブブースターは、ビーム加速タイミングと、それより約 57 μ s 遅延させたビーム非加速タイミングを配信するダブルパルスが必要とする。1 つのイベントではダブルパルスの生成ができないため、標準出力イベントと共に、ダブルパルス 2 パルス目の出力イベントも準備している。

また、ビームモードごとにタイミングの異なる信号を生成するためには、EVR の出力ポートの遅延時間を変更する必要がある。しかし、設定変更をおこなうには約 250 μ s を要するため、変更した遅延

時間が反映されるのは次パルスからになる。そのため、出力イベントの 1 パルス前に準備イベントを用意し、配信している。これらの出力イベント及び準備イベントがビームモードごとに定義されている。

3.3 ビーム繰り返しパターン

入射器に要求されるビーム繰り返しは、各リングの運転状況に依存して頻繁に変更が必要となる。そのため、20 ms ごとのビーム繰り返しパターンを予め作成し、このパターンを入れ替えることによって各リングからのビーム入射要請に対応する。ビーム繰り返しパターンは、最大 500 個の可変長リストであり、最大 10 s 間の設定値を管理することができる。リストの 1 要素ごとにビームモードに応じたイベントコードを設定すると、EVG 用 IOC がそれに対応したイベントを発生させる。リストに従った処理が終了すると、リスト先頭から処理を再開し、繰り返しイベントを発生し続ける。

3.4 その他のパターン

イベントタイミングシステムは、陽電子収束用パルスコイル電磁石及び KEKB 用セプタム電磁石のトリガー信号も制御している。陽電子収束用パルスコイル電磁石は、パルス電源の仕様から、10 Hz 以上のトリガー信号を必要としている。一方、KEKB セプタム電磁石は、任意な繰り返しでの動作が要求される。このように、各リングからのビーム入射要請の組み合わせによっては、ビーム繰り返しパターンのみでは全ての機器の動作条件を満足できない場合がある。そのため、これらのトリガー信号もビーム繰り返しパターンと同様にパターンとして管理し、以下の UI で生成を行っている。

3.5 ビーム繰り返しパターン生成用 UI

ビーム繰り返しパターンの生成は、Python/Tk で開発した User Interface(UI)を用いておこなっている。この UI は、予め用意された各ビームモードの要求ビーム繰り返し用 EPICS レコードを常時監視し、それが変更された場合に、要求を満たすパターンを自動的に生成、設定する。本 UI 上では、ビームモード毎に優先順位の設定が可能である。全ての要求条件が満足できない場合には、優先度の高いビームモードの条件を優先したパターン生成をおこなう。さらに、KBE 及び KBP モードでは、それぞれのビーム繰り返しセプタム電磁石の繰り返しを超えない、PFE, QFE では最大繰り返しが 25 Hz などビームモードごとに満足すべき固有の必要条件が存在する。

図 2 に、ビーム繰り返しパターン生成の一例を示す。初めに、優先順位が最も高いビームモードの要求が満足される様に入射パターンの最小長さを決定する。それ以降のビームモードの要求ビーム繰り返しは、上記で決定した最小長さの整数倍で実現可能か、他のモードと衝突は起こらないかを判断する。問題があった場合は、より低いビーム繰り返しで条件を満たすものを探していき、条件を満たすものがない場合は 0Hz として処理する。また、本 UI が複

数同時起動している場合には、予期せぬ動作を行う事が予測されるため、起動制限をかけている。

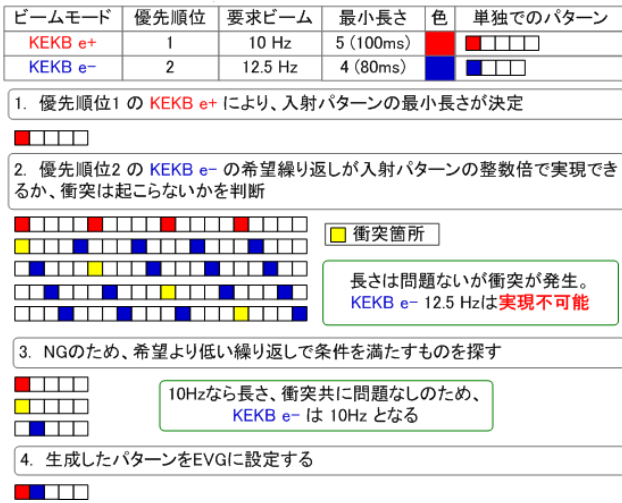


図2：入射パターン生成の例

3.6 EVG用EPICS IOC

配信可能な全てのイベントは、本IOC上のeventレコードにて予め定義されている。このレコードのイベント番号フィールドにイベントコードを書き込むと、直ちにイベントが配信されるが、“0”を書き込むと配信されない。図3に、イベント生成の概略を示す。本IOCでは、ビーム繰り返しパターンのビームモードを基にして、定義されている出力イベント及び準備イベントのイベント番号フィールドを20msごとに更新する。

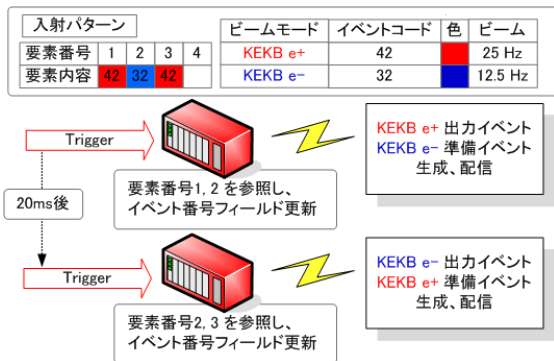


図3：イベント生成のながれ

3.7 EVR用EPICS IOC

EVR用EPICS IOC上には、ビームモード及び信号の種類ごとに遅延時間を設定するためのEPICSレコードが用意されている。準備イベントの受信後、該当するビームモードのEPICSレコード値を参照し、EVRの出力ポート遅延時間が設定される。本EPICSレコードの値を変更することにより、IOC起動後に於いても、動的な遅延時間の変更が可能である。また、クライストロン位相制御用にアナログ信号も配信しているが、立ち上がりに約300μsを要するため、準備パルスを用いた制御をおこなっている。

4. 今後の課題

4.1 信号の監視

EVRの出力ポートからタイミング信号を配信しているが、これらの信号の常時監視は、トラブル発生時の迅速な対処を可能とする。そのため、独自に開発した組み込みLinuxを用いたTime-to-Digital Converter (TDC)を各セクターに配置し、複数タイミング信号の相対遅延時間の監視を検討している^[4]。

4.2 Current Mode Logic (CML)出力信号の導入

本システムのイベントレートはRF Clockを5分の1に分周した114 MHzのため、出力信号の遅延時間は8.75 ns刻みで調整できる。しかし、高周波パルス圧縮空洞であるSLED用のタイミング信号や電子銃用のタイミング信号などは、さらに高分解能での遅延時間設定が要求される。EVRは、より細かい設定が可能である3つのCML出力ポートを有しており、約400 ps刻みで遅延時間を設定可能である。運転用ソフトウェアへの本機能の実装は、現在進行中であり、今秋の営業運転からSLED用タイミング信号に使用する予定である。

5. まとめ

入射器では、2009年4月以降の日常ビーム運転に於いて、3つの異なるリングへの同時トップアップ入射を実現している。本運転には、高速高精度なタイミング信号制御のためのイベントタイミングシステムが不可欠であり、単純な遅延モジュール群から構成される従来のタイミングシステムからの大幅な更新をおこなってきた。現在、入射器タイミング信号の大部分は、本システムから配信しており、安定な運用を実現している。

今後も、新機能の実装や動作の安定化を目指したソフトウェアの改善を進める予定である。また、SuperKEKB^[5]計画では、陽電子用ダンピングリングを含めたタイミング信号の生成が必要である。このため、イベントシステムの増強及びより複雑なイベントの生成・管理が要求される。これらの詳細については、近い将来、別途報告する予定である。

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現状報告”, Proc. 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society, Hiroshima, 2008, p. 821.
- [2] <http://www.mrf.fi/>
- [3] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [4] S. Kusano et al., “組み込みEPICSを利用したタイミング監視ソフトウェアの開発”, These proceedings.
- [5] K. Furukawa et al., “SuperKEKBの入射ビームタイミング選択システム”, in these proceedings.