

## FMC を用いた汎用 VME モジュールの開発と応用 (2) -SuperKEKB への応用 : システムデザイン-

### DEVELOPMENT AND APPLICATION OF VME MODULE WITH FMC INTERFACE (2) - APPLICATION TO SUPERKEKB -

岩崎昌子<sup>#, A, C)</sup>, 佐々木信哉<sup>A, C)</sup>, 秋山篤美<sup>A, C)</sup>, 阿部利徳<sup>B, C)</sup>, 池野正弘<sup>A, C)</sup>, 庄子 正剛<sup>A, C)</sup>,  
大西幸喜<sup>A)</sup>, 中尾幹彦<sup>A)</sup>  
Masako Iwasaki<sup>#, A, C)</sup>, Shinya Sasaki<sup>A, C)</sup>, Atsuyoshi Akiyama<sup>A, C)</sup>, Toshinori Abe<sup>B, C)</sup>, Masahiro Ikeno<sup>A, C)</sup>,  
Masayoshi Shoji<sup>A, C)</sup>, Yukiyo Onishi<sup>A)</sup>, Mikihiko Nakao<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)  
<sup>C)</sup> Open-It

#### Abstract

We have developed a general purpose VME module with an FMC (FPGA Mezzanine Card) interface, and a TTL-NIM-IO mezzanine card for NIM level and LVTTTL signal IOs for SuperKEKB, as a project of Open-It. We apply the VME module with a TTL-NIM-IO mezzanine card for several systems, the injection-control signal communication between accelerator and detector, the software abort request system, the quench detection system for superconducting magnet system, etc. This paper describes the system design of these applications to SuperKEKB.

#### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構では、電子・陽電子衝突型加速器 KEKB の高輝度化計画として、SuperKEKB 加速器の建設を進めている<sup>[1]</sup>。SuperKEKB では、KEKB 加速器に比べて、電流値を 2 倍にし、かつ衝突点でのビームサイズを 20 分の 1 に絞ることによって、KEKB 加速器よりも 40 倍高いミノシティ、 $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  の実現を目指している。

SuperKEKB では、高輝度化に応じて、より高度な制御が必要となり、入射制御のために、SuperKEKB 加速器・ BelleII 測定器間の送受信信号数を増やす必要が生じた。しかし、KEKB で採用していた信号送受信システムでは、信号数と同数の光ファイバー芯数が必要であり、コストが高く、新しいシステムを開発する必要がある。また、ソフトウェア経由でアポートリガーシステムへ信号をリクエストするシステム、最終収束系超電導四極電磁石システムのクエンチ検出信号の送信システム、ダンピングリングおよびメインリングの入射制御信号送信システム等も、新しく構築する必要がある。

我々は、SPRing-8 用に新規に開発された FMC を用いた汎用 VME モジュール<sup>[2]</sup>に、SuperKEKB 用に開発された TTL-NIM-IO メザニンカードを組み合わせることにより、これらのシステムを構築することにした。ここで、汎用 VME モジュールおよびメザニンカードは、Open-It(オープンソースコンソーシアム)<sup>[3]</sup>のプロジェクトとして、開発している。

本稿では、これら FMC を用いた汎用 VME モジュールの、SuperKEKB 用信号送受信システムへの

適用について報告する。

#### 2. 加速器・測定器間入射制御信号送受信システム

SuperKEKB 加速器・ BelleII 測定器間入射制御信号は、筑波実験棟内にある BelleII 検出器のエレキハット(Electronics Hut)と、SuperKEKB コントロール棟内

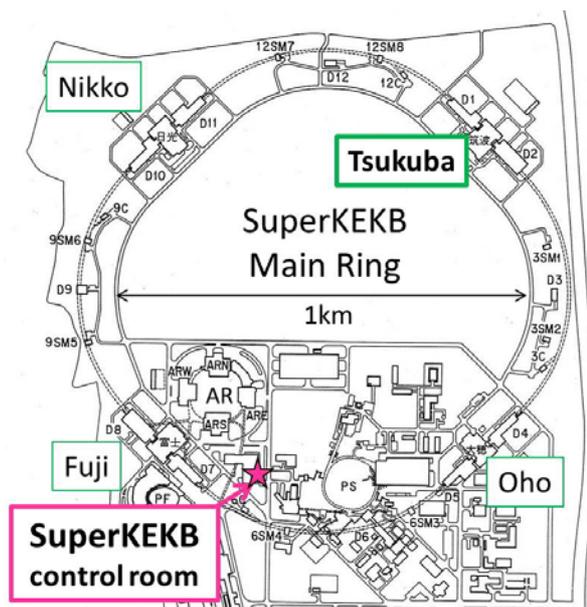


Figure 1: Schematic view of the SuperKEKB accelerator. The BelleII detector is located in the Tsukuba exp. hall.

<sup>#</sup>masako.iwasaki@kek.jp

とを接続する光ケーブルを使用して、送受信される。Figure1 に、筑波実験棟および、SuperKEKB コントロール棟の位置を示す。これらを接続する光ケーブル長は、約 2km である。

KEKB 加速器・Belle 測定器間での入射制御信号送受信は、それぞれの信号に対応した TTL レベル信号を光変換し、エレキハットと KEKB コントロール棟内とを接続するマルチモード光ケーブルで転送した後に TTL レベル信号へ変換する方法を使っていた。しかし、この方法では、送受信する信号数分の光ファイバー芯数が必要であることと、マルチモード光ケーブルでは、信号の減衰量が大きく、2km の長距離信号送受信に適していない、という問題点があった。SuperKEKB では、加速器・測定器間の送受信信号数をさらに増やす必要が生じたため、KEKB で使用していた信号送受信方法だと、光ケーブルがさらに必要になり、コストが高くなる。

そこで、我々は、FPGA ボードを使用した信号送受信システムを開発した。信号の伝送は、Timing 信号分配用に、SuperKEKB コントロール棟とエレキハット間に、新規に敷設されたシングルモード光ケーブルを使用する。

入射制御信号の送受信システムに要求される仕様は、以下の通りである：

- 8 チャンネル LVTTTL と 8 チャンネル NIM 信号の入力
- 8 チャンネル LVTTTL と 8 チャンネル NIM 信号の出力
- ケーブル長 2km の 1 対のシングルモード光ファイバーで通信
- 信号の周波数帯域は 10MHz 以下、リアルタイム性の保証が数  $\mu$  秒で間に合うこと
- VME バスが使用可能

Figure 2 に、概念図を示す。

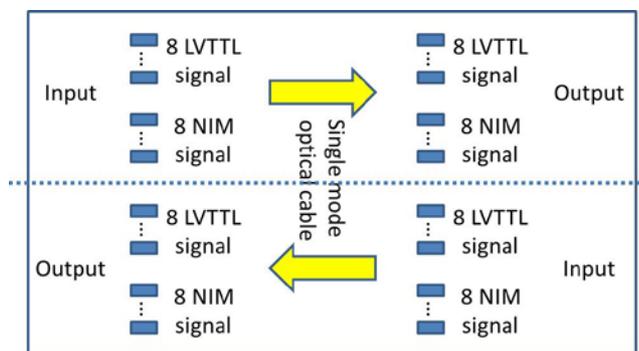


Figure 2: Requirements for the injection-control signal transfer system for SuperKEKB.

複数の信号を同時に転送する方法として、FPGA を使用した、転送信号のデジタル・サンプリング、パラレル・シリアル変換、シリアル・パラレル変換の技術を用いた (Figure 3)。

ここで、光信号のインターフェースは SFP(+)モジュールを使用する。この方法により、SuperKEKB

では、一対のシングルモード光ファイバーでのデジタル信号送受信となる (Figure 4)。Beam revolution が 100kHz であるため、1MHz 以上のサンプリングレートが必要であるが、SFP(+)の信号転送帯域幅は 1Gbps (SFP+だと 5Gbps 程度)であるため、数 MHz でデジタル・サンプリングを行っても、信号転送可能である。

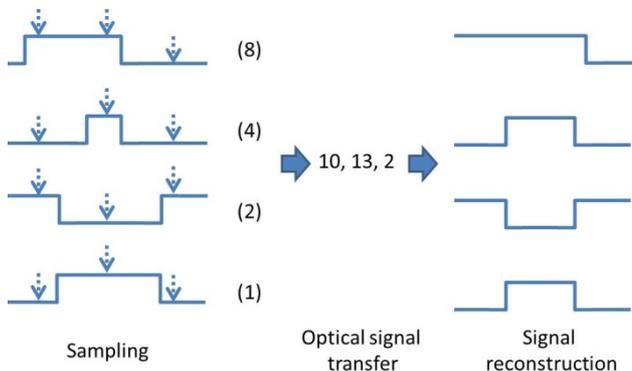


Figure 3: Injection-control signal transfer scheme for SuperKEKB, based on digital sampling, parallel to serial, and serial to parallel conversions.

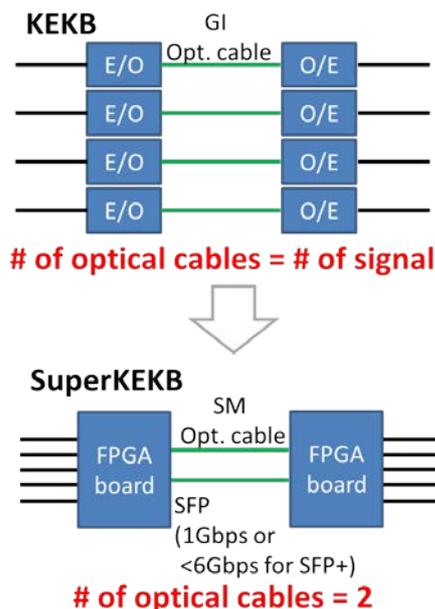


Figure 4: Injection-control signal transfer methods for KEKB and SuperKEKB.

我々は、上記のシステムを構築するために、SPRing-8 用に開発された FMC を用いた汎用 VME モジュールを使用した。

### 3. SuperKEKB 用メザニンカードの開発

FMC を用いた汎用 VME モジュールは、装着す

るメザニンカードを取り替えることで、様々な用途に使用できるようデザインされている。このモジュールには FPGA(Artix-7)が搭載され、FMC コネクタの他に SFP(+) や 1Gbps のイーサネット(RJ-45) インターフェース、LVTTTL の入出力が付いている。FMC コネクタの大きさは 6U の大きさに拡張している。

SuperKEKB 用に、この汎用 VME モジュールに装着し、LVTTTL と NIM レベル信号入出力を取り扱うためのメザニンカードを開発した(TTL-NIM-IO メザニンカード)。8 チャンネル LVTTTL と 8 チャンネル NIM 信号の入力信号、および、8 チャンネル LVTTTL と 8 チャンネル NIM 信号の出力信号を取り扱うように設計した (合計 32 チャンネル)。

TTL-NIM-IO メザニンカードを装着させた汎用 VME モジュールの厚みを、VME スロットの幅にあわせるため (2 スロット分の幅に相当)、メザニンカードは、中継モジュールを間に介して、汎用 VME モジュールに装着させるデザインとした。ここで、メザニンカード、中継モジュール、2 枚の基板を予算内で作成するために、これらの基板を 1 枚で作成し、メザニンカードは、穴が空いたデザインとした (Figure 5)。

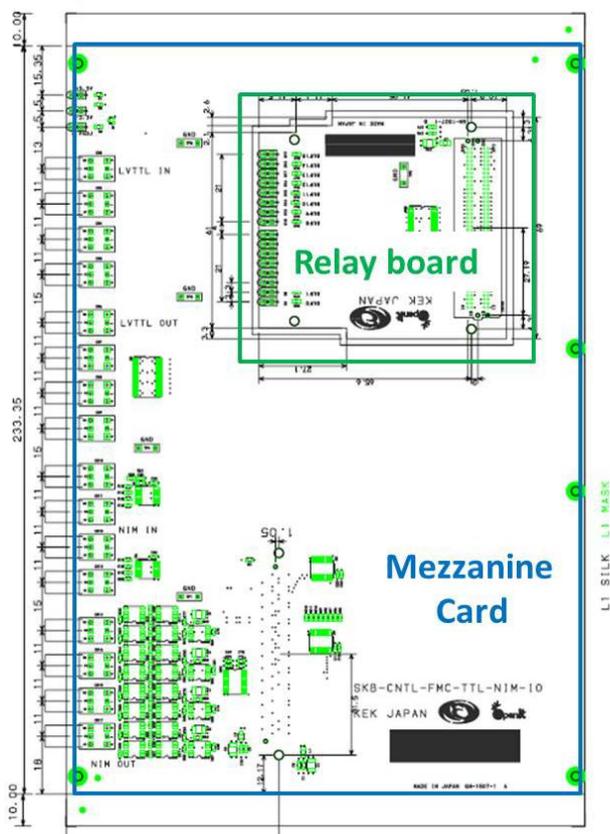


Figure 5: Design of the TTL-NIM-IO mezzanine card and the relay board for SuperKEKB.

2015 年 3 月、TTL-NIM-IO メザニンカード 1 号機を製作し、汎用 VME モジュールのかわりに、FPGA

評価キット(AC701)を使用して、性能試験を行った。性能試験の詳細は、参考文献<sup>[4]</sup>に示されている。

さらに我々は、今回開発された TTL-NIM-IO メザニンカード、および汎用 VME モジュールを用いて、SuperKEKB 用に以下のシステムを構築する：

- 1) ソフトウェア経由でアポートトリガーシステムへ信号をリクエストするシステム  
EPICS<sup>[5]</sup>からの入力リクエストにより、アポートトリガーシステムへ TTL 信号を出力
- 2) 最終収束系超電導四極電磁石システムのクエンチ検出信号の送信システム  
クエンチ検出信号(TTL)の入力を受けて、EPICS レコードの状態を変更させる
- 3) ダンピングリングの入射制御信号送信システム  
各コンポーネントからの入射不許可信号(TTL)を受信し、OR をとって、Linac へ入射不許可信号を送信する。また、これらのリセット操作も行う。
- 4) SuperKEKB メインリングの入射制御信号送信システム  
アポートトリガーシステムからのアポートリクエスト、または EPICS レコードからの入射不許可リクエストを受けて、Linac へ入射不許可信号を送信する。また、これらのリセット操作も行う。

これらのシステムでは、TTL/NIM レベル信号の入出力制御、および、EPICS による TTL/NIM レベル信号の入出力制御が必要となる。

ソフトウェア経由でアポートトリガーシステムへ信号をリクエストするシステムについては、TTL-NIM-IO メザニンカード、および FPGA 評価キット(SP601)を用いた評価試験を行い、基本的な動作確認を行った<sup>[4]</sup>。

## 4. まとめ

我々は、Spring-8 用に開発された FMC を用いた汎用 VME モジュールを使用し、SuperKEKB 加速器・BelleII 測定器入射制御信号送受信システムを構築する。ここで、SuperKEKB での使用にあわせて、TTL-NIM-IO メザニンカードの開発を行った。

今後、2016 年の SuperKEKB 運転開始に向けて、FMC を用いた汎用 VME モジュールおよび TTL-NIM-IO メザニンカードを用いたシステム構築を進める予定である。

## 謝辞

本開発にあたって多大な御協力を頂いた、Open-It の方々に、感謝を申し上げます。

## 参考文献

- [1] K. Akai, et al., "Design Progress and Construction Status of SuperKEKB", Proc. of IPAC12, pp. 1822-1824 (2012); <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2012/papers/t>

uppr006.pdf

- [2] T.Abe, et al., "FMC を用いた汎用 VME モジュールの開発と応用(1) -設計概念とモジュール開発、SPring-8での応用-", in these proceedings.
- [3] Open-It, <http://openit.kek.jp>
- [4] S.Sasaki, et al., "FMC を用いた汎用 VME モジュールの開発と応用(3) -SuperKEKB での応用：モジュールの性能試験-", in these proceedings.
- [5] EPICS, <http://www.aps.anl.gov/epics>