

第68回宇宙科学技術連合講演会 2K11

宇宙機・衛星向けAMD FPGAベース／分散処理・ アップデート可能／AIエッジ機器の開発構想と現状

北九州市立大学 山崎 進

本研究は北九州産業学術推進機構(FAIS)の令和5年度衛星データにかかる
新技術開発事業と令和6年度宇宙関連機器新技術開発事業の助成を受けた

SDS ソフトウェア定義衛星

- 衛星が従来ハードウェアで実現してきた機能を極力ソフトウェアへ移行させ、軌道上でプログラム変更によりアプリケーションレベルの更新を行うことで、変容する需要に柔軟に対応することを意図した衛星
- 衛星DX
日本の衛星産業として目指すデジタルトランスフォーメーション
- 「衛星のソフトウェア化」
 - 新しい宇宙利用サービスが実現
 - デジタル技術を適用した開発プロセスの刷新
 - ミッションへの適応力向上
 - 開発コスト・開発期間が大きく改善

プロジェクト等

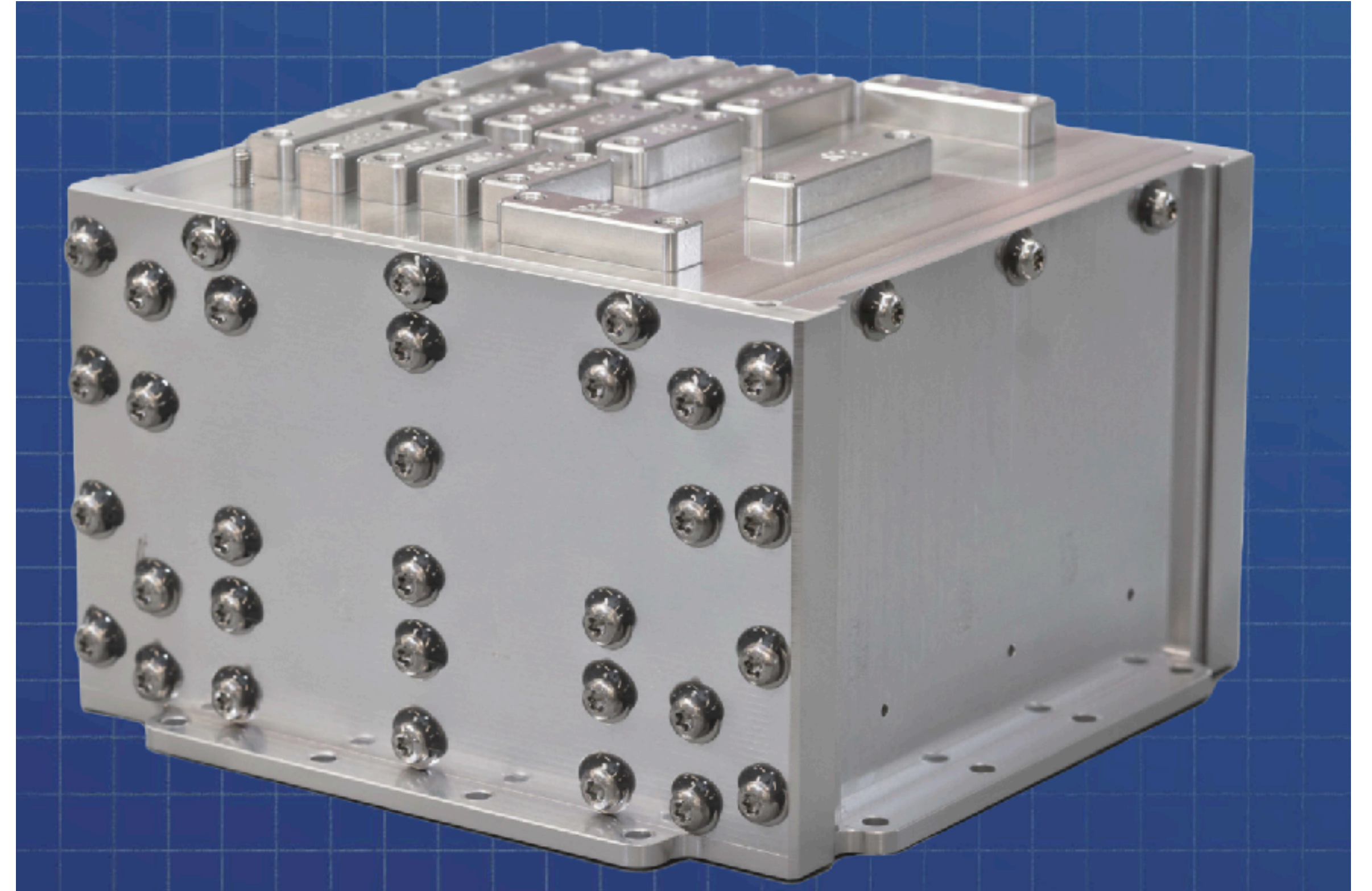


小型技術刷新衛星研究開発プログラム

衛星DX研究会

SDSの国産化が急務

- 最大手スウェーデン製 Unibap SpaceCloud iX10
 - CPU: AMD Ryzen V1000
 - GPU: 8 x AMD Radeon
 - VPU: Myriad X (iX10-101), Hailo-8 (iX10-102)
 - AI性能: 1TOPS (iX10-101), 26TOPS (iX10-102)
 - 消費電力 <40W
- 衛星サプライチェーンの観点では、これに準ずる、もしくは上回るような、SDSを実現可能な衛星部品を国産化したい

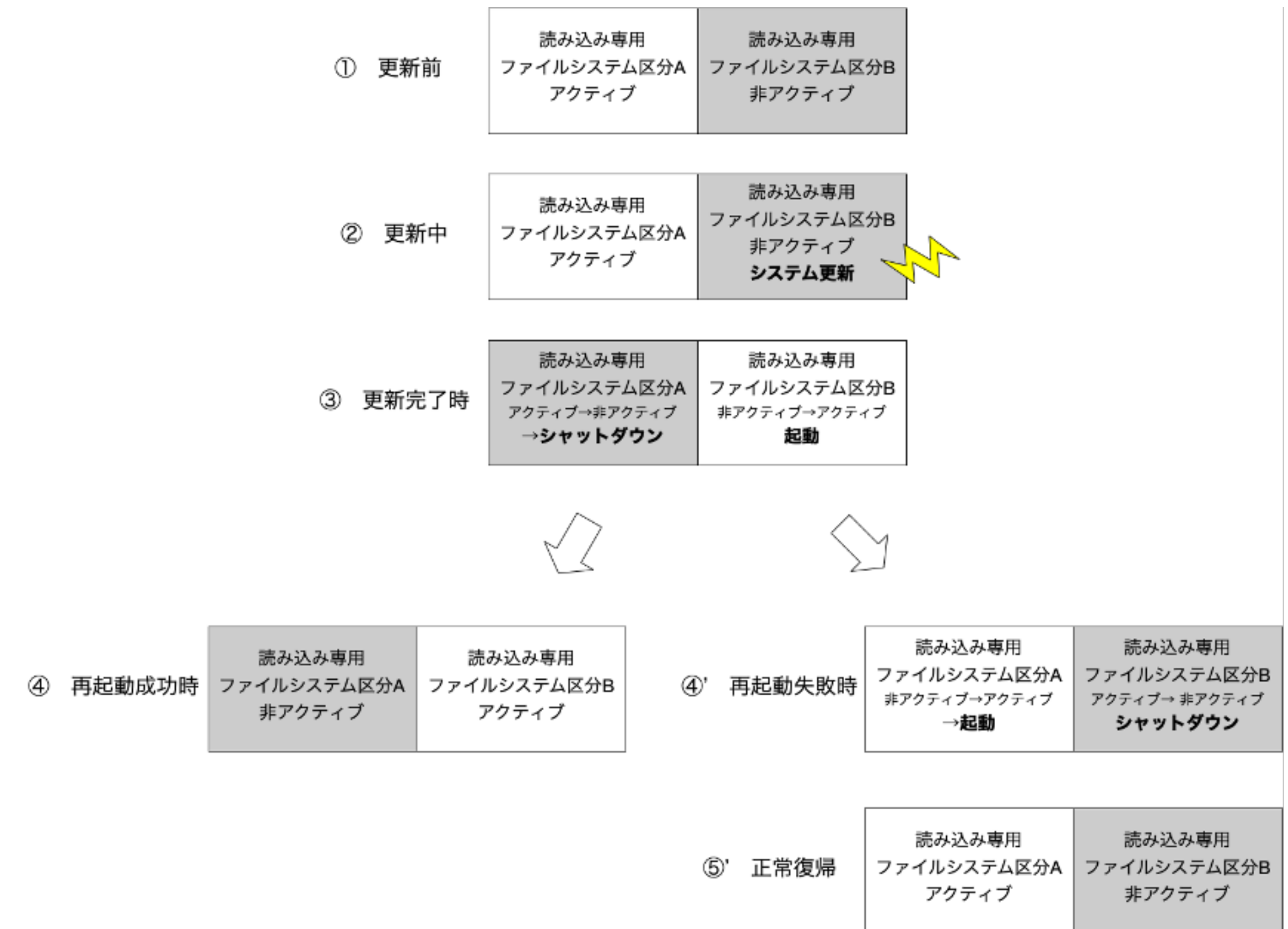


本研究の提案

- 衛星や宇宙機をソフトウェア定義にするような機構
 - 打上げ後にファームウェア, アプリケーション, FPGAロジックのアップデートを行える
- 高速光衛星間通信に対応した分散処理
- 消費電力の低いFPGAを採用した軌道上AIエッジ処理
 - アプリケーションに組込むFPGAロジックをソフトウェア開発者のみで開発できるようにする
- ソフトウェアの移植性を高める軌道上コンテナ技術
- ミッション成功率を高めるための軌道上デジタルツイン

軌道上プログラム更新

- IoTフレームワークNerves(ナーヴス)を応用
- Linuxを起動できる組み込みシステムボードに移植可能
- 軽量
 - 標準構成で100MB, 二重化している両面合計でも300MB程度のストレージで構築可能
 - 10数秒程度で起動可能
- ファイルシステム信頼性向上
 - 読み込み専用モードで運用
 - 二重化(右図)



高速光衛星間通信に対応した分散処理

- Nervesで採用されている並列プログラミング言語Elixir(エリクサー)

```
1..1_000_000
```

```
|> Enum.map(& &1 * 2)
```

```
|> Enum.map(& &1 + 5)
```

- データを上から下のプログラムの流れに沿って順番にデータ変換していくようなプログラミングスタイル

- このプログラミングスタイルを用いて容易に分散並列処理を記述できる
- 左のプログラム例では, 2倍したり5加えたりする処理は各要素で独立して行える
- 最大で1,000,000並列で行うできる
- 異なるコンピュータで計算しても結果は変わらない

GPU vs FPGA

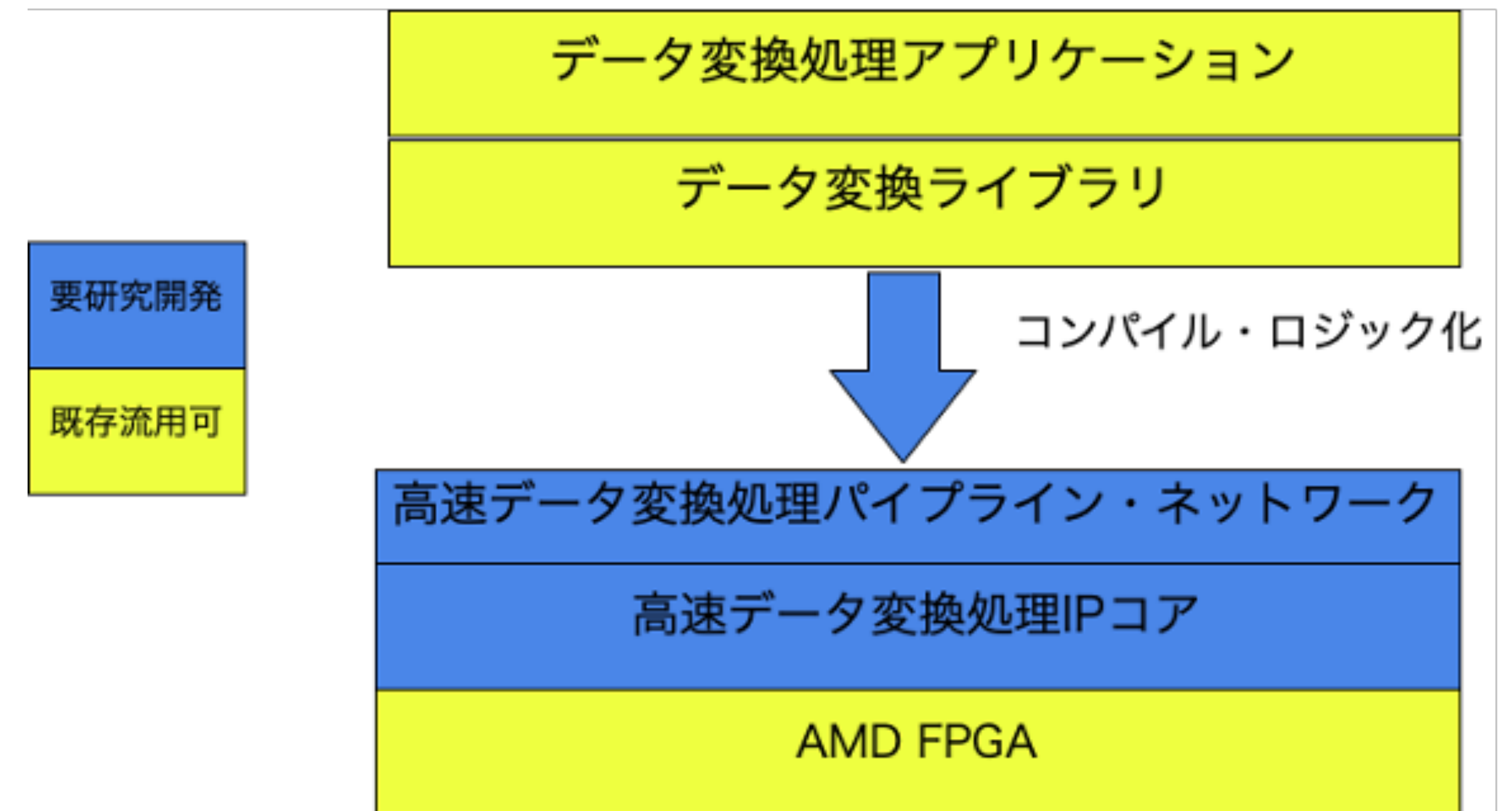
- 宇宙機・衛星でGPUを用いる方法
 - GPUを搭載したPCを用いる
 - NVIDIA GPUを用いる
 - AMD GPUを用いる(大久保²⁾)
 - NVIDIA Jetsonを用いる(三菱電機⁴⁾)
- FPGA
 - AMD, Microchipは耐放射線に優れる
 - 既存ソフトウェアの活用という点でAMDが優れる
 - ソフトウェア技術者のみでは開発できないため, SpaceXではFPGAをやめてマイコンベースのOBCに戻している

機械学習と画像処理の実現

- デ・ファクト・スタンダードはPython
- ElixirではPythonの機械学習ライブラリと画像処理ライブラリのそれぞれと互換性を持つライブラリを提供
 - Nx: NumPy, TensorFlow, PyTorch
 - Axon/Ortex: ONNX
 - Bumblebee: Hugging Face
 - 自然言語処理, 画像認識／生成, 音声認識／合成など, LLM
 - Evision: OpenCV
- Pythonからこれらのライブラリを利用したElixirプログラムに移植することは容易
- 分散並列処理をPythonよりも容易に行える
- ElixirとこれらのライブラリからFPGAやAIアクセラレータを利用するためのライブラリを研究開発している
- 現時点で技術的課題のほとんどを解決済

FPGAロジックを開発しやすくするために

- ElixirChip: Elixirで書かれたデータ変換処理のアプリケーションとライブラリをFPGAロジックに変換する高位合成(HLS)技術
- ElixirChipのプロトタイプをAMD Kria K26 SOMに実装
- 2.3TOPS, 307GOPS/Wを実現
- 前ページで紹介した各種ライブラリを変換できるように研究開発する



ソフトウェアの移植性を高める軌道上コンテナ技術

- 衛星DXの文脈で、 Dockerのようなコンテナ技術を軌道上で利用できるようにすることの利点は大きい
- NervesでDockerを利用できるようにすることを検討中

ミッション成功率を高めるための軌道上デジタルツイン

- デジタルツインの実現のために箱庭⁸⁾の利用を検討
- 高田らは宇宙機のシミュレーションに箱庭を応用⁹⁾
- 箱庭を宇宙機・衛星のオンボードで動作させることについて検討を進めている
 - Dockerの利用
 - Elixirへの移植
 - 分散並列化

構想計画の現状と今後の見通し

- 2023年度中
 - 宇宙向けFPGAボードで動作するNerves環境の構築としてZybo Z7-10向けのNerves Systemの移植
 - ElixirChipの動作原理について検討
 - 宇宙向けFPGAボードの回路設計として、AMD Kintex UltraScaleのFPGAボードの要求仕様を策定
- 2024年4月にElixirChipプロトタイプを開発、2.3TOPS, 307GOPS/Wを実現
- 2024年度中
 - AMD Kria K24向けのNerves Systemの移植
 - 組込みシステムボード, FPGAボード, AIアクセラレータへの機械学習・画像処理ライブラリの移植の検討
 - Docker利用の技術的課題の検討
 - ElixirChipのさらなる研究開発
 - 軌道上デジタルツインに向けた技術的課題の洗い出し