

宇宙機搭載用時間計測アナログデジタル混合 ASIC への 放射線による影響に関する研究

Study on the influence of radiation on analog digital mixed ASIC for space application

水野 貴秀¹⁾

Takahide MIZUNO

¹⁾ 宇宙航空研究開発機構

(概要)

近年、世界的に太陽系起源の解明を目的に、小惑星や彗星といった始原天体に対する本格的な科学観測活動が行われ、我が国の小惑星探査機はやぶさ、はやぶさ2等多くの探査機が送り込まれている。これらの探査機の多くがレーザ高度計を搭載し、惑星探査における誘導航法や科学観測に利用しており、惑星探査機の誘導航法および科学観測に重要な装置として位置づけられている。また、軌道上での宇宙ステーションへのランデブードocking用途として距離と姿勢測定の必要から、数百mからレーザを使って距離画像が取得可能な距離センサが強く望まれている。このような背景で、JAXAでは民生用プロセスにてレーザ高度計や距離画像センサ用ASICを試作しており、本研究ではこの民生用プロセスにて製造されたASICへの宇宙放射線の影響を評価することにより、宇宙機への搭載性を確認するとともに、将来の宇宙用デバイスの設計に資することを目的としている。

H29年度の実験では、レーザ高度計用ASIC(FMと同一ロット品)および距離画像センサについて代替カクテルM/Q=5ビームを使用してシングルイベント特性を評価した。この結果、レーザ高度計用ASICについてはミッション期間中での発生確率が十分に低く、距離画像センサについては発生確率が許容範囲内であることが明らかとなった。

キーワード : LIDAR、レーザ高度計、距離画像センサ、はやぶさ、ASIC

1. 目的

本研究では、一般に開示された回路資産^{※1)}によって設計、民生用プロセスにて製造されたアナログデジタル混合ASICへの宇宙放射線の影響を評価することにより、宇宙機への搭載性を確認するとともに、将来の宇宙用デバイスの設計に資することを目的としている。

具体的には、上記回路資産を用いて開発されたASICの実例として、レーザ高度計用の光パルス検出ASIC(CMOS0.35 μ m)、および距離画像センサ用に開発された測距用ASIC(CMOS0.18 μ m)について、重イオン照射試験によって高感度アンプおよびロジックに対する放射線の影響を評価する。特に、レーザ高度計用のASICについては、FMと同一ロットのチップの耐放射線特性の測定評価を行う。これによって、(1)火星衛星サンプルリターンMMXおよび将来の月・惑星探査プロジェクトに高性能LIDARを供給して、探査機の誘導航法および科学観測に役立てること、および、(2)3次元距離画像センサ用のASICを搭載化することにより、月・惑星探査機の着陸技術の向上、スペースステーション等の軌道上ランデブー・Docking技術の向上に役立てること、が目標である。

※1) Analog-VLSI Open-IP Project <http://research.kek.jp/people/ikeda/>

2. 方法

実験はすべて、AVFサイクロトロン¹⁾のHD2ポートにて代替カクテルM/Q=5ビームを使用して行った。試験対象はレーザ高度計用ASIC(FM同一ロット品)および距離画像センサ用ASIC(32×32画素タイプ)である。

供試デバイスを実装した基板をHD2ポートに設置した状況を図1に、実験装置の概要を図2に示す。回路のデジタル系についてはイオンビーム照射によるビット反転回数を測定してSEU(Single Event Upset)断面積を算出して評価、アナログ系については信号入力状態で高感度アンプ出力を監視してSET(Single Event Transient)の発生有無や頻度を測定する。また、寄生サイリスタの発生により電源が短絡状態となるSEL(Single Event Latch-up)については、電源消費電流を測定・記録し、SELによる異常電流の発生を検出する。

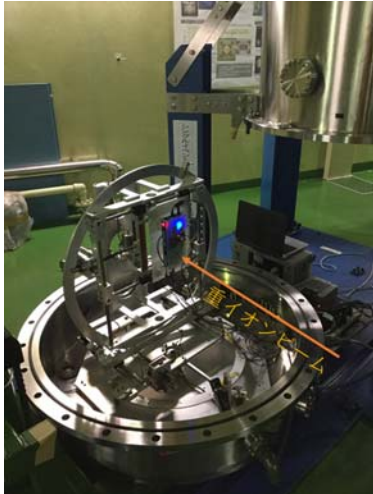


図1 評価基板実装写真

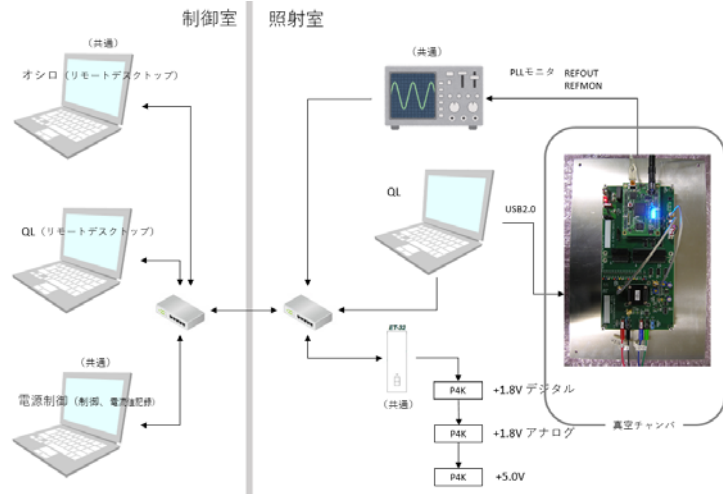
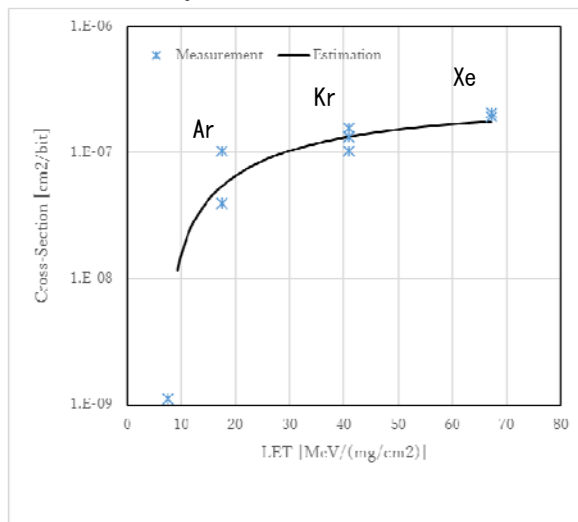


図2 実験装置概要

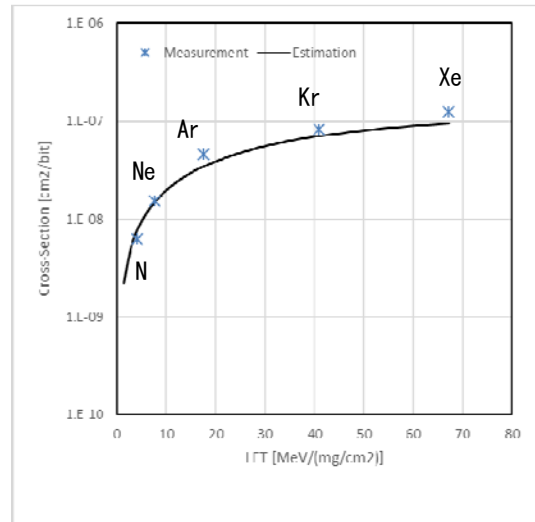
3. 結果及び考察

代替カクテル M/Q = 5 ビームで実験した結果、レーザ高度計用 ASIC および距離画像線作用 AISC のロジックの基本構成要素であるフリップフロップの SEU 特性が明らかになった。SEU 特性を評価する反転断面積の分布とワイブルフィッティングした曲線の例を図3に示す。

この結果に対して CREME96^{※2)}を用いてデバイスが適用されるミッションでの発生確率を求めた。レーザ高度計用 ASIC については惑星間ミッションでの SEU 発生確率はデバイスあたり 2.6×10^{-5} 回/日程度であり、全ミッション期間(数年間)に対して十分に小さく、ほとんど影響がないことがわかった。距離画像センサについては、ISS 軌道での SEU 発生確率は 32×32 画素の結果(図3(b))から、実用レベルの 128×128 画素を外挿することによってデバイスあたり 1.3 回/日と見積もられ、フィルタで対応できる範囲であることが明らかとなった。



(a) レーザ高度計用 ASIC (CMOS0.36um)



(b) 距離画像センサ用 ASIC (CMOS 0.18um)

図3 反転断面積の分布とワイブルフィッティング曲線

SEUに加えて SEL 特性についても重量であるが、常温下での本年度の試験では最も LET の高い Xe 照射によっても発生していない。今後、使用上限温度での Xe 照射を行い、SEL 発生の有無を確認する必要がある。一方、ISS 軌道のような地球周回では、上記結果を得た重イオンによる直接誘起の SEUに加えて、プロトンによる反跳原子核生成で誘起される SEU も問題である。

※2) <https://creme.isde.vanderbilt.edu/CREME-MC>