

# KEK 入射器におけるイベントシステムのための MVME6100 を用いた EPICS IOC の構築

## DEVELOPMENT OF MVME6100 BASED EPICS IOC FOR EVENT TIMING SYSTEM AT KEK INJECTOR LINAC

草野史郎<sup>#, A)</sup>, 佐藤政則<sup>B)</sup>

Shiro Kusano<sup>#, A)</sup>, Masanori Satoh<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

<sup>B)</sup> KEK, Accelerator Laboratory/SOKENDAI, Department of Accelerator Science

### Abstract

The KEK injector linac provides the electron and positron beams of different energies for the PF, PF-AR and KEKB rings. Since 2009, it has archived the simultaneous top-up incident to three different rings by event timing system. However, the event system of KEK injector linac is difficult to transmit data buffer at 50Hz. As the cause, for software of the event system is complex, it thought that the delay occurs in the CPU load is high processing. Along with the improvement of the software, and is considering the introduction of MVME6100 is MVME5500 binary compatible with higher CPU clock frequency. In this paper, we report on the introduction of MVME6100.

### 1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器（以下、入射器）では、KEKB 電子・陽電子、PF、および PF-AR の 4 つの異なるリングへビームを供給してきた。2006 年より進められてきた入射器アップグレードにより、2009 年 4 月以降、3 つの異なるリング（KEKB 電子・陽電子および PF）へ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である 50 Hz（20 ms 間隔）ごとに異なるタイミング信号を生成し、約 600 m に渡って分散設置されている数百台の制御対象機器へ配信することが必要である。そのため、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基盤とした新システムへ移行した。

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）および Event Receiver（以下、EVR）から構成されている。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、光ファイバ接続された 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、クライストロン高電圧、および電子銃などの動作タイミングを高速に制御するものである<sup>[1]</sup>。

上記のイベントシステムの構成とは別に新たにアナログ I/Q 検出器、DAC、ADC、および FPGA ボードを組合せた低電力 RF（LLRF）制御ユニットの開発が進められている<sup>[2]</sup>。LLRF 制御ユニットを用いることにより、ビームパルスごとに RF 位相情報や測定データをタグ付けすることが可能となる。RF

位相情報の伝達手段として、EVG/EVR の機能のひとつであるデータバッファ転送を利用することを検討している。データバッファ転送は、EVG/EVR 間を接続している光ファイバを経由し、EVG のクロックである 114 MHz ごとに 16 bit の情報を送信可能である。16 bit のうち 8 bit はイベント情報、残りの 8 bit は任意の情報が送信可能であるデータバッファとして使用する<sup>[3]</sup>。しかしながら、入射器で現在運用中のイベントシステムでは、データバッファを 50 Hz で送信することが困難であることが判明した。その原因として、現イベントシステムにおけるソフトウェア処理が複雑であるため、CPU 負荷が高く処理に遅延が生じることが考えられる。その対策として、ソフトウェア処理部の改善とともに、CPU クロック周波数が高く、かつ現在使用している MVME5500 とバイナリ互換である MVME6100 の導入を検討している。実用可能性を試験したところ、本 CPU を用いた場合、50 Hz でのデータバッファ送信が可能であることがわかった。本稿では、MVME6100 の導入について詳述する。

### 2. イベントタイミングシステム

#### 2.1 現行イベントシステム

現在、入射器で使用しているイベントタイミングシステムは、19 台の VME64x クレート、CPU (MVME5500)、MRF 製 EVG, EVR, PVME3030 (ADC), PVME323 (DAC)などのモジュール群から構成されている。Figure 1 に、現イベントタイミングシステムの概略構成図を示す。

EVG には、114.24 MHz の RF クロックおよび各リングの周波数に同期した 50 Hz 信号 (AC Input) が

<sup>#</sup> skusa@post.kek.jp

入力される。EVG は、イベント、クロック、タイムスタンプ、および 2 キロバイト長までの情報などを重畳し、同一の光ファイバを用いて伝送される。EVG および EVR 間は、スター型トポロジによって接続される。入射器の多数の EVR (31 台)は、これらの情報を正確に再現することが可能である。一系統の光ファイバ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る。制御用のソフトウェアは、Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS)を基盤に Input/Output Controller (IOC)を開発し、リアルタイムオペレーティングシステムである VxWorks<sup>[4]</sup>上で構築した。現在、本システムを用いて、RF 電子銃、クライストロン高電圧、およびパルス電磁石用タイミング信号を配信している。さらに、同一のシステムを用いて、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の制御および監視もおこなっている。

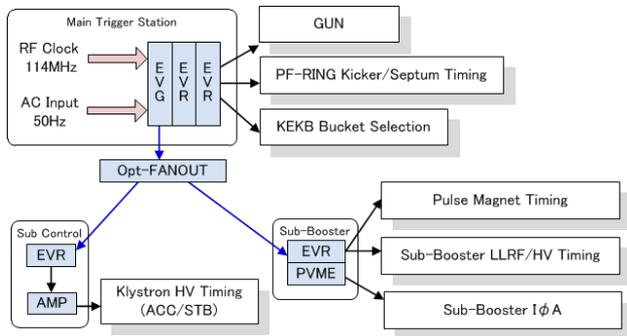


Figure 1: Layout of event timing system based on the VME64x bus.

## 2.2 新イベントシステム

SuperKEKB 計画においては、KEKB 計画で到達した約 40 倍のピーク luminosity を目指している。そのため、低エミッタンスかつ大バンチ電荷量でのビーム入射が要求される。電子ビーム入射に関しては、フォトカソード RF 電子銃の開発を進めている<sup>[4]</sup>。陽電子ビーム入射については、陽電子収束系ビームラインの改良<sup>[5]</sup>およびダンピングリングの建設を進めている。

KEKB 入射においては、1 系統のイベントタイミングシステムで十分であったが、ダンピングリングを用いる SuperKEKB 入射においては、主リングのバケット選択によって、DR のバケット選択、DR への入射タイミング、入射器下流部の RF 位相制御が必要となってくる。このため、入射器の前半と後半に分けた 2 系統のイベントタイミングシステムの構成を検討している<sup>[6]</sup>。新イベントシステムの構成を Figure 2 に示す。1 つの VME バス上に CPU (MVME6100)、EVG 3 台、EVR モジュールが設置され上位 1 台、下位 2 台の 2 段構造となっている。上位 EVG が 2 秒程度の入射スケジュールを管理し、下位 2 台が入射器前後および後半のタイミング信号を生成する。

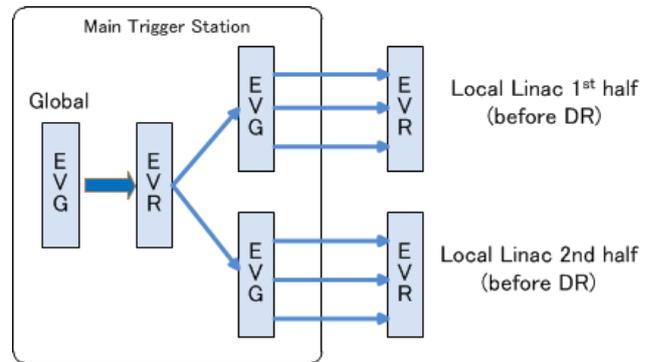


Figure 2: Schematic drawing of the new event system for the SuperKEKB operation.

## 3. イベントシステムソフトウェア

### 3.1 イベントシステムのソフトウェア構成

Table 1 に、現行のイベントシステムおよび新イベントシステムのソフトウェア構成を示す。現行イベントシステムの EVG/EVR ドライバである MRFIOC は、現在、開発元である APS が開発を停止しているため保守が困難である。また、EVG のファームウェアの仕様上 AC Input 以外の信号入力ができないことから、新システムのドライバとして MRFIOC2 を採用した。現行システムは、EPICS base R3.14.9 を用いて開発をおこなったが、MRFIOC2 は EPICS base R3.14.10 以降のみがサポートされている。そのため、本開発では base R3.14.12 を用いてソフトウェアの実装をおこなった。

Table 1: Software configuration of current and new system

	Current system	New system
OS	VxWorks5.5.1	VxWorks6.8.3
CPU	MVME5500	MVME6100
EPICS BASE	R3.14.9	R3.14.12
Event	MRFIOC	MRFIOC2
Device Support	V2-4-2a2	2.0.2

### 3.2 VME CR/CSR レジスタへの対応

Configuration ROM/Control and Status Register (CR/CSR)は、VME64 規格において実装が定義され、システム管理などに用いるレジスタである。VME64 に対応したクレートおよび CR/CSR に対応したボードを利用することにより、ボードのジャンプスイッチを変更することなく使用可能となる。

MRFIOC2 の使用には、CR/CSR 対応のオペレーティングシステムが要求される。しかしながら、現在では VxWorks 5.5.1 を使用しており、CR/CSR はサポートされていない。そのため、VxWorks の Board Support Package (BPS)の再構築をおこなった。再構築には、WindRiver 社が提供する開発用ツールキット (Workbench)を使用した。Workbench は、

Eclipse ベースの統合開発環境であり、BSP および kernel の再構築を始め、ソフトウェア開発を容易におこなうことができる(Figure 3)。Workbench は、Windows<sup>[8]</sup>および Linux 環境にて使用可能であり、本開発では Linux 版の Workbench を用い、LANL における開発資料を参考にした<sup>[9]</sup>。

VxWorks におけるアドレス空間は、A32、A24、A16、および Mailbox 割り込みの 4 種類が用意されている。今回の再構築においては、mv6100A.h および sysTempeMap.c を改変することにより、BSP に CR/CSR 用のアドレス空間を追加した。Figure 4 に、再構築後の BSP アドレス空間を示した。

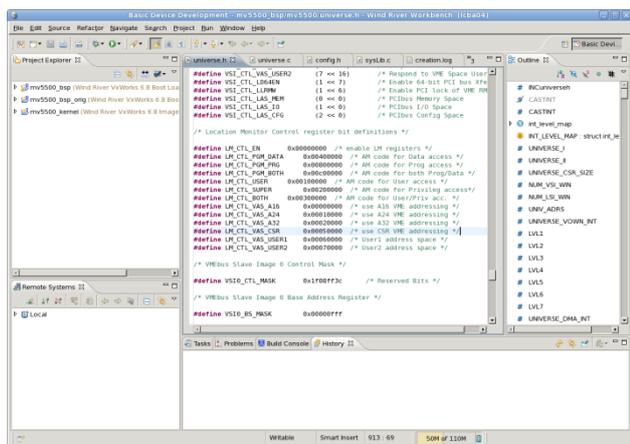


Figure 3: Display example of the Workbench as a development tool kit for VxWorks.

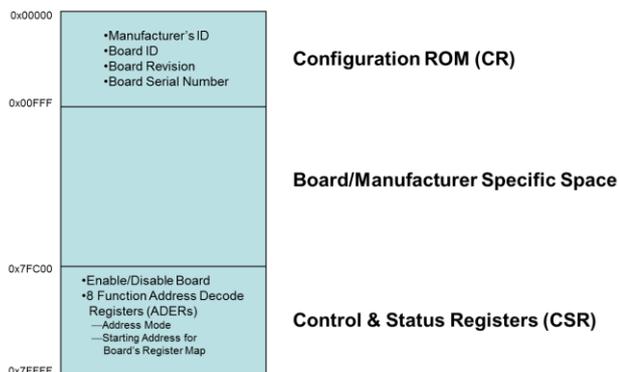


Figure 4: Address space for CR/CSR in the new BSP.

#### 4. BPM データ収集システムへの導入

入射器の BPM データ収集システムは、高速デジタルオシロスコープを用いて開発された<sup>[10]</sup>。オシロスコープは Windows XP 基盤のものであり、その上で EPICS IOC としてソフトウェアを動作させている。しかしながら、Windows XP のサポートが終了したため、セキュリティ対策の一環として、Windows XP 搭載機器のネットワークを既存の制御ネットワークから分離することにした。BPM システムでは、50 Hz ごとにイベント情報を読み取り、ビームモードに対応した EPICS Process Variable (PV) にデータを格納している。MVME5500 では、ギガビットイーサ

と 10/100 のネットワークインタフェースを装備しているため、ネットワークの分離にともない、10/100 Mbps の第 2 イーサネットポートを利用することとした。しかしながら、VxWorks 5.5.1 では、第 2 イーサネットポートのドライバが不安定になる現象が生じたため、BPM のデータ収集に障害が発生する場合があった。その対策として、MVME6100 の導入を検討している。MVME6100 では、ギガビットイーサネットを 2 ポート実装しており、これまでの通信試験の結果から、安定な動作が期待できる。

#### 5. まとめ

入射器のイベントタイミングシステムの CPU ボードとして、MVME6100 を用いるために、VxWorks 用 BSP の再構築をおこなった。VxWorks5.5.1 における CR/CSR 機能の追加をおこなったことにより、本 CPU 以外の様々な VME モジュールにも対応が可能となった。

#### 参考文献

- [1] T. Kudou, et al., “KEK LINAC におけるイベントタイミングシステム”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010.
- [2] Y. Yano, et al., “SuperKEKB 入射器の高周波制御システム”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 8-11, 2014.
- [3] EPICS collaboration meetings, Oct, 2009  
[http://www.aps.anl.gov/epics/meetings/2009-10/Slides/mrfDataBuffer\\_EP.ppt](http://www.aps.anl.gov/epics/meetings/2009-10/Slides/mrfDataBuffer_EP.ppt)
- [4] <http://www.windriver.com/>
- [5] X.Zhou, et al., “KEK 電子陽電子入射器の現状”, These proceedings
- [6] S. Kusano, et al., “KEK 入射器における EPICS EPID を利用した電磁石電源用フィードバック制御システムの構築”, these proceedings.
- [7] H. Kaji, et al., “Event Timing System による SuperKEKB 入射制御”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013.
- [8] <https://www.microsoft.com/ja-jp/>  
Windows は米国 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。
- [9] EPICS collaboration meetings, Jun, 2006  
[http://www.aps.anl.gov/epics/meetings/2006-06/RecDevDrv\\_Support/Support\\_for\\_CR-CSR\\_Addresssing.ppt](http://www.aps.anl.gov/epics/meetings/2006-06/RecDevDrv_Support/Support_for_CR-CSR_Addresssing.ppt)
- [10] M. Satoh, et al., “Windows オシロスコープベース EPICS IOC を用いた高速 BPM データ収集システムの開発”, Proceedings of the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tokai, Aug. 5-7, 2009.