

JAXA-STEPSシンポジウム2026

革新的FPGAの耐宇宙環境性能軌道上評価

2026年6月4日

宮村 信 (ナノブリッジ・セミコンダクター株式会社*)

*実施時NEC



- ・本部品実証テーマは、
耐放射線性が期待でき、国産独自技術であるNanoBridge素子を用いた革新的FPGA（NBFPGA）について、耐宇宙環境性能軌道上評価を実施したものである

FPGA(Field Programmable Gate Array)とは

- ・ 利用者が回路を組み替えられる半導体チップ

FPGAの利点

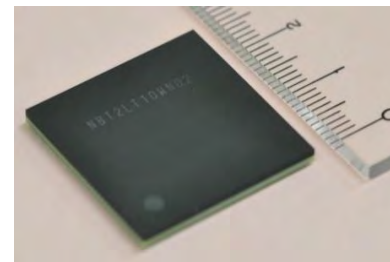
- ・ 少量生産の電子機器に対応
- ・ ハードウェア処理なので、高電力効率(性能/電力が大)
CPUはソフトウェア命令を逐次実行するので、低効率

IoT時代の民生用FPGAの適用先

- ・ センサ端末の信号処理に応用
⇒ 端末～クラウド間の通信量を減らす

FPGAの課題

- ・ **回路構成SRAMのSEU (Single Event Upset)**
航空宇宙用途、民生高信頼用途(医療、自動車)
- ・ **SEU無しのアンチヒューズ(OTP)FPGAは微細化が困難**



CPU

端末の管理

分担
⇔



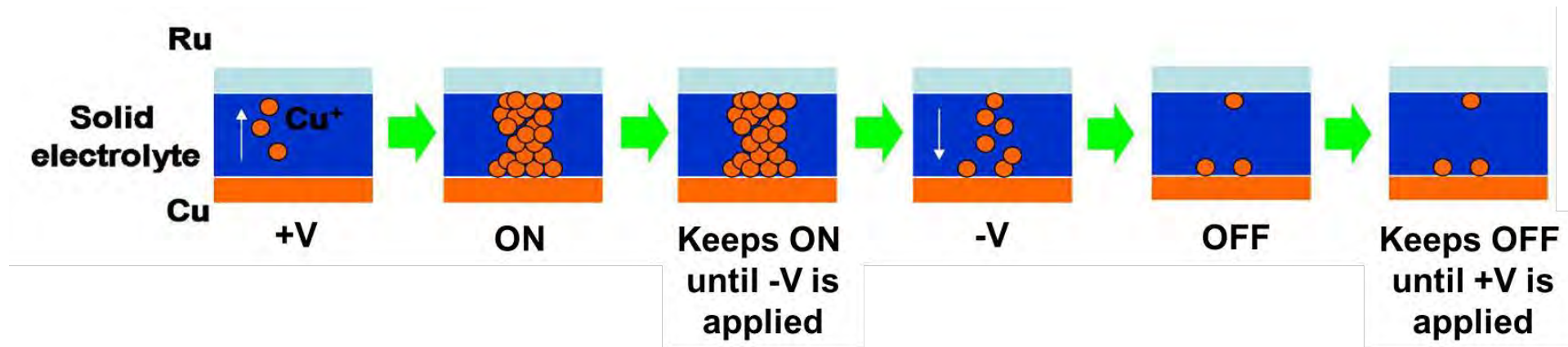
FPGA

信号処理
認識処理

Nano-Bridge® (NB) = 原子移動型スイッチ

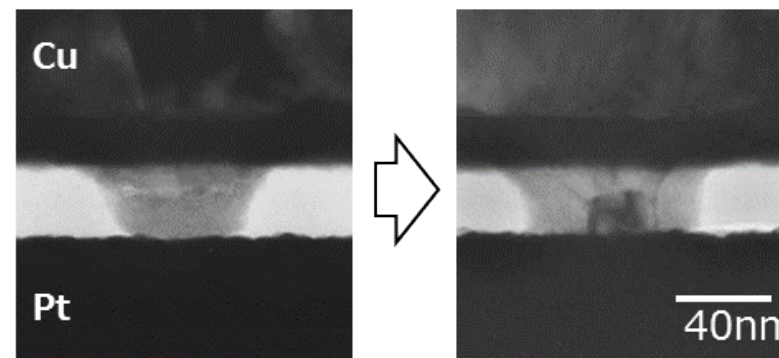
国産の不揮発スイッチ素子

ナノスケールのCu架橋が、2つの電極間の固体電解質内に形成



特徴

- ON/OFF抵抗比 $\sim 2\text{k}/200\text{M}\Omega$
- 書換え回数 $> 10^3$
- 保持時間 > 10 years
- スイッチ寄生容量 $< 0.2\text{fF}$
- SEUソフトエラーフリー

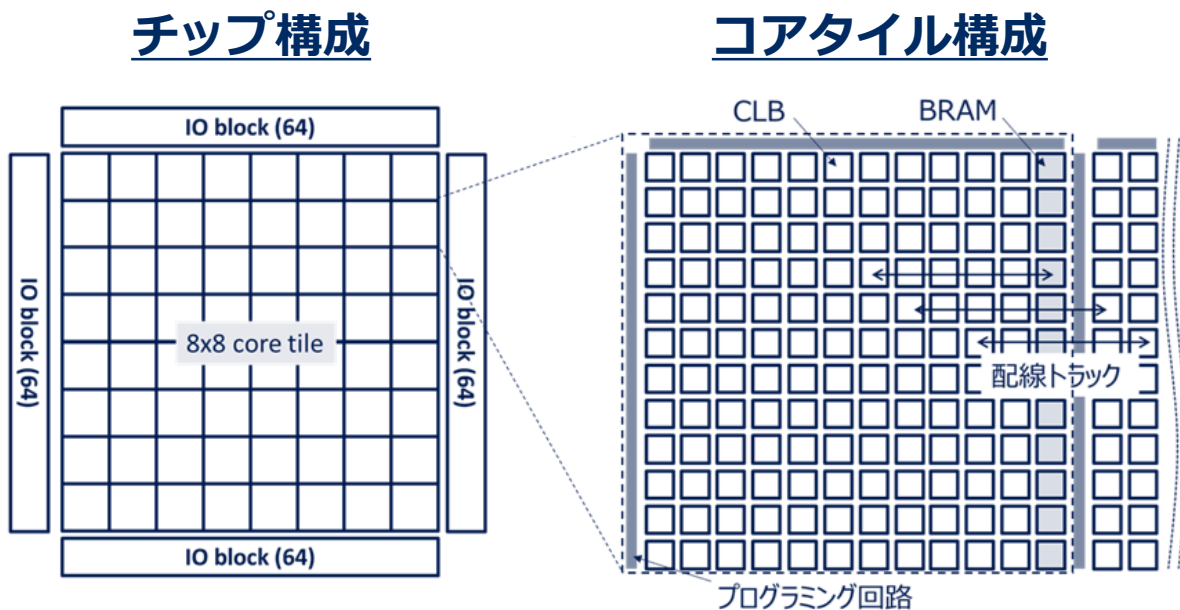


革新的FPGA(NBFPGA) : NBを配線切替えスイッチ等に利用

NBFGAのチップ構成

NB採用の利点

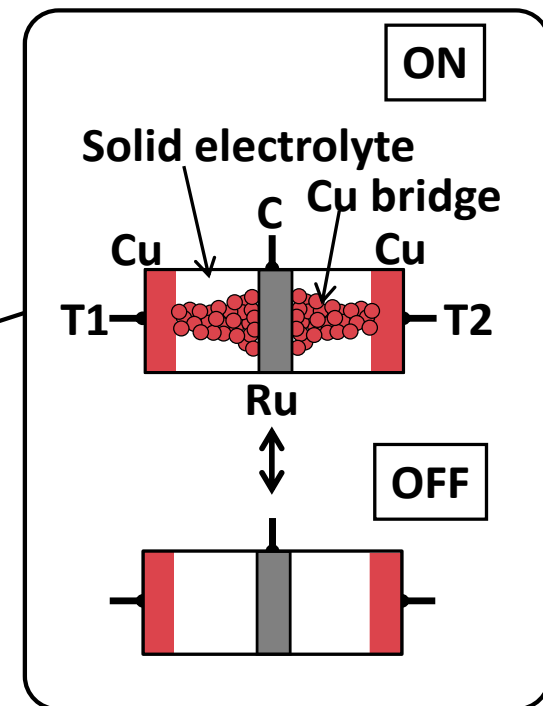
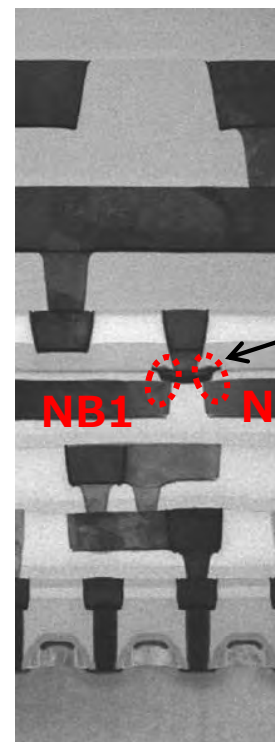
- 外部からのデータロードが不要なインスタント・オン動作の実現
- 放射線によるコンフィグレーションデータの破損がない
- SRAMリークの削減、内部信号配線の短縮による低電力動作



CLB: コンフィギュラブルロジックブロック、 BRAM: BlockRAM 4bitx512word+CB

配線層内に NB を配置

トランジスタ層



● NBを2個直列にすることで信頼性を向上



Item	Specification
4入力LUT数	33,792
Flip Flop数	33,792
BRAM数	768
トータルSRAMサイズ	1,536 kbit
クロック系統	2
PLL	1
ユーザIO最大数	256
定格電圧	1.1 V
IO 電圧	1.8 V
NanoBridge ビット数	50 Mbit
プロセスノード	40 nm

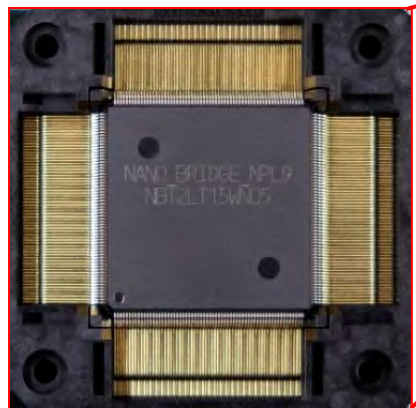
諸元表は実証チップに対応したもの

カメラモジュールへの実装

これまでの国内実績を超えるHD以上の画像取得機能（実証当時）と、NBFPGAの評価機能の両立を目標にJAXA殿にて開発

太陽電池パドル展開確認用モニタカメラと地球観察用モニタカメラの2種をRAPIS-1に搭載

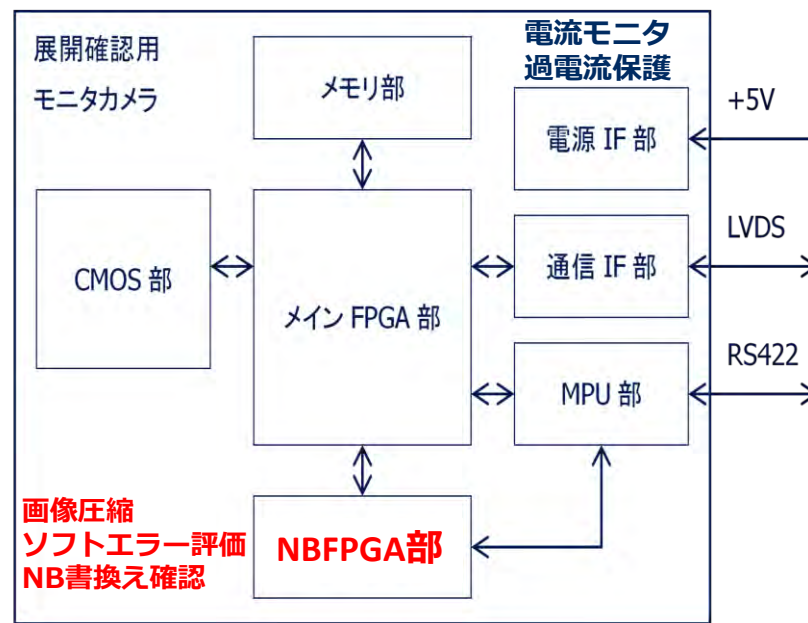
NBFPGAでは撮像データの画像圧縮処理を担当。NBFPGAの耐宇宙環境性能の確認としてソフトエラー評価回路も搭載



NBFPGA
(QFP256パッケージ)



PFMモジュール
(JAXA開発) ©JAXA



システムブロック図

軌道上実証成果

すべての評価項目で異常なし

- ソフトエラー評価回路の累積動作時間: 約3300時間
- 撮像枚数: 229枚
- エクストラサクセス項目のNBFPGA部分書き換え6回成功

2020年2月まで動作継続を確認しフルサクセス達成



撮像例

©JAXA

	ソフトエラー評価 (動作時間 [hour])				画像圧縮 (枚数)	NBFPGA 部分書換
	Chain1	Chain2	Chain3	Chain4		
合計	859	2254	230	45	279	6回
エラー発生	0	0	0	0	0	0

Lessons Learned

実証において苦労したこと

●ミッション定義と搭載形態

- ・部品実証テーマとして開始するもFPGAはユーザーのプログラムで柔軟に動作を変えられるデバイス。
- ・ミッションを明確化することが最初の課題。 →議論を重ね「JAXAコーディネート機器の部品として搭載」という形に整理

●衛星搭載のための仕様定義

- ・部品とモジュール間の物理的・電氣的インターフェース定義・文書化
- ・テレメトリ方式による制御の定義

●多段階開発とスケジュール

- ・ブレッドボードモデル（BBM） →エンジニアリングモデル（EM） →FM

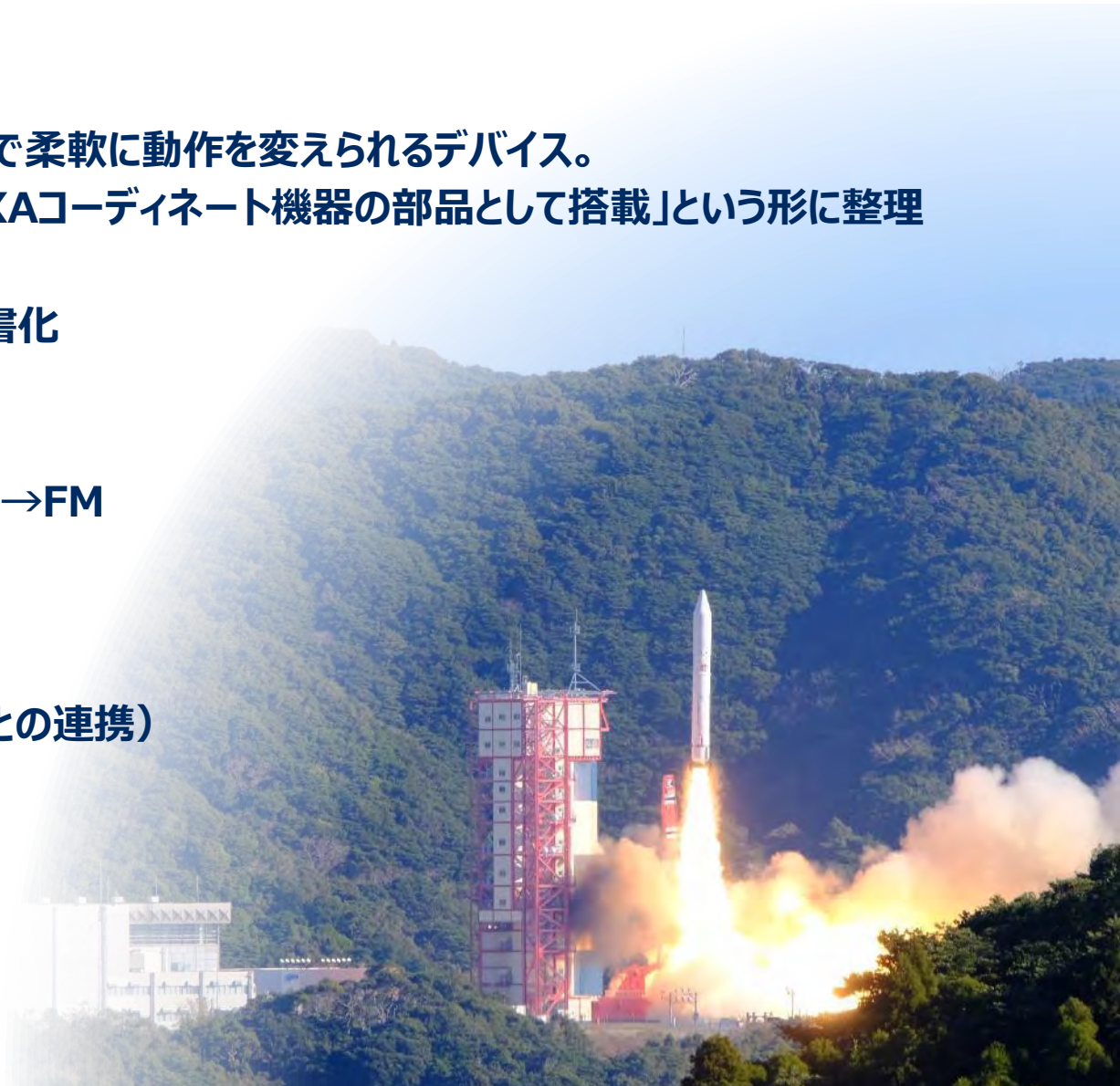
実証前段階で実施すべき事項

●なにができるか/実証項目のイメージ

- ・例：NBFPGAによる高画質画像データ提供（TMSAP展開との連携）
→ 他テーマと連携した相乗効果

●仕様の明確化

- ・データシート/ユーザーマニュアル
- ・リファレンスデザイン
- ・軌道上で取得すべきデータ/サクセスクライテリア



事業化は民生用も含めて広く行う予定

エンドユーザのニーズが強い端末と応用例 (括弧内は配置場所)	対応する特長
1. 過酷環境端末 (高放射線環境) 応用例: 人工衛星 、ロケット、素粒子加速器	放射線ソフトエラーなし
2. 電池駆動IoT端末 (充電困難な場所) 応用例: IoT端末へのAI推論導入	低電力・電力効率 (x4) & 不揮発・待機電力不要
3. 高信頼端末 (安全性重視の駆動系装置内) 応用例: 自動車パワトレECU 、 介護ロボット	耐高温・高温リーク増なし & 耐放射線
4. 高信頼端末 (停止が許されない装置内) 応用例: 基幹通信網の光伝送装置	放射線ソフトエラーなし

■ 革新的FPGA（NBFPGA）の概要

■ NBFPGAの軌道上評価項目および回路実装

■ Lessons Learned

■ NBFPGAの事業化

実証結果等は、2020年10月29日の第64回宇宙科学技術連合講演会
「3C12 革新的FPGAの軌道上実証結果」等で、公表済のものです。