

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

富田 一正¹⁾ 卯月 航¹⁾ 明石 健二¹⁾ 黒川 建舟¹⁾

大島 武²⁾ 小野田 忍²⁾ 牧野 高紘²⁾

Kazumasa TOMITA, Ko UZUKI, Kenji AKASHI, Kenshu KUROKAWA

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30年度は試料として温度測定ICを選定し、重粒子線照射試験(以下、試験とする)を実施し、シングルイベント(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、シングルイベント

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)とシングルイベント効果(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ったため、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 資料仕様 (平成 30 年度)

No.	試料	主要仕様	照射線種	評価項目	試料数
1	温度計測 IC	測定精度 0.1℃ 分解能 0.001℃ 最大 20ch 熱電対等の出力を 直接デジタル化可能	N、Ne、Ar	SEL (Single Event Latch-up)、 SEU (Single Event Upset)、 異常動作	1

試料の概要と測定項目を以下に示す。

温度測定 IC は、温度センサを取り付けた箇所の温度を測定し、常に温度をモニタすることで衛星の動作状態を確認するために使用する。本試験では、SEL、SEU 及び異常動作の確認を実施した。測定項目の詳細を以下に示す。

(a) SEL

ビーム照射中に温度測定 IC の消費電流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、同時に温度測定 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。SEL 判定閾値は、試験前に通常動作時消費電流を測定し決定した。

➤ SEL 判定閾値：通常動作時消費電流の 2 倍

(b) SEU

ビーム照射中に温度測定 IC からの出力データをモニタすることで SEU の発生を測定した。出力データが以下の判定条件に該当した場合に SEU 発生と判断し、発生回数をカウントした。

➤ SEU 判定条件：温度測定 IC から出力されるデータが、一時的に仕様値(±0.1℃)の 2 倍以上の変化があった場合。

(c) 異常動作

異常動作として以下の 2 点を観測した。

・ 温度測定異常

ビーム照射中に出力データをモニタすることで異常動作の発生を観測した。温度測定値が異常値を出力し続け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。

・ 応答異常

ビーム照射中に出力データをモニタすることで異常動作の発生を観測した。温度測定値が取得できない状態が続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 Ne 及び Ar 照射時に発生した。異常動作（温度測定異常）は全線種照射時に発生した。SEU 及び異常動作（応答異常）は全線種で発生しなかった。SEL は発生後に電源リセットを行い、正常に復帰することを確認した。異常動作（温度測定異常）は発生後、次のデータ測定時に正常復帰することを確認した。各線種照射後に温度測定データを取得し、問題なく動作することを確認した。

試験結果より、試料の使用を想定している軌道条件における SEL 及び異常動作の発生頻度を算出した。SEE 発生頻度を含む試料の評価結果を表 2 に示す。評価結果より、SEL 及び異常動作（温度測定異常）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高く、耐放射線性が低いことが確認できた。特に異常動作（温度測定異常）の発生頻度は高く、およそ 6 分に 1 回の頻度で温度測定異常が発生する。そのため、1 日に数分の利用といった限定的な使い方であっても、宇宙での使用は難しいと考えられる。

表 2 評価結果

確認項目	LET 閾値 [MeV/mg/cm ²]	飽和反転断面積 [cm ²]	SEE 発生頻度 [event/year]
SEL	3.987	5.17E-03	3.43E+00
異常動作(温度測定異常)	0.001	4.82E-05	9.00E+04

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。