

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR EVENT SYSTEM IN KEK LINAC

Shiro Kusano<sup>1,A)</sup>, Takuya Kudou<sup>A)</sup>, Kazuro Furukawa<sup>B)</sup>, Masanori Satoh<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric System & Service CO., LTD.

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

<sup>B)</sup> 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におけるイベントシステム用ソフトウェアの開発

#### 1. はじめに

KEK電子陽電子入射器(KEK Linac)の将来計画では、4つのリングへ異なる質(電荷量・エネルギーなど)のビームを同時に入射することを検討している<sup>[1]</sup>。同時入射実現のためには、KEK Linacのビームモード(電子銃、タイミングシステム、RF位相などのパラメータ)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。

現在、KEK Linacのタイミングシステムは、多数の遅延信号生成モジュールから構成されているが、現行システムを用いた高速且つ複雑なビームモード切り替えの実現は困難である。したがって、ビームモードの高速切り替え実現のため、Event Generator (EVG)/Receiver (EVR)を用いた新タイミングシステムの導入を進めている<sup>[2]</sup>。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って、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及びビーム位置モニター(BPM)用データ収集系設定値などの高速制御を行う。本稿では、新タイミングシステム用ソフトウェア開発について、詳細に報告する。

#### 2. 現タイミングシステムのソフトウェア構成

現タイミングシステムは、11台のVME、7台のCAMAC、約160台の遅延信号生成モジュール(CAMAC-based TD4, VME-based TD4V, RS232C-based TD4R)及び3台のサーバ計算機群から構成されている。これらのモジュール群を制御するために、数種類のソフトウェアが開発され、ビーム運転に用

いられている<sup>[3]</sup>。運転用のクライアントソフトウェアからの要求は、すべてサーバソフトウェアを経由した後、各ソフトウェアに振り分けられ処理が行われる。

ソフトウェアの構成は、ECC driver, remote trigger daemon (rtrigd), ecc polling (eccpl), ecc receiver (eccrcv), remote camac daemon (rcamacd), udp-message distributor(umdistr)となっている(図1)。各プログラム間のデータ通信は、プロセス間通信による処理が行われる。

CAMAC TD4の制御については、CAMACコントローラ用デバイスドライバ(ECC driver)を複数計算機にて同時に実行した場合、正常動作しないという障害があったため、制御用ソフトウェア(eccpl,

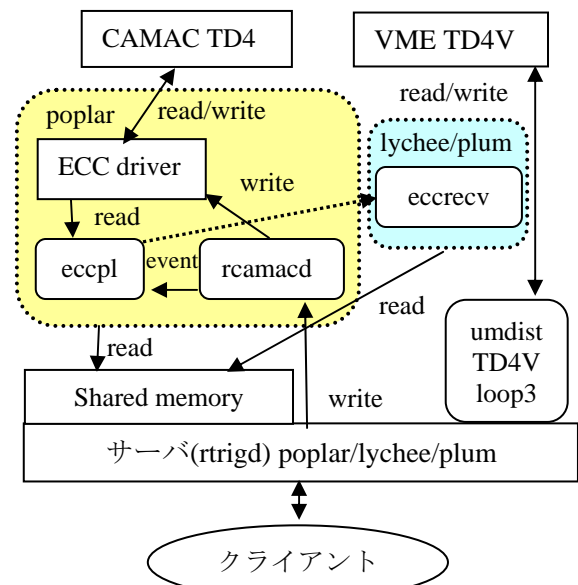


図1: 現タイミングシステムソフトウェア構成

<sup>1</sup> E-mail: skusa@post.kek.jp

rcamacd)を1台のサーバ計算機上で動作させ、運用している。データの読み出しに関しては、約15秒毎、もしくはモジュール設定値の変更に伴いデータ取得が行われる。取得したデータは、ecoplプロセスにより、3台のサーバ計算機に配信。これと同時に、eccrecvプロセスは、共有メモリ上のcache領域へデータ書き込みを行う。サーバソフトウェア(rtrigd)は、cacheデータの一部を利用し、クライアントソフトウェア側へモジュールの設定値を送信する。

VME TD4Vの制御に関しては、umdustを使用している。これは、UDP/IPを利用したメッセージ分配ソフトウェアであり、3台のサーバ計算機上で同時に実行し、モジュール制御を行っている。このため、1台のサーバ計算機に障害が発生しても、他のサーバ計算機経由での制御が可能である。

### 3. 新タイミングシステムのソフトウェア構成

#### 3.1 概要

新タイミングシステムは、約10台のVME及びEVG、EVR、PVME303/PVME323 (Digital I/O)、RPV130 (Interrupt Register)などのモジュール群から構成されている(図2)。EVG及びEVRは、EVGを中心とした光ファイバによるスター型接続により通信を行い、それぞれのモジュールはExperimental Physics and Industrial Control System (EPICS)<sup>[4]</sup>を基本に開発されたソフトウェアにより制御される。表1にモジュールの設置場所、用途を示す。

表1：各モジュールの設置場所及び用途一覧

モジュール	設置場所	用途
EVG	メイントリガー	イベントの生成
EVR	・2~5セクターサブブースタ ・3~5セクター副制御室 ・その他	パルス電磁石 KLY高電圧 LLRF位相
PVME303/323	2~5セクターサブブースタ	LLRF位相
RPV130	A1電子銃	グリッド電圧

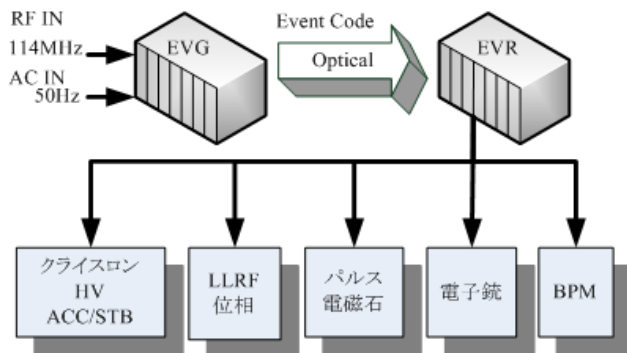


図2：新タイミングシステムの構成

#### 3.2 イベント生成 (EVG)

同時入射運転に於いて要求されるビームモードは、KEKB Ring e-/e+, PF Ring e- (A1電子銃モード)、PF Ring e- (CT電子銃モード)、PF-AR e-の運転用として5種類である。さらに、ビーム調整・開発のためのモードとして、各ビームモードはマシンスタディ用ビームモードを有するため、ビームモードの総計は10種類となる。

EVGは、これらのビームモード毎に、運転用(ビーム加速)・待機用(スタンバイ)・マシンスタディ用のイベントコード生成が可能である。従って、EVGが生成するイベントコードは、総計30種類に及ぶこととなる。EVGは、上位アプリケーションによって生成される入射パターン情報を基に、イベントコードの生成を行っている。

図3は、入射パターン生成用ソフトウェアパネルの表示画面例を示している。入射パターン情報は300個の配列で構成され、各リングからの入射要求を基に入射パターン情報を生成する。

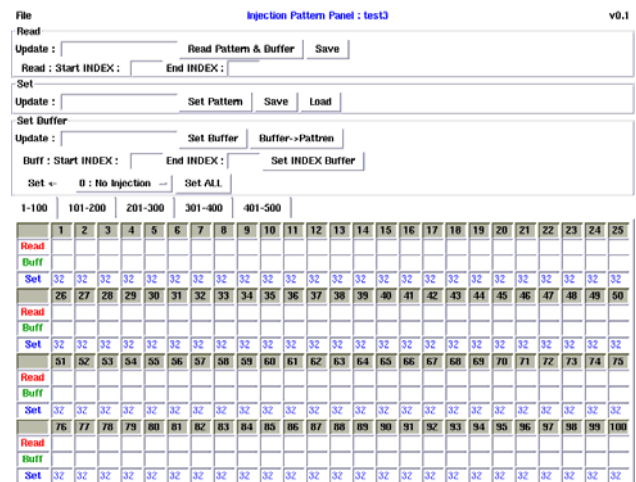


図3：入射パターン生成パネル

#### 3.3 クライストロン高電圧タイミング制御 (EVR)

KEK Linacには、59台のクライストロンが設置されており、常時、数台のクライストロンは予備クライストロンとしてスタンバイ運転を行っている。スタンバイ運転のクライストロンは、ビーム加速には利用されないが、運転用クライストロンに障害が発生した場合に、これと即座に入れ替え、運転に供する必要がある。従って、ビーム加速タイミングから57 μsずらした状態で待機運転を行っている。運転用及び待機用クライストロンの組み合わせは、ビームモード毎に異なるため、EVRの生成するイベント情報を基に切り替えを行う。

#### 3.4 LLRF位相制御 (PVME303/323)

陽電子ビームを加速するためには、陽電子生成標的の下流側の全クライストロンRF位相を、電子ビーム加速時と比して逆位相にする必要がある。このため、当該LLRF位相は、上流側に対して180°ずらした値を用いている。

LLRF位相の制御は、VMEモジュールであるPVME323 (Internix社製 DAC、12 bit)を用いて行う。また、設定位相の読み返しには、PVME303 (Internix社製 ADC、12 bit)を用いている。LLRF位相の設定値は、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。

2008年6月下旬には、LLRF位相制御システムを一部に導入し、約2週間運転に使用した。1日あたりのビームモード切り替え回数は約450回に及んだが、その間、安定して動作したことを確認した。

### 3.5 電子銃グリッドパルサー制御 (RPV130)

KEK Linacでは、ビームモード毎に異なる電荷量のビームを供する必要がある。陽電子生成用の1次電子ビームとして、10 nCの電子ビームが要求される。また、KEKB e-モードに於いては1 nCの電子ビームが要求され、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。

したがって、同時入射運転に於いては、モード毎に電子銃の設定値を高速に切り替える必要がある。このため、EVR及びVME用I/O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中である。これは、EVGの生成するイベントコードを基に割り込み処理を行い、グリッドパルサータイミング用光変換モジュールに対してレベル信号を送る物である。

## 4. 問題点

### 4.1 旧デバイスドライバの問題点

新システム導入試験の際、EVRのTTL出力信号に1  $\mu$ s程度のジッタが生じる事が判明した。導入試験に於いては、最新のEVGモジュール(EVG-230)を使用していたが、EPICS用デバイスドライバは、古いモジュール(EVG-200)対応の物を用いていた。このため、50 Hz出力信号がEVGモジュール内部のAC CLOCKと同期していたことに起因し、ジッタが生じていた。この様なジッタを避けるため、EVG内のAC CLOCKと同期しないためのAC BYPASS設定を行い、EPICSドライバの再構築を行った。新ドライバを用いた試験では、1  $\mu$ sのジッタを約10 ps程度にまで低減させることに成功した。

### 4.2 ダブルパルス波形の欠落

新システムでは、EVRに於いてダブルパルスを生成している。ダブルパルス生成とは、50 Hz毎の全パルスに於いて、57  $\mu$ s間隔の2つのRF用タイミング信号が含まれている事を意味する。これら二つのパルスは、運転用(ビーム加速)及び待機クライストロン用のタイミングとして使用される。

EVR側に於いて、ダブルパルス用のディレイを57  $\mu$ s以上変更した場合、第1パルスが欠落し、第2パルスがディレイ不能となる現象を確認した。EVR側では第1パルスのみ制御可能であるため、57  $\mu$ s以上変更した場合には、第2パルスと重なると考えられる。

EVG側のディレイ調整により、正常動作を確認した。

### 4.3 カメラのフラッシュによるシステム停止

EVG/EVRシステムの試験中、最新のイベント情報が配信されないという不具合が発生した。これは、デジタルカメラに因る試験システム撮影時にフラッシュを使用したため、この光がOptical FAN OUTモジュールの送信部分に当たった事に起因した障害であった。強い光がFAN OUTモジュールに当たると、イベント情報の送信が停止するため、受信部に光が入り込まないよう蓋の設置を行い、対処した。

### 4.4 BPMシステムへのイベント配信

現在、BPMデータ収集系として、高速デジタルオシロスコープ(Tektronix社製 DPO7104)を約20台使用している<sup>[5][6]</sup>。DPO7104は、Windows-XP上で動作しているため、BPMからの信号を捕捉及び演算処理するためのソフトウェアは、オシロスコープ上のWindowsアプリケーションとして動作している。

高速ビームモード切り替え運転時には、ビームパルス毎にビームモードを認識する事が不可欠となる。このため、現在のWindowsソフトウェアをEPICS IOCとして動作させ、EVGのイベントレコードと同期させるためのソフトウェアアップグレードを進めている。

## 5. まとめ

KEK Linacでは、2006年より4つのRingへの同時入射に向けた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・開発を進めている。2008年6月には、新タイミングシステムを一部に導入し、数週間の耐安定運用試験を行った。また、7月上旬には、パルス毎にビームモードを切り替える試験を行い、満足な結果を得た。

現在、本格運用に向けけたソフトウェア更新及び開発が進められている。高速ビームモード切り替えによる4リング同時入射が実現すると、PF Ringでの放射光実験及びKEKBでの物理実験の効率が飛躍的に向上するため、大きな貢献が期待される。

## 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. 31<sup>st</sup> 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換え機構”, these proceedings.
- [3] S.Kusano, et al., “KEK電子陽電子入射器のタイミング系ソフトウェアの構築”, Proc. 27<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, 2002.
- [4] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [5] M.Satoh, et al., “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. 3<sup>rd</sup> 2<sup>nd</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, 2007.
- [6] T.Kudou, et al., “KEK LinacのBPM-DAQシステム”, Proc. 32<sup>nd</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, 2007.