

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ッキング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。

平成30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については火星衛星サンプルリターン(MMX)計画への適用が可能であると判断、搭載LIDARのコアデバイスとして採用されEM開発が始まった。距離画像センサについては画素ピッチが昨年度100 μ mよりも細かい55 μ mの回路においても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ドッキング技術の向上に役立てること、が目標である。

本年度は、レーザ高度計用のASICについては、使用上限温度である80 $^{\circ}$ Cに過熱した状態でのシングルイベント特性を評価すること、距離画像センサ用ASICについては画素ピッチを55 μ mにした回路についてシングルイベント特性を評価することを目的とした。

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

2. 実施方法

本実験は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。照射ビームの核種は、N(40)、Ne(54)注1、Ar(107)、Kr(230)、Xe(350)から成る5種類のイオンの中から選択された。試験対象はレーザ高度計用の光パルス検出ASIC LIDARX(FM同一ロット品)および距離画像センサ用ASIC D1K(32 \times 32画素、画素ピッチ55 μ mタイプ)である。

実験は供試デバイスを実装した基板をHD2ポートに設置して実施した。SEUの測定対象となるFFについて、光パルス検出ASIC LIDARXおよび距離画像センサ用ASIC D1KにはD(Data)型と、反転耐性の高いDICE (Dual Interlocked Cell)型の2種類のFFが使用されている。中でもゲインや閾値電圧の設定値といった、測距における重要な情報は、DICE-FFのみに格納されている。試験では、LIDARXの全FFを対象に、一秒間隔でパラメータの書き込みと読み出しを行い、両者の値が一致しているか否かを照合する事で、bit反転の有無を確認した。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。

注1：()内の数値は、核種のエネルギー[MeV]

3. 結果及び考察、今後の展開等

一般にLETと散乱断面積 σ の関係は、(1)式で示されたWeibull曲線に近似可能な事が知られている[1]。

$$\sigma = \sigma_0 \times \left\{ 1 - \exp\left(-\left|\frac{L-L_0}{W}\right|^S\right)\right\} \quad (1)$$

式中のLは実効LET (MeV・cm²/mg)を、L0はLETの閾値を、 σ_0 は飽和散乱断面積 (cm²/bit)、SとW (MeV・cm²/mg)はWeibull係数を、それぞれ表す。試験結果から得た、LETと散乱断面積を示す実験値のプロットと、フィッティングを行ったWeibull曲線を図1に示す。なおD-FFのNeとDICE-FFのArは、フィッティングの為、1回の反転を仮定したものである。またエラーバーは、ポアソン分布の68%信頼区間を示す。

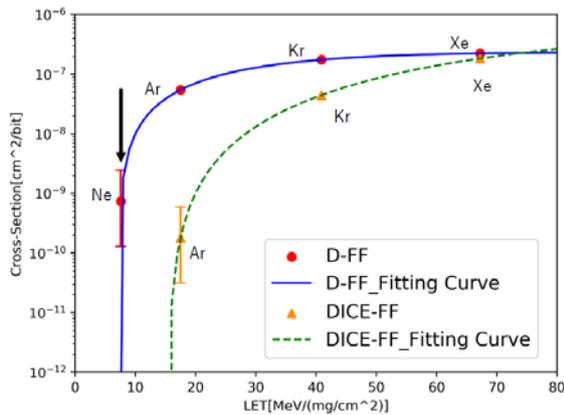


図1 光検出用ASIC LIDARXの散乱断面積

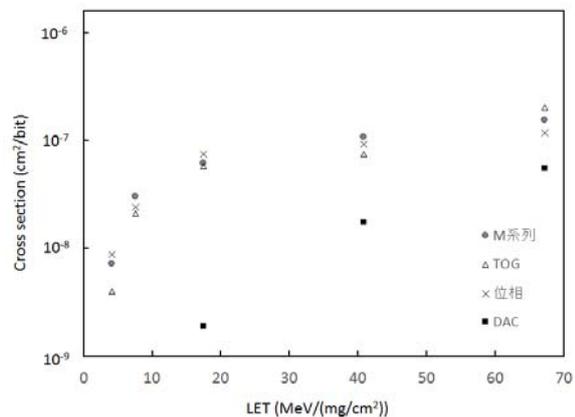


図2 距離画像センサ用ASICの散乱断面積

LIDARXについて図1のフィッティングにより求めたパラメータを、CREME96[2]に入力する事で、惑星軌道上でのSEU発生レートを推定する事が可能となる。一連の実験の中で得たパラメータを元にCREME96にて算出した結果、DICE-FFとD-FFの反転レートは1日当たり、10⁻⁵回以下となり、6年間のMMXミッションでのSEU発生の可能性は極めて低いと判断できる。さらに、SEL耐性確認のため、LIDARXのペアチップを定格上限温度に加熱し、最もエネルギーが高いXe(350 MeV)を照射した。照射Xeのフルエンスは3.54×10⁷ p/cm²であり、6年間のミッション期間に対しては十分な量で、この条件でもSELの発生は確認されなかったことから、MMXミッションの期間内において、Xe以下のLETの粒子では、SELは発生しないと考える事ができる。

距離画像センサ用ASIC D1Kの測距カウンタは9bitのM系列符号発生回路、4bitのトグルカウンタ、2bitの位相回路により構成されている。また、デバイス全体のバイアスを決めるDAC設定のためのFFはDICE-FFが使用されている。図2が上記のD-FFおよびDICE-FFのLETと散乱断面積の関係である。図1に示されたLIDARXが0.35μmプロセスであるのに対し、図2のD1Kは0.18μmプロセスの回路である。両者を比較すると、D-FFおよびDICE-FFの散乱断面積はほぼ同様で、0.35μmと0.18μmプロセスの間で大きな散乱断面積の差は認められなかった。

4. 引用(参照)文献等

- [1] J. Barak, "Simple Calculations of Proton SEU Cross Sections from Heavy Ion Cross Sections," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 53, pp. 3336–3342, DECEMBER 2006.
 [2] CREME Site: <https://creme.isde.vanderbilt.edu/>