

民生電子部品の宇宙環境における耐放射線性の研究

Research of the radiation tolerance in space environment of COTS devices

前田 高広¹⁾ 富田 一正¹⁾ 中野 邦広¹⁾ 小川 啓太¹⁾ 明石 健二¹⁾

大島 武²⁾ 小野田 忍²⁾ 牧野 高紘²⁾

Takahiro MAEDA, Kazumasa TOMITA, Kunihiro NAKANO, Keita OGAWA, Kenji AKASHI

Takeshi OHSHIMA, Shinobu ONODA, Takahiro MAKINO

¹⁾株式会社エイ・イー・エス ²⁾量子科学技術研究開発機構

(概要)

平成 29 年度は試料として過電流検出 IC を選定し、重粒子線照射試験(以下、試験とする)を実施し、シングスイベント(SEE: Single Event Effect)耐性の確認を行った。選定した試料は小型人工衛星及びその関連機器の開発のため、宇宙環境で使用することを目的として選定した民生電子部品である。試験を実施した試料について、試験結果を報告する。

キーワード: 民生電子部品、小型人工衛星、重粒子、シングスイベント

1. 目的

近年、小型人工衛星の開発が盛んになり、衛星搭載機器の低コスト化、小型化及び高機能化が要求されている。これらの要求を満たすため、民生電子部品の使用が望まれている。しかしながら、一般的に民生電子部品は宇宙環境下での使用を考慮して設計されておらず、耐放射線性は不明である。そこで民生電子部品の宇宙環境における動作状況、劣化状況を放射線試験により確認し、宇宙への適合性を把握する必要がある。

放射線の電子部品への影響は、トータルドーズ(TID: Total Ionization Dose)とシングスイベント効果(SEE: Single Event Effect)の 2 パターンに大きく分けられる。TID は β 線、 γ 線、陽子線により発生する電子部品の性能劣化である。SEE は重粒子、陽子の入射により引き起こされる機能障害である。

本研究において、民生電子部品の使用を想定している小型人工衛星は運用期間が1年と短いため、TID による影響は少ないと考える。一方、SEE は1度の発生で電子部品そのものや周辺回路を破壊する可能性がある。本研究は、様々な民生電子部品の試験を行い、宇宙環境における耐放射線性の評価を行うことを目的としている。

2. 実施方法

試験は、AVF サイクロトロン No.12 散乱ビーム照射試験装置 第 4 重イオン室にてカクテルビーム(N、Ne、Ar の 3 線種)を使用し、照射を実施した。低い照射レートでデータ取得を行うため、Kr 照射を省略した。

SEE 発生頻度は、試験により得られた反転断面積、LET(Linear Energy Transfer)閾値と CREME96 (Cosmic Ray Effects on Micro-Electronics (1996 Revision))を用いて計算した軌道上放射線分布より算出した。発生頻度の算出は SEE の発生状況により①及び②の手法を適用した。

①ワイブル関数によるフィッティングを行う解析:

ワイブル関数により LET と反転断面積の関係を求め、軌道上の放射線分布から発生頻度を算出する。

②ワースト解析:

SEE の発生した線種の次に LET の大きい線種で 1 回 SEE が発生したと仮定し反転断面積を求め、軌道上の放射線分布から発生頻度を算出する。全線種で SEE が発生しなかった場合は最も LET の大きい線種で 1 回 SEE が発生したと仮定する。

本研究で民生電子部品の使用を想定している小型人工衛星の軌道条件は、高度 700km、軌道傾斜角 98 度、衛星構体は 2mm 厚アルミニウム、運用期間 1 年である。算出した SEE 発生頻度と想定運用期間を比較し、民生電子部品の耐放射線性を評価した。

表 1 に本年度試験を実施した試料を示す。

表 1 試料仕様（平成 29 年度）

No.	試料	主要仕様	照射線種	評価項目	試料数
1	過電流検出 IC	入力電圧:4~60[V] 外付け PchFET ドライブ	N、Ne、Ar	SEL (Single Event Latch-up)、 異常動作	2

試料の概要と測定項目を以下に示す。

過電流検出 IC は、SEL や短絡等が発生したときに、大電流が流れることでデバイスや負荷機器が故障するのを保護するために使用する。本試験では、SEL、異常動作の確認を実施した。観測内容の詳細を以下に示す。

(a) SEL

ビーム照射中の過電流検出 IC をモニタすることで SEL の発生を測定した。消費電流が以下に示す閾値以上に増加した場合に、SEL 発生と判断し、発生回数をカウントした。また、同時に過電流検出 IC の電源リセットにより正常復帰が可能か確認を行った。

過電流検出 IC の SEL 判定閾値は、通常動作時消費電流の 2 倍とした。SEL 判定閾値は、試験前に通常動作消費電流を測定し決定した。

➤ SEL 判定閾値：1.0[mA]

(b) 異常動作

異常動作として以下の 3 点を観測した。

・ゲート駆動出力異常

ビーム照射中のゲート駆動電圧をモニタすることで異常動作の発生を観測した。ゲート駆動電圧が反転した場合に、異常動作と判断し、発生回数をカウントした。また、同時に電源リセットにより正常復帰が可能か確認を行った。

・レギュレータ出力電圧異常

供試体内部に搭載しているレギュレータの出力電圧をモニタすることで異常動作の発生を観測した。レギュレータの出力電圧がスペック値を逸脱した場合に、異常動作と判断し、発生回数をカウントした。また、同時に電源リセットにより正常復帰が可能か確認を行った。

・出力信号異常

供試体内部に搭載している過電流検出状態を出力するピンの電圧をモニタし、正常動作状態で出力信号が異常と判定していないか観測した。出力信号が異常と判定していた場合に、異常動作と判断し、発生回数をカウントした。また、同時に電源リセットにより正常復帰が可能か確認を行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

試験の結果、SEL は Ar 照射時に No1 で発生した。異常動作は、ゲート駆動出力異常が全線種照射時に No1、2 で発生した。ゲート駆動出力異常のほとんどは、瞬間的にゲート駆動出力が反転し、自動で復帰した。ただ、No1 で 1 回永続的にゲート駆動電圧が反転する事象が見られた。出力信号異常は Ar 照射時に No1 で発生した。レギュレータ出力電圧異常は照射した全線種で発生が確認されなかった。SEL、異常動作(ゲート駆動出力異常、出力信号異常)は発生後電源リセットを行い、正常に復帰することを確認した。各線種照射後に電子負荷によって過電流を模擬し、過電流検出し、一定時間電力供給停止するか確認した。No1、2 ともに問題なく動作することを確認した。

試験結果から解析を行い、SEE、異常動作の発生頻度を算出した。表 2 に評価結果を示す。

表 2 評価結果

確認項目	No	LET 閾値 [MeV/mg/cm ²]	反転断面積 [cm ²]	SEE 発生頻度 [event/year]
SEL	1	7.27	1.06E-06	6.57E-08
	2	16.91	9.52E-07	3.10E-09
異常動作 (ゲート駆動出力異常)	1	0.001	3.90E-05	0.203
	2	0.001	2.95E-05	9.76E-02
異常動作 (出力信号異常)	1	7.27	1.06E-06	6.57E-08
	2	16.91	9.52E-07	3.10E-09

以上の通り、過電流検出 IC について試験を実施した。その結果、異常動作(レギュレータ出力電圧異常)の発生は見られなかったが、SEL、異常動作(ゲート駆動出力異常、出力信号異常)の発生が見られた。SEL、異常動作(ゲート駆動出力異常、出力信号異常)が発生した場合でも電源リセットにより問題なく動作が回復することを確認した。各線種照射後に電子負荷によって過電流を模擬し、一定時間電力供給停止するか確認した。確認の結果、No1、2ともに問題なく動作した。

試験の結果から、試料の使用を想定している軌道条件における SEE 及び異常動作の発生頻度を算出した。算出結果より、SEL、異常動作(出力信号異常)の発生頻度は想定している 1 年という運用期間に対して小さく、十分な耐放射線性を有することが確認できた。異常動作(ゲート駆動出力異常)は、SEL や異常動作(出力信号異常)に比べ、耐放射線性が低かった。ゲート駆動出力異常は主に瞬間的に出力が反転する事象だったが、外付け FET を OFF することで負荷機器等に電力供給を停止することがあるため、使用する際は対策を取ったほうがよいと考える。

最後に試料である民生電子部品は、宇宙環境での使用を想定して製造されたものではないため、本試験の結果が部品自身の性能・機能の優劣を示すものではないということを付記しておく。