

## FPGAソフトウェア

### 1. ソフトエラーという現象をご存じですか？

我々の身の回りには色々な宇宙線が降り注いでおり、宇宙線が大気中へ飛び込むと様々な原子核と衝突し、中性子やミュオンといった粒子を作り出し、これらの粒子が大量に地上へ降り注いでいます。図1に宇宙線の原子崩壊を示します。粒子の多くは人体をはじめとするあらゆる物体を通り抜けていきますが、中にはぶつかってしまう場合もあります。

中性子やミュオンなどが偶然半導体にぶつかり、0と1で保存されているデータを反転（データ化け）させてしまう現象をソフトエラーと呼んでいます。

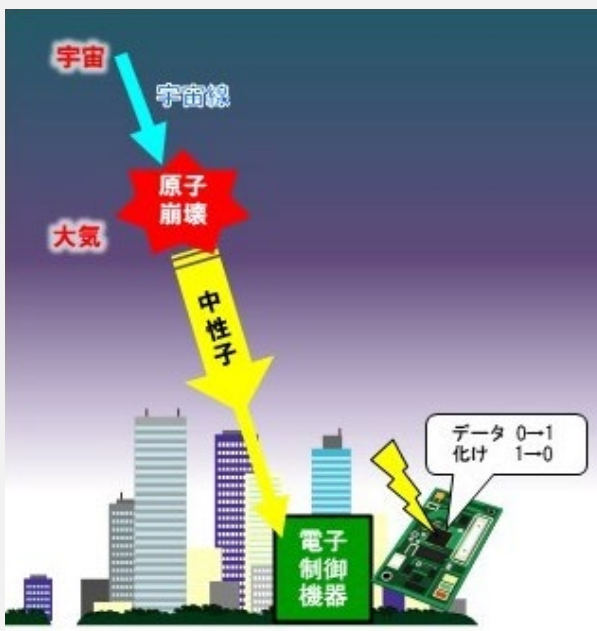


図1. 宇宙線の原子崩壊

### 2. ソフトエラーは厄介な現象？

機器のエラーはハードエラーとソフトエラーの2つが存在します。図2にパソコンのメモリ故障を例にして、ハードエラーとソフトエラーの違いを説明します。

メモリハードエラーとは、メモリ自体が壊れてしまうことです。この場合、パソコンを再起動してもメモリが物理的な故障であるため、必ずメモリエラーの現象が再現します。

メモリソフトエラーとは、先述した通り、中性子線により一時的にメモリデータが反転してしまうことです。この場合、パソコンを再起動するとデータは正しい状態の戻ってしまうため、メモリエラーの現象は再現しません。メモリをどれだけ確認しても異常動作を再現することはできず、原因不明に陥るため、厄介な現象と言えます。



図2. メモリハードエラーとソフトエラーの違い

### 3. ソフトエラーなんて起こらないと思いませんか？

ソフトウェアの歴史ですが、ソフトウェアによる誤動作は1970年代から報告されており、70年代末にはメカニズムが解明されています。半世紀以上前に発見されたリスクであり、研究の蓄積があるものの、これまでの研究は主に航空宇宙分野が対象でした。

しかし、半導体の微細化、低電圧化が進み、現在では地上でのソフトウェアのリスクを無視できなくなってきました。

地上でソフトウェアを計測した事例がありません。ビルの特定エリアに、半導体メモリを搭載した基板(メモリ計1000個程度)を並べて状態測定した結果、30日間観察して11件のソフトウェアが検出されたそうです。

平均すると3日に1回はソフトウェアが発生していることから、決してソフトウェアが起こらないとは言えません。

### 4. ソフトエラーに対する規格があることをご存知ですか？

2018年11月13日、国連専門機関であるITU-Tにおいて、宇宙線が主たる原因である地上の通信装置の誤動作(ソフトウェア)対策に関する設計・試験・評価の方法および品質基準を定めた国際標準が制定されました。

注目すべきは、FPGAのためのソフトウェア対策が定められた点です。この規格に準拠した製品に搭載されたFPGAにはソフトウェア対策が必須になります。

### 5. FPGAのソフトウェアとは？

FPGAのソフトウェアを説明する前にFPGAの構造を図3に示します。FPGAの回路構成情報(論理や配線)はコンフィギュレーションRAM(通称 CRAM)に格納されています。このCRAMのデータは電源投入時に外付けのFlash ROMからFPGA構成情報を読み込みます。

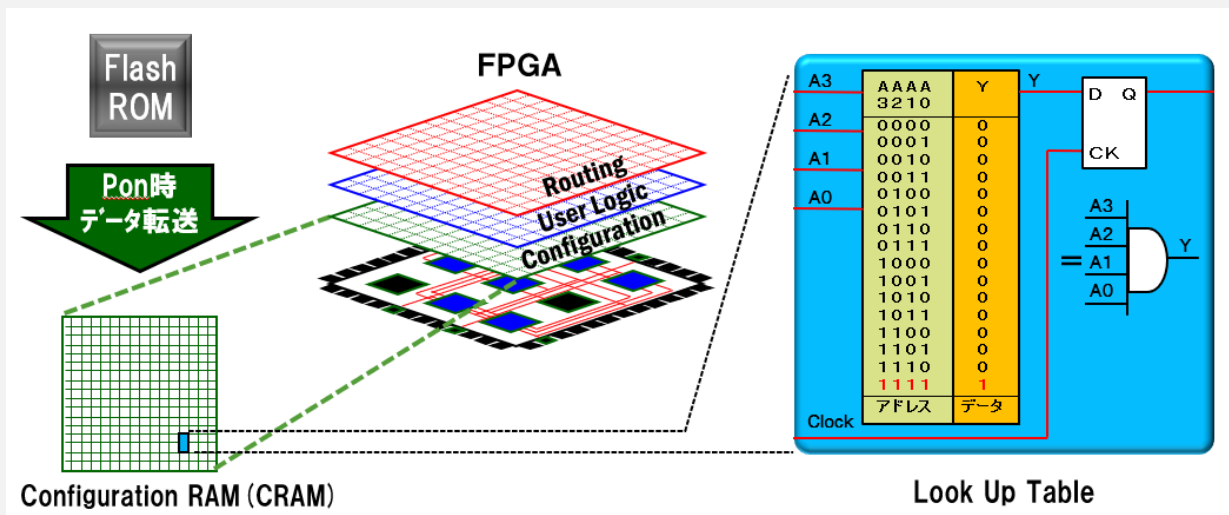


図3. FPGAの構造

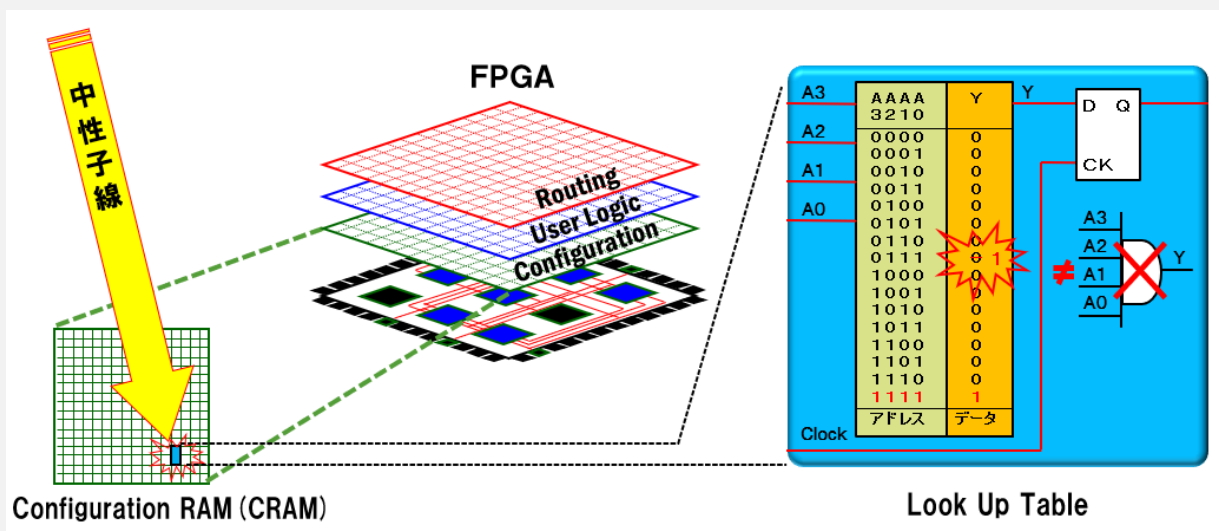


図4. FPGAのソフトエラーが発生した状態

実際のユーザ論理はLook Up Table(通称LUT)で構成されます。LUTは入力信号をアドレス線としたRAMのような構成でCRAMに格納されています。図3に示したLUTは、SRAMに格納されたデータから4入力ANDが構成されています。

FPGAのソフトエラーが発生した状態を図4に示します。FPGA内のCRAMに中性子線が衝突し、格納されているデータの一部を反転させてしまうことをFPGAソフトエラーと呼びます。

(1)ソフトエラーにより、論理が変わってしまうため、装置の誤動作を招きます。

(2)FPGAのCRAMデータは電源投入時以外には読み込みをしないため、CRAMの回路構成情報は反転したまとなり、あたかも物理的な故障のように論理的な誤動作を継続し続けます。

(3)故障状態の装置を復旧するために再起動(電源再投入)をすると、FPGAはFlash ROMから回路構成情報をCRAMに読み込みます。ソフトエラーで反転したデータは上書きされてしまうため、故障の現象が再現しなくなります。

## 6. FPGAソフトエラーの問題点

FPGAのソフトエラーは、以下のような事象を引き起こします。

このような事象を解決するためには、システムの要件定義に沿ったFPGAのソフトエラー対策を組み込むことが必要になります。

製品に関する詳細・お問い合わせは、営業担当員または下記へ

株式会社 日立情報通信エンジニアリング  
 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3  
 クイーンズタワーB 25階 〒220-6122  
 営業統括本部 営業戦略本部 DXビジネス推進センタ

お問い合わせは下記ページから  
 お問い合わせフォームにお進みください。

高信頼FPGA設計

<https://www.hitachi-ite.co.jp/products/hr-fpga/index.html>

