

## DEVELOPMENT OF TIMING WATCHDOG SOFTWARE USING EMBEDDED EPICS

Shiro Kusano <sup>\*,A)</sup>, Takuya Kudoh<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, 305-0081

### Abstract

The KEK Linac provides the electron and positron beams of different properties for the KEKB-LER, KEKB-HER, PF and PF-AR rings. In order to improve the beam operation efficiency, the simultaneous top-up operation for the PF and KEKB rings has been started in April 2009. For the long-term stable beam operation, the importance of precise timing control is getting more significant. For this reason, we have developed the TDC as a timing signal watchdog system. In this paper, we report the development of watchdog software based on the embedded EPICS and its driver software in detail.

### 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

#### 1. はじめに

KEK 電子・陽電子入射器(KEK 入射器)では、4 つの異なるリング(KEKB 8 GeV 電子/3.5 GeV 陽電子、PF 2.5 GeV 電子、PF-AR\*\* 3 GeV 電子)へビームを供給している。各リングへの入射には、異なる質(電荷量・エネルギーなど)のビームが必要とされるため、入射先のリング毎にビームモード(電子銃、タイミング、RF 位相などのパラメーター)を切り換える必要がある。2005 年より、KEKB リングでは、ルミノシティ調整効率向上のため蓄積電流値を一定に保つ連続入射(Continuous Injection)がおこなわれている。また、PF リングにおいても、実験効率向上のためのトップアップ入射の要求が高まってきた。

2006 年より、3 リング(KEKB 電子・陽電子及び PF)へ同時にトップアップ入射運転をおこなうために、MRF 社製の Event Generator 230(EVG)/Receiver 230RF (EVR)を用いたタイミングシステムの改造を進めてきた<sup>[1]</sup>。新しいタイミングシステム(Event System)では、入射器の最大ビーム繰り返しである 50 Hz (20 ms 間隔)毎に異なるタイミングを生成し、現場の機器へ供給している。2009 年 4 月より、新タイミングシステムによるビーム運転がおこなわれている。長期間安定なビーム運転を実現するためには、全てのタイミング信号を常時高精度に出力することが不可欠である。このため、組み込み Linux を搭載した Time-to-Digital Converter (TDC)を各セクターに配置し、タイミング信号の常時監視を検討している。本稿では、TDC 用組み込み EPICS の開発状況及び今後の課題について詳しく報告をする。

#### 2. タイミングシステムの構成

KEK 入射器のタイミングシステムは、17 台の VME64x (CPU MVME5500)、1 枚の EVG、18 枚の EVR 及び約 20 枚の PVME303 (ADC)/323 (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 Clock)が入力される。しかしながら、EVG で使用可能なイベントレートが 50 MHz から 125 MHz の範囲に制限されているため、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。分周された RF Clock (114.24 MHz)は、イベント繰り返しの周期であり、この間隔(約 8.75 ns)で様々なタイミングを設定可能である。EVG は、イベント、クロック、タイムスタンプ及びデータなどの情報を重畳し、一本の光ファイバー経由で EVR へ配信する。EVG 及び EVR は、スター型トポロジーによりファイバー接続されている(図 1)。

イベントタイミングシステム用ソフトウェアは、VME CPU 上にリアルタイム OS (vxWorks 5.5.1)環境を構築して開発をおこなった。また、ソフトウェア開発効率を高めるために、Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS)と呼ばれる制御用ソフトウェア開発環境を利用した。EPICS は二階層構造を持ち、Input/Output Controller (IOC)と呼ばれるサーバー部及び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、サーバー・クライアント間の通信には、Channel Access (CA)と呼ばれるプロトコルが用いられる。

\* skusa@post.kek.jp

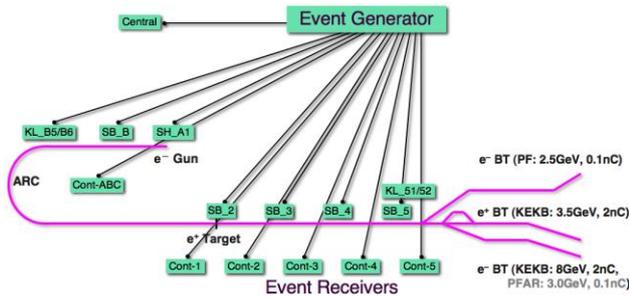


図 1 : イベントシステム構成

測定されたデータは START 信号 50 回分を 1 パケット(50 回分の測定データ 2500 バイトとその前後に 2 バイトのヘッダの FFFF とフッタの EEEE を合わせた 2504 バイト)にまとめ Ethernet 経由で読み出しが可能で、1 パケットの転送に要する時間は約 587 ms である。START 信号の情報には、10  $\mu$ s の精度でタイムスタンプも付与されている。デバイス制御として、Ethernet インタフェースを持つ Armadillo-9<sup>[2]</sup>が採用されている。Armadillo-9 は、豊富な周辺機能とインタフェースを持つ CPU ボードである。表 2 に Armadillo-9 の主な仕様を示す

### 3. タイミング監視機器

#### 3.1 TDC

KEK 入射器では、タイミング監視機器の一つとして TDC の導入を検討している。TDC は、複数のタイミング信号に於ける相対的な時間差を測定する物であり、今回開発した物は、約 1 ns の測定精度を有する (図 2)。本 TDC は、START 信号入力 1 CH 及び STOP 信号入力 10 CH を備えており、START 信号から STOP 信号までの最大時間幅は、約 3 ms まで測定可能である。また、測定精度を 100 ns に変更することにより、最大測定時間幅を 200 ms まで伸ばすことが可能となっている。表 1 に、TDC の主な仕様を示す。

表 1 : TDC 仕様

型名	B-TS720B (テクノランド)
入力	10 CH (NIM 信号)
フルスケール	3.27 ms
分解能	32 bit
インタフェース	Ethernet
CPU ボード	Armadillo-9



図 2 : TDC の内部

表 2 : Armadillo-9 の仕様

プロセッサ	EP9315 (Cirrus Logic)
CPU コア	ARM920T
CPU/BUS Clock	200 MHz/100 MHz
SDRAM	64 MB
FLASH	8 MB
インタフェース	Ethernet, シリアル, USB など

TDC の設置場所として、安定かつ精度の高いタイミング信号が必要なことから、RF パルスタイミングを生成するサブブースタークライストロン及びメインタイミング信号を生成するメイントリガステーションを検討している (図 3)。サブブースタークライストロンの場合、START 信号は基準信号となるためイベントシステムとは別系統の信号を用いて、CH1 にはサブブースターの高圧タイミング、CH2 には RF タイミング、CH3 には位相反転タイミングを入力しタイミングを監視する (図 4)。



図 3 : 設置場所(サブブースターラック内)

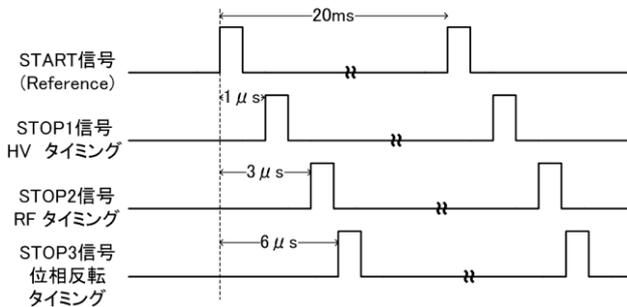


図4：タイミング信号監視の一例

#### 4. タイミング監視ソフトウェア

当初、TDC を用いたタイミング監視ソフトウェアは、Ethernet インタフェースを介して vxWorks や PC Linux のような外部の EPICS IOC よりデータ収集することを検討していた。しかしながら、デバイス制御用として Armadillo-9 が採用され、Armadillo-9 は組み込み Linux が動作することから、組み込み EPICS を用いた監視ソフトウェアを開発することになった。以下に、監視ソフトウェア開発環境及び運用状況などについて詳述する。

##### 4.1 開発環境

Armadillo-9 上で動作可能な Linux カーネルのカスタマイズやソフトウェア開発をおこなうためには、Linux 計算機上にクロス開発環境を構築する必要がある。Armadillo 用のクロス開発環境としては、(株)アットマークテクノから、Atmark Techno Development Environment (ATDE) と呼ばれる VMware を用いた仮想 OS 上で動作する開発環境、GNU クロス開発環境パッケージ及び Atmark Dist と呼ばれるカーネルの一部をカスタマイズするためのパッケージが提供されている。ATDE 上での開発は、開発用 PC の用意やパッケージなどのインストールが不要であり、開発環境を構築する労力を軽減可能である。しかしながら、仮想 OS 上でのソフトウェア開発効率はホスト OS の性能に大きく依存する上、複数ユーザーの同時使用が困難である。このため、本開発に於いては、開発用 Linux 計算機上に GUN クロス開発環境及び Atmark Dist を用いたクロス開発環境の構築をおこなった。計算機仕様及びクロス開発環境を、表3に示す。

表3： 計算機仕様及びクロス開発環境

形式	PowerEdge750 (DELL)
CPU	Intel Pentium4 2.8 GHz(x2)
メモリ	512 MB
ディストリ ビューション	Debian 4.0
Linux kernel	2.6.18-6-686
Atmark Dist	V20100603

GNU クロス開 発	Gcc-4.1-arm など
組込 Linux kernel	2.6.12

##### 4.2 組み込み EPICS

EPICS IOC プログラムを Armadillo-9 上で動作させるためには、EPICS Base パッケージ (Base R3.14.11) をビルドする必要がある。EPICS Base パッケージに関しては、配布パッケージに含まれる標準コンフィグレーションファイルを一切変更することなくビルドが可能であった。

##### 4.3 EPICS 用デバイスドライバの開発

TDC の測定データを EPICS レコードとして外部計算機から参照するためには、EPICS 用のデバイスドライバを開発する必要がある。EPICS 環境を用いた制御システムに於いては、二種類のデバイスドライバが必要となる。その一つは、OS・ハードウェア間通信のための Linux kernel デバイスドライバであり、もう一つは、デバイス・EPICS 間通信のための EPICS 用 デバイスドライバである。Linux kernel デバイスドライバに関しては、テクノランド社より提供されているため、今回は、EPICS 用デバイスドライバのみを開発した。

本 EPICS 用デバイスドライバは、Binary Output 及び Waveform の 2 種類のレコード型デバイスドライバから構成される。Binary Output は、TDC の計測開始及び停止を制御するレコードであり、Waveform は、50 回分の測定データを 700 個の配列にまとめるためのレコードである。1 回分の測定データは、カウンタ、タイムスタンプ、START 信号周期値、CH1~CH10 時間差値及びステータスの 14 種類の情報を含んでいる。

##### 4.4 EPICS IOC の動作方法

Armadillo-9 は、8MB のフラッシュメモリ内のディスクイメージファイルを読み込むことにより起動する。本イメージファイルは、bootloader (64 KB), kernel (約 1.44 MB), userland (約 6.44 MB), config (64 KB) の 4 つの領域から構成され、Linux 起動時には、kernel 及び userland が 32 MB の SRAM 上に展開される。EPICS IOC などのユーザーが開発したプログラムは、userland 領域に書き込む必要がある。config 領域は、随時書き換えが可能であるため、変更が必要なパラメーターを適宜この領域上に設定する。

本監視ソフトウェアでは、機器毎に異なるイメージを作成することも可能であるが、管理が煩雑になるため、共通のイメージを用いて運用している。機器毎の動作の違いは、config 領域に書かれたパラメーター及び NFS マウントされた共有ファイル内を参照することによって管理している。

##### 4.5 データの記録

TDC による全測定データの保存は、長期間安定におこなうことが要求される。このため、データ

アーカイブシステムとして、多くの施設に於いて運用実績の高い Channel Archiver を採用している。Channel Archiver は、EPICS の標準ツールであり、Extensible Mark-up Language Remote Procedure Call (XML-RPC)を用いたデータサーバーが利用可能である。XML-RPC を利用することで、Web ブラウザのみならず、Java 及び Python などの言語で開発されたソフトウェア経由での履歴データ参照が可能である(図 5)。

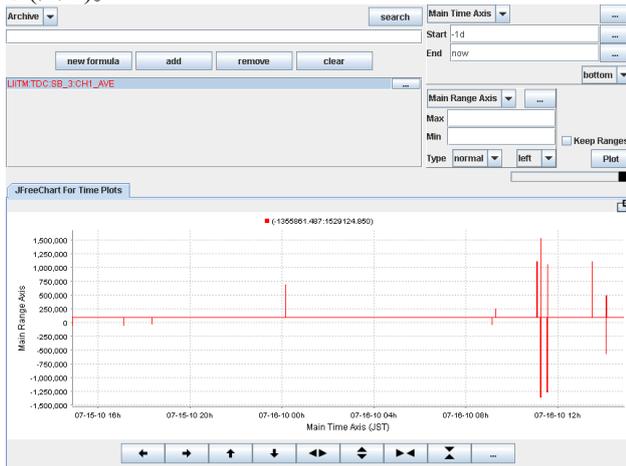


図 5 : Archiver Viewer (Java)

## 5. まとめと今後の予定

組み込み Linux を搭載した TDC を用いて、EPICS IOC の開発と動作の確認をおこなった。近年、組み込み Linux を搭載した安価な I/O ボードが増えつつあり、今回開発したような組み込み Linux 及び EPICS を活用することで、ハードウェアのコストパフォーマンスの問題やソフトウェア開発の大幅な効率化が期待できる。

今後、KEK 入射器に於いては Super-KEKB 計画に向けた機器の高度化が計画されており、これに伴う制御機器の更新及び増強が要求されている。組み込み機器の導入も検討されているため、本開発の経験を生かして、更なる組み込み EPICS システムの導入を進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] S.Kusano et al., “KEK 入射器におけるイベントタイミングシステム”, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Particle Accelerator Society Meeting in Japan, Tokai, Aug. 5-7, 2009
- [2] <http://armadillo.atmark-techno.com/>
- [3] K.Furukawa et al., “加速器制御のためのネットワーク接続機器の開発”, Proceedings of the 29<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Aug 4-6, 2004