

宇宙技術とディペンダブルLSI

宇宙航空開発研究機構

宇宙科学研究本部

斎藤宏文

広瀬和之

宇宙用LSIと民生LSI

1. 原理的には、宇宙用LSIは、
最も「具体的な」ディペンダブルLSIのはず。
確実に発生する宇宙放射線による
「一過性雑音事象」
ソフトエラー(ビットエラー)対策
宇宙放射線@宇宙空間、
中性子・ 粒子@地上
2. しかし、従来は、宇宙用LSIは、
民生ラインの“オジャマむし”的な存在であった

宇宙用LSIと民生LSI

3 . 近年、宇宙と地上用途が協調できるLSI分野

- ・耐環境(高温)用途
- ・原子力用途
- ・低消費電力用途

今後は

- ・ディペンダブル用途？

4 . SOI ファウンドリーの実例

宇宙技術と民生ラインが、同じ土俵に

宇宙研でのディペンダブル研究成果

多数決計算機(れいめい、かぐや、はやぶさ)

SOI 記憶セルのソフトエラー対策

放射線起因の過渡的パルス現象の解明

LSI内のその場計測

スキャンFFを利用した

脆弱回路部の同定技術

宇宙技術とディペンダブルLSI

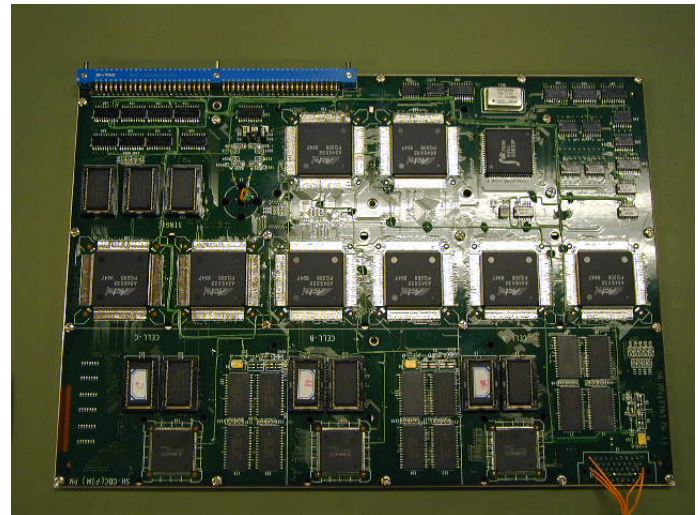
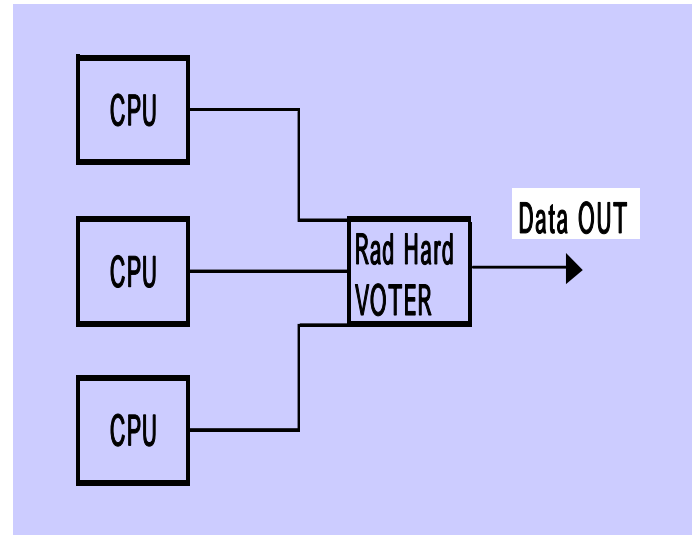
宇宙放射線により確実に発生する
「一過性雑音」と取り組む宇宙LSI技術

宇宙LSI と 民生ディペンダブルLSI
の協調が可能な時代

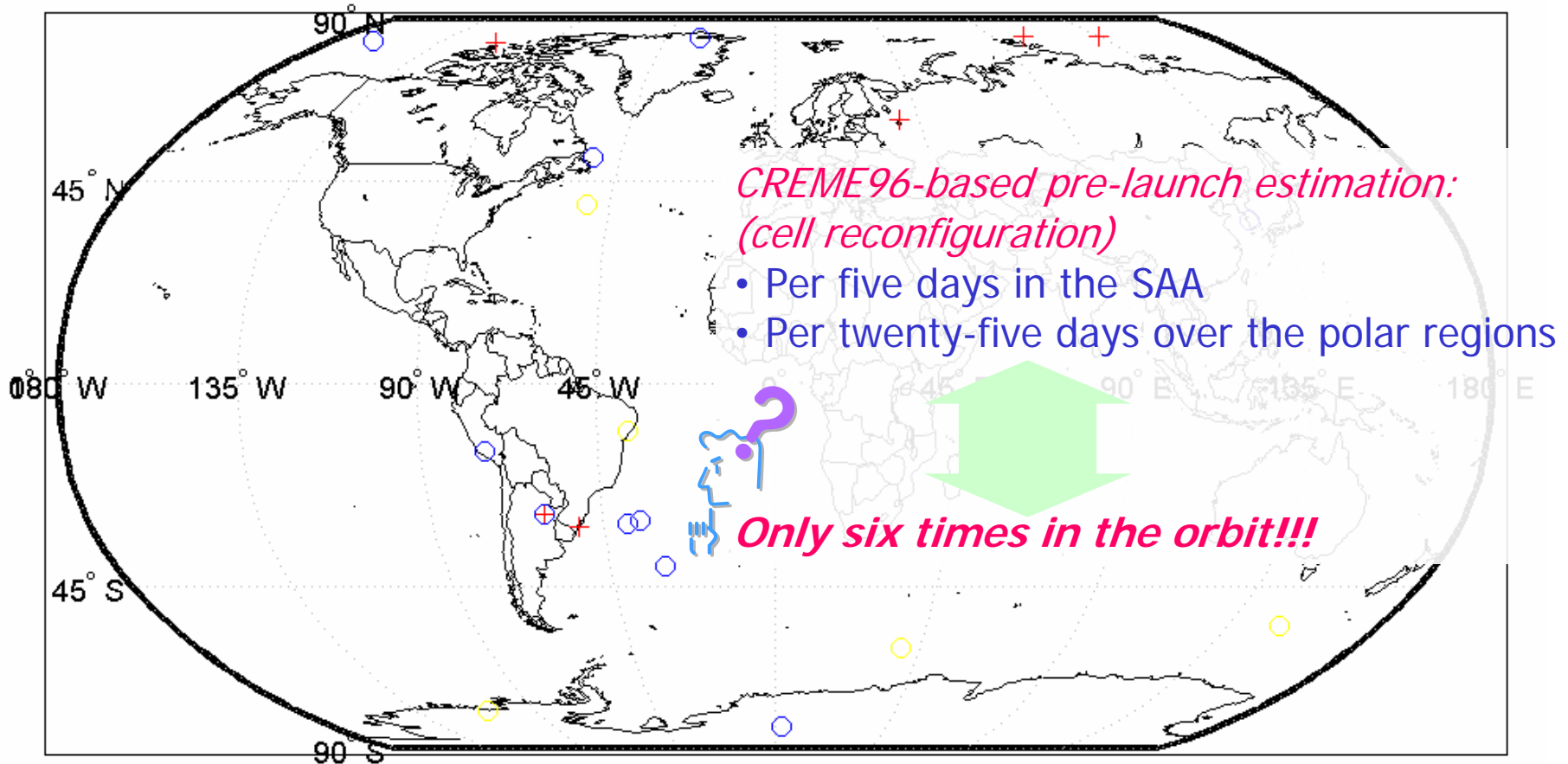
コラボレーション！

Triple – Voting CPU

- SEU - Robust CPU
by Triple – Voting System
- Possible to Use
Cutting – Edged
Commercial CPU
- HITACHI SH – 3
Triple Voting
CPU (60MHz)



On-orbit result of OBC soft error & reconfiguration



Eight months result from the launch

- + : cell reconfiguration
- o : DRAM 1-bit error detected by direct data access
- o : DRAM 1-bit error detected by memory patrol at 30-min interval

民生との協調路線



耐放射線技術
開発費

Rad-hard CPU: ISAS

耐環境性組み込みマイコン
SH-4: MHI

SOI-CPU

ソフトウェア対策技術
開発費

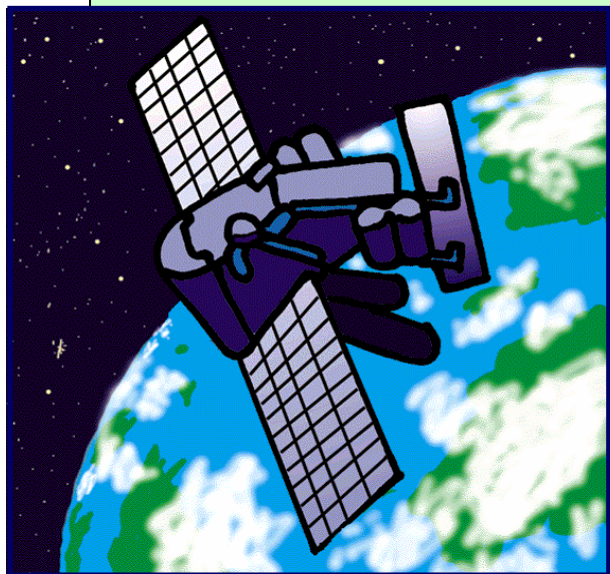
プロセス情報
SOI-CPU

SOI ファウンドリー

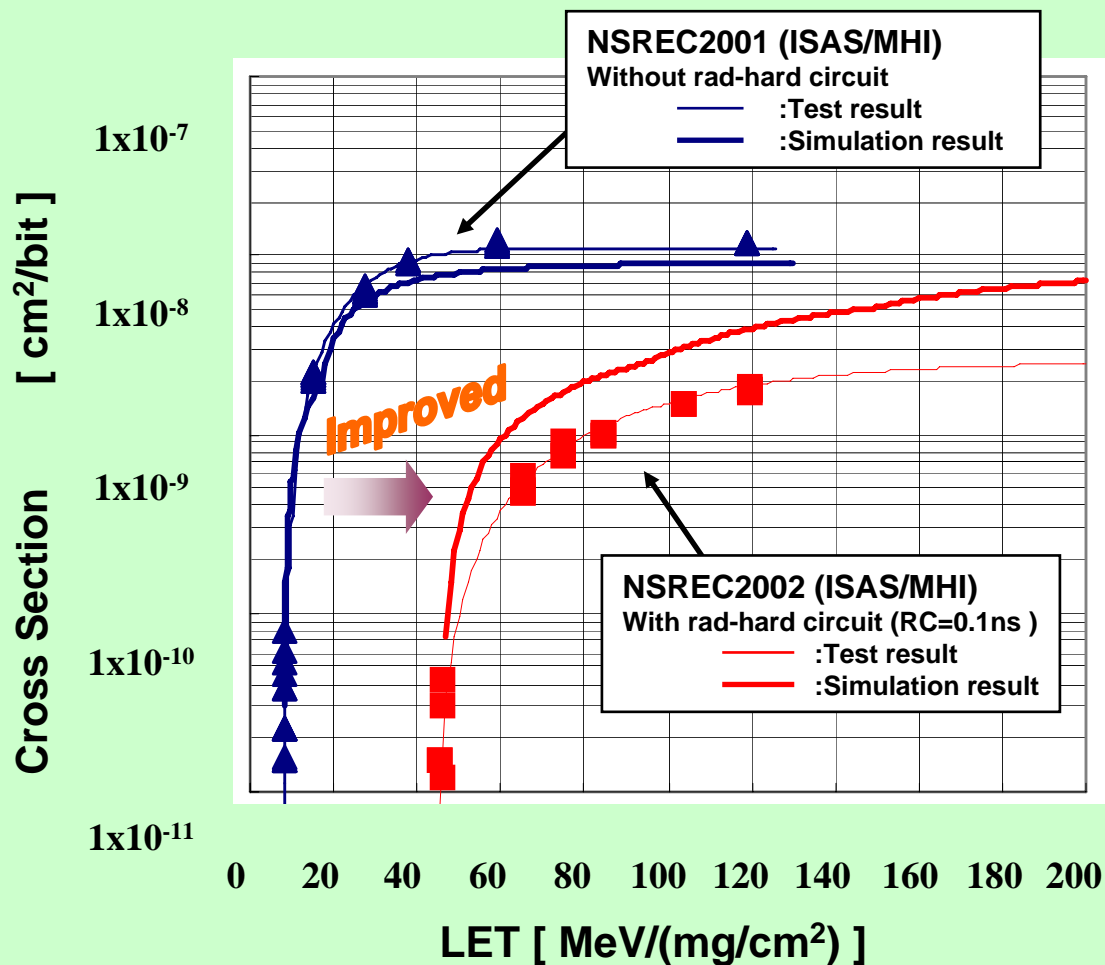
プロセス情報
SOI-CPU

開発費

低消費電力 マイコン: カシオ

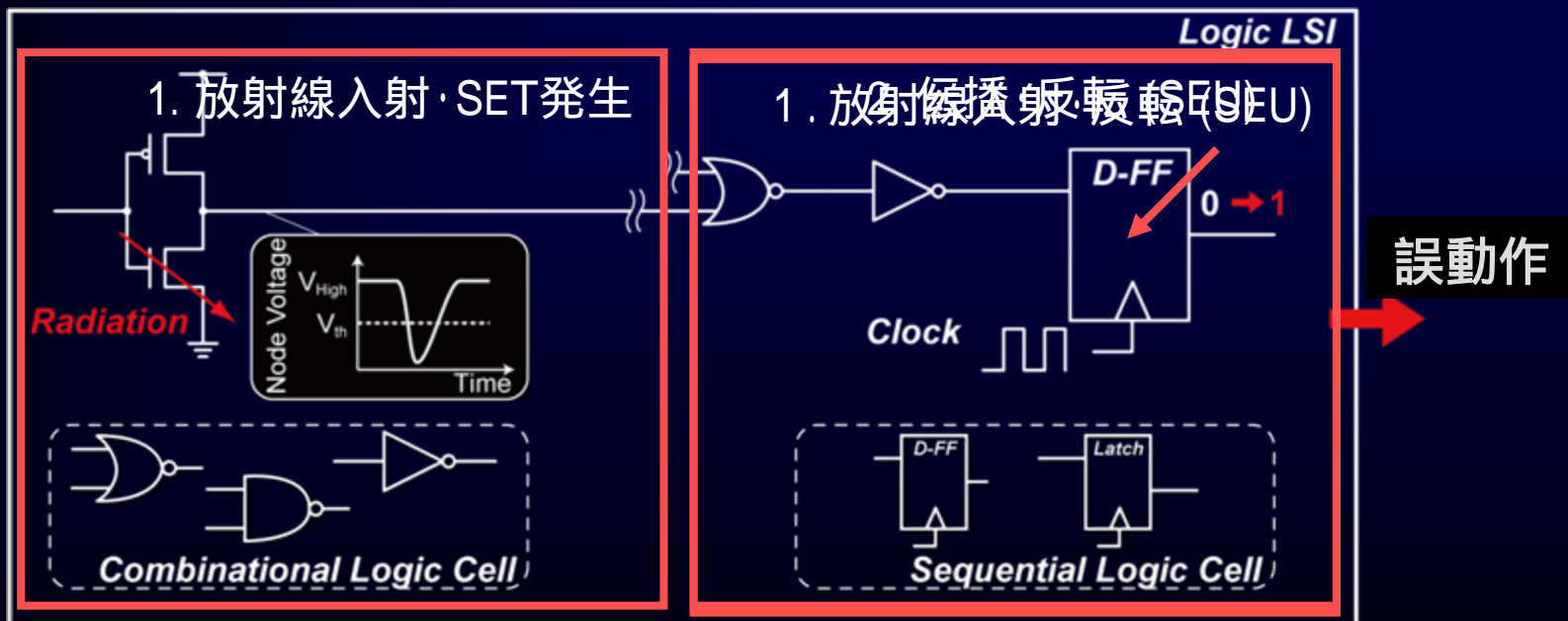


SOI-SRAM: SEU LET_{th} = 45 [MeV·cm²/mg] を民生ファウンドリーで実現(世界初)



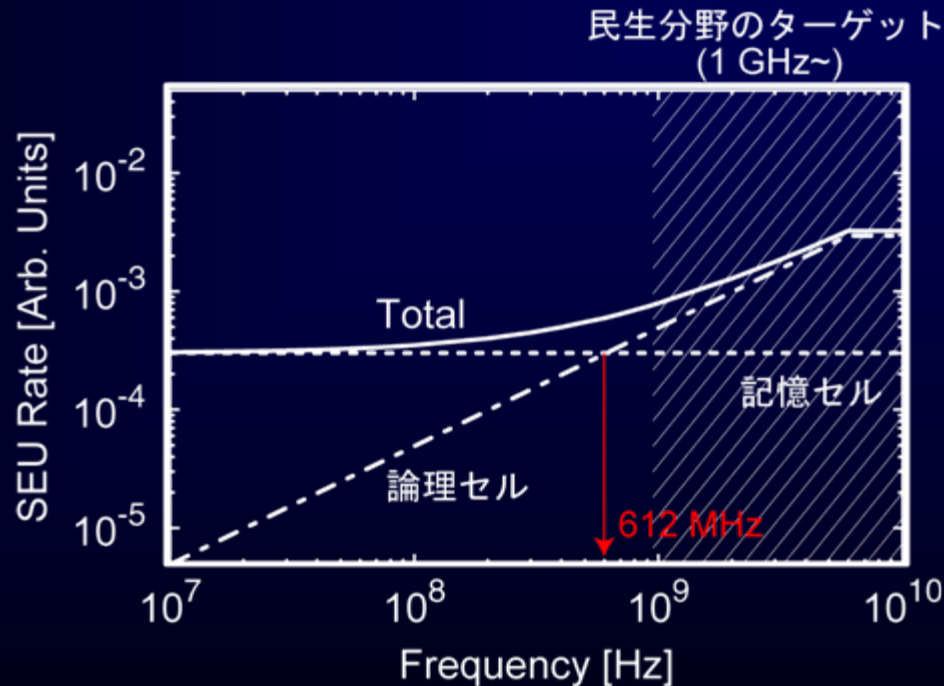
デジタル論理 LSI の過渡的誤動作までの流れ

- ケース1:
 1. [SEU] 放射線が直接記憶セル(Flip-Flop, Latch)に当たって保持値を反転
 - ケース2:
 1. [SET] 論理セルにて SET 発生
 2. [SEU] SETが回路中を伝播 → 記憶セルの値を反転
- 論理 LSI の誤動作率は SEU 発生率に依存する



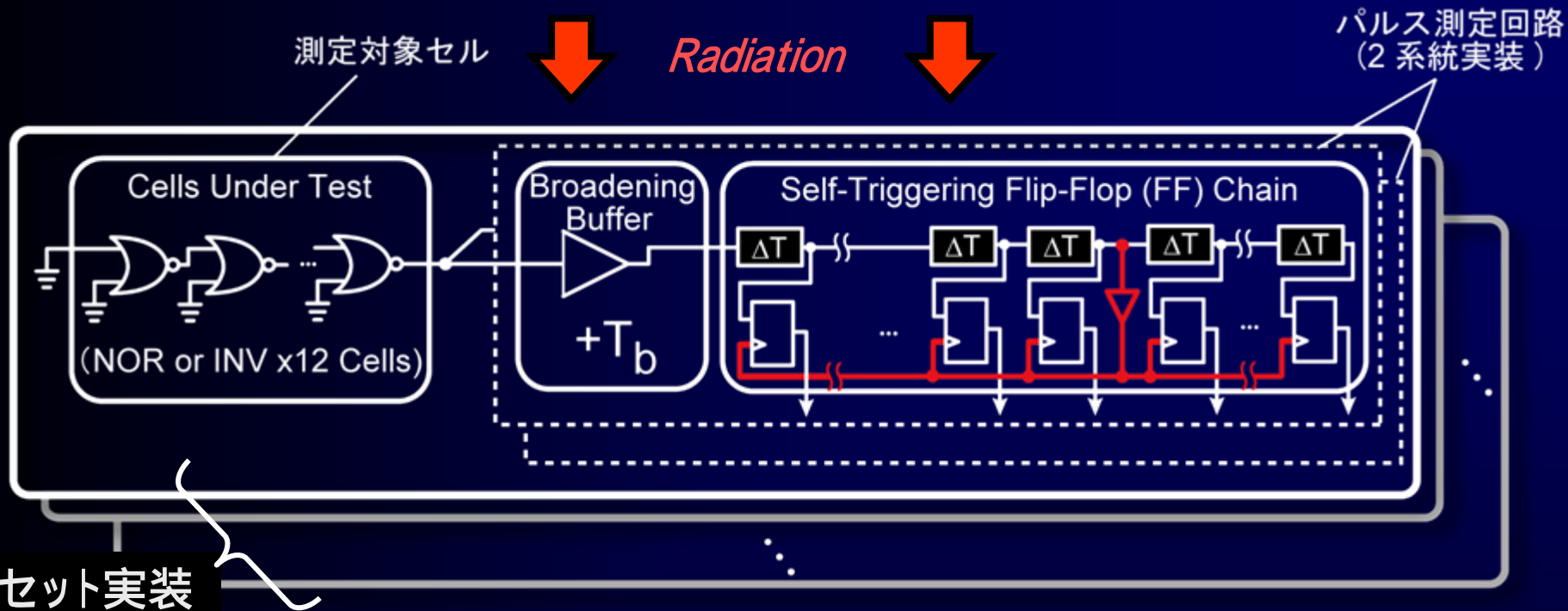
論理 LSI のソフトエラー発生率 ~ 地上環境を想定した場合 ~

- SETパルス幅 $T_{SET} = 200$ ps, ラッチウィンドウ $T_w = 33$ ps と仮定
→ 612 MHz で $R_{SEU_storage} = R_{SEU_logic}$
- 民生品の論理 LSI の動作周波数は数 GHz
→ 既に 論理セル由来の SEU 発生率が支配的になっている可能性がある
→ 宇宙同様, 論理セル由来の SEU 対策(= SET対策)が不可欠



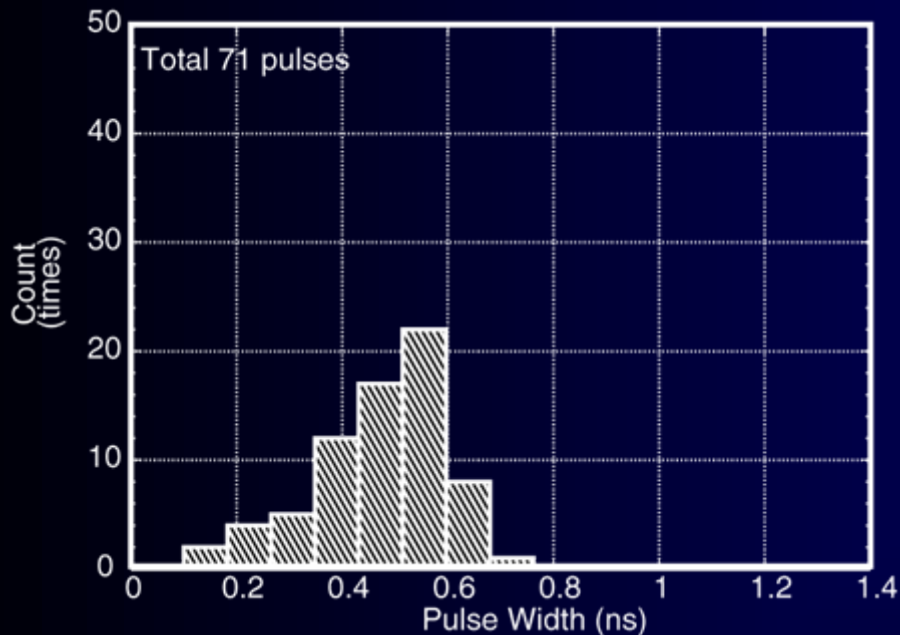
民生品の動作環境を想定した場合のSEU発生率

放射線起因サブナノ秒パルスのLSIその場 測定回路

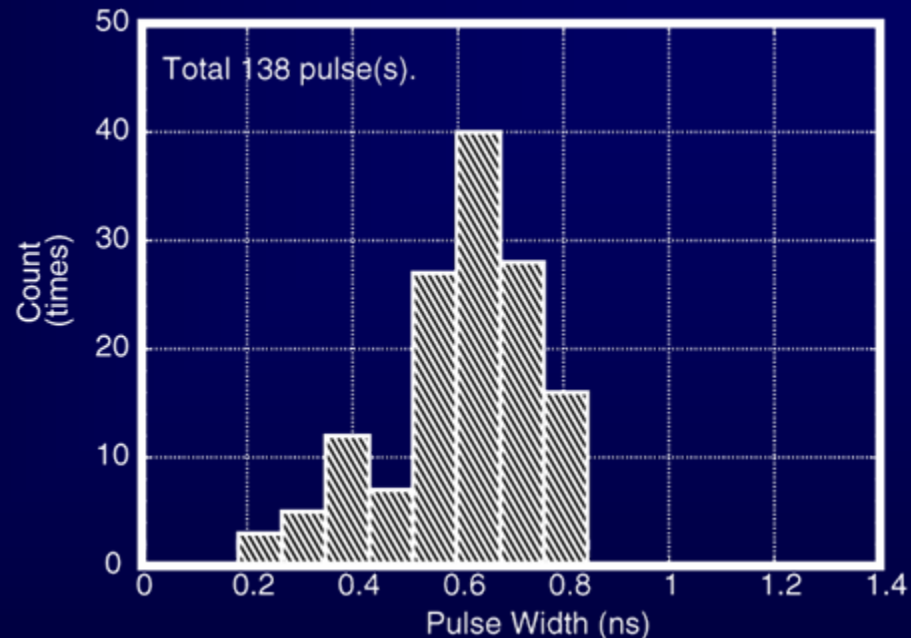


- 測定チップは測定対象セルとオンチップのパルス測定回路からなる
- 測定中はチップ全体に放射線を照射し、発生するSETパルスを測定回路で取得
- 測定対象セルはインバータ(INV)とNOR論理セルとした
- 測定回路は2系統実装し、測定系で発生するパルスを区別する
- 十分なパルス取得数を確保するため、測定対象セルは12セル直列に接続
さらに1チップに8セットの回路を実装
- チップは0.2- μm FD-SOIプロセスで製造

放射線起因サブナノ秒パルスのLSIその場測定結果



INV 96 cells (12 cells x 8 chains)



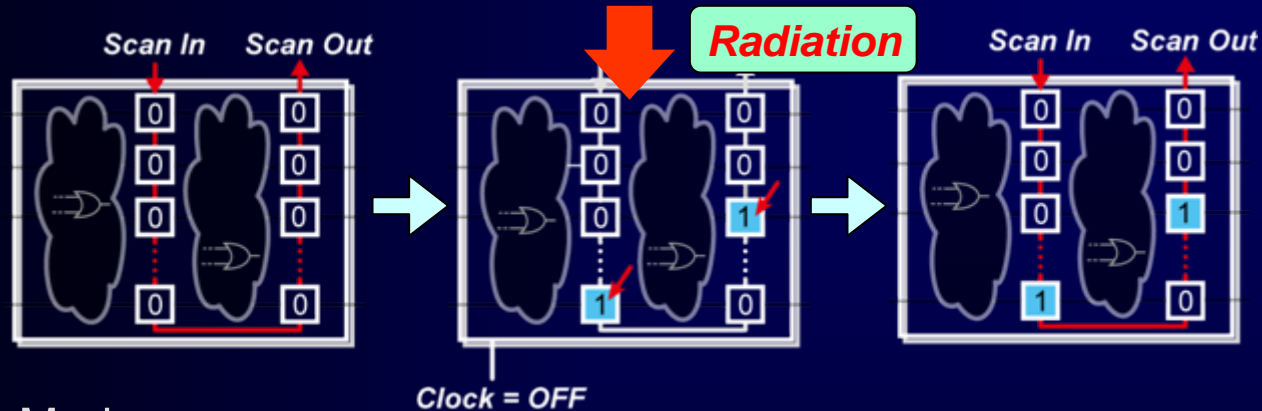
INV 96 cells (12 cells x 8 chains)

- LET一定の照射条件下でも、パルス幅に分布がある
- INVは 500 ps, NORは600 ps 付近にピークを持ち、最大で 800 ps 程度のパルスが発生する

スキャンフリップフロップを応用した放射線試験手法概要

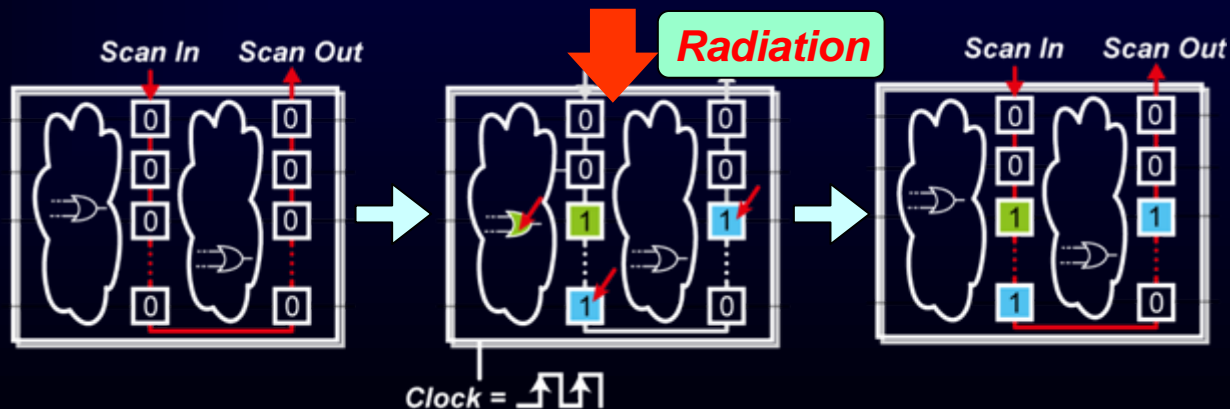
- Static Mode

クロックを停止したまま「放射線照射→FF値読出し→初期値と比較」を繰り返す
記憶セル由来の SEU 発生率が各FFについて測定できる



- Dynamic Mode

クロックを入力して「放射線照射→FF値読出し→初期値と比較」を繰り返す
記憶セル由来 + 論理セル由来の SEU 発生率が各FFについて測定できる



宇宙技術とディペンダブルLSI

宇宙放射線により確実に発生する
「一過性雑音」と取り組む宇宙LSI技術

宇宙LSI と 民生ディペンダブルLSI
の協調が可能な時代

コラボレーション！