

# DEVELOPMENT OF VME CPU BOARD USING A COM EXPRESS MODULE

Takemasa Masuda #, Toru Ohata, Masao Takeuchi  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)  
1-1-1 Kouto, Sayo-gun, Sayo-cho, Hyogo, 679-5198

## Abstract

This paper presents our development of the COM Express VME carrier board with remote management capability and actual installation into the accelerator control system in March 2012.

The accelerator control system of SPring-8 employs VME computers as frontend controllers. About thirty years have passed since the VMEbus standard was established. VME market has been shrinking gradually in recent years. We have sometimes faced with difficulties of a narrow choice of VME CPU board in the market. We have, therefore, developed a VME carrier board that works as a VME CPU board by attaching a COM Express module. We can build up our VME CPU board by combining the carrier board with a suitable COM Express module in the growing COM Express market. We have designed the carrier board to realize another solution for the difficulty. That is, the VMEbus can be controlled from its PMC/XMC slot without attaching a COM Express module. High performance server computer would be a VME controller via a PCI/PCI Express extension like PCI Express External cabling, for example. In addition, we have developed the daughter card onto the carrier board to support remote management functions. It provides a VME/COM Express monitoring function, VMEbus reset function and KVM (keyboard, video, mouse) over IP function via an independent network interface on the carrier.

## COM Express を用いた VME CPU ボードの開発

### 1. はじめに

SPring-8 加速器およびビームライン制御系では、1997 年の運転開始以来一貫して、標準的なフロントエンドコントローラとして VME 計算機を使用している。その数は 200 台以上である。VME は信頼性が高く堅牢で、かつ非常に扱い易いバス規格であり、規格が制定されてから既に 30 年近くが経過した現在でも世界中の加速器施設で使用され続けている。

しかしながら、流石にその古さは否定できず、バスの帯域やボード当たりの供給電力が不足するケースが目立ち始めている。また昨今のサーバー計算機が標準的に搭載している、ネットワーク経由での遠隔管理機能が実装されていないため、SPring-8 のように広大な敷地内に分散設置する場合は、管理上不便さを感じる場合が多い。VME64x、VXS などの上位互換の規格がリリースされてはいるが、ギガビット以上の高速ネットワークや、PCI Express などのシリアルバスが急速に普及している現在においては、残念ながら広く受け入れられているとは言えず、全体的に VME バスの市場は縮小傾向にある。それは、次から次へと新しいプロセッサが発表される CPU 市場において顕著である。例えばフィードバック制御の高速化や並列化を実現するために、新しくリリースされた高性能な CPU を利用したくても、その CPU を搭載した VME ボードが市場に出るまでには時間を要したり、リリースされなかったりするケースが多い。

そこで、我々は COM Express モジュールに注目し

た(図1)。COM Express は PCI Industrial Computer Manufacturing Group (PICMG)<sup>[1]</sup>によって規格が制定されている業界標準とも言うべき Computer on Module (COM)であり、その市場は急速に拡大している。故に、新しい CPU がリリースされてから市場に出回るまでの時間が早く、提供ベンダーの数が多いことも魅力である。我々は COM Express を実装することで VME CPU ボードとして動作する COM Express VME キャリアボードの開発を行った。

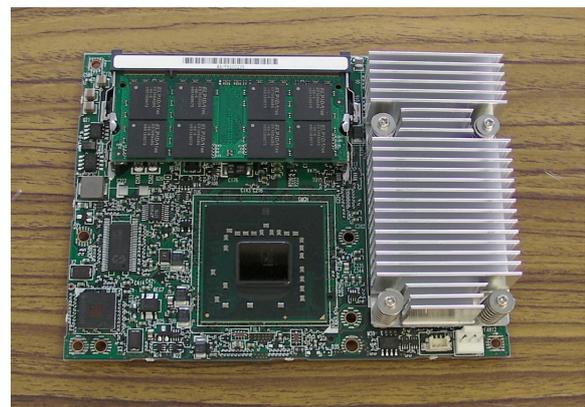


図1 : COM Express モジュール

### 2. COM Express

COM の考え方は、次から次へと新しいプロセッサがリリースされる CPU 部分をモジュールに集約し、比較的更新速度が緩やかな LAN や USB などの入出力部分から切り離すところにある。特定のアプリケーションに必要な入出力機能を持つキャリア

# masuda@spring8.or.jp

ボードを一度用意しておけば、COM の部分のみ更新することで、陳腐化することなく長い期間システムを使用することが出来る。

先に述べた通り、COM Express は PICMIG により規格が制定されている業界標準の COM である。COM は、CPU ボードに必要な機能を全て持っているモジュールで、2005 年 7 月に最初の規格となる Revision 1.0 がリリースされ、2つのフォームファクタ（ベーシック:125mm×95mm と エクステンディッド:155mm×110mm）と、キャリアボードとのインターフェースコネクタの 5 つのピンアウトタイプが定義された。ピンアウトタイプ 1 は 2列（A/B 列）220 ピンコネクタを 1 つ搭載するモジュールで、これが基本のピンアウトとなる。他の 4タイプ（タイプ 2, 3, 4, 5）は、基本ピンアウトに加えて、もう 1つの 2列（C/D 列）220 ピンコネクタを実装していて、用途に合わせたピンアウトが定義されている。2010 年 8 月には Revision 2.0 がリリースされ、新たにタイプ 6 とタイプ 10 が追加となった。この 2つのタイプは、基本ピンアウトが異なることが特徴である。表 1 に COM Express のピンアウトのタイプを、図 2 には例としてタイプ 2 のピンアウトを示す。これだけの数のピンアウトタイプがあると、キャリアボードを設計する際にどのタイプをターゲットにおいて設計をするかが重要になる。

表 1 : COM Express のピンアウトタイプ

タイプ	コネクタ	PCIe	PCI	IDE	SAT A	US B	LA N
1	1	6	-	-	4	8	1
2	2	22	32bit	1	4	8	1
3	2	22	32bit	1	4	8	3
4	2	32	-	-	4	8	1
5	2	32	-	-	4	8	3
6	2	24	-	-	4	8	1
10	1	4	-	-	2	8	1

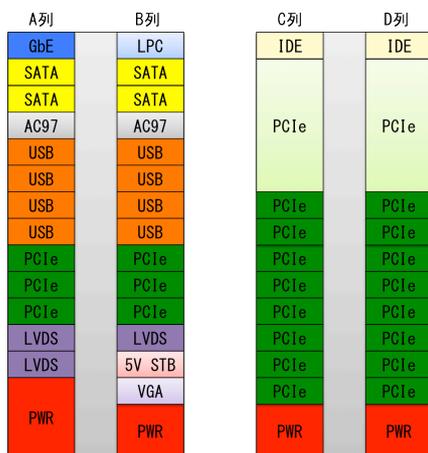


図 2 : タイプ 2 のピンアウト

COM Express モジュールは+12V の単一電源を使用し、インターフェースコネクタを通して供給される。

### 3. COM Express VME キャリアボードの設計および製作

我々は 2008 年より COM Express VME キャリアボードの設計を開始した。この段階では Revision 2.0 のリリース前であるので、キャリアボードは Revision 1.0 に従って設計・開発を行った。図 2 に実際に製作したキャリアボード（ARKUS 社製 Axvme2000<sup>[2]</sup>）の写真を、図 3 にブロック図を示す。

設計に当たっては、以下の機能を実装出来るよう留意した。

- COM Express VME キャリアボード機能
  - 外部 CPU からの VME バス制御機能
  - ネットワーク経由での遠隔管理機能
- 以下、各々の機能について詳細を述べる。



図 2 : 製作した COM Express VME キャリアボード (Axvme2000)

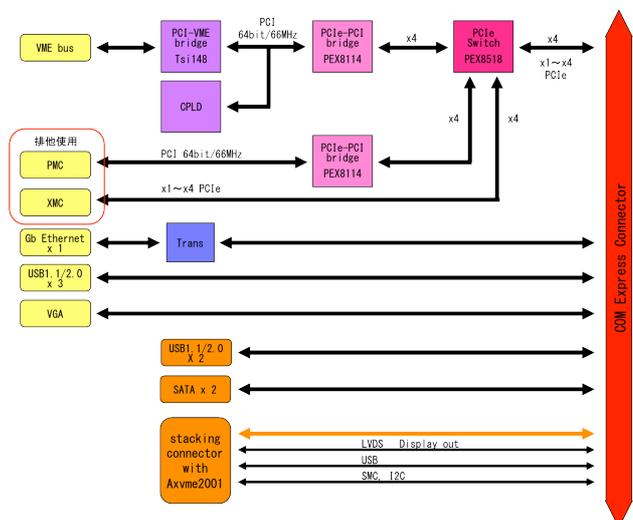


図 3 : Axvme2000 のブロック図

### 3.1 COM Express VME キャリアボード機能

当然のことながら、キャリアボードの製作に当たって最も重要な機能である。設計に当たって難しかったのは、COM Express モジュールの実装方法、COM Express のピンアウト選択、電源の供給、そして VME 空間をマッピングするための PCI リソースの確保の問題である。

SPring-8 で使用されている既存 VME CPU ボードとの互換性から、我々はキャリアボードのサイズを 6U サイズ、2 スロット幅とした。そして必要なインターフェースを VME64x、Gigabit Ethernet、USB、SATA、VGA、PMC/XMC と定義した。

#### 3.1.1 フォームファクタの選択

我々は、実装可能な COM Express のフォームファクタをベーシックのみに限定することとした。これは、エクステンディッドモジュールの実装が PMC/XMC スロットの実装と相容れなかったためである。ベーシックモジュールのみでも、我々にとって必要な CPU 性能は十分提供出来ると判断した。

#### 3.1.2 ピンアウトの選択

設計時点で Revision 2.0 はリリース前であるので、ここではタイプ 6 とタイプ 10 については議論しない。実際、これらのピンアウトタイプは Revision 1 の 5 つのピンアウトタイプとは互換性がなく、以下の議論の対象からは外れることになる。

我々は、実装可能な COM Express モジュールのピンアウトの互換性を出来る限り高められるようキャリアボードの設計を行った。すなわち、キャリアボード側は、2 個のインターフェースコネクタを実装するが、基本ピンアウトであるタイプ 1 ピンアウトしか使用しないようにした。すなわち、A/B 列で提供される機能のみを実装し、C/D 列で提供される機能 (IDE、PCI、2 ポート目以上の LAN など) は実装しないようにした。

そのため、ストレージとしては IDE ストレージではなく SATA DOM (Disk on Module)か USB DOM を使用することとし、また PCI/VME バスブリッジチップである Tsi148<sup>[3]</sup>のような PCI デバイスは PCI Express/PCI バスブリッジを経由して接続するようにした。またギガビットイーサネットは COM Express モジュールが提供する 1 ポートのみをサポートすることとした。このようにして、我々は実装する COM Express モジュールのピンアウト互換性を保てるよう設計することに成功した。

#### 3.1.3 電源

VME シャーシによる COM Express モジュールの冷却能力と供給電力とのバランスを考慮して、実装可能な COM Express モジュールの最大消費電力を 60W 程度とした。その上で COM Express が使用する +12V の電源は VME バスの +5V のみを使って生成するようにした。これは、VME64x シャーシであれば豊富な 3.3V を利用することが可能であるが、SPring-8 では古い 32 ビット VME シャーシが汎用に使われているためである。キャリアボードは 2 スロ

ット幅であるため、2 スロット目の P2 コネクタ側からも +5V を受電し、不足する電力を補えるよう設計している。

#### 3.1.4 VME 空間をマッピングするための PCI リソースの確保

COM Express を実装したキャリアボードから VME バスの制御を行えるようにするためには、あらかじめ必要なリソースを PCI 側に確保し、ここに制御対象となる VME バス空間をマッピングする必要がある。これを可能とするには、PCI のコンフィギュレーションサイクル時に必要な空間リソースを要求し、あらかじめシステムに確保をしてもらう必要がある。我々は設定されたサイズの PCI 空間を要求する疑似デバイスを CPLD で実装することにした。PCI と VME の間のマッピングを司る Tsi148 バスブリッジチップが確保した PCI リソースを自由に使えるようにするには、Tsi148 と同一のブリッジデバイスの下に疑似デバイスを取り付ける必要がある。

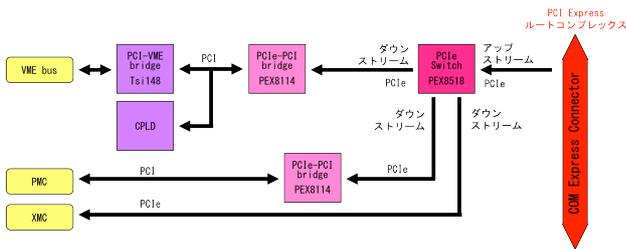
この実装は上手く機能し、ディップスイッチの設定によって希望するサイズの PCI リソースを確保することに成功した。疑似デバイスは 2 つ実装し、各々 1MB~16GB までのリソースを要求出来るようになっていた。実際に確保出来る最大のリソースサイズはシステムに依存する。

### 3.2 外部 CPU からの VME バス制御機能

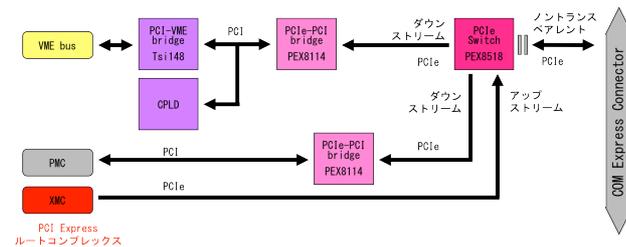
昨今、VME などフロントエンド計算機において複数の高速フィードバック演算処理を動作させたいという要求が出始めている。これを実現するためには、高性能なマルチコア CPU が必要である。しかしながら VME は古い規格であるために、高性能 CPU を動作させるために必要な電力の供給や冷却の実現が困難である。これは COM Express の導入によって改善される問題ではなく、サーバー計算機など外部の高性能 CPU を VME 計算機の制御に利用する方法が有効である。そこで、本キャリアボードの PMC/XMC サイトを通して、外部 CPU から VME の制御が行えるように設計することにした。

具体的には、PCI Express スイッチ PEX8518<sup>[4]</sup>の設定を切り替えることでこの機能を実現した。COM Express モジュールを VME のコントローラとして使用する場合には、COM Express 側をアップストリームに、他のポートはトランスペアレントモードに設定して使用する。一方、外部 CPU から PMC/XMC サイトを経由して VME バスを制御する場合には、PMC/XMC サイトをアップストリーム設定に、COM Express 側をノントランスペアレントモードに設定する。これは PCI Express がシングルルート構造を持つためであり、COM Express 側をノントランスペアレントモードに設定して切り離すことでこの問題を回避できる。

実際に、我々はこの機能を用いて、サーバー計算機からキャリアボードの PMC/XMC サイトを通して VME ボードの制御が出来ることを確認している。



(a) COM Express モジュールを VME コントローラとして使用する場合



(b) XMC スロット経由で外部 CPU を VME コントローラとして使用する場合

図 5 : PCI Express スイッチの設定変更による VME コントローラの切り替え

### 3.3 ネットワーク経由での遠隔管理機能

SPring-8 のサイト内に分散設置されている VME にネットワーク経由での遠隔管理機能を実装することは、200 台以上の VME 計算機を効率的に管理するために非常に有効である。我々は本キャリアボードにスタックすることで COM Express モジュールとは独立して遠隔管理機能を提供するドーターカード (ARKUS 社製 Axvme2001) を設計・開発した (図 5)。

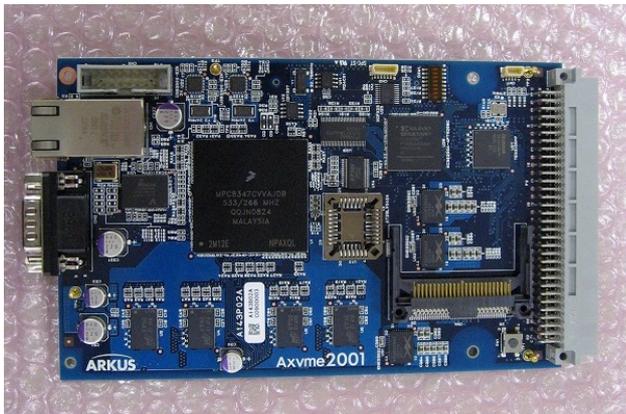


図 5 : 管理用ドーターカード (Axvme2001)

この管理用ドーターカードは、CPU (533MHz PowerQUICC II PRO (MPC8347) <sup>[5]</sup>) を実装し、Ethernet インターフェースを持ち、次のような機能を提供する。

- VME バスの管理機能 : VME バスの電源 (+5V ± 12V) の監視、割り込みラインの監視、SYSRESET 信号の生成。
- VME シャーシの管理機能 : 温度測定と空冷ファンの異常監視。
- COM Express モジュールの管理機能 : CPU 温度と電源の監視、CPU に対するリセット信号の生成。COM Express と管理用ドーターカードの間は I2C インターフェースを利用しているため、異なる COM Express モジュールを実装した場合であっても通信互換性を確保出来る。
- KVM (Keyboard, Video, Mouse) over IP 機能 : KVM 信号をキャプチャし、COM Express モジュールのコンソールをモニターし操作することが出来る。この機能によって遠隔からの BIOS の設定を行うことも可能である。

管理用ドーターカードの CPU 上では Linux が動作しており、これらの管理機能を Web サービスとして提供している。管理機能を利用するための API 関数も用意されているため、管理用ドーターカードの上で任意のアプリケーションプログラムを動作させることも可能である。

## 4. 実機へのインストール

我々は、市販の COM Express モジュールと Axvme2000 を組み合わせて、SPring-8 蓄積リングのロスモニターデータ収集用 VME 計算機として 2012 年 3 月より実機での使用を開始した。

### 4.1 COM Express モジュールの選定

実機への導入に先立ち、我々は市販の COM Express モジュールから以下の条件を満たすものをピックアップし、Axvme2000 との組み合わせ動作試験と VME 用の OS として使用している Solaris10 での動作試験を実施した。

- CPU は Intel Core i7 の 2 コア以上とする。ただし TDP で 30W を超えないこと
- ECC 付きの DDR3 メモリを使用していること  
サイズは 4GB 以上であること。

条件を満たした COM Express モジュールの中から、今回のターゲットとしてオムロン社製産業用 CPU モジュールである F60<sup>[6]</sup> を選択した。これはタイプ 2 のピンアウトを持つモジュールである。

実は当初 Axvme2000 に実装した F60 は BIOS 画面すら起動しない状態であった。これは F60 がキャリアボード側に Super I/O があることが前提で BIOS の仕様を決めていたためである (Axvme2000 は Super I/O を持っていない)。オムロン社に BIOS を改修して頂いたところ、それ以降は問題無く Solaris10 が動作するようになった。F60 を実装した Axvme2000 の写真を図 6 に示す。

### 4.2 インストール

図 6 と同じ構成の COM Express VME CPU ボードを 2 箇所分のロスモニター用 VME シャーシに実装した。ただし、監視用ドーターカードについては、

ドーターカード用にカスタマイズした Linux カーネルを動作させると、COM Express モジュール側の OS (Solaris10) の起動が途中で止まるトラブルが出ている。原因が特定出来ていないため、監視用ドーターカード上で Linux を動作させるのを止めている。

VME CPU ボードとしての動作は安定しており、約半年間のオペレーションにおいて問題等は発生していない。



図 6 : 実機にインストールしたオムロン製 F60 COM Express モジュールと Axvme2000 キャリアボード

## 5. COM Express の利用に関する考察

我々は、今回初めて制作した COM Express VME キャリアボード Axvme2000 に市販の COM Express モジュールを組み合わせて実機に適用した。その中で、COM Express を利用するにあたっての留意すべき点があることが分かったので、ここで考察しておきたい。

### 4.1 規格の曖昧さ

我々が Axvme2000 で動作確認を行った市販の COM Express モジュールは殆ど問題無く動作しているが、中には全く動作しないものも幾つか存在した。この場合、BIOS の問題と電気的な信号取り合いの問題の 2 つのパターンがあることが分かった。

今回使用した F60 は Axvme2000 で使用するには BIOS に問題があり、これはキャリアボードが Super I/O を持っていることを仮定しているために起こったものである。規格上は Super I/O があることは前提にはなっていない。幸い BIOS を改修するだけで動作するようになったが、このように特定のキャリアボードを意識して COM Express を制作している可能性については考えておかなければならない。

また、別のあるメーカーの COM Express モジュールを Axvme2000 に実装した際に、全く動作しないことがあった。これは起動シーケンスに関わるリセット信号の取り扱いについての解釈の違いであることが分かった。少なくとも Revision 1.0 において

は、どちらの解釈も可能であり、規格に曖昧さが残っている点が問題であると感じた。これについては Revision 2.0 で改善されていることが望まれるところである。

### 4.2 ピンアウトタイプの互換性

3.1.2 でも触れたが、Revision 2.0 において 2 つのピンアウトタイプであるタイプ 6 とタイプ 10 が追加された。この 2 つのピンアウトタイプは、Revision 1.0 で定義されたピンアウトタイプと互換性がなくなっている。せめて A/B 列の互換性が保たれていれば、今後主流になることが予想されるタイプ 6 を我々のキャリアボードで実装することが出来たので残念である。

これらから、一般に COM Express を利用したキャリアボードを開発する場合には、特定メーカーのモジュールをターゲットにおいて開発を進めるのが現実的であるということが言える。また、動作の不具合の大半が規格の解釈の仕方にあるので、一度動作することが確認されたメーカーの COM Express モジュールであれば、その後継モジュールも動作することが期待出来るということが言える。

## 6. まとめと今後

我々は、COM Express VME キャリアボード Axvme2000 を開発し、市販の COM Express モジュールと組み合わせることで実際の加速器運転に使用することに成功した。これらは安定に動作しており、実用上問題なく適用出来ている。ただし、本キャリアボード導入の最大の特徴であるドーターカード Axvme2001 を通してのネットワーク経由での遠隔管理機能が現時点で実装出来ていないので、早くこれを整備し、中央制御室からの VME 計算機の遠隔管理を実現したいと考えている。

また Axvme2000 は、外部の高性能 CPU から PMC/XMC スロットを通して VME バスを制御する目的にも利用出来ることが実際の試験を通して確認出来た。今後、蓄積リングの高速 COD 補正を行うための演算処理部分に、VME シャーシ内部では実装出来ない高性能 CPU を利用することを検討していくことを考えている。

## 参考文献

- [1] <http://www.picmg.org>
- [2] <http://www.arkus.co.jp/product/01cpu/axvme2000.html>
- [3] <http://ja.idt.com/products/interface-connectivity/vme/pcix-vme-bridge/tsi148-vme-pci-x-bridge>
- [4] <http://www.plxtech.com/products/expresslane/pex8518>
- [5] <http://www.freescale.co.jp>
- [6] <http://www.omron.co.jp/ese/embedded/product/f60.html>