

平成22年5月31日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19540319

研究課題名（和文） 放射線環境下で使用可能なVMEコントローラの開発

研究課題名（英文） Development of Radiation Tolerant VME Controller Module

研究代表者

佐々木 修 (SASAKI OSAMU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：30178636

研究成果の概要（和文）：放射線環境下で使用可能なVMEコントローラ及びそのインターフェースモジュールの開発が行われ、実用化の運びとなった。また、本研究を通して蓄積されたノウハウは、耐放射線性を要求される各種回路モジュールの今後の開発に大いに役立つものである。

研究成果の概要（英文）：The VME controller and interface modules, which can be used under the radiation environment, have been developed and built. The steady accumulation of the knowledge of electronics components and the design technique for the radiation environment will greatly contribute future applications for high energy and nuclear experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2007年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2008年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2009年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：粒子測定技術

1. 研究開始当初の背景

近年の加速器を用いた素粒子・原子核実験に於いては、測定器自身の巨大化及びそれに伴うチャンネル数の増大は避けられない方向である。従来は各種測定器からの信号はケーブルにより測定室まで運ばれてそこで処理するというのが普通であったが、膨大なチャンネル数にも及ぶケーブルを敷設するこ

とは根本的に不可能となり、測定器本体または近傍での信号処理が今後の測定器用電子回路の基本となる。LHC加速器を用いたアトラス測定器を例にとると、全ての測定器の信号は測定器に直付けされた電子回路によりデジタル信号に変換される。変換されたデジタルデータは直接または測定器直近に置かれた読み出し用回路により更にデータ圧

縮された後に測定室に送られる。また、これらの測定器本体及びその回路系を制御・モニタするためにはそれ専用のコントロール回路系が必要となり、更に効率よく短時間で大量のチャンネル数の制御を行うためには高速の通信手段が測定室との間で必要不可欠となる。

このような測定器からのデータ転送及び制御・モニタを行う回路システムの設計を考えると、真っ先に思いつくのが産業界をはじめ多方面で広く用いられている国際標準VMEシステムの導入である。VMEクレートを測定器直近に多数敷設することにより、汎用性の有るデータ収集及びコントロールシステムが導入できる。しかしこのようなVMEシステムを測定器本体に導入した例はアトラス測定器では皆無であり、またアトラス実験室内でTCP/IPのネットワーク環境を実験本番で使用するグループも存在しない。その最大の理由は放射線環境下で使用できるVMEコントローラモジュールが存在しないことである。アトラス測定器では最も少ない場所でも100 Gy (10 krad)以上の耐放射線性が要求される。また高速荷電粒子による半導体のSingle Event Effect (SEE)に対する耐性を有する回路システムの設計が不可欠である。SEEとは、高速荷電粒子（高速中性子も半導体内陽子との反応を通して同様の現象が起こる）が半導体内を通過した際に確立的に起こる現象で、メモリやレジスタの内容0/1が反転するSingle Event Upset (SEU)、内部素子トランジスタのSingle Event Latch Up、最悪ではSingle Event Burn Outなどが在る。現在市販されているVMEコントローラは高速CPUチップ及び大容量メモリが実装されTCP/IP等の各種インターフェースも備えられているが、上記の様な耐放射線性を持つものは皆無である。放射線環境下で使用できるVMEコントローラの開発は今後の高エネルギー実験・原子核実験更には加速器等の制御・モニタに大変有用であり、切望されている。

我々はアトラス測定器のEndcap Muon Trigger Chamber (TGC: Thin Gap Chamber)用読み出し及びコントロールシステムの一部として変形VMEクレートを導入し、このクレートのためのコントローラモジュール及び測定室をつなぐインターフェースモジュールを開発した。開発に当たっては耐放射線性の確保に最大限の努力が払われた。使用する全ての半導体に対しての γ 線照射試験、バイポーラ半導体については中性子照射試験を行った。加えて70 MeV 陽子線をを用い

てSEEの試験も行われFPGA内のメモリやレジスタのSEU Cross-Sectionも測定された。合わせて、通信手段となる高速シリアル転送用素子やオプティカルコンバータなどのSEE効果についても測定され、アトラス実験本番でのSEEによるデータ欠損の量なども見積もられた。これらの結果、通常のFPGAと呼ばれるロジックや回路構成などがプログラム可能な素子は排除され、Anti-Fuse FPGAと呼ばれる再プログラム不可なFPGAのみが使用された。また、回路設計に当たっては、全てのレジスタに対してSEUに対処するためvoting logic (1つのレジスタを3個のflip-flopから構成し3者の多数決で0/1を決める)が導入された。

2. 研究の目的

アトラスTGC用に開発した上記モジュールはアトラスの仕様のみ限定した設計になっているが、この経験を生かし回路設計に改良を加えることにより、より使いやすい標準VME 64 x 国際規格を満足したコントローラ及びそのインターフェースモジュールの開発を行い実用化する。また、放射線照射試験などを行い、数 kGy (数100 krad)以上での使用可能性、電子部品の限界について知見を得る。合わせて、放射線環境下で使用する回路モジュールの設計手法等について知見を得る。

3. 研究の方法

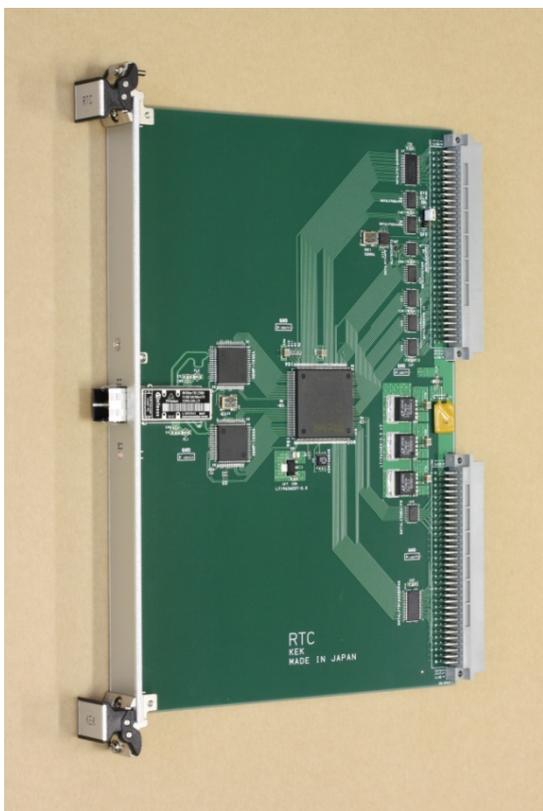
アトラスTGC測定器用に既に開発し実用化しているコントローラモジュール及びインターフェースモジュールが、今回の開発研究の出発点となる。このモジュールを如何に改良し汎用のVMEコントローラシステムへと持っていくかが最大の課題となる。素粒子原子核実験や加速器制御等に関係する人たちをはじめ色々な人たちのニーズにこたえられるように意見を集約する。VMEそのものの機能のみに限らず、使用される放射線環境の条件、その他の環境条件(磁場など)等についても含めて考察し仕様を決定し、これに基づいて仕様を実現するための回路の概念設計を行う。

仕様の決定及び概念設計と平行して、使用できる回路部品の選定作業を行う。放射線試験の有無やその結果について調査し、新たな放射線試験の必要有無について分類を行う。また、耐放射線性という観点から使用できる部品の情報を幅広く収集し、回路様式などの知識も蓄積する。概要設計及びガンマ線照射試験を基に、全

での使用部品を決定し最終回路設計を行いその後基板設計・製造更にデバッグ作業を行う。更に、本システムの為のオンラインソフトウェアの開発を行い、システムとしての動作検証を行う。

4. 研究成果

素粒子原子核実験や加速器制御に関係する人々から幅広く意見を聞き、VMEコントローラの仕様をまとめることが出来た。また、耐放射線性に関しては1kGy(100krad)を目標に据え、そのための回路部品の被ばく試験なども行った。また、新しい部品や耐放射線用回路設計技術などについても、国際会議などを通して議論を行い有用な情報を得ることができた。これらの結果をもとに、PCI規格を採用したインターフェースモジュール及びVMEコントローラモジュールの開発・試作製造を行った。試作ボードは平成21年秋には完成し、精力的に内蔵FPGAのロジック回路設計とその検証作業を行った。その結果平成22年冬には、ロジック回路設計が終了し、正常動作検証作業がほぼ完了した。合わせて、本モジュール使用の為のPCIドライバソフトウェアの開発も行われハードウェア・ソフトウェアともにユーザーに提供できる環境になった。(写真左：コントローラモジュール、写真右：インターフェースモジュール)



本VMEコントローラは、耐放射線性に関しては1kGy(100krad)、磁場環境に関しては1000ガウス程度まで動作可能であることが確認された。上述のように本研究の当初の目的が成就された。また日本物理学会に於いてこれらの結果について発表した。今後、雑誌論文への発表を行う予定である。

放射線環境下で使用できる標準VMEクレータコントローラは現存せずこれが世界で初めてとなる。将来の加速器実験や放射線発生装置などの制御・モニタにも導入することが可能となり用途が広がるものと思われる。また、ここで学んだノウハウは放射線環境下で使用できる各種モジュールの開発(VMEに限らず)に生かされるものと思う。また、本研究は市販電子部品での限界を見極め将来のASIC開発の技術的指針となるものと思う。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

- ① 神谷隆之、他、「放射線環境下に耐えるVMEコントローラとPCIインターフェースの開発」日本物理学会 2010年3月20日(岡山大学)
- ② 神谷隆之、他、「放射線環境下に耐えるVMEコントローラとPCIインターフェースの開発の現状」、日本物理学会 2009年9月10日(甲南大学)
- ③ 越前谷陽佑、他、「放射線環境下に耐えるVMEコントローラとPCIインターフェースの開発研究」、日本物理学会 2009年3月28日(立教大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 修 (SASAKI OSAMU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
研究者番号：30178636

(2)研究分担者

福永 力 (FUKUNAGA CHIKARA)
首都大学東京・理工学研究科・教授
研究者番号：00189961

(H20～H21：連携研究者)

池野 正弘 (IKENO MASAHIRO)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・前任技師

研究者番号：40391718

(3)連携研究者

坂本 宏 (SAKAMOTO HIROSHI)
東京大学・素粒子物理国際研究センター・教授

研究者番号：80178574

(4)研究協力者

越前谷 陽佑 (ECHIZENYA YOSUKE)
東京大学・素粒子物理国際研究センター・学生

神谷 隆之 (KAMIYA TAKAYUKI)
東京大学・素粒子物理国際研究センター・学生

二ノ宮 陽一 (NINOMIYA YOUICHI)
東京大学・素粒子物理国際研究センター・学生