

# 月面の自律走行に向けた取り組み について

2025年10月29日

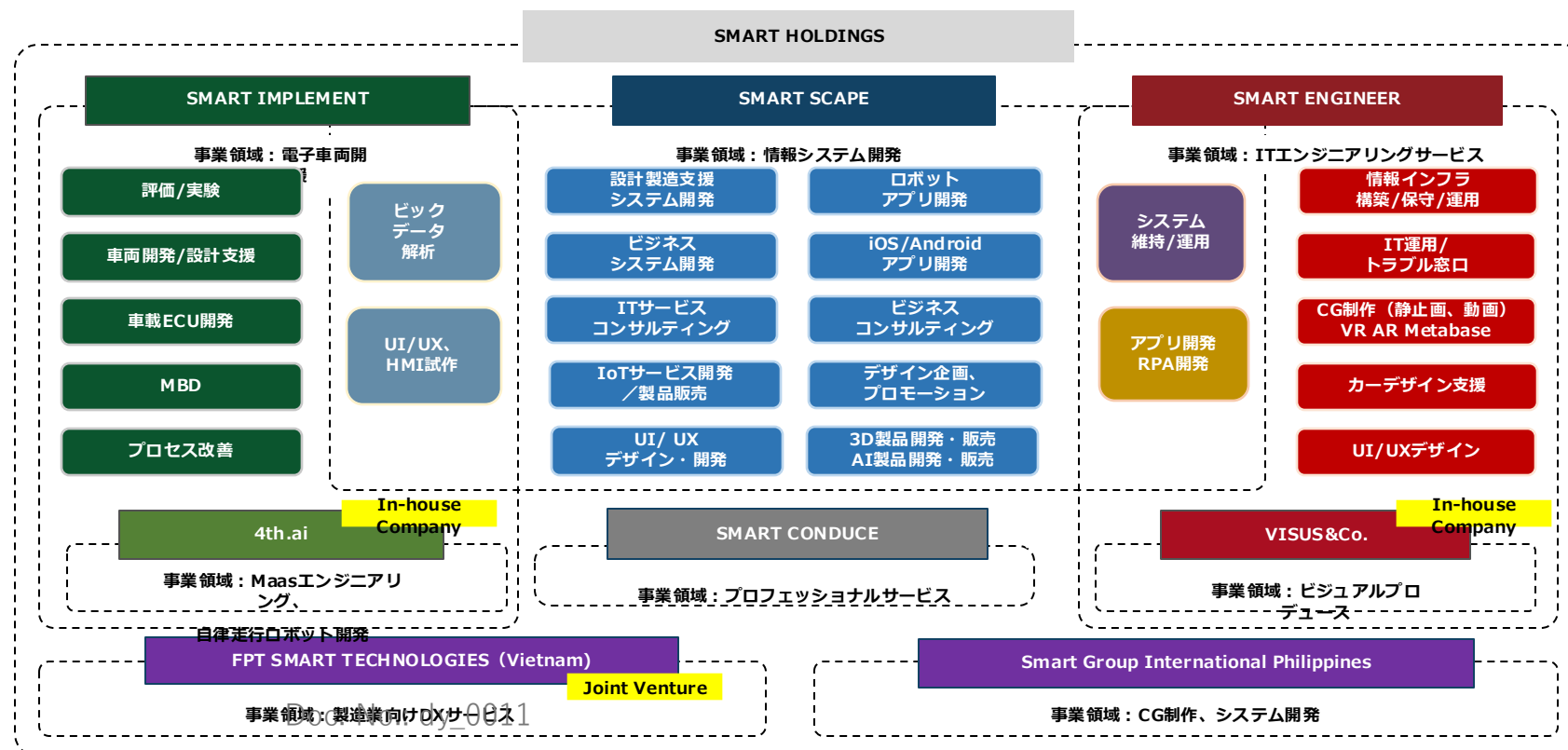
4th.ai 佐藤竜馬

# 講演内容

- 会社紹介
- 弊社の宇宙事業への取り組み
- 月面での自己位置推定開発
- 月へのきっぷ

# スマートインプリメントの紹介

- 所在地
  - 豊田本社：豊田市小坂本町1-13-11 富士火災豊田ビル4F
  - 名古屋オフィス：名古屋市中区丸の内3-22-24 名古屋桜通ビル9F
  - 東京オフィス：東京都港区港南1-8-40 A-PLACE品川8F
  - 裾野オフィス：静岡県裾野市平松410-2
- 設立: 2009年12月
- 資本金: 10百万円
- 売上: 24億7千万円 (2021年)
- 社員数: 202名 (2021年)
- 事業領域:
  - 自動車ECUのソフトウェア開発




4th.ai, a MaaS supplier designed for society's needs.

**MaaSトータルエンジニアリングプロバイダーとして、  
すべての人やモノがシームレスに移動できる、  
どこにでも行ける社会を実現する。**


4th.ai

AI empowered Mobility for a new life experience!

Design your mobility, have it your way!

**4th.ai**  
SMART GROUP  
The Art of Rethinking Mobility


ABOUT




Robotics、自動車制御ソフトウェア、IoT、これらをAIで融合し、Mobility/Robotics/Logistics as a Serviceで求められるあらゆる技術を提供するトータルエンジニアリングサービスプロバイダーとして、すべての人やモノがシームレスに、どこにでもいける社会を実現することが私たちのミッションです。

### Vehicle


自動車の分野でも特に重要な車両制御技術分野において、世界をリードするため、最先端の技術開発に日々取り組んでいます。高度な信頼性と革新的なアプローチを通じて、従来の自動車と異なっているSDVや自動運転、ADAS開発には欠かせないHMI開発など、自動車産業の未来を切り拓くソリューションを提供しています。






### Robotics

MR/Logisticsに関する、自律走行制御のあらゆる技術を提供しています。センサーやインフラ、AIを活用して、環境認識や制御アルゴリズムを開発し、安全かつ最適な自律走行を実現するための技術開発を行っています。




### eVTOL

「空飛ぶクルマ」の国内企業による開発を成功させるため、自律飛行、シミュレーション技術を提供し、「空飛ぶクルマ」の開発を推進。世界に向けて日本の強い技術力を発信しています。



### Space Related

地上での自動運転、環境認識技術、また、空飛ぶクルマに関する技術を開発し、月面での探検や探査、自律走行探査や月面シミュレーションを完成させ、世界で最先端な宇宙開発プレイヤーを目指しています。また、月面での探検を地上ヘリコプターに、イノベーションを起こしています。

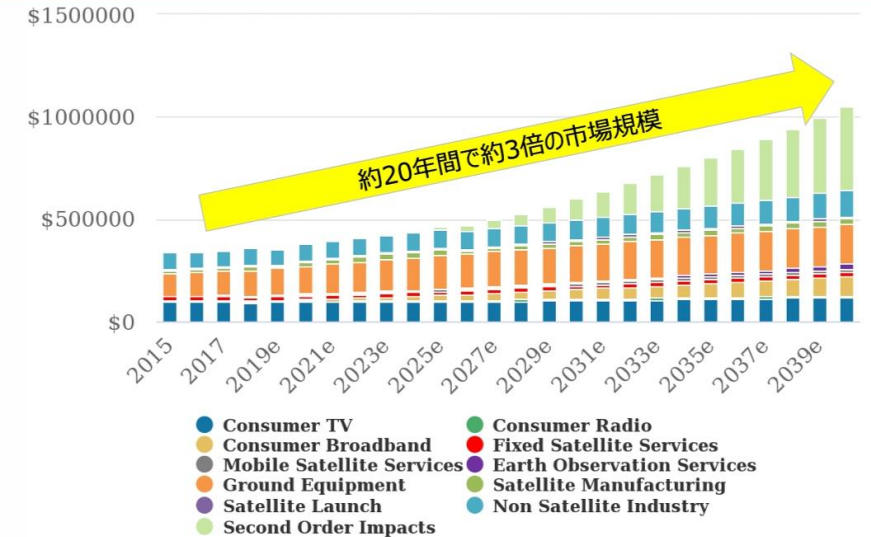


AI empowered mobility for a new life experience!  
Design your mobility, go your own way!

Doc. No.: dy\_0011

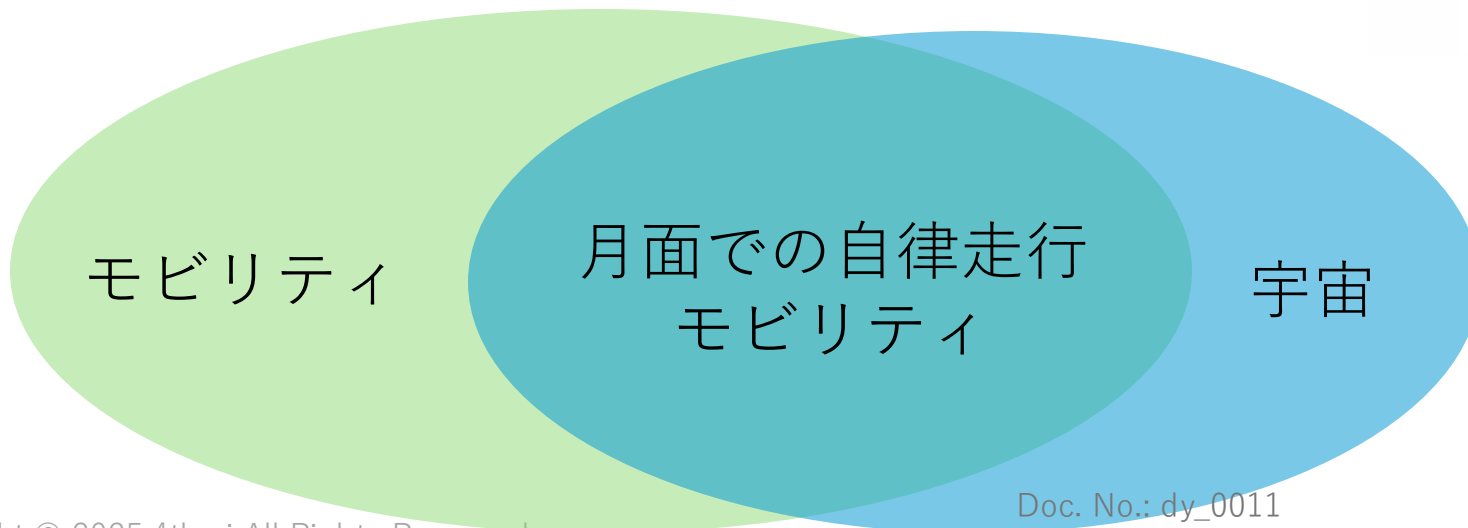
- 種々の宇宙事業への参画
  - 有人と圧ローバプロジェクトのソフトウェア開発
  - 民間国産ロケットのソフトウェア開発
- 弊社独自の研究開発
  - 月面での自律走行の実証
- モチベーション
  - 自動車産業から他の成長産業への業態の拡大
  - 社内の精鋭部隊として先端領域へ挑戦し続けるミッション

- モルガン・スタンレーによると、世界の宇宙産業の市場規模は、2040年までに**140兆円規模**になると予測されている。※1ドル140円で計算



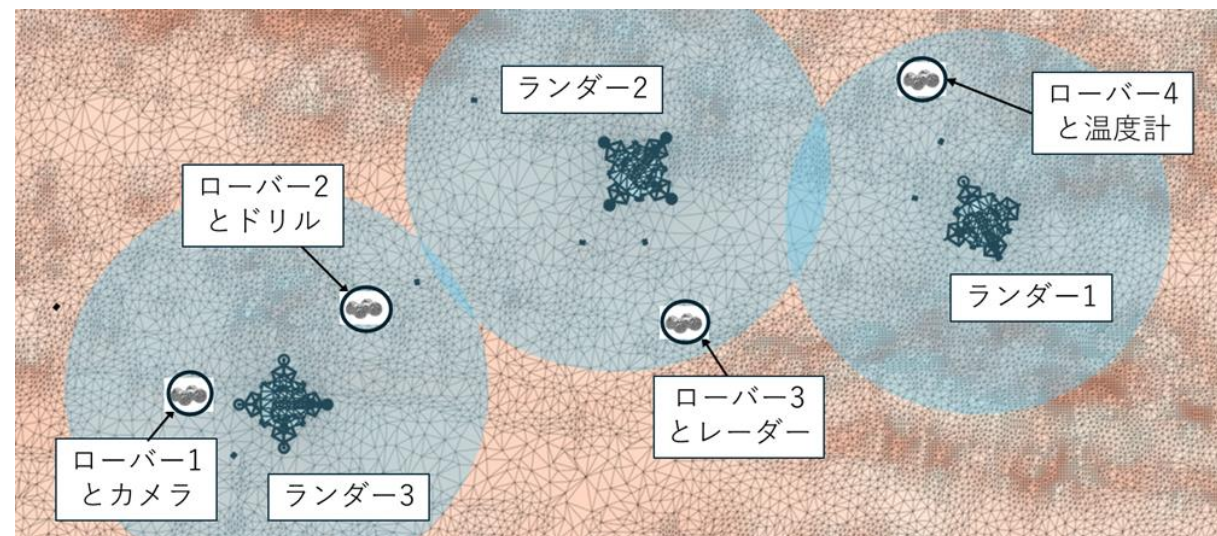
引用:

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/space\\_industry/pdf/001\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/space_industry/pdf/001_05_00.pdf) (経産省)





- 4th.ai の実現したい月面活動
  - 有人大型ローバーと協調する小型無人の自律走行ローバー
  - 複数の小型無人ローバーの自律協調的な月面探査
- キーワード
  - 無人小型
  - 自律探査



# 月面での自律走行にむけて

- 地球上での自律走行について
  - 自律走行には人間が操縦するローバーの要素に加えてAI、ML、ロボティックスの技術を適用した高度な演算が必要。
    - 周辺監視
      - 障害物検知
      - 動体のトラッキング
    - SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)
      - 自己位置推定
      - マップ生成
    - ナビゲーション
      - 経路計画
      - 障害物回避
      - 行動制御
  - これらのシステムが多数のGPUベースのECU上で稼働している

## 自律走行に必要な技術要素

GPU、ROS、  
AI/ML、CV

周辺監視

SLAM

ナビゲーション

LiDAR、カメラ、  
IMU etc

センサ

## ローバー走行の技術要素

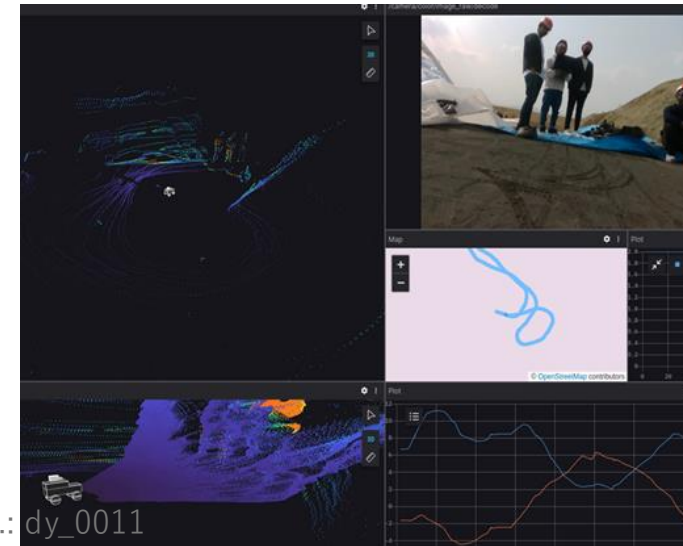
小型ECU  
(マイコンベース)

車両制御

駆動系、車体

車体

※分類の方法は諸説あります



YAOKI  
ダイヤモンド社



# 月面での自律走行のための課題

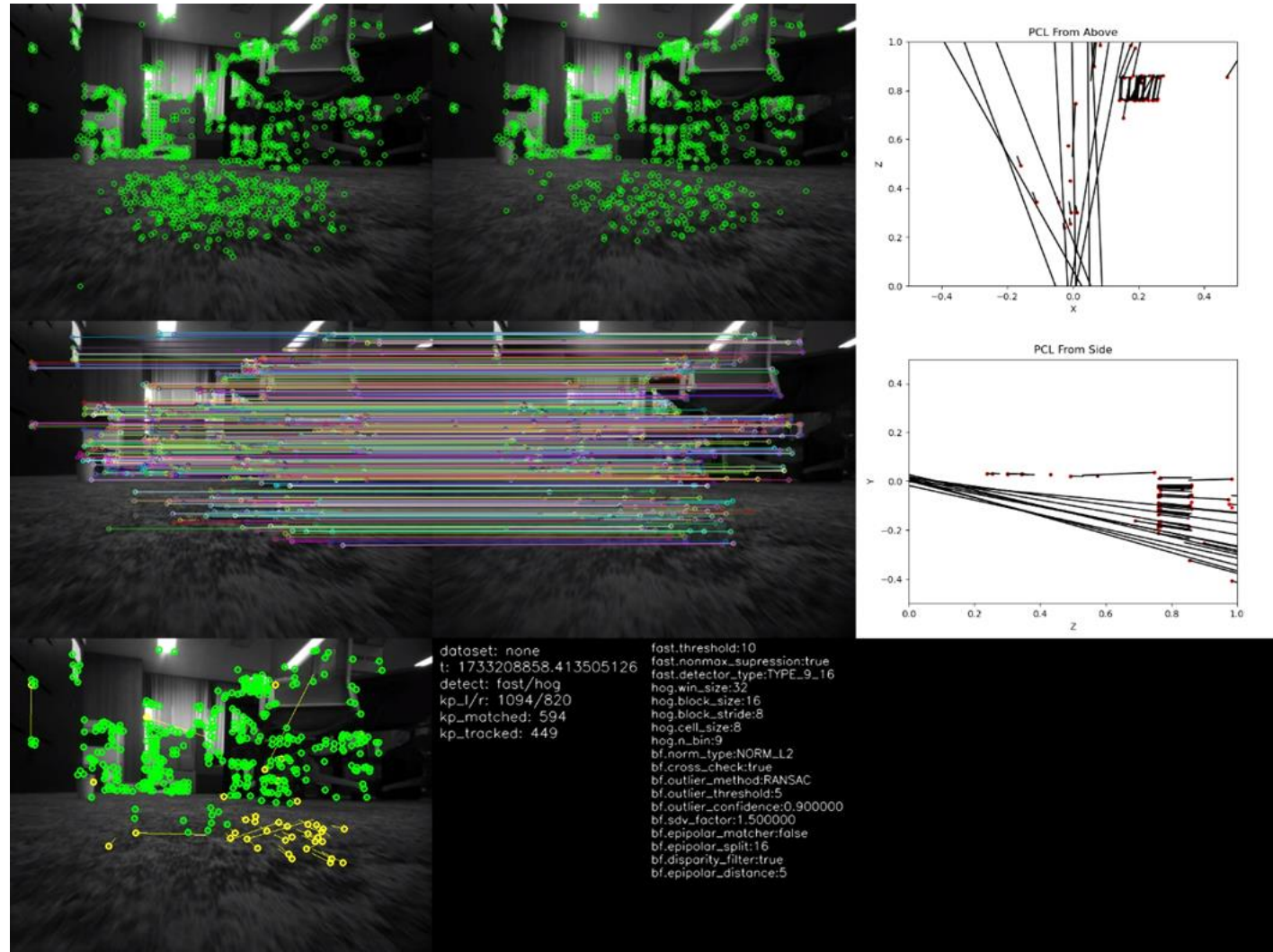
## • 月面と地球のローバーの走行に関する比較

- 空気、水がない
  - 地上で使える冷却技術が適用できない。
  - 輻射による冷却がメイン。
  - ECUの電力消費を抑制する必要がある。
- 放射線環境
  - ECUの破損対策が必要
- エネルギー供給（≡充電ステーション）がない
  - 越夜が難しく活動期間が限られる。
- 部品交換ができない
  - 高信頼、冗長なシステムを構築する必要がある。
- 月には対向車、歩行者、障害物、信号がない
  - 周辺監視の要件は地上より緩和される
  - 一方で、クレータ、石礫がある
- ランドマーク（建物、交通標識）がない
  - 自己位置推定の特徴検出が難しい

	地球	月
空気	✓	✗
水	✓	✗
放射線	✗	✓
エネルギー供給	✓	✗
部品交換	✓	✗
対向車	✓	✗
歩行者	✓	✗
障害物	✓	✗
信号	✓	✗
ランドマーク	✓	✗

# 月面での自己位置推定

- 月面で適用可能な自己位置推定システムの開発
  - 技術選定
    - 月面への輸送を考えると小型ローバーではLiDAR SLAMは非現実的なので、V-SLAMを選定
    - ECUの発熱、電力消費を考慮してFPGA搭載のカメラボードを開発 (GPUの採用は難しい)
  - 課題
    - 特徴検出、マッチングアルゴリズム
    - FPGA搭載のカメラボードへの自己位置推定アルゴリズムの実装



オフィスで、カーペットを月面の砂礫、什器を地上になぞらえて特徴検出とマッチングのアルゴリズムを検討している際の検討データ

Doc. No.: dy\_0011



# 月面での自己位置推定

- 月面と地上のシーンの比較
  - 地上と月面では特徴点の取れ方が異なる？



引用:  
[https://www.jaxa.jp/projects/files/youtube/slides/jaxa\\_doc01\\_20241226.pdf](https://www.jaxa.jp/projects/files/youtube/slides/jaxa_doc01_20241226.pdf)

引用:  
[https://www.jaxa.jp/projects/files/youtube/ml\\_slim\\_lev1\\_lev2/jaxa\\_doc01\\_20240125-a.pdf](https://www.jaxa.jp/projects/files/youtube/ml_slim_lev1_lev2/jaxa_doc01_20240125-a.pdf)



港区港南



ミラノ



モントリオール



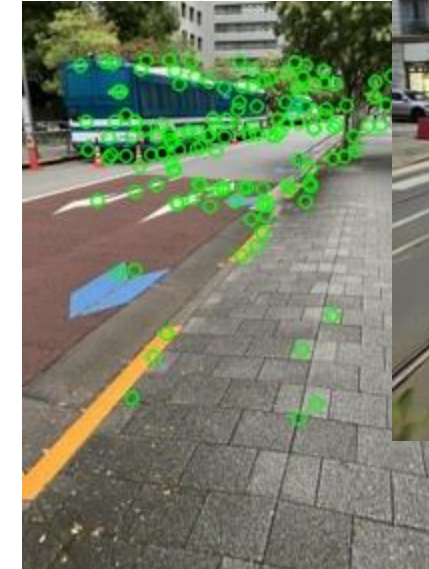
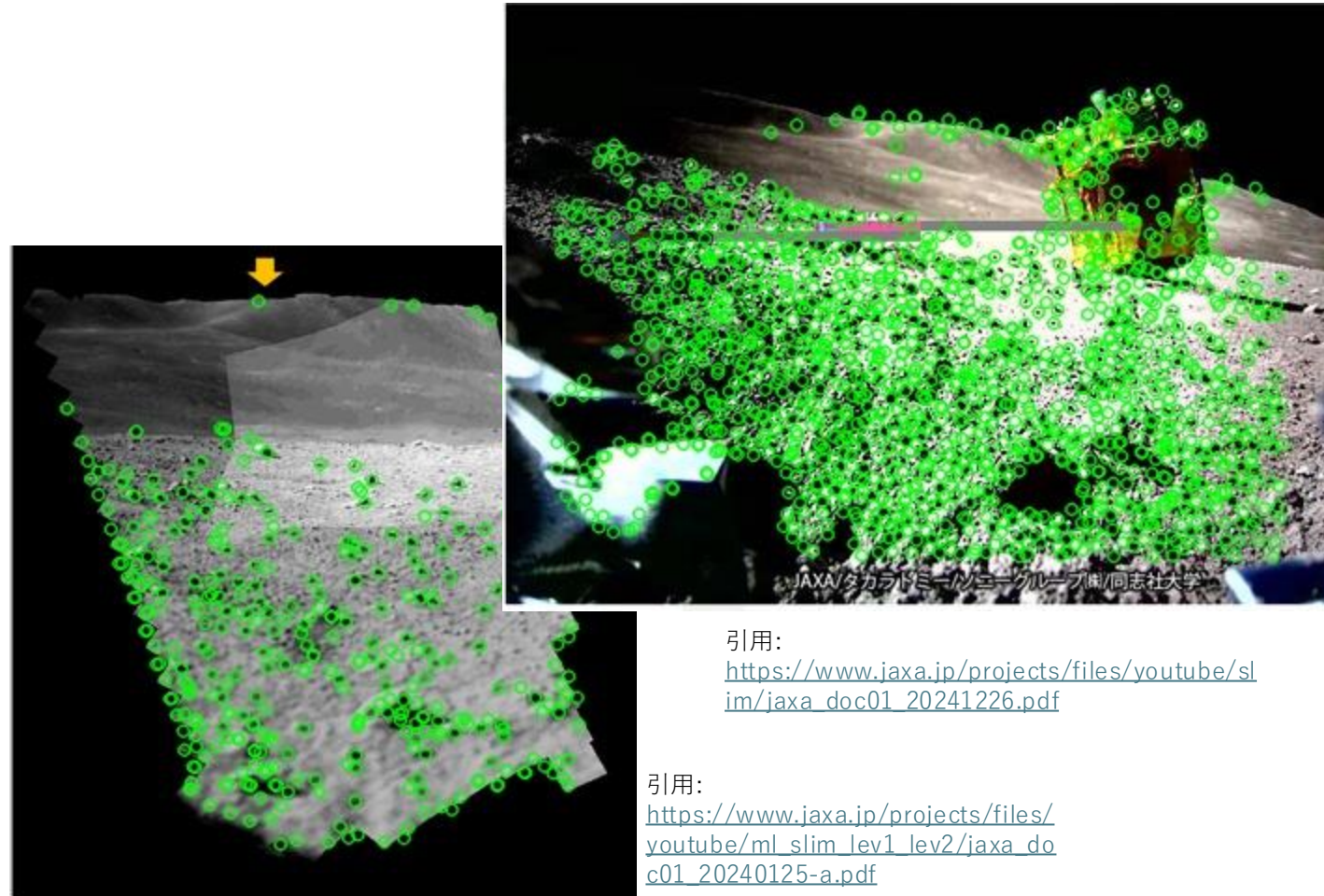
福島県南相馬市の海岸  
 海岸はどちらかというと  
 月面に近い撮像環境

Doc. No.: dy\_0011

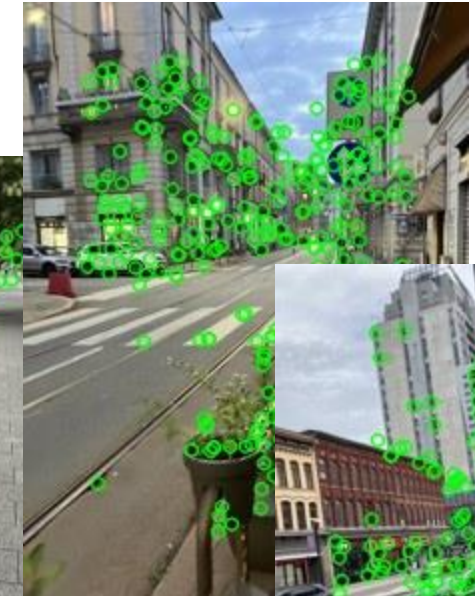


# 月面での自己位置推定

- 月面と地上のシーンの比較
  - 地上と月面のシーンでのAKAZE特徴量のキーポイントの比較



港区港南



ミラノ



モントリオール



福島県南相馬市の海岸  
 海岸はどちらかというと  
 月面に近い撮像環境



# 月面での自己位置推定

- アルゴリズム開発のためのデータ収集
  - 月面を模擬した環境で画像データを収集し、モデル開発のためのデータとする。
  - 国内にも様々な月面環境を模擬したテストフィールドが設置されつつある。



JAXA宇宙研 宇宙探査フィールド  
<https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/introduction/afse.html>

- 屋内の管理された環境で実験ができる。
- 照明が月面を模擬したものが用意されている。
- 制御室があり、多数の制御機器の持ち込みが可能。



鳥取 ルナテラス  
<https://www.pref.tottori.lg.jp/311792.htm>

- 鳥取大学 乾燥地研の敷地内にある。
- 0.5haの敷地面積、平地部分が 45m X 50mあり、実機の走行が可能。
- 屋外のため実験条件が天候に左右しやすい。



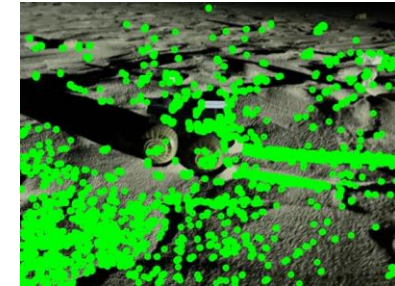
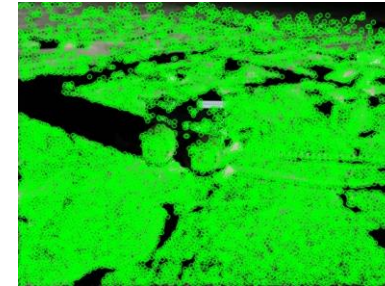
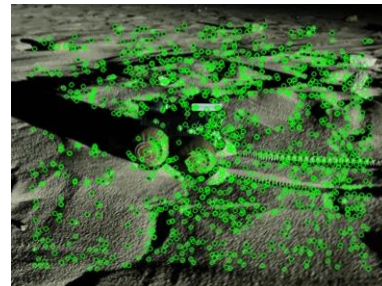
福島ロボットテストフィールド  
<https://u-aizu.ac.jp/information/post-20240159.html>

- 直径22mの月面のクレーターを模擬した環境。
- 屋外のため実験条件が天候に左右しやすい。

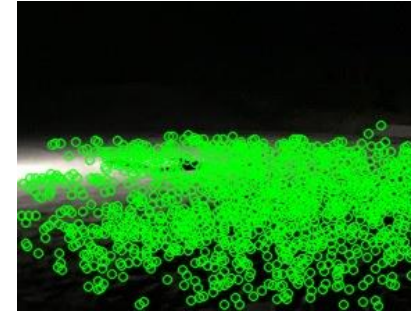
# 月面での自己位置推定

- 色々な特徴検出器の比較

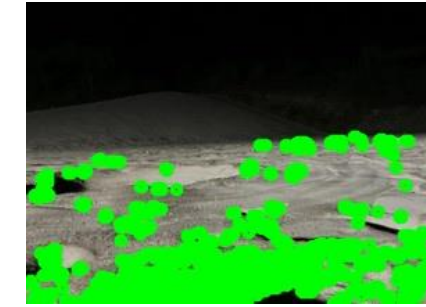
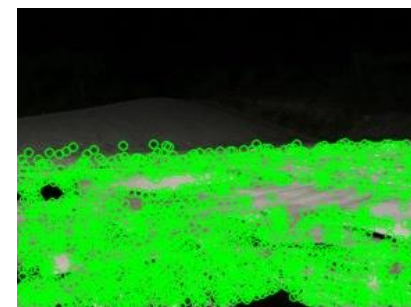
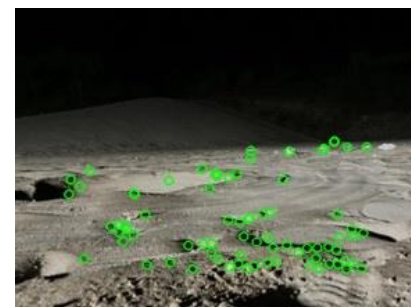
シーン 1



シーン 2



シーン 3



オリジナル

AKAZE

FAST

Harris



# 月面での自己位置推定

- FPGAを活用した自己位置推定の取り組み



自社開発のFPGA搭載ECU

- Xilinx Kria K24SoM搭載
- カメラポート MIPI 4レーン X 4
- IMU X 4

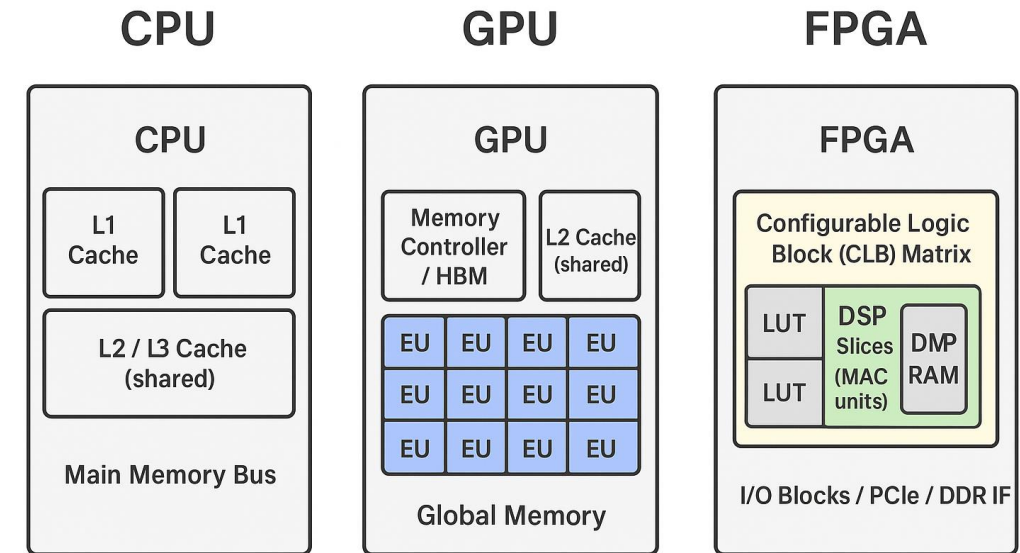
# 月面での自己位置推定

## • FPGAの特徴

項目	CPU	GPU	FPGA
アーキテクチャの型	複雑な汎用コア（CISC/RISC）	大量の単純演算ユニット（SIMD/SIMT）	再構成可能な論理ブロックネットワーク（LUT/FF/DSP/BRAM）
並列性の種類	スレッド・命令レベル並列（ILP）	データ並列（数百～数千の同時スレッド）	フルカスタムな並列（ビット/パイプライン/タスク単位）
実行モデル	命令逐次実行（投機実行あり）	同一カーネル同時実行	ハードワイヤード回路の並列データフロー
プログラミングモデル	C/C++等、OSのアプリ	CUDA等	HDL (Verilog/VHDL) HLS(高位合成)
レイテンシ	低（単ースレッド応答良）	中～高（スループット最優先）	非常に低（ハード直結の処理）
スループット	中	非常に高（大量演算）	高（タスクに最適化時）
メモリ構造	階層的（L1/L2/L3, メインメモリ）	高帯域だが高レイテンシのグローバルメモリ＋キャッシュ	ブロックRAM（オンチップ低遅延） ＋外部メモリインタフェース
電力効率	中～低（高性能だが消費也大）	良（演算あたりの効率は高）	非常に良（専用回路で最適化可能）
再構成性	ほぼ不可（ソフト的変更は可能）	不可（固定アーキ）	高（ビットストリームで論理変更）
適用例	OS, シリアル制御, 汎用アプリ	ML トレーニング/推論、画像処理	通信アクセラレータ、低レイテンシ信号処理、パイプライン処理
設計難易度	低～中（ソフト中心）	中（並列アルゴリズム設計）	高（ハード設計・検証が必要）

# 月面での自己位置推定

- FPGAを活用した自己位置推定の取り組み
  - FPGAを選定した経緯
    - 自己位置推定のアルゴリズムは大規模な演算が必要。
    - 月面を走行ローバーはバッテリー駆動が前提になるため、ECUの電力消費を下げる必要がある。
    - 月面ではECUの発熱を排熱する手段に乏しいので、高効率で、発熱が少ないデバイスが必要。
    - 上記の事情により、宇宙分野でも一定の需要がある。
  - FPGAのユースケース
    - これまではカメラ、データ収集装置等のデバイスのデータ処理に主に使われてきた。
    - SoCの性能が向上してきており、FPGA上でAIの推論が可能になってきた。

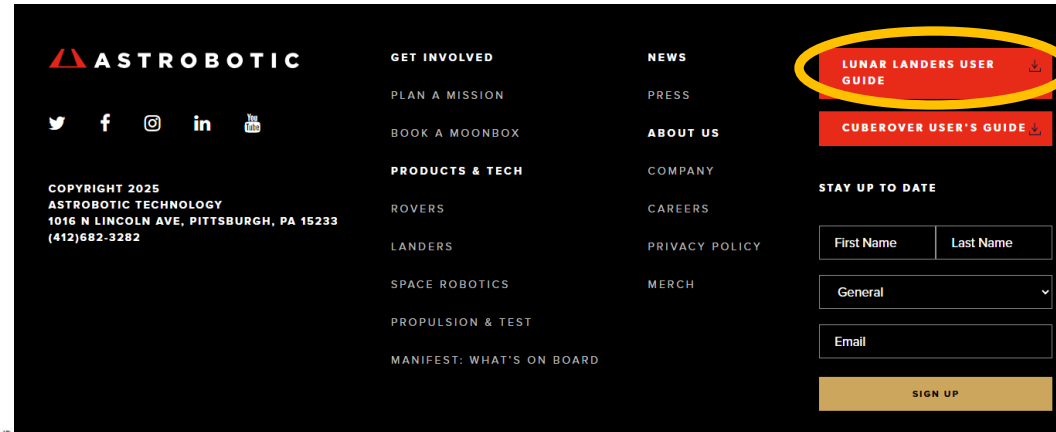


CPU、GPU、FPGAのアーキテクチャの比較

# 21世紀は民間人が月への きっぷを買える時代

# 月へのきっぷ

- 国内外の着陸船（ランダー、L/M）企業が国家主導の科学、探査ミッションから民間需要を掘り起こす活動が始まっている。



ホームページの下部からP/L搭載マニュアルを入手できる。輸送単価も記載されている。  
[https://www.astrobotic.com/wp-content/uploads/2022/01/PUGLanders\\_011222.pdf](https://www.astrobotic.com/wp-content/uploads/2022/01/PUGLanders_011222.pdf)

space M2 Landing HAKUTO-R About Us Missions Services & Spacecraft IR News Region

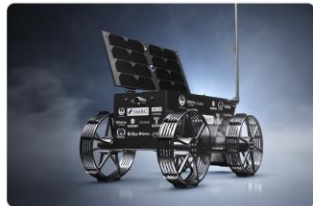
## Services

## ASTROBOTICS

<https://www.astrobotic.com/category/press/>

### Payload Services

ペイロードとは、着陸船またはローバーに搭載可能な貨物。協賛セールズ（パートナーシッププログラム）とは別に、ペイロード（月への輸送サービス）の販売をいたします。



**ローバー搭載用**  
 月面での移動を必要とするペイロード。  
 例えば、映像取得、走行データ取得、探査システムなど。



**ランダー搭載用**  
 移動を必要としない、固定型ペイロード。  
 カメラや、通信装置、増設装置など。

## ispace

<https://ispace-inc.com/jpn/spacecraft>



## Blue origin

<https://www.blueorigin.com/ja-JP/new-shepard/reserve-a-seat>

Doc. No.: dy\_0011



# 月へのきっぷ

- 地球と月の間の通信について

