

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-

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF VME MODULE WITH FMC INTERFACE (1) -DESIGN OF THE VME MODULE AND APPLICATION TO SPRING-8-

阿部利徳^{#, A,C)}, 池野正弘^{B,C)}, 庄子正剛^{B,C)}, 岩崎昌子^{B,C)}, 佐々木信哉^{B,C)}, 秋山篤美^{B,C)}
Toshinori Abe^{#, A,C)}, Masahiro Ikeno^{B,C)}, Masayoshi Shoji^{B,C)}, Masako Iwasaki^{B,C)}, Shinya Sasaki^{B,C)},
Atsuyoshi Akiyama^{B,C)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

^{C)} Open-It

Abstract

A development of a general-purpose VME module with FPGA Mezzanine Card (FMC) interface and an application of the system using the module are reported. We have developed a general-purpose VME module with FMC interface to use in accelerator control and DAQ for experiments. A lot of detectors and signaling between experimental apparatuses are necessary for large-scale accelerator and experimental equipment. And dedicated equipment for individual detectors and control devices are required. For the development of individual built-in module, it is becoming very difficult in terms of schedule and cost to develop the module and also human resources. We aimed to develop the general-purpose module to change mezzanine card for individual measurement, to solve the problems resulting in a shorter term and lower budget to develop. The general-purpose VME module optimized the function in our control and experimental use more than an over-the-counter base board. The general-purpose VME module is designing to support HPC of the FMC interface for mezzanine card, one Gbps Ethernet, SFP+, and input/output of a LVTTTL signals with LEMO connectors. Development is advanced to a base board under cooperation of KEK Open-It. It's also reported system plans in SPring-8/SACLA using the general-purpose VME module.

1. はじめに

FMC を用いた汎用 VME モジュールの開発とそのモジュールを用いたシステム構築の応用例について報告を行う。

私達は加速器制御・実験用 DAQ で使用するための FPGA Mezzanine Card(FMC)^[1]を用いた汎用 VME モジュールを開発している。大規模な加速器・実験装置では多数の検出器・システム間の信号通信が必要とされ、また、それぞれに専用の組み込みモジュールが必要な場合が多い。1つの組み込みモジュールの開発には、時間もコストも掛かり、限られた予算・期日・人的資源の中で要求される組み込みモジュールを作成することはとても困難になってきている。今回、メザニンカードを取り替えることにより様々な用途に使用できる汎用モジュールを開発し、低予算で短期にモジュール開発を行うことを目指した。

汎用 VME モジュールは、機能を加速器制御・実験用 DAQ に特化することにより、市販のベースボードよりも、我々の制御・実験用途に最適化した。汎用 VME モジュールは、SFP+、1Gbps のイーサネット、LEMO コネクタによる LVTTTL 信号の入出力、メザニンカードのインターフェースとして FMC

[#] toshinori.abe@spring8.or.jp

規格の HPC をサポートするように設計を行っている。ベースボードは、KEK Open-It の協力のもとに開発が進められている。

本報告では、まず開発の目的を述べ、次に開発目的を達成するための設計概念を説明する。ここでは要求仕様、FPGA の選択、FMC を採用することの利点と開発方針について議論する。そして最後に、汎用 VME モジュールを用いた、SPring-8/SACLA^[2]でのシステム案についても述べる。なお、SuperKEKB 加速器^[3]において、開発中の汎用 VME モジュールを使用したシステムの開発については、本学会の他の報告^{[4][5]}に詳しくまとめられている。

2. 目的

本開発は、SPring-8 サイトの SACLA を用いた実験での使用を想定して開発をスタートしたが、SuperKEKB 加速器でも使用可能であることがわかり、現在は両方をターゲットとして開発を進めている。

SPring-8 サイトの SACLA を用いた実験においては、測定データに、X-ray Free Electron Laser (XFEL) のショットを区別するためのタグ番号を付与する必要がある。このタグ番号は専用のシステムにより配信されている^[6]。タグ番号を受信し、様々な測定に対応するために、たくさんの種類のモジュールが必要となる。測定種類毎にモジュールを作るのでは、

予算、人的資源的にもとても大きな負担となる。そこで、メザニンカードを取り替えることにより様々な測定が可能となるモジュールの採用を考えている。タグ番号信号を受信できる汎用 VME モジュールにより、開発の効率化を行うことが可能となる。また、実験ホールとデータストレージのある電算機室の間の長距離データ転送を行うために、光通信の機能を汎用 VME モジュールに付加する必要があった。

この汎用 VME モジュールは、SuperKEKB 加速器においてもとても有用である。SuperKEKB 加速器においては、筑波実験ホールから SuperKEKB 加速器中央制御室までの数 km において、複数の信号を転送する必要がある。物理的に、この間の光ファイバーケーブルの本数が多くないために、一本の光ファイバーケーブルで、複数の信号を転送しなくてはならなかった。既存のモジュールでは要求を満たす機器がなかった。汎用 VME は光ファイバーの入出力をもっており、要求を満たすようメザニンカードを開発すればよい。

上記、SACLA を用いた実験および SuperKEKB 加速器の両方の要求を満たす VME モジュールの開発を行った。

3. 設計概念

前章での目的を達成するために、新しい汎用 VME モジュールの開発を行っている。この章では、汎用 VME モジュールの設計概念について述べる。まず、汎用 VME モジュールへの要求仕様について説明する。次に、FPGA の選択について述べる。最後にメザニンカードとして採用した FMC の利点・欠点について述べ、開発のすすめ方を議論する。

3.1 要求仕様

本開発における汎用 VME モジュールには、次に述べるような要求仕様がある。

SPring-8/SACLA を用いた実験および SuperKEKB 加速器での様々な測定に対応するために、メザニンカードを変えるだけで、様々な測定を行える汎用モジュールでなければならない。メザニンカードの規格としては、3.3 で述べる理由から FMC を採用した。

SACLA を用いた実験では、XFEL ショット毎に測定データを区別するためのタグ番号信号 (LVDS 規格) を受信するための仕組みが必須である。この信号を受信するための RJ45 ポートを持たなくてはならない。

SPring-8/SACLA および SuperKEKB 加速器では、信号の長距離伝送を行わなくてはならない。特に SuperKEKB 加速器では、伝送距離が数 km にわたる。したがって、光通信が行えなければならない。現在、光トランシーバーの規格として、広く普及し入手も容易な SFP/SFP+を採用した。SPring-8/SACLA での実験でよく使用されている 2次元カメラの最大データ転送量は約 5Gbps あり、光通信を用いた高速リアル転送は、この要求を満たさないとはいけない。

上記の他に、モジュールが他の機器と通信/制御するためのイーサネット、VME バスが必要であ

る。また、モジュール自体のコストがそれほど高くないことが必要である。

Table 1 に汎用 VME モジュールの要求仕様をまとめる。

Table 1: Characteristics of VME Module

| 項目 | コネクタ | 備考 |
|------------------|----------|--------|
| メザニンカードのインターフェース | FMC | HPC |
| タグ番号信号受信 | RJ45 | LVDS |
| 光通信 | SFP/SFP+ | 5Gbps |
| イーサネット通信 | RJ45 | 1Gbps |
| トリガー入力 | LEMO×2 | LVTTTL |
| トリガー出力 | LEMO×2 | LVTTTL |

3.2 FPGA の選択

FPGA の選択は、汎用 VME モジュールのコストを抑える上で、とても重要な要素である。コスト重視アプリケーション向けの FPGA としては、Spartan-6 シリーズと Artix-7 シリーズがある。すでに KEK 加速器で Spartan-6 をベースにした VME モジュールの開発があり、それをベースに回路設計を進める予定であった。しかし、Spartan-6 の高速リアル転送のスピードが最大 3.2Gbps であったため、3.1 で述べた SPring-8/SACLA での実験からの要求約 5Gbps を満足することができなかった。そこで、Artix-7 を採用し、新規回路設計を行った。

3.3 FMC の選択と開発方針

今回の開発に当たり、汎用 VME モジュールのメザニンカードとのインターフェースの規格として、FMC の HPC を採用した (ただし Bank A のみ)。FMC の採用には、次のような利点・欠点がある。

FMC を採用することにより、ベースボード開発とメザニンカードの開発を独立に平行して行える利点がある。また、FMC の HPC を採用したことにより、SFP デバイス 4 個を搭載した FMC メザニンカードを接続することが可能になる。このことにより、1つの光通信を4つの光通信に分配することも可能となる。また、様々な商用 FMC メザニンカードが利用可能であることも、FMC 規格採用の利点である。

欠点としては、FMC コネクタ自体の価格および取り付け費用が、他のコネクタに比べて若干高いことがあげられる。

ベースボードとメザニンカードを平行して行える利点を活かし、汎用 VME モジュールとメザニンカードは独立に開発を進めている。これは開発期間の短縮と、仕様上、開発難度の高い汎用 VME モジュールの開発リスクを考慮したためである。Xilinx 社から提供されている FPGA 評価ボードは FMC コネクタをもっており、ベースボードなしでもメザニンカードの開発・デバックを進めることがで

きる。FPGA 評価ボードに AC701^[7]を用いれば、ベースボードに採用している Artix-7 と同じシリーズの FPGA が採用されており、ほぼ同じ開発環境で開発を進めることができる。

5. 開発のスケジュール

当初は夏までに完成する予定であった。汎用 VME モジュールは、VME バス、FMC の配線の数が多く、400 本を超える FPGA のほぼすべてのピンを使用することとなった。Artix-7 を初めて使った回路設計であったこともあり、レイアウト時に様々な問題が発生した。現在これらの問題を解決し終えたところである。この 8 月末に、初版のボードが完成する予定である。Figure 1 に汎用 VME モジュールのシルク図、および主要パーツの位置を示す。

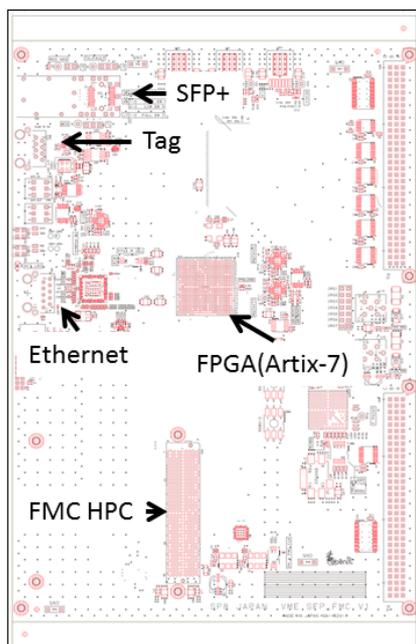


Figure 1: Silk figure of VME module with FMC interface.

6. SPring-8/SACLA での応用

SPring-8/SACLA では、汎用 VME モジュールを用いたようなシステムを考えている。

SPring-8/SACLA では、実験装置としてカメラが良く使用されている。カメラによる画像データを転送する規格として、Camera Link^[8] がよく使用されている。Camera Link は LVDS 規格をベースとしており、10 メートルを超えるような長距離の通信に使用することはできない。SPring-8/SACLA では、実験ホールと電算機室の配置の制約から、Camera Link の長距離伝送が必要となる場合がある。SPring-8/SACLA では、Camera Link のデータ受信、送信を行えるような FMC メザニンカードをすでに開発し

てあるので、このメザニンカードを用いて、Camera Link の長距離伝送をするシステム (Figure 2) に汎用 VME モジュールを使用することができる。

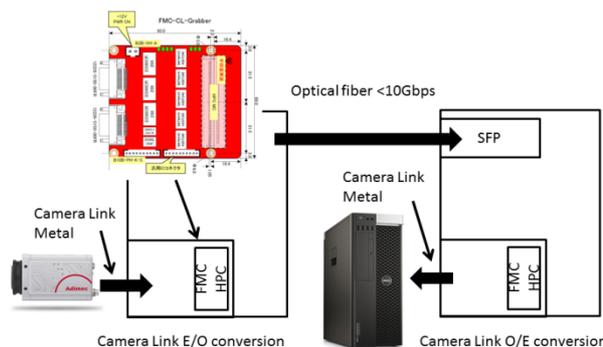


Figure 2: DAQ system of 2D image sensor using VME module with FMC interface.

SPring-8/SACLA では、VME シャーシが機器制御・DAQ によく用いられているが、近年、VME シャーシの VME バスを制御する CPU モジュールの安定供給に疑問が起きつつある。そこで、VME バスを使わない制御・DAQ システムへの移行を見据え準備を進めなくてはならない。汎用 VME モジュールは、SiTCP^[9]を FPGA のファームウェアに組み込むことにより、イーサネットの通信を行うことが可能である。そこで、従来の VME バスからイーサネットに通信・制御方式を置き換えた Figure 3 のようなシステムの構築に利用することができる。

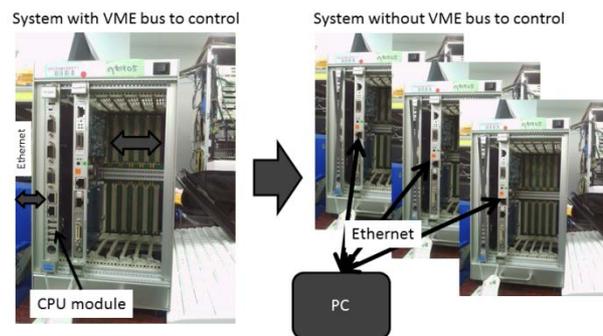


Figure 3: DAQ system without VME bus to control using VME module with FMC interface.

7. まとめ

SPring-8/SACLA を用いた実験および SuperKEKB 加速器での使用を目指した汎用 VME モジュールの開発を行っている。汎用 VME モジュールは、SFP+、1Gbps のイーサネット、LEMO コネクタによる LVTTL 信号の入出力、メザニンカードのインターフェースとして FMC 規格の HPC をサポートするように設計をおこなった。ベースボードは、KEK Open-It の協力のもとに開発が進めた。現在レイアウト

PASJ2015 THP105

トまで終了し、8月末に初版のボードが完成する予定である。

汎用 VME モジュールは、SPring-8/SACLA を用いた実験において様々な測定データに用いることが可能であり、なかでも、カメラリンクデータの長距離転送、及び、VME バスフリーの制御システムの構築が期待されている。

謝辞

本開発にあたって、Open-It (オープンソースコンソーシアム) から多大なご協力をいただきました。ここに感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] <http://www.vita.com/fmc>
- [2] T. Shintake et al., "X-ray FEL project at Spring-8 Japan", Proceedings of 8th International Conference of Synchrotron Radiation Instrument (SRI2003), 227(2004).
- [3] K. Akai, et al., "Design Progress and Construction Status of SuperKEKB", Proc. Of IPAC12, pp. 1822-1824 (2014); <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPACK2012/papers/tuppr006.pdf>
- [4] M. Iwasaki, et al., "FMC を用いた汎用 VME モジュールの開発と応用 (2) -SuperKEKB での応用: システムデザイン-" in these proceedings.
- [5] 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.
- [6] T. Abe, et al., "Development of New Tag Supply System for DAQ for SACLA User Experiments", Proc. Of IPAC2014, pp. 1826-1828 (2014); <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPACK2014/papers/tupri108.pdf>
- [7] <http://japan.xilinx.com/roducts/boards-and-kits/ek-a7-ac701-g.html>
- [8] <http://www.visiononline.org/vision-standards-details.cfm?type=6>
- [9] T. Uchida, "Hardware-Based TCP Processor for Gigabit Ethernet", IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol55, No.3, 2008.6, pp. 1631-1637.