

# 加速する宇宙利用時代に向けた次世代デジタル衛星開発とDX

廣川 類 (三菱電機株式会社)

**MATLAB EXPO 2022 JAPAN**

**May 25, 2022, 10:50-11:40**

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION

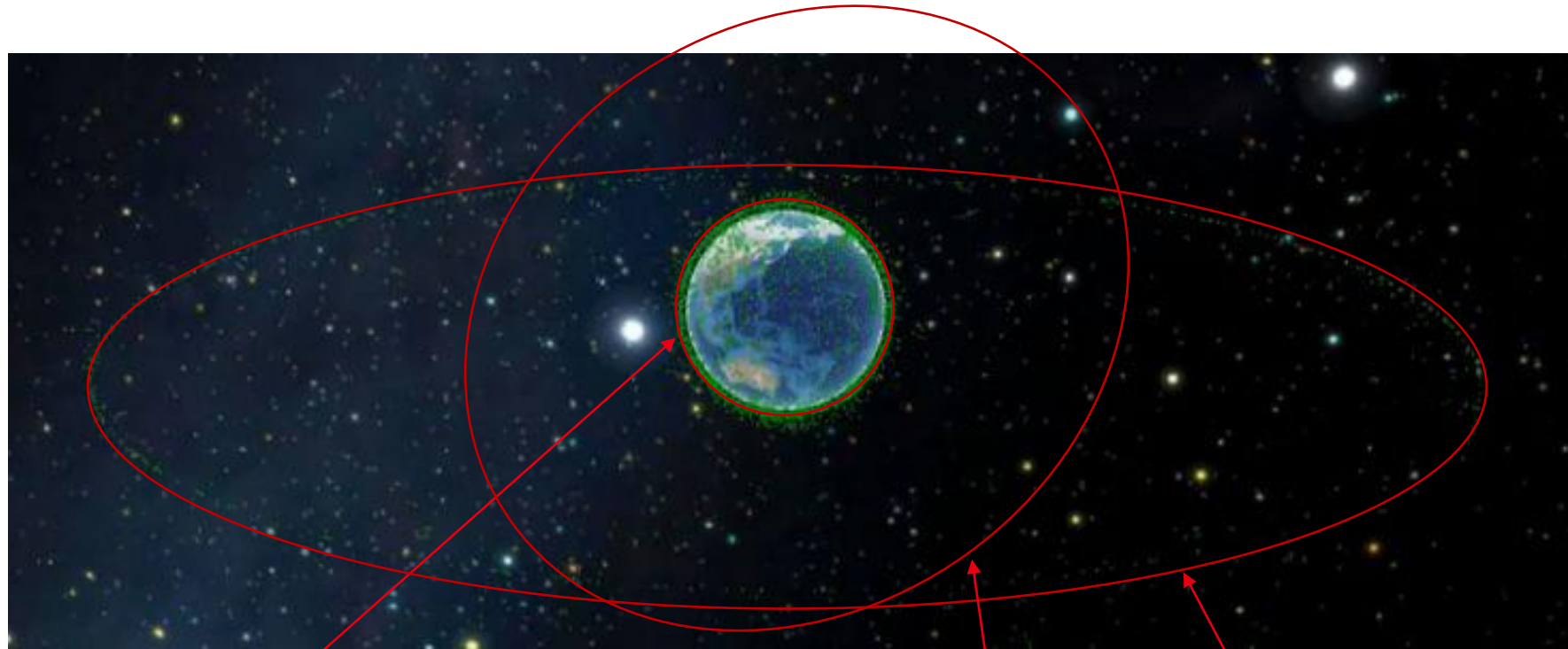
1. 宇宙開発・市場の今
2. 三菱電機の宇宙事業
3. 宇宙開発の今
4. 次世代デジタル衛星プラットフォームと  
開発・製造プロセス革新

# 1

## 宇宙開発・市場の今

---

- 約5,000機（LEO: 4,300、MEO : 140、GEO : 560）の衛星が運用中。

**LEO (300-600km)**

- 観測（光学・SAR）
- 通信
- 輸送（ISS）

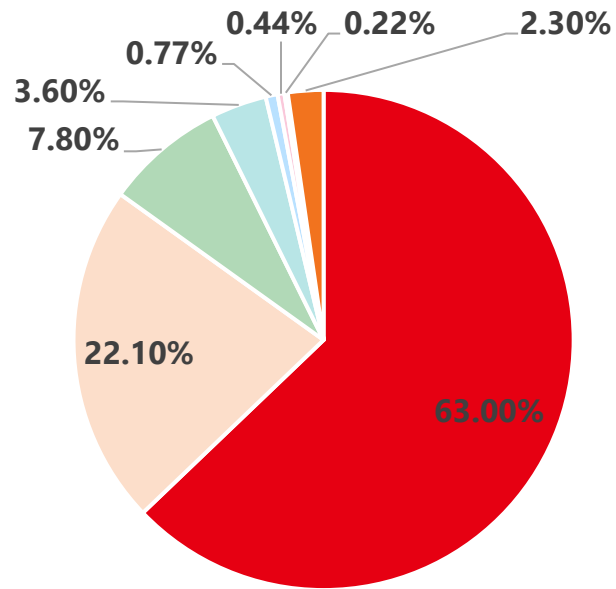
**MEO (20,000km)**

- 測位
- 通信

**GEO (36,000km)**

- 通信・放送
- 測位
- 気象観測

- 観測：ほぼリアルタイムで50cm分解能で観測できる時代に
- 通信：ウクライナにおけるStarlinkユーザー：20万ダウンロード以上
- 測位：センチメートル測位を実現⇒ロボット制御への応用に期待



- 通信
- 地球観測
- 技術開発
- 測位
- 技術実証
- 地球科学
- 宇宙観測
- 宇宙科学

### 用途別の衛星の数の割合

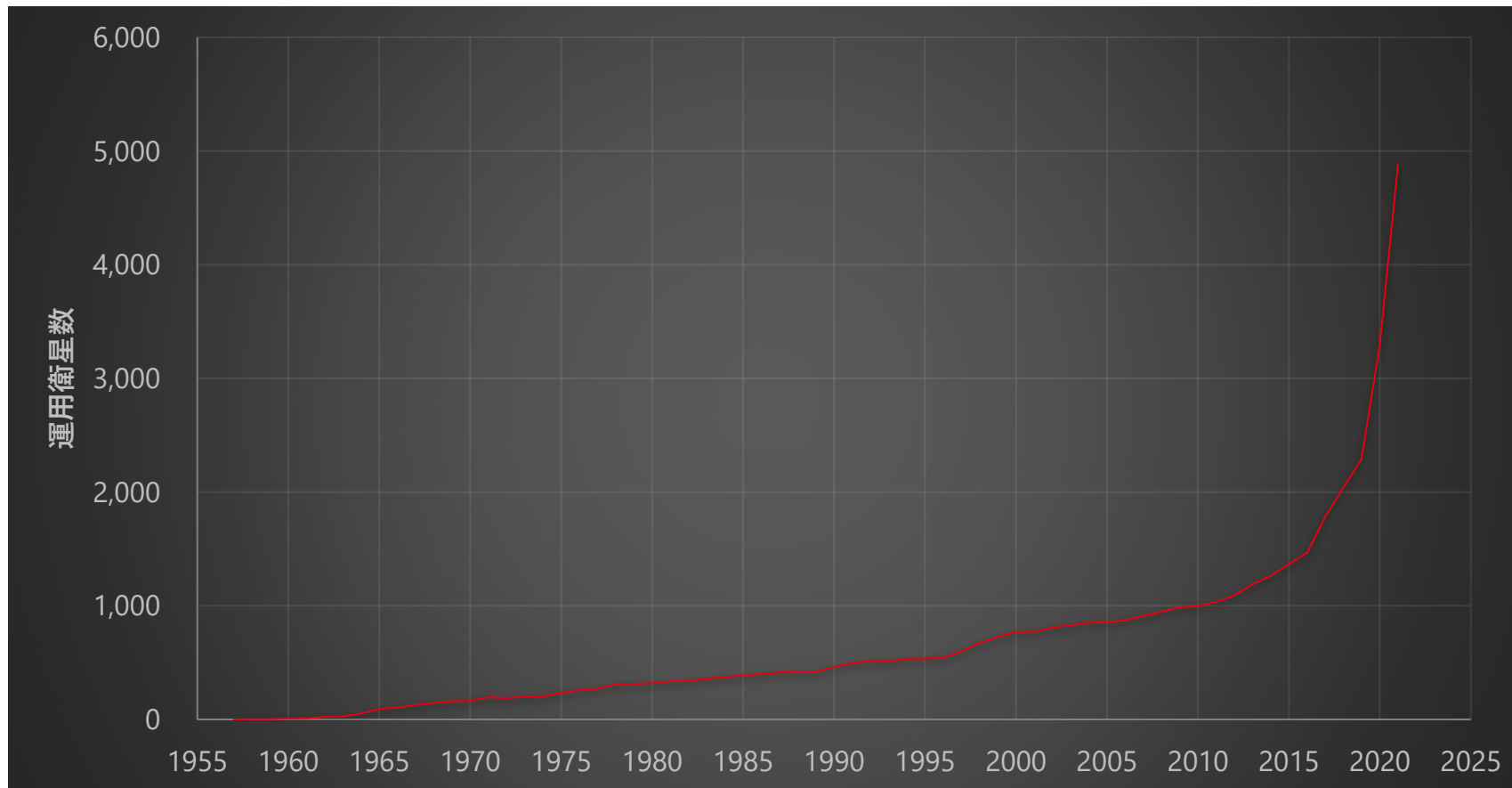


出典：Maxar社

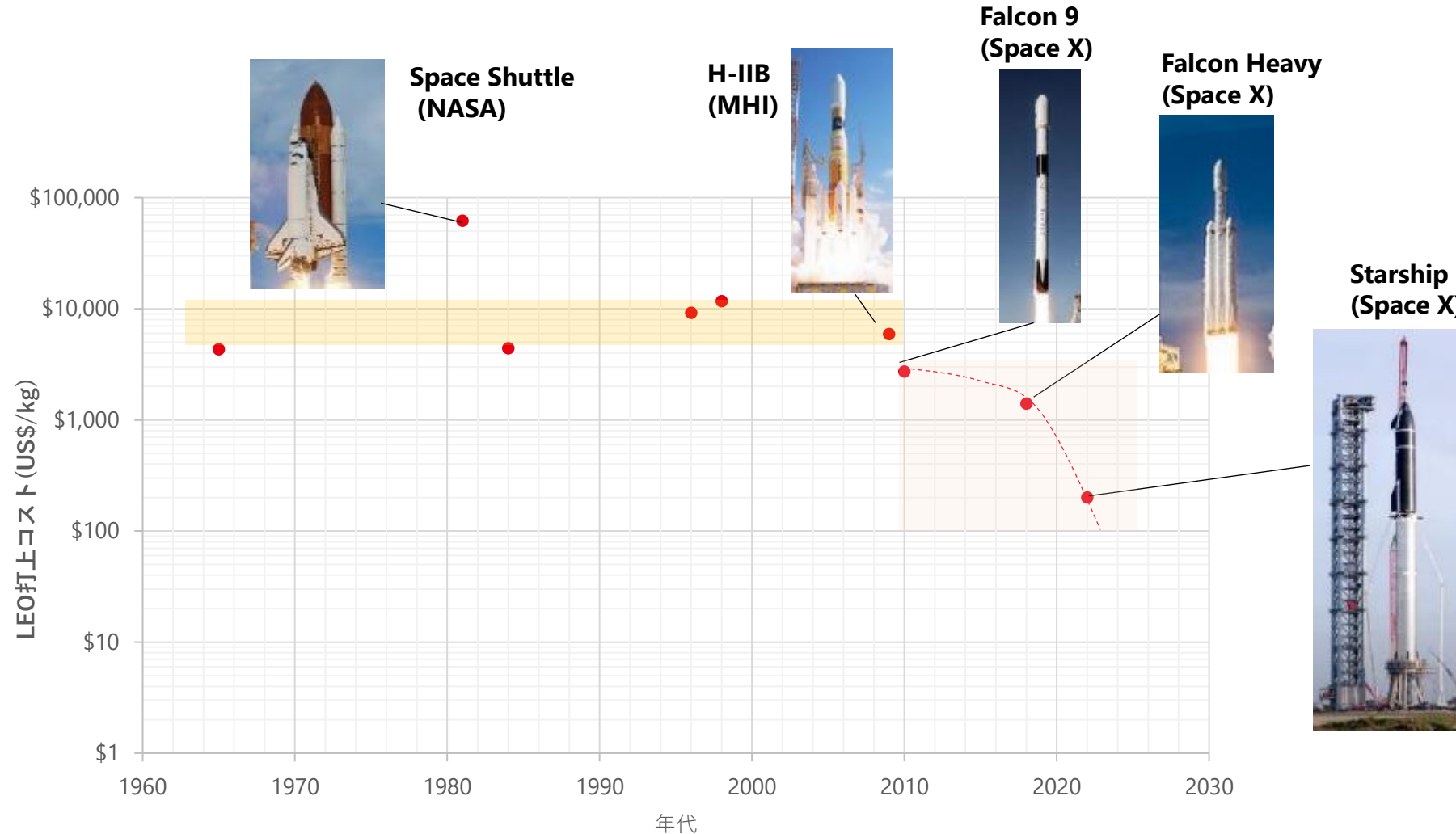
### 衛星画像の例（ウクライナ, 2022年）

3Dマップで可視化：Satellite Images Map of Ukraine  
 （東京大学、渡邊研究室）

- 2019年(2,290)から2021年(4,877)の2年間で2倍以上に増加 (2021年だけで1,702機打上げ)
- 多くは、通信向けLEOコンステレーション (Starlinkなど)



- 地球低軌道(LEO)への輸送コストは、長らく\$10,000/kg前後の時代が続いていた。
- SpaceXの再利用可能ロケットなどによる輸送革命により\$200/kgまで大幅に低下 (参考：FedEx 東京→LA(米国) \$100/kg)



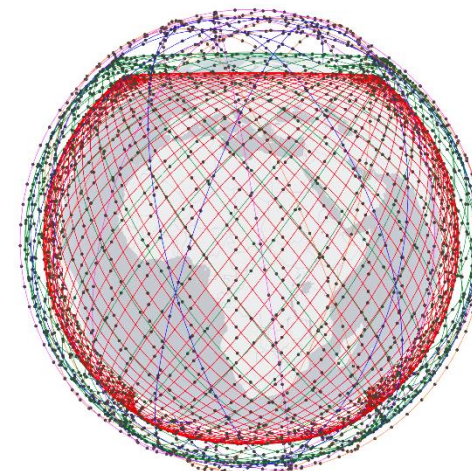
出典：SpaceX、JAXA Webページ



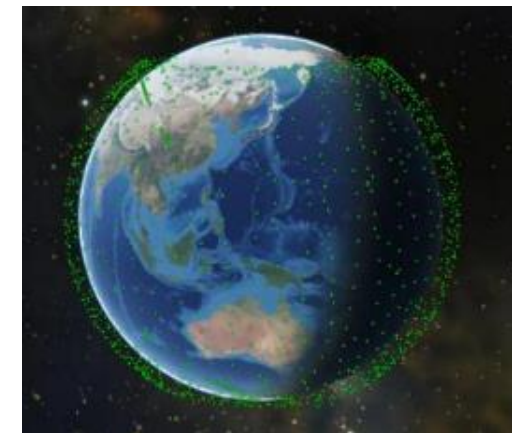
- Space X社：Elon Musk氏により2002年に設立
- 再利用可能な打上げロケットにより、打上げコストの大幅低減を実現
- Starlink（衛星コンステレーションによるインターネット通信）を開発・運用



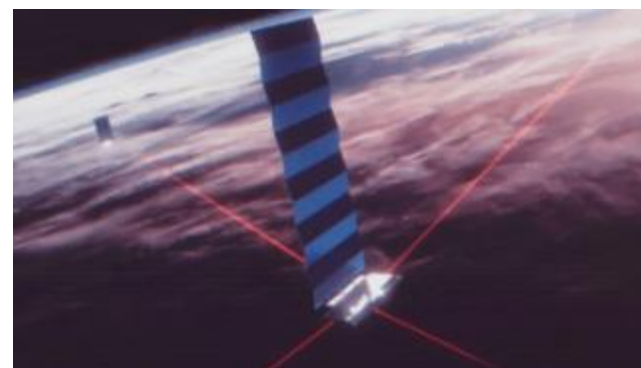
打上げロケット Falcon 9



Starlink軌道モデル



Starlink衛星の軌道（2,112機）



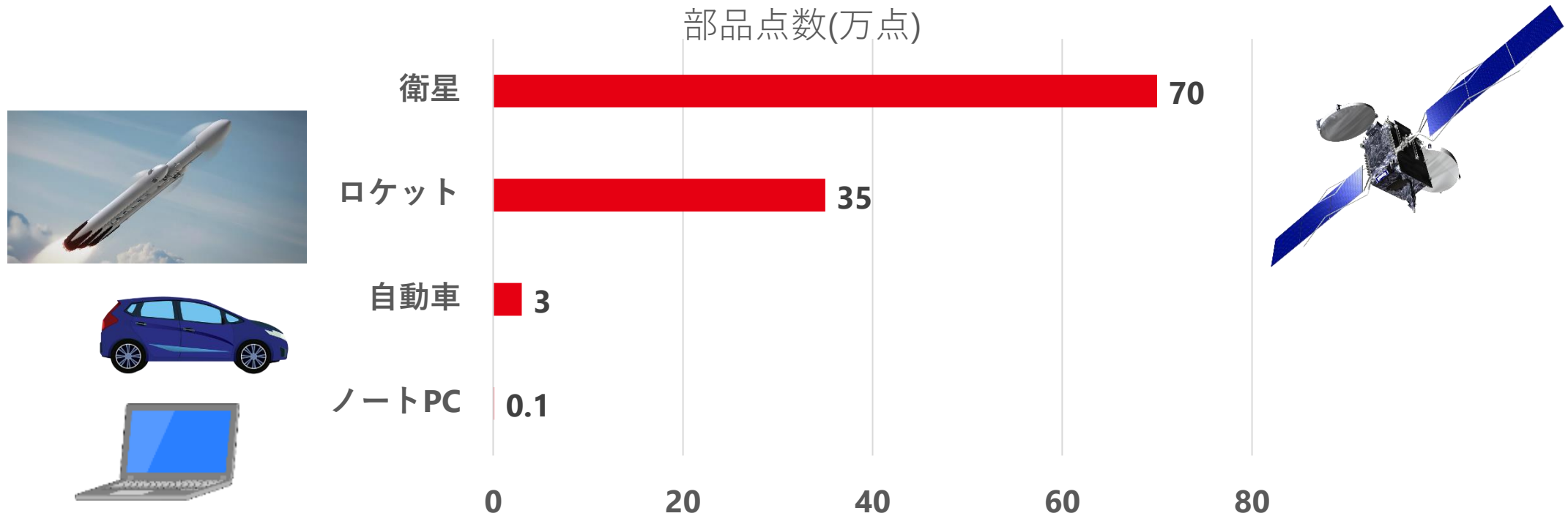
Starlink衛星と衛星間通信



Starlink衛星の搭載・展開



- 故障しても修理ができない、事前の検証・現場での改善ができない
- 厳しい宇宙環境：放射線、温度変化（-200~+100℃）、打上げ振動
- 極めて複雑なシステム：自動車と重量はほぼ同等（1~4トン）で、部品点数は約70万点

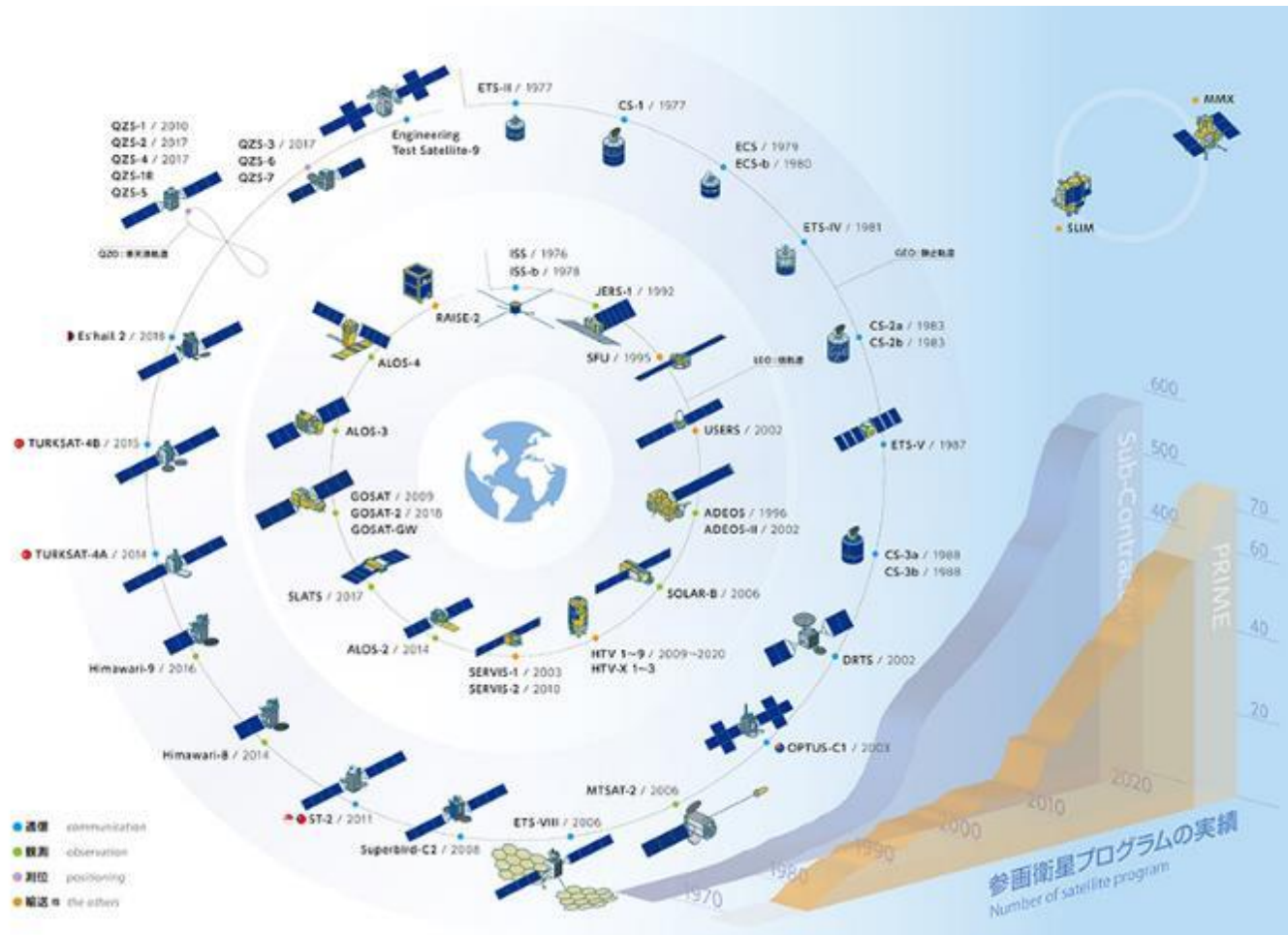


# 2

## 三菱電機の宇宙事業

---

- 1960年代に宇宙事業に参画、通信・放送、測位、観測、輸送などの人工衛星、追跡管制局、大型望遠鏡などを製造。
- 国内外で650以上のプロジェクトに参画する国内トップメーカー。



ひまわり8号／9号



- 気象現象に加え、地球環境の監視機能を持つ衛星

Es'hail-2



- カタール向け商用通信衛星 (2018)
- Ku帯24ビーム、Ka帯11ビームによる大容量ダイレクト放送サービスを提供

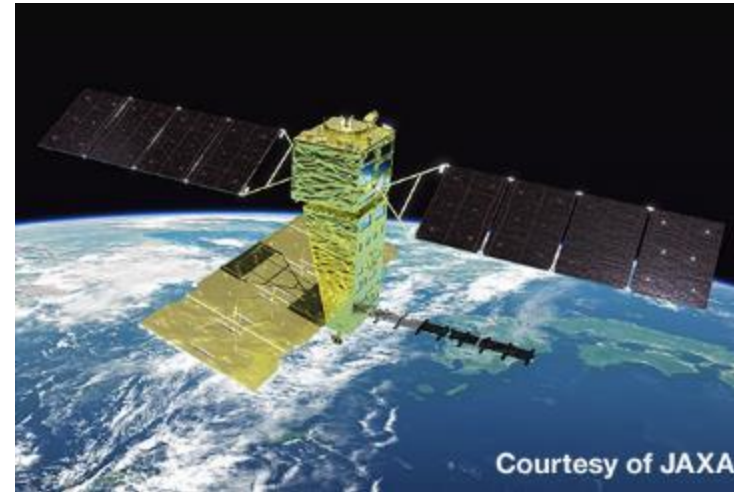
準天頂衛星システム (みちびき)



- GPS互換の測位・時刻サービスを提供
- センチメートル級測位サービスを提供



太陽観測衛星 (SOLAR-B)



先進レーダ衛星 (ALOS-4)



先進光学衛星 (ALOS-3)



温室効果ガス・水循環観測技術衛星 (GOSAT-GW)



### 新型宇宙ステーション補給機 HTV-X (2022-)



国際宇宙ステーション(ISS)への無人補給機



月近傍有人拠点「Gateway」に接近するHTV-X

### 小型月着陸実証機SLIM (2022)



月への精密着陸を実証

### 火星衛星探査計画 (MMX) 探査機システム (2024)



世界初の火星衛星往還ミッション

## 2.5

## 衛星製造試験設備

- 厳しい宇宙環境・打上げ環境を想定した試験（熱真空、振動・音響）を実施。
- 耐放射線確認は部品・コンポーネント単位で実施。
- 全ての条件を模擬できないため、数学モデルに基づくシミュレーション・解析を実施。



スペースチェンバ：熱真空試験



コンパクトアンテナテストレンジ(CATR)



新衛星工場（三菱電機鎌倉製作所）



音響試験設備

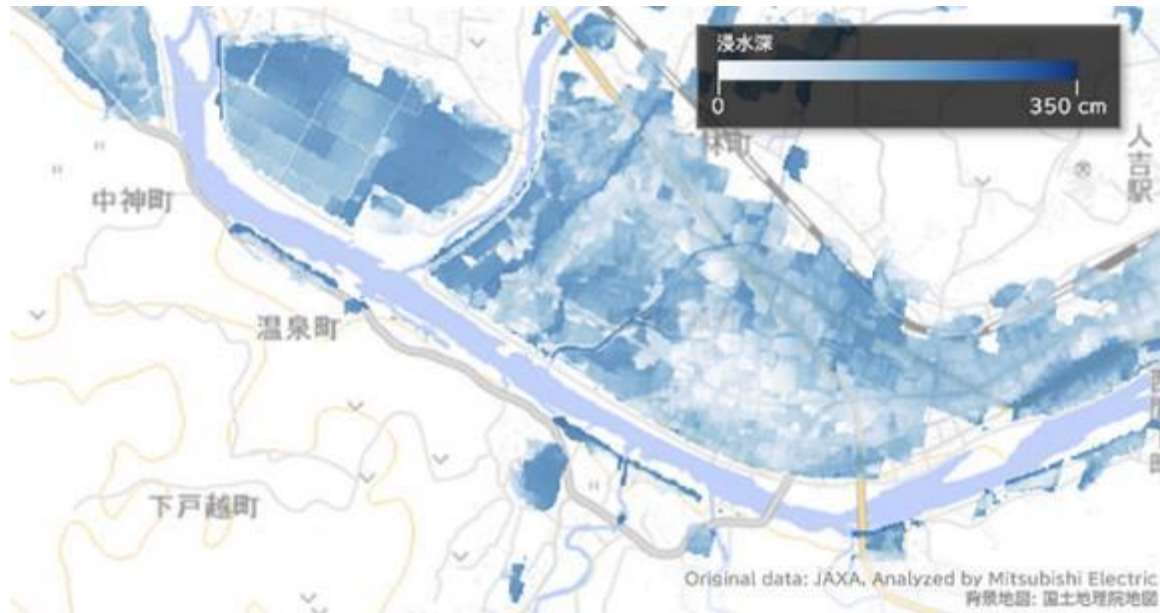


振動試験設備



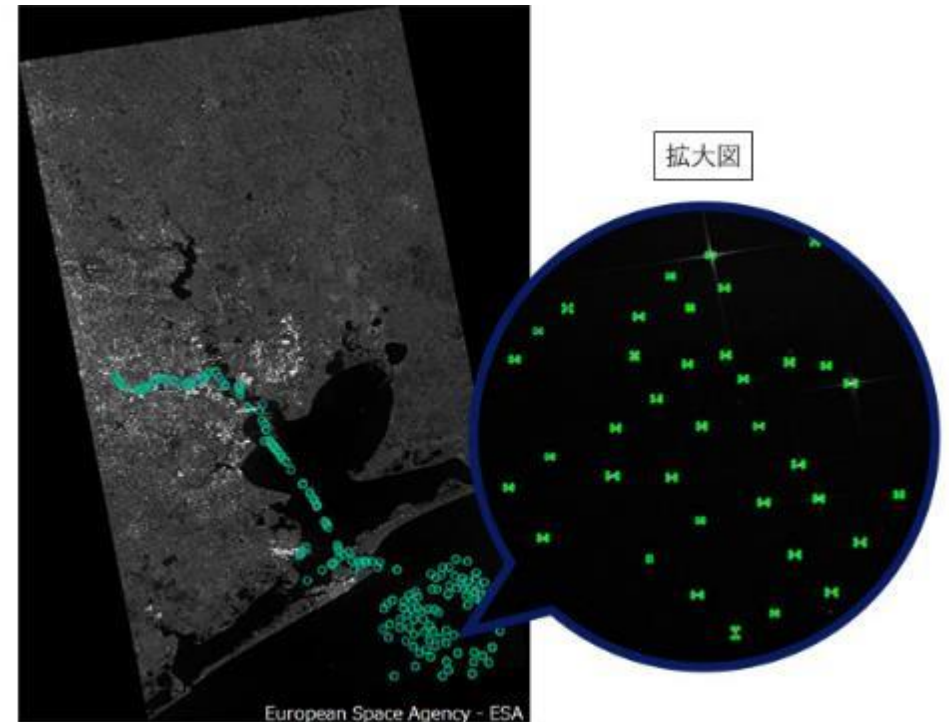
- 衛星が観測した光学・レーダー（SAR）画像とGISなどの融合により、防災・海洋監視等に有用な情報を提供します。
- 測量・GIS関連企業様と共に衛星データサービス企画（株）（SDS）を立ち上げて取り組んでいます。

### 防災ソリューション（災害発生時の被災状況把握例）



2020年7月に発生した豪雨時の人吉市における浸水深を、レーダー（SAR）衛星画像から解析

### 海洋ソリューション（船舶監視）



船舶検出結果（アメリカ、テキサス州、ヒューストン周辺）

レーダー（SAR）衛星画像からAI（Deep Learning）を用いた対象物検出技術によって海上の船舶を検出

# 3

## 宇宙開発の今

---

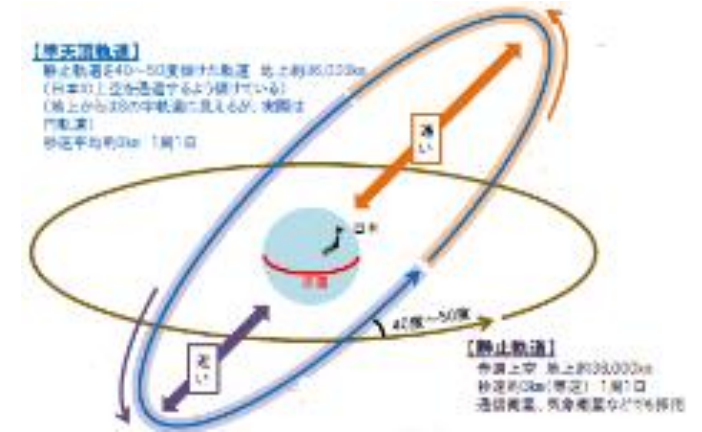
# 3-1

日本版GPSによりセンチメートル級高精度測位を実現

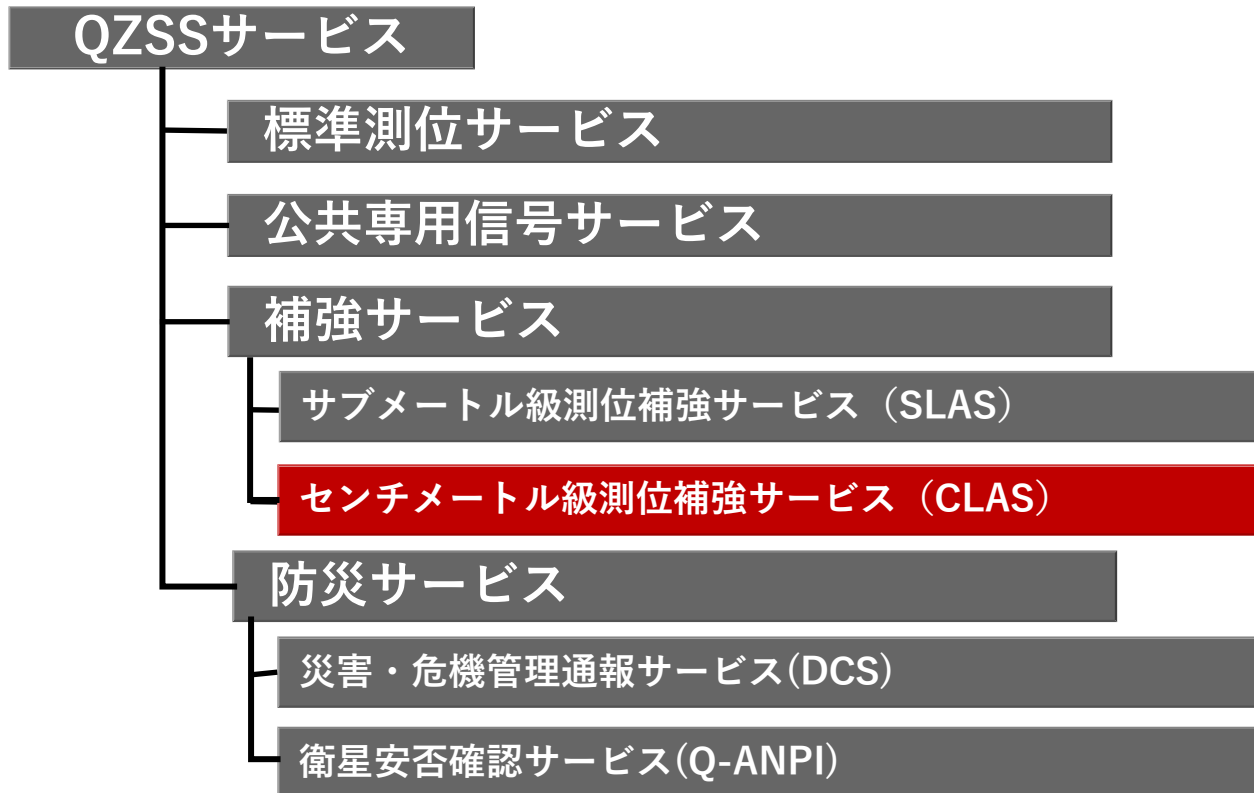
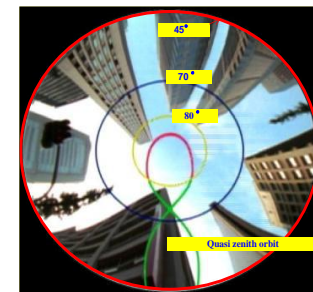
## 準天頂衛星システム



- 日本独自の衛星測位システムとして開発、2018年から4機体制による運用を開始
- 7機体制による自律測位システムを開発中（FY23以降運用）



日本の上空に長く留まる軌道（準天頂軌道）を採用



QZSS : Quasi-Zenith Satellite System  
 CLAS: Centimeter level augmentation service  
 SLAS: Submeter level augmentation service

- CLASは、準天頂衛星システムからの配信により、日本国内向けにセンチメートル精度を1分以内  
に実現する測位補強サービスを提供します。
- 高精度測位インフラの整備および低価格高性能受信機の普及により、高精度測位を利用するア  
プリケーションが普及すると期待されています。



自動車運転支援 (日産) \*1



自動接岸 (ニュージャパンマリン九州)



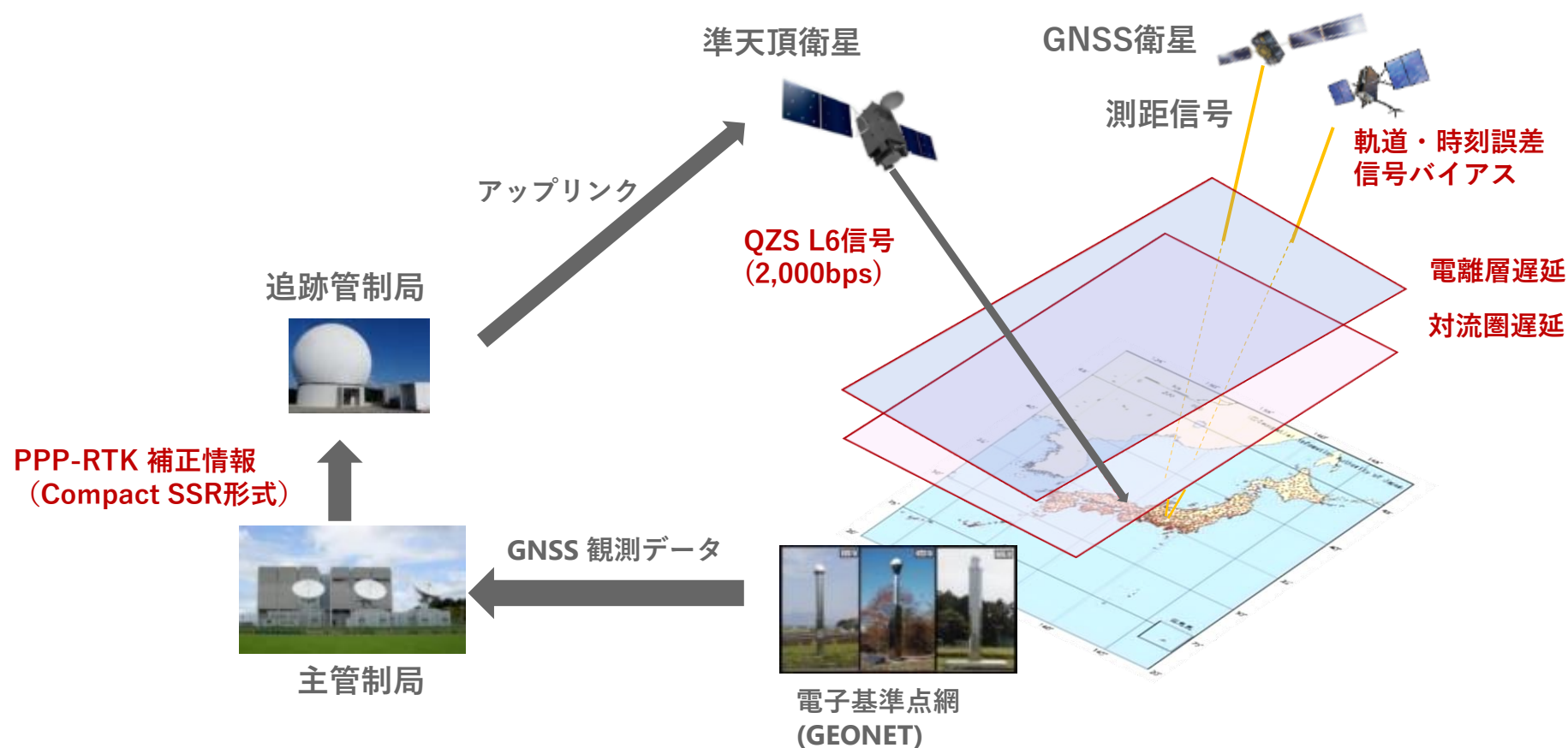
農機自動運転 (内閣府SIP: 北海道大学)



配送向けドローン (NEDO・楽天)

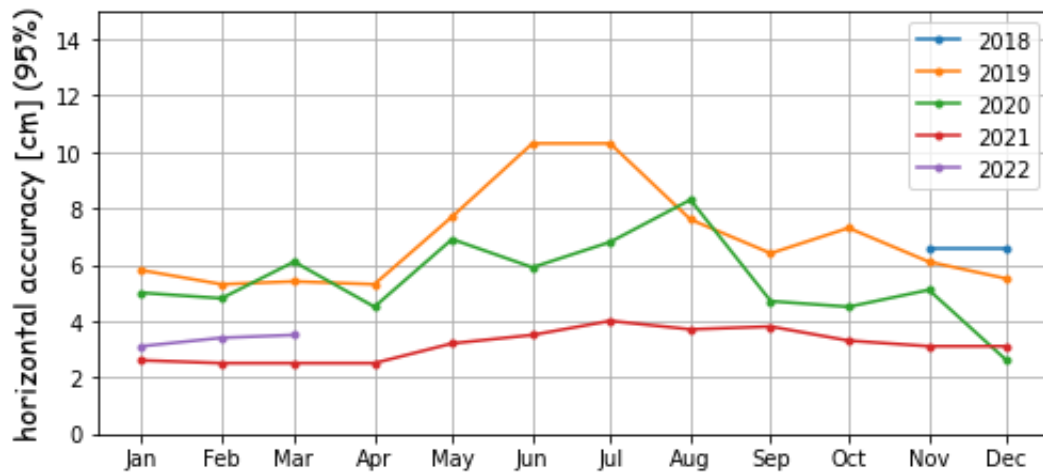
\*1 <https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/ariya.html>

- 全国の電子基準点によるGNSS観測データから、各種誤差要因（軌道・時刻誤差、信号バイアス、電離層遅延、対流圏遅延）をリアルタイム推定、衛星から配信
- SSR技術に基づくデータ圧縮技術により情報を約1/1000に圧縮、低速衛星回線（2kbps）による全国サービスを実現
- 伝送用フォーマットCompact SSRを定義、5G標準に採用

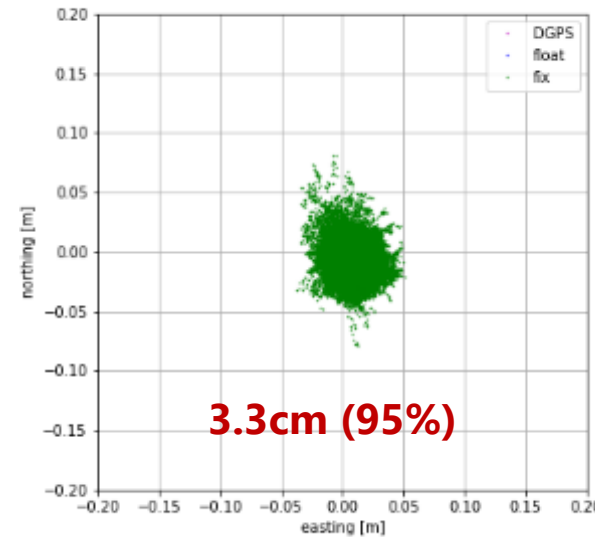


# 3-1-4 CLAS性能と利用促進

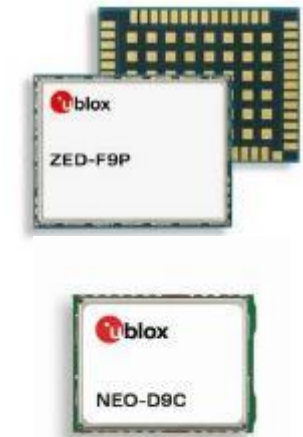
- 2018年11月のサービス開始以降、センチメートル級精度を安定して実現
- 低コストGNSS受信機モジュールによるCLASサポートが行われており、簡単に利用可能
- CLAS利用製品開発促進のため、インターフェイスを公開すると共に参照実証（CLASLIB）を公開



サービス全国評価（水平精度、72点の全国電子基準点データ使用）



低コストGNSS受信機(u-blox F9P)による測位結果の例



u-blox F9P/D9C

(From <https://qzss.go.jp>)

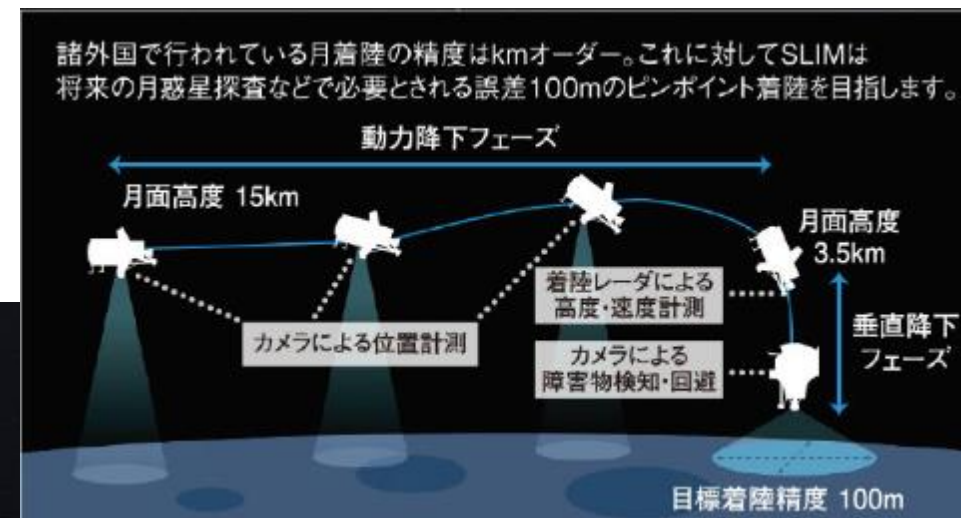
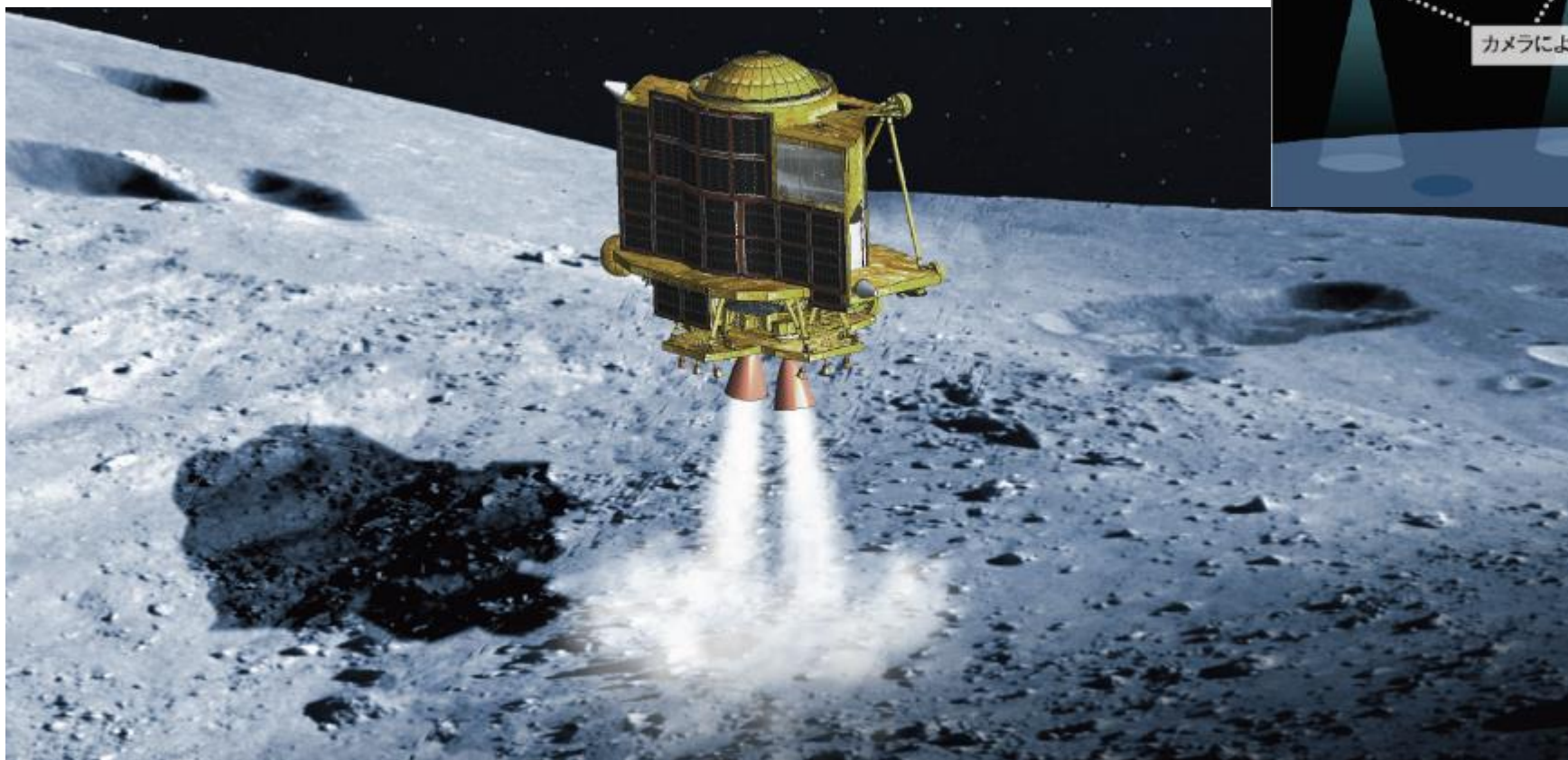
# 3-2

月における精密着陸、測位・通信インフラを実現

## 月近傍における宇宙システム

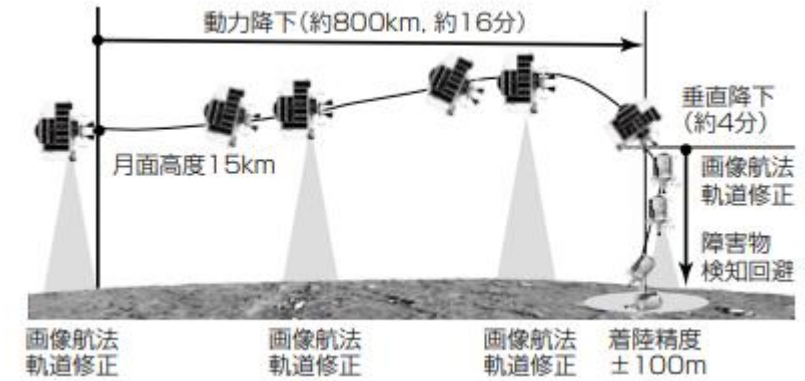


- 2023年に月へのピンポイント着陸（～100m）実証を主目的とした小型着陸実験機
- Sバンドのレンジ・レンジレート（RARR）データによる地上での軌道決定に基づき軌道遷移
- 月周回軌道投入後の着陸フェーズは搭載カメラ画像に基づく画像航法により、ピンポイント着陸を実施

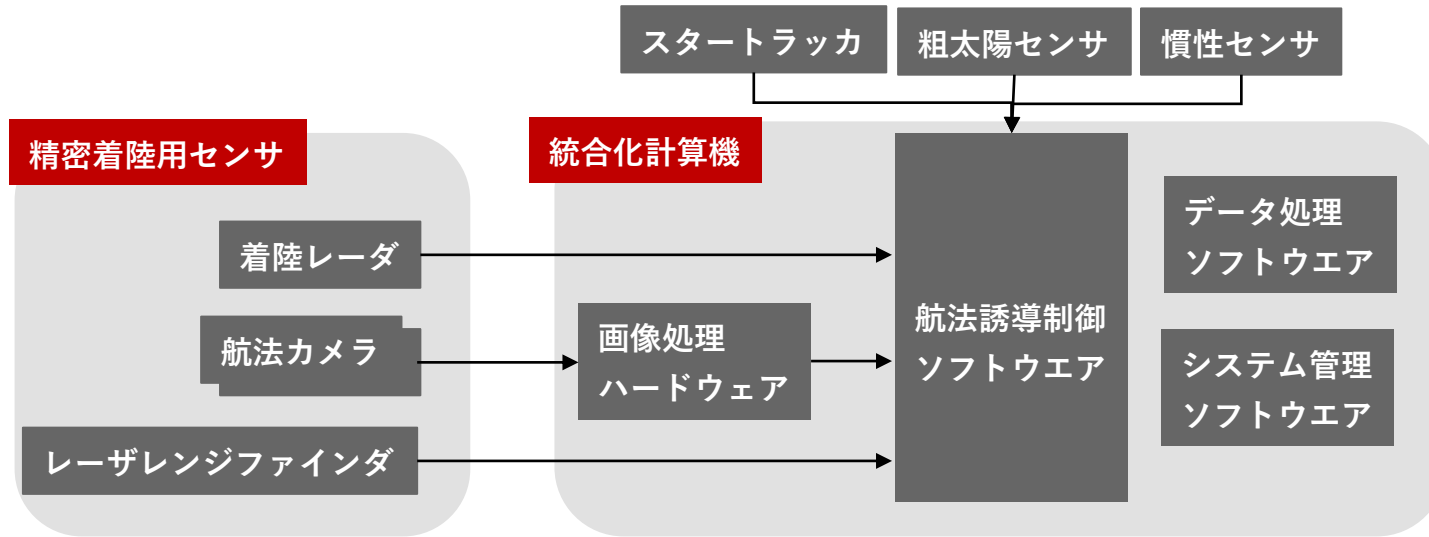


# 3-2-2 小型月着陸実証機SLIMの精密着陸技術

- 航法カメラ、着陸レーダ、レーザーレンジファインダを用いて月に対する相対位置・速度を計測、着陸航法誘導を実現。
- 統合化計算機において、クレータデータベースとのマッチングによる位置測定、凹凸が大きい場所を排除する着陸候補地点の抽出（障害物回避）を行う。

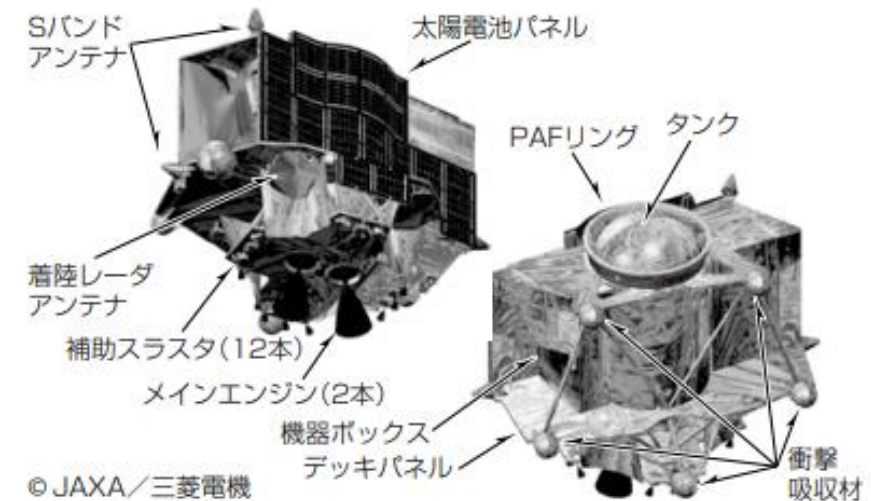


SLIM着陸シーケンス



月に対する相対位置・速度を検出

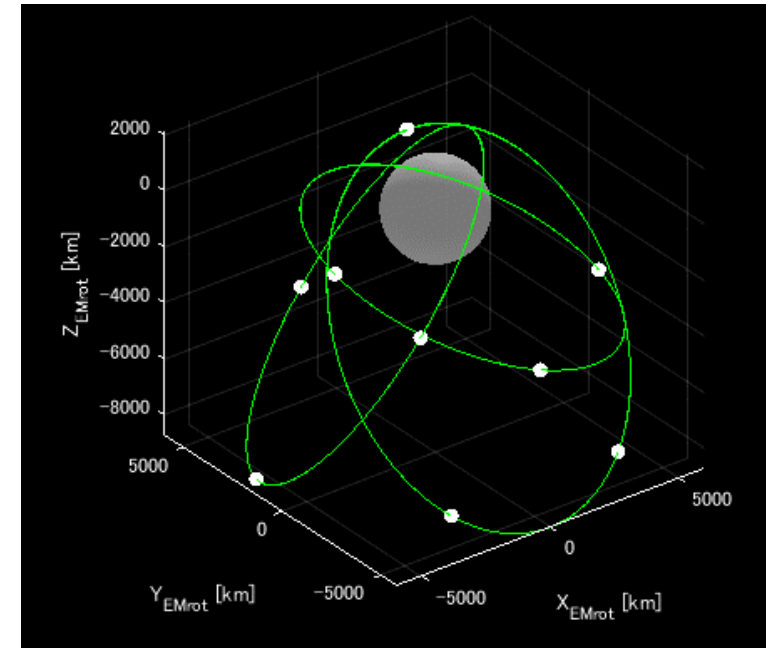
統合化制御系のシステムブロック図



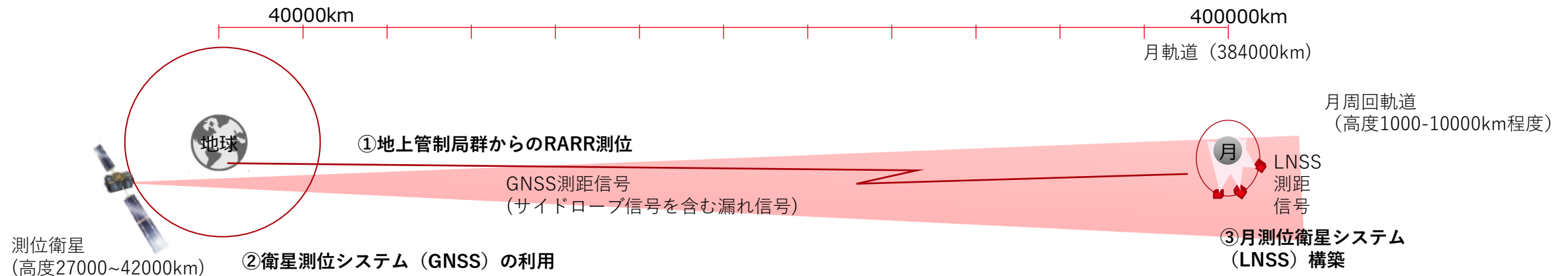
SLIM機体の構成

# 3-2-3 月・シスルナエリアでの測位システム

- 米国・欧州を中心に月・シスルナエリアでの測位・航法システム構築に向け開発が開始されている。
- 日本としてもQZS関連技術、SLIM成果活用等により、国際協調による月近傍のGNSS測位および衛星測位システム(LNSS)の構築の一翼を担うことを期待。
- ①地上管制局群からの測距（現状）、②月近傍におけるGNSS利用、③月測位衛星システムの構築の3ステップで整備。
- 月近傍におけるGNSS利用においては、高感度受信・衛星高頻度切替への対応等が必要。
- 月近傍では、地球・月・衛星の3体問題となり、軌道設計が複雑化する。月面・地球からの可視性に優れ、安定した軌道コンステレーションの選択が必要。



LNSS月周回コンステレーション軌道例



# 4

## 次世代デジタル衛星プラットフォームと 開発・製造プロセス革新

---



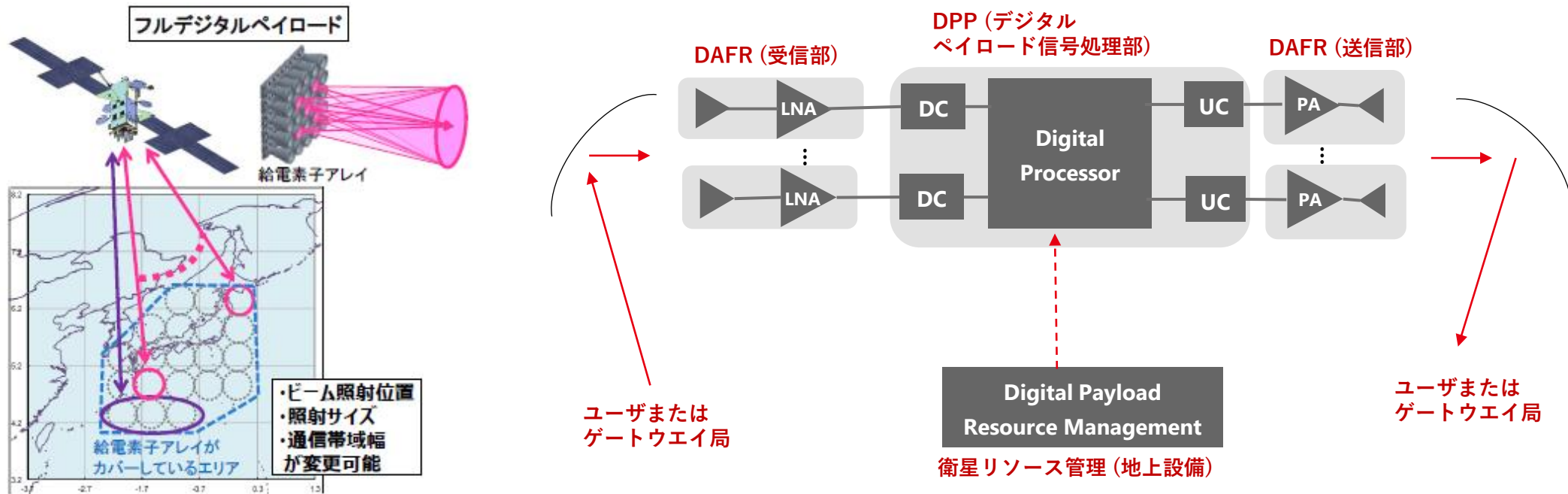
- 高速大容量の通信需要に対応できる世界最先端の通信衛星バス
- 発生電力25kW級の大電力・大容量を実現、通信衛星の高速大容量化の需要に対応
- 電気推進の採用による効率化、従来の化学推進と比べて打上げ費用を低減
- フルデジタルペイロードにより通信需要変化に柔軟に対応



ETS-9 (2023)

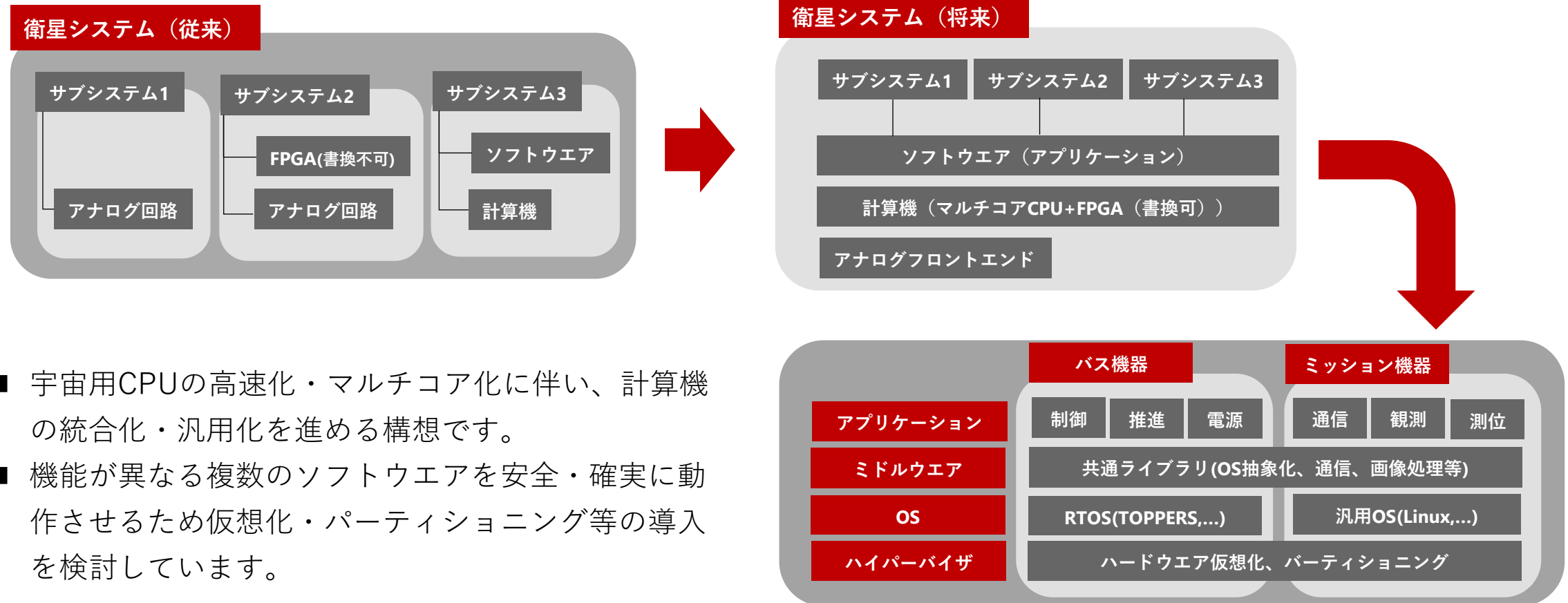


- 従来型通信ペイロードでは、想定される通信需要に対してハードウェア構成を決める必要があり、打上げ後の実運用期間（約15年間）の需要変化に対応できないという課題がありました。
- フルデジタルペイロードでは、デジタル化によりビーム照射地域や通信容量（帯域幅）等を軌道運用中に変更でき、需要の変化に柔軟に対応できるようになります。
- 打上げ後の機能変更技術は、ソフトウェア衛星の基盤技術として、通信衛星以外のミッションへの応用も期待されます。



フルデジタルペイロードの概略構成

- 従来の衛星システムでは、打上げ後の機能変更・拡張が困難、S/W・H/Wが専用設計であり再利用性が低い（開発期間が長い、開発コストが高い）等の課題がありました。
- 機能をソフトウェアで実装、フレキシブルでスケーラブルな衛星プラットフォームを実現することで、顧客のニーズに柔軟に対応し、また、軌道上における機能追加・更新が可能となります。



- 宇宙用CPUの高速化・マルチコア化に伴い、計算機の統合化・汎用化を進める構想です。
- 機能が異なる複数のソフトウェアを安全・確実に動作させるため仮想化・パーティショニング等の導入を検討しています。

- 従来の衛星システムで課題であった開発コストの低減・開発期間の短縮の実現を目的に、開発・製造プロセスのデジタル化、デジタルプラットフォームの整備を行います。

**デジタルトランスフォーメーション**  
(Digital Transformation)

組織横断/全体の業務・製造プロセスのデジタル化、“顧客起点の価値創出”のための事業やビジネスモデルの変革

**デジタルライゼーション** (Digitalization)  
個別の業務・製造プロセスのデジタル化

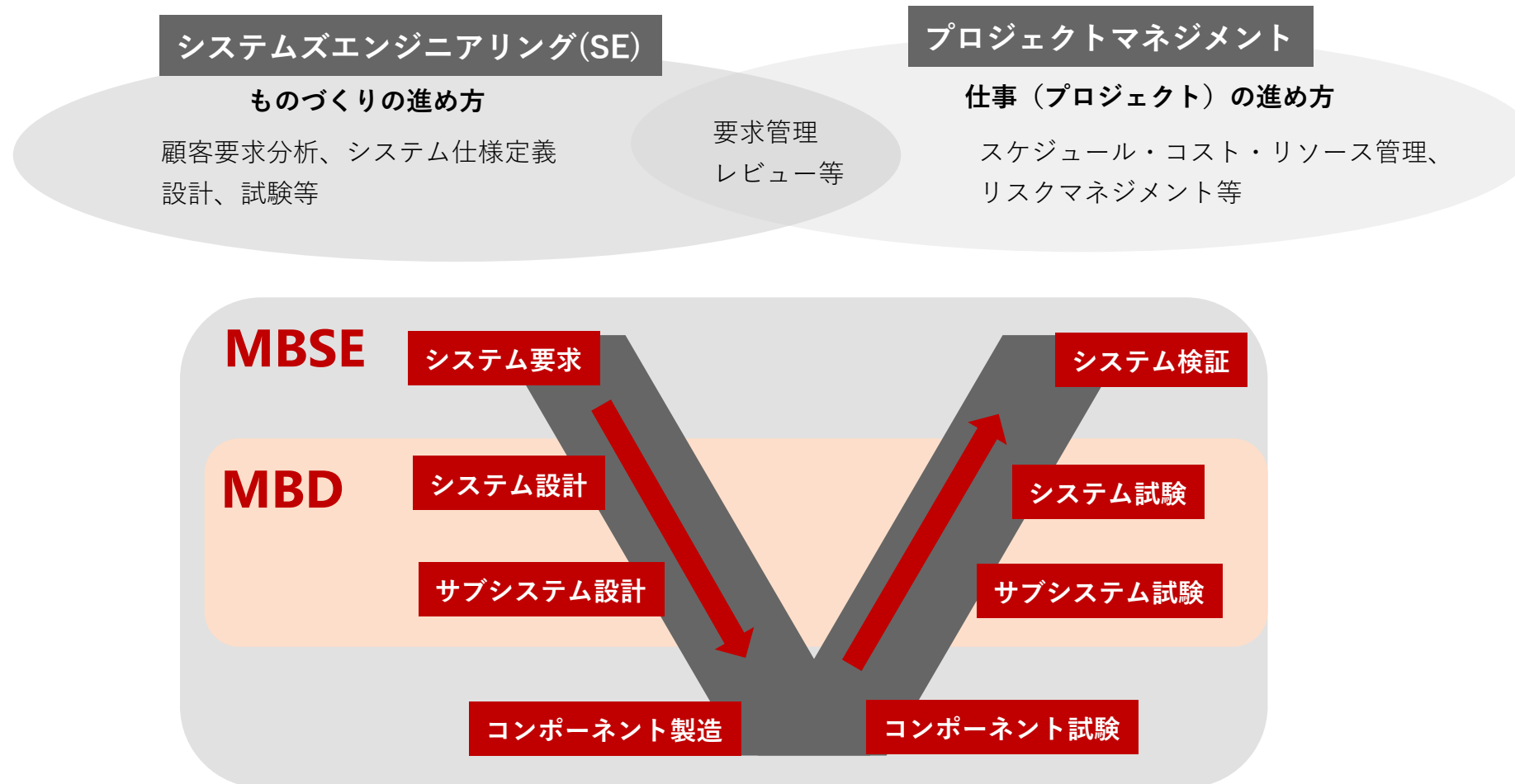
**デジタイゼーション** (Digitization)  
アナログ・物理データのデジタルデータ化

**広義のDXの構造**

	未着手	デジタイゼーション	デジタルライゼーション	デジタルトランスフォーメーション
ビジネスモデルのデジタル化				ビジネスモデルのデジタル化
製品・サービスのデジタル化	非デジタル製品・サービス	デジタル製品	製品へのデジタルサービス付加	製品を基礎とするデジタルサービス デジタルサービス
業務のデジタル化	紙ベース・人手作業	業務・製造プロセスの電子化	業務・製造プロセスのデジタル化	顧客とE2Eでのデジタル化
プラットフォームのデジタル化	システムなし	従来型ITプラットフォームの整備		デジタルプラットフォームの整備
DXを進める体制の整備	ジョブ型人事制度	CIO/CDXOの強化	内製化	
	リカレント教育	リモートワーク環境整備		

**DXフレームワーク**

- システムズエンジニアリングは、プロジェクトマネジメントと対をなす、ものづくりの進め方の知識体系。
- MBSEは、従来の文書に基づくシステムズエンジニアリングを、**モデルを活用することにより高品質・効率的に実施する**手法。
- 複雑化・大規模化・短納期化する衛星システム開発を円滑に進めるため、MBSEの導入を進めている。



- MBSE適用の課題に対して、プロセス・モデリングの標準化、教育プログラムの拡充等を並行して進めている。

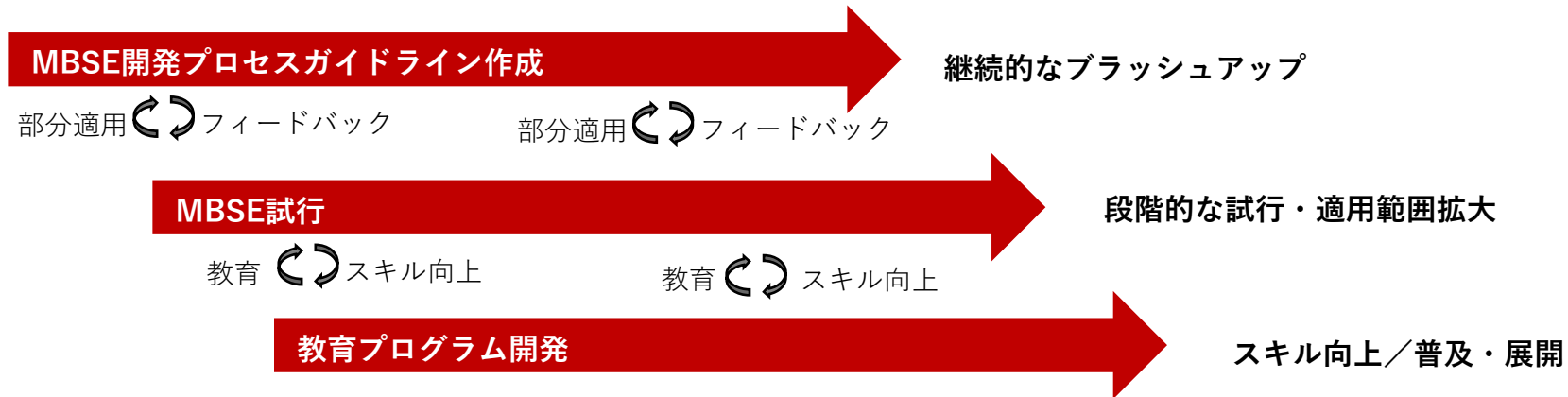
### MBSE適用の課題

- ① MBSE開発プロセスの成熟度
- ② MBSE知見の蓄積
- ③ SE/MBSEスキルの獲得
- ④ 変化への抵抗

- プロセス(考え方)・方法論・モデリング規約の成熟化

宇宙機・衛星開発の業務分析や試行(MBSE試行)を繰り返しながら社内標準プロセスの構築および活用するモデルの検討(MBSE開発プロセスガイドライン)を行っている。

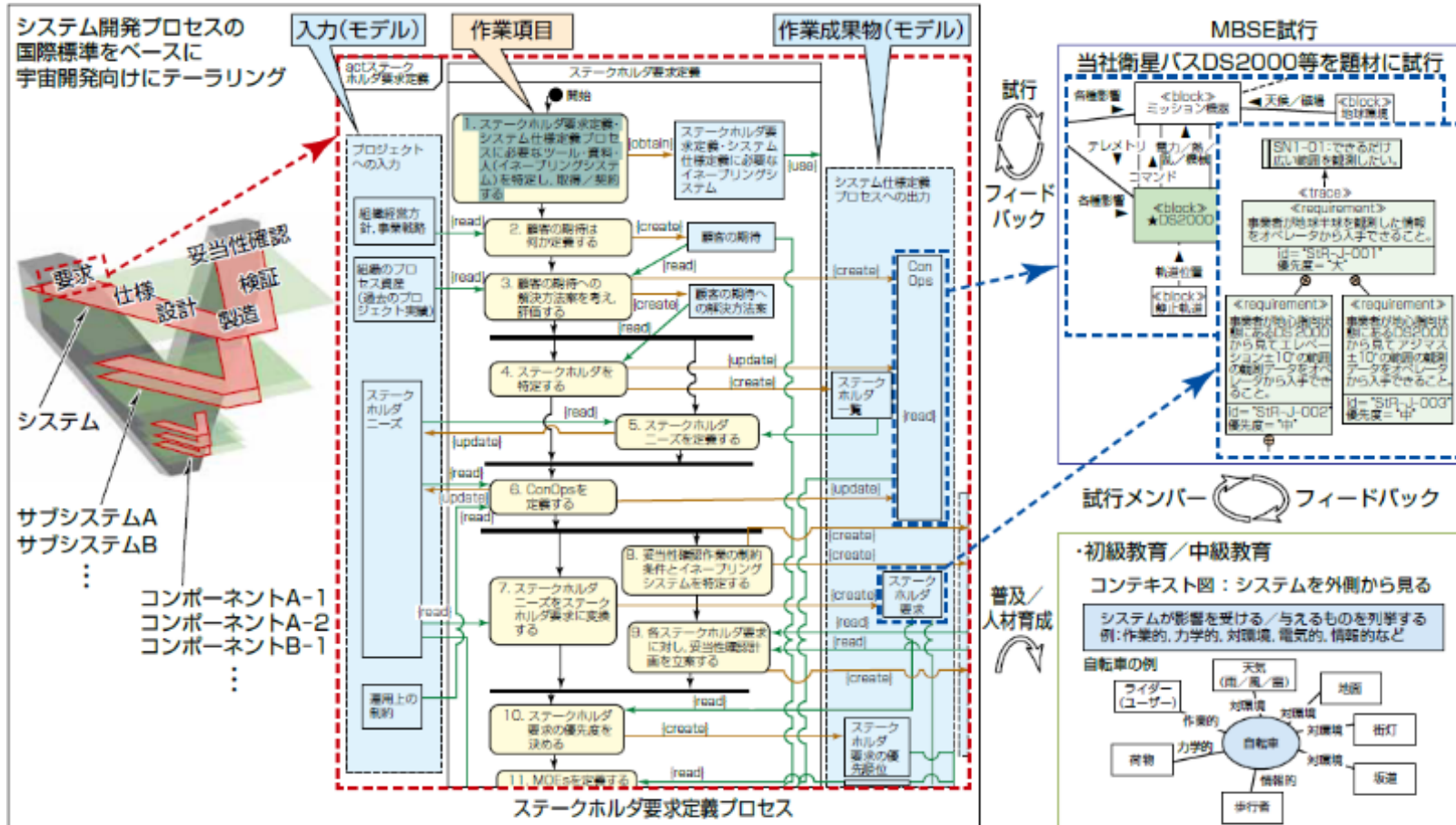
- 教育プログラムの開発と、段階的な適用範囲拡大を進めている。



### MBSE適用ステップのイメージ



- 国際標準ISO15288、INCOSE※1ハンドブック等をベースに宇宙開発向けにテーラリングを実施、開発プロセスの作業項目、入力・成果物等を定義、ガイドライン化した。
- MBSE試行により、品質向上・効率化の観点からMBSEプロセス自体の改善に関する知見を得ると共に、今後の課題を抽出した。また、モデル化により暗黙知を排し、設計意図の明文化を図ることができた。



**MBSEプロセス自体の改善に関する知見**

**品質向上の観点**

ベテランが暗黙知で実施しており、この試行で明確化された作業内容や手順等

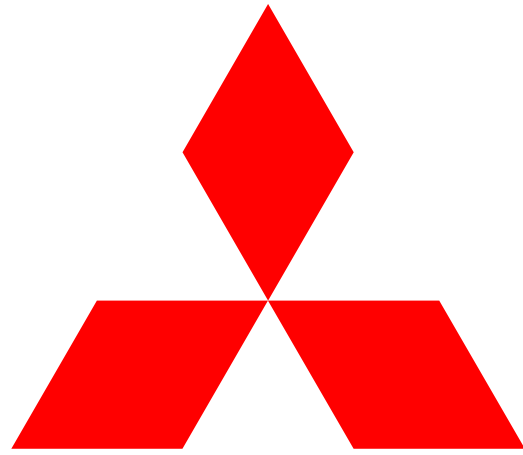
**効率化の観点**

モデル・ツール等による作業量削減、期間短縮方法等

**今後のプロセス上の課題**

再利用開発と新規技術開発ではプロセスの適用方法や難易度、効果に違いがある等

- 通信・観測・測位等に関する宇宙開発の今とこれからについてご紹介しました。
- 宇宙利用は、現在も急速に進んでおり、今後もBeyond 5Gにおける通信や月・火星領域への拡大など、広く発展していくことが期待されます。
- お客様の多様なニーズに迅速・低コストでお応えするため、デジタル化、ソフトウェア化による衛星・宇宙機プラットフォームの革新、開発・製造プロセスの革新に取り組んでいます。
- これからも三菱電機の宇宙事業にご期待ください。



**MITSUBISHI  
ELECTRIC**

*Changes for the Better*