

小型衛星搭載機器における民生電子部品の耐放射線性評価

Evaluation of radiation tolerance of COTS device for Small Satellite

富田 一正¹⁾ 原田 次郎¹⁾ 菅井 光信¹⁾ 明石 健二¹⁾

大島 武²⁾ 小野田 忍²⁾ 牧野 高紘²⁾

Kazumasa TOMITA, Jiro HARADA, Mitsunobu SUGAI, 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）

2019 年度は、試料としてロードスイッチとバッファ IC (2 種) 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、または N、Ne、Ar、K の 4 線種) を使用し、照射を実施した。

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、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ファースト解析：

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 に本年度実施した試験の試料を示す。

表 1 試料一覧（2019 年度）

No.	試料	用途	主な仕様	照射線種	測定項目	試料数
1	ロードスイッチ	コンポーネント内で電源リセット回路用スイッチとして使用	入力電圧 1V~5.5V オン抵抗 52mΩ typ 通電電流 2A max 電圧出力立ち上がり、立ち下り時間制御機能付き	N Ne Ar K	SEL (Single Event Latch-up) 異常動作	1
2	バッファ IC A	コンポーネント内で 3.3V 系から 5V 系へのレベル変換に使用	電源電圧 5±0.5V High レベル入力 2V 以上 Low レベル入力 0.8V 以下 消費電流 ~2mA (参考) SOP20 パッケージ 動作温度範囲 -40~+85℃	N Ne Ar	SEL (Single Event Latch-up) 異常動作	1
3	バッファ IC B					1

本試験では、両試料ともに SEL 及び異常動作の測定を実施した。測定項目の詳細を以下に示す。

(a) SEL

ビーム照射中に試料の消費電流をモニタすることで、SEL の発生を測定した。SEL 判定閾値は、試験前に測定した通常動作時の消費電流の 2 倍とし、照射中の消費電流が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、SEL が発生した場合は、試料の電源をリセットし、正常復帰が可能か確認することとした。

(b) 異常動作

ビーム照射中に動作状態にした試料からの出力等をモニタすることで、異常動作の発生を測定した。出力等が正常でない状態になった場合、または SEL に該当しない状態となった場合を異常動作と判断し、発生回数をカウントした。また、異常動作が発生した場合は、試料の電源をリセットし、正常復帰が可能か確認することとした。

3. 結果及び考察、今後の展開等
 各試料の試験結果を以下に示す。

(1) ロードスイッチ

照射した4線種全てにおいて、SEL、異常動作は発生しなかった。そのため、クリプトン照射時にシングルイベントが1回発生したと仮定して、ワースト解析を行った。表2に評価結果を示す。

表2 ロードスイッチ 評価結果

試料	測定項目	LET 閾値 [MeV/mg/cm ²]	反転断面積 [cm ²]	SEE 発生頻度 [event/year]
ロード スイッチ	SEL	> 34.0	8.33E-07	< 6.08E-09
	異常動作			

(2) バッファ IC

照射した3線種全てにおいて、SEL、異常動作はバッファ IC 2種類のいずれにおいても発生しなかった。そのため、アルゴン照射時にシングルイベントが1回発生したと仮定して、ワースト解析を行った。表3に評価結果を示す。

表3 バッファ IC 評価結果

試料	測定項目	LET 閾値 [MeV/mg/cm ²]	反転断面積 [cm ²]	SEE 発生頻度 [event/year]
バッファ IC A	SEL	> 14.0	8.21E-07	< 2.64E-05
バッファ IC B				
バッファ IC A	異常動作			
バッファ IC B				

上記の結果より、SEL 及び異常動作の発生頻度は、想定している1年という運用期間に対して低く、十分な耐放射線性を有することが確認できた。

最後に、今回の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体の性能・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。