

重点研究

宇宙機搭載用半導体メモリ装置の研究

Research of Solid State Recorder on Spacecraft

エレクトロニクス技術グループ (Spacecraft Electrical Engineering Group)

市川 愉、白倉 政志、笹田 武志

Satoshi Ichikawa, Masashi Shirakura, Takeshi Sasada

Abstract

This research is to develop advanced, small, light-weight and low power consumption solid state recorder (SSR) on spacecraft utilizing the newest commercial semi-conductor memory device. We have manufactured, tested and evaluated next generation solid state recorder, researched high-efficient error detection and correction code (EDAC), and also experimented and analyzed mission data of SSR on Mission Demonstration Satellite-1 (MDS-1) on orbit.

1. はじめに

本研究は、集積度の増大を続ける民生メモリ素子を利用し、高機能、小型／軽量、低消費電力な宇宙機搭載用半導体メモリ装置の開発を行うものである。半導体メモリ素子には、最新の民生部品の活用を図るとともに、メモリ素子を大量に実装するメモリモジュール部にも民生分野における先端的な高密度実装技術を活用し、小型／軽量化を図る。これらを実現するために、次世代半導体メモリ装置の製作・試験・評価、高効率な誤り制御符号の研究、MDS-1 搭載半導体レコーダ実験装置 (SSR) による軌道上実験・評価解析、将来型記録媒体の検討を行った。

2. 研究の概要

平成15年度は以下の項目について研究を行った。

(1) 搭載用次世代半導体メモリ装置の研究

搭載用次世代半導体メモリ装置の研究として、低消費電力化の為に電源部の検討、軽量化評価モデルの設計・試作、200MIPS級MPUを用いたCPUボードの開発、各部と筐体を組み合わせエンジンリングモデル (EM) 開発相当の評価 (電気性能試験、振動試験、真空試験) を実施した。

(2) 誤り制御符号の研究

半導体メモリ装置のための誤り制御符号を確立するため、東京工業大学と共同研究を行った。

(3) MDS-1 半導体レコーダ実験装置の軌道上実験

民生部品・コンポーネント実証衛星 (MDS-1: つばさ) に搭載した半導体レコーダ実験装置の軌道上実験およびデータ解析を行った。

(4) 将来型記録媒体の検討

DRAM系メモリを補う将来型記録媒体の検討として、磁気記録 (ハードディスク) およびフラッシュ・メモリ型記録装置について宇宙機搭載化の予備評価・検討を行った。

3. 成果の概要

3. 1 搭載用次世代半導体メモリ装置の研究

次世代半導体メモリ装置は、平成14年度の試作試験では、機能性能は目標値を満足したものの、質量および消費電力が目標を達成できなかった。平成15年度は、メタルコア基板の採用等により更なる小型軽量化を図ると共に、配電システムを見直して消費電力の削減を検討し、質量25kg以下、消費電力120W以下の達成が可能となった (表1)。また、CPUボードについては、前年度までの市販MPUでの機能確認、

TX49 (NASDA 開発の宇宙用 64bitsMPU) 相当を使用した CPU ボードの試作を経て、本年度は宇宙用部品開発共同センターにて開発中の 200MIPS 級 64bitMPU を用いた CPU ボードを開発・評価した。

また、これらの過程で以下の成果を得た。

- ① 軽量化目標を達成するため、EM相当をターゲットとした軽量化筐体の開発を行い、耐環境性を評価した。軽量化に当たっては、剛性確保と高密度実装を両立させるためにメタルコア基板を採用し、最適な基板厚の算出、信頼性評価試験を併せて行った。
- ② メモリーボードダミー、CPUボードダミー、制御ボードダミーを製作し、筐体に組み込んで振動試験を実施し、筐体及び各ボードの共振特性を確認できた。
- ③ ②と並行して、メモリーボード、CPUボード、制御ボードの電気モデル各 1 枚を試作し、ダミーボードと差し替え、電気性能試験、振動試験及び真空試験を実施し、EMレベルの環境試験に耐えうることを確認できた。
- ④ 以上の結果、所期の基板サイズに必要な機能を収納できることが検証され、EMの開発リスク低減ができた。また、一部の部品については、14年度予測より消費電流が大きいことも明確になり、放熱対策を要する箇所が検出できた。
- ⑤ 200MIPS級64bitMPU用CPUボードを開発し、これを用いてMPU（機能サンプル）の評価を行った。MPUに関しては、様々な問題の検出ができ、最終的には半導体メモリ装置で動作する設定条件が明確となった。また、OSをVxWorksから μ ITRONに切り替え、移植性の高いソフトウェア構造、アプリケーションソフト設計が確立できた。

尚、今後確認すべき以下の課題がある。

- ① 振動試験に於いて、基板のPCIコネクタとして使用したAIRBORNE社コネクタのリード部に破断が発生した。解析の結果、形状を基板厚に合わせ再整形したことに起因するストレスと判明した。コネクタの正規製造を行い、再試験を実施する。
- ② フロントパネルに内部モニタ線引き出し用のテストホールを開けたところ、振動試験で近傍に損傷が生じた。穴形状の見直しを行う。
- ③ 高効率電源を試作して組み込み、EMC試験を実施する。
- ④ 問題点の対処を完了し放射線対策を施したQTサンプルMPUについて、CPUボードに取り付け最終評価を行う。

表 1 次世代半導体メモリ装置 要求仕様と試作結果

項目	要求仕様	15年度試作結果
記録容量	200Gbyte	206.2Gbyte (512MbitSDRAM 使用時、 1Mbit=1024Kbit, 1kbit=1024bit 換算)
記録再生速度	2.5Gbps (640Mbps/1ch)	1チャンネル当たりの最大速度 記録： 640Mbps 再生： 640Mbps 装置全体での最大速度 2.56Gbps=記録 320Mbps×6ch +再生 320Mbps×2ch
記録チャンネル数	6ch (3ch/Control Slice)	同左
再生チャンネル数	2ch (1ch/Control Slice)	同左
Memory Bus	Compact-PCI compatible	同左
質量	25kg 以下	24.3kg
消費電力	65W~120W	118W (電源効率 82%前提)
外形寸法	256×460×250 (mm)	355×415×250.8 (mm)

3. 2 誤り制御符号の研究

第1世代及び第2世代の半導体メモリ装置では、SEC-DEDの誤り制御符号であるハミング符号を採用してきた。この符号は符号の生成・復号(CODEC)が単純でSEUパトロール等も高速で行える反面、2bit以上の誤りは訂正できないという限界があった。海外では、メモリ素子の故障に起因するバイト単位の誤りに対し訂正能力がある、リードソロモン符号の採用が始まり、MDS-1搭載の半導体レコーダ実験装置でも、2バイト訂正能力を有するリードソロモンCODECを搭載し、軌道上での機能検証を完了した。リードソロモン符号は、従来の4bitI/0のメモリ素子については最適の符号と言える。しかし、現在民生で主流である8bit若しくは16bitI/0のメモリ素子に対しては、符号が巨大化し有効でなくなる。

本研究では、8bit以上のデータ幅を持つメモリ素子に対して、リードソロモン符号に代わる符号を検討し、有効な符号の目処を得た。今後は S_bEC-D_bED 符号、 $S_{vb}EC-S_bED$ 符号、 $S_{vb}EC-D_{vb}ED-S_bED$ 符号、 $D_{vb}EC$ 符号等、スポッティバイト誤り制御符号を中心に適用の妥当性を検討していく。

3. 3 MDS-1用半導体レコーダ実験装置の軌道上実験

MDS-1「つばさは」1年間の定常運用を終え、平成14年2月から後期利用段階へ移行し、平成15年9月25日に運用を終了した。半導体レコーダ実験装置は、約1年半の軌道上実験の間、制御部のソフト/ハードウェアとも正常に機能し続け、SSRを今後の衛星で使用する事前実証が成された。また、スタックメモリモジュールも不良は発生しておらず、軌道上で使用に耐えうるものであることが実証された。誤り制御機能については、シングルイベントアップセット(SEU)パトロールにより全エラーが訂正され、誤り訂正符号が有効に機能することを確認した。

SEU発生率は予測値と良い一致が得られた。尚、SEUパトロールを行わない場合には、SEC-DED符号で2bitエラー、RS符号で2symbolエラーが検出された。しかし、2symbolエラーは正しく訂正が行われ、3symbolエラーは発生していないことから、RS符号を使用する場合はSEUパトロールを省くことも可能である。また、外側に配置したメモリボードが内側のボードよりSEU発生率が20%程高いことから、SEUについてもプロトンに対する遮蔽の効果を確認できた。

トータルドーズの測定では、装置内の測定位置によって有意な差が現れており、今後の耐放射線設計を行うためのデータが得られた。

3. 4 将来型記録媒体の検討

ハードディスクドライブ(HDD)の耐環境性の予備評価として、民生HDDの構造・機能・性能・寿命等について調査を行うとともに、選定した3種類のHDDについて振動試験、衝撃試験、気圧変動試験、温度試験を行い耐環境性を評価した。その結果、HDDの構造により各種の耐環境性に差異があることが確認できた。

また、フラッシュ・メモリの宇宙機搭載化検討として、民生のフラッシュ・メモリ型記録装置の仕様・性能・実績等を調査するとともに、選定した2種類のフラッシュ・メモリ装置について電気特性試験、放射線照射試験(トータルドーズ)を実施した。その結果、トータルドーズについては適切な防護措置により宇宙環境に十分耐える確証を得た。

4. まとめ

(1) 搭載用次世代半導体メモリ装置の研究

- ① 搭載用次世代半導体メモリ装置について、14年度目標を達成できなかった質量・消費電力の改善を行い期待通りの結果を得た。更にEMレベルの試作・環境試験を実施し、円滑にプロジェクトに引き継ぐ準備を整えた。
- ② 16年度で実施予定の研究内容としては、以下の通りである。
 - (ア) AIRBORN社コネクタの再試験
 - (イ) 低電圧高効率電源の試作と装置のEMC試験
 - (ウ) 各部ゲートアレイ、FPGAのプロジェクト供給準備
 - (エ) 装置の長期動作試験
- ③ 開発した200MIPS級64bitMPU用CPUボードを用いてMPU(機能サンプル)の評価を行った。MPUに関して、様々な問題の検出ができた。16年度は、放射線対策を施したQTサンプルMPUについて、CPUボードに取り付け問題点解決の最終評価を行う。

(2) 誤り制御符号の研究

次世代半導体メモリ装置のための誤り制御符号の研究を行った。スポットバイト誤り制御符号は、東京工業大学との共同研究で開発した高効率・耐マルチビットエラー特性を備えた符号であり、複数のマルチビットエラーやバーストエラーに対しても高い訂正能力を発揮する。更に最近のメモリ素子の特徴である多ビットインタフェースに対応しやすいという特徴も持っており、現在特許出願中である。

(3) MDS-1 半導体レコーダ実験装置の軌道上実験

約1年半の運用を終え、トータルドーズ効果 (TID) によるメモリ損傷は発生しなかった。また、シングルイベントラッチアップ (SEL) による電流・温度の上昇も観測されなかった。

ハミング符号及びリードソロモン符号による誤り検出・訂正が、軌道上のSEUに対して有効に機能することが確認された。

(4) 将来型記録媒体の検討

ハードディスクドライブ (HDD) については、15年度の試験結果より気圧変動の制約があることを確認している。今後は密封容器を製作し、その気密性について試験を行う。またシングルイベントによる放射線耐性についても確認する予定である。

フラッシュ・メモリについては、民生のフラッシュ・メモリに宇宙機搭載に必要な機能 (テレコマ、冗長機能等) をインテグレートして、バス機器 (コンポーネント) としての実現性を検討する。また、HDDと同様に放射線照射 (シングルイベント) 試験を実施予定である。