

宇宙開発利用の進歩に貢献する モデルベース開発技術

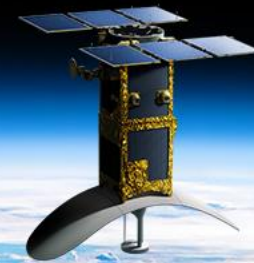
日本電気株式会社

NECスペーステクノロジー株式会社

Contents

1. 宇宙開発から宇宙を利用する時代へ
2. 小惑星探査機はやぶさ 2 の開発
3. 探査機開発に貢献するモデルベース技術
4. 搭載機器開発に貢献するモデルベース技術

宇宙開発から宇宙を利用する時代へ

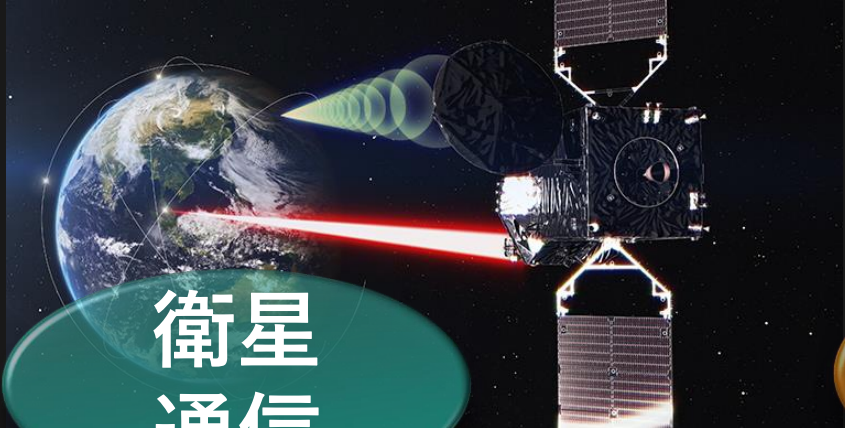


宇宙開発から宇宙を利用する時代へ



地球
観測

A satellite with solar panels is shown in orbit above the Earth, which is partially covered in clouds. The satellite is yellow and black.



衛星
通信

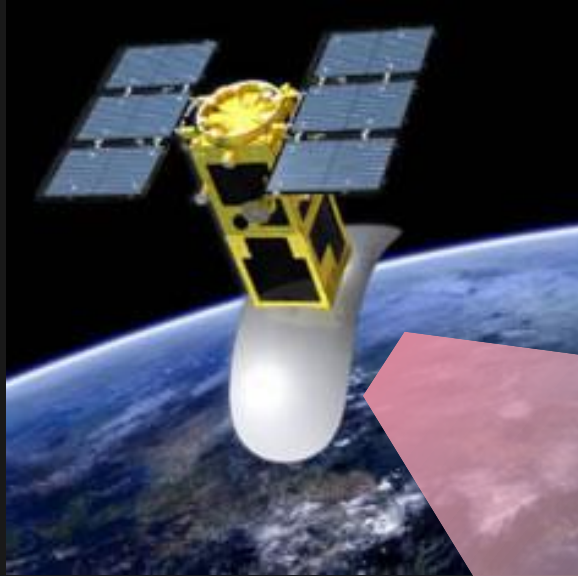
A satellite is shown in orbit above the Earth, with a red laser beam directed towards the ground. The satellite has a large parabolic antenna.



衛星
測位

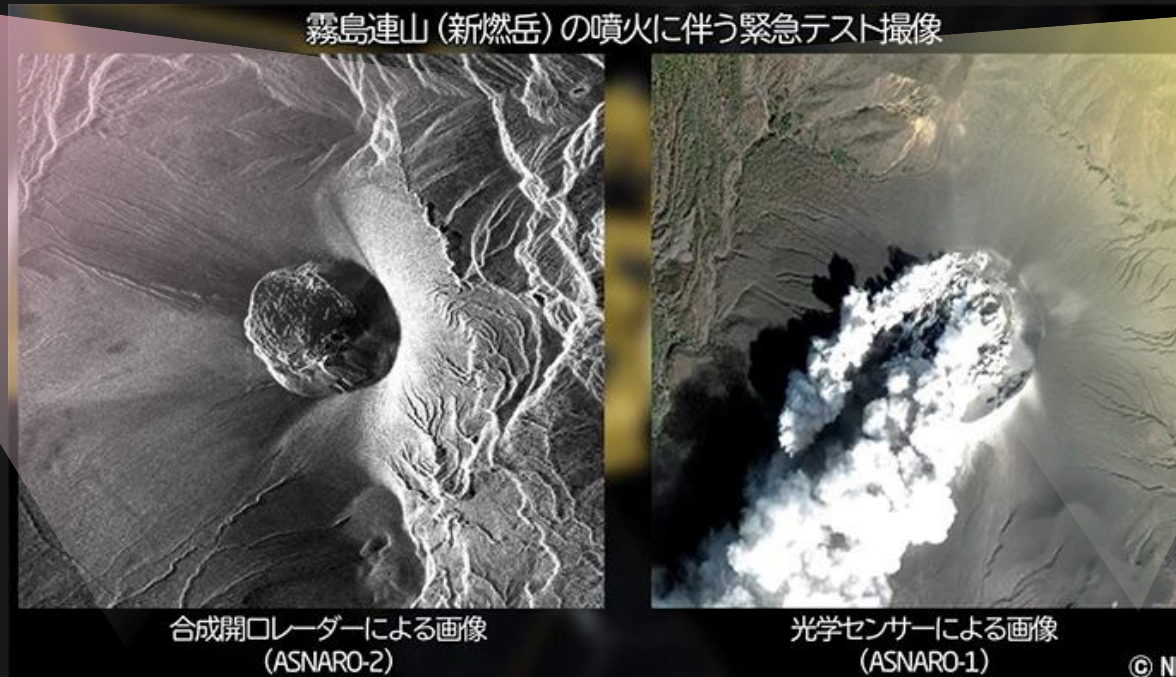
Several satellites are shown in orbit above the Earth, with white lines representing their orbits and signals. The Earth is shown in blue and white.

地球を観測する 2 種類のセンサー



合成開口レーダー (SAR) による観測

- 電波を放射して、その反射波を観測
- 雲を透過するほか、夜間でも観測できる



光学センサー による観測

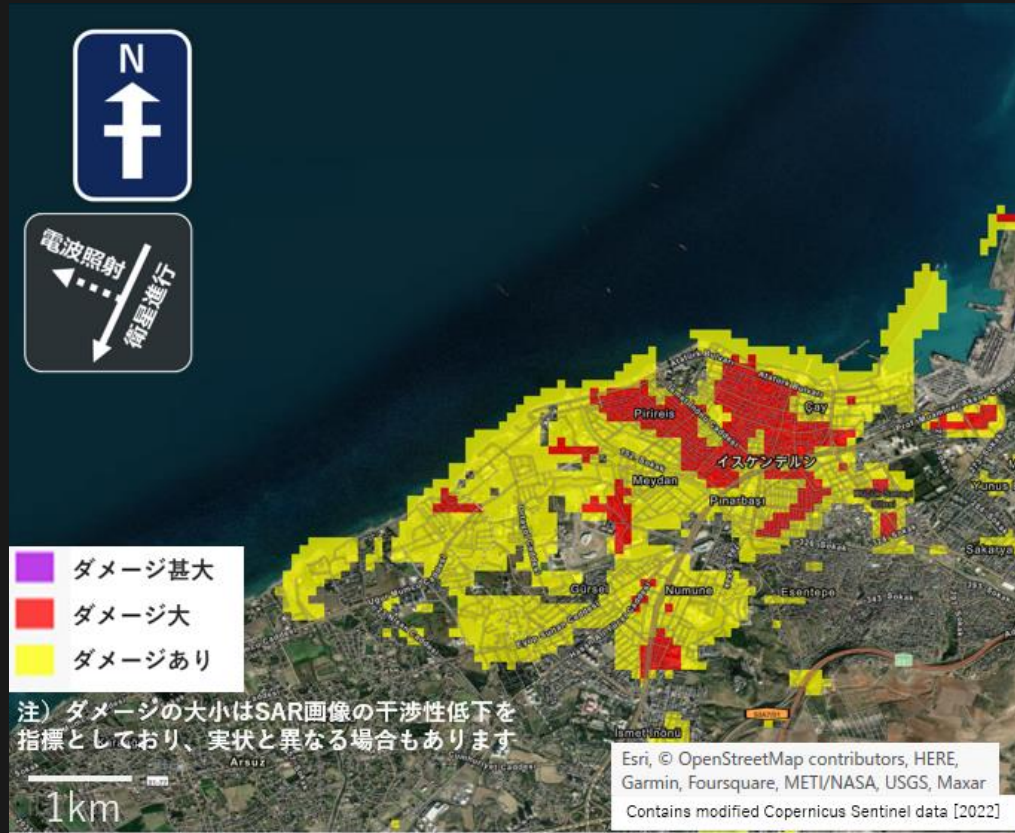


- 太陽光の反射を利用
- 色のついた画像が得られる

<https://emira-t.jp/special/19392/>

事例1：宇宙からのデータを防災に役立てる

トルコ地震被災状況の可視化



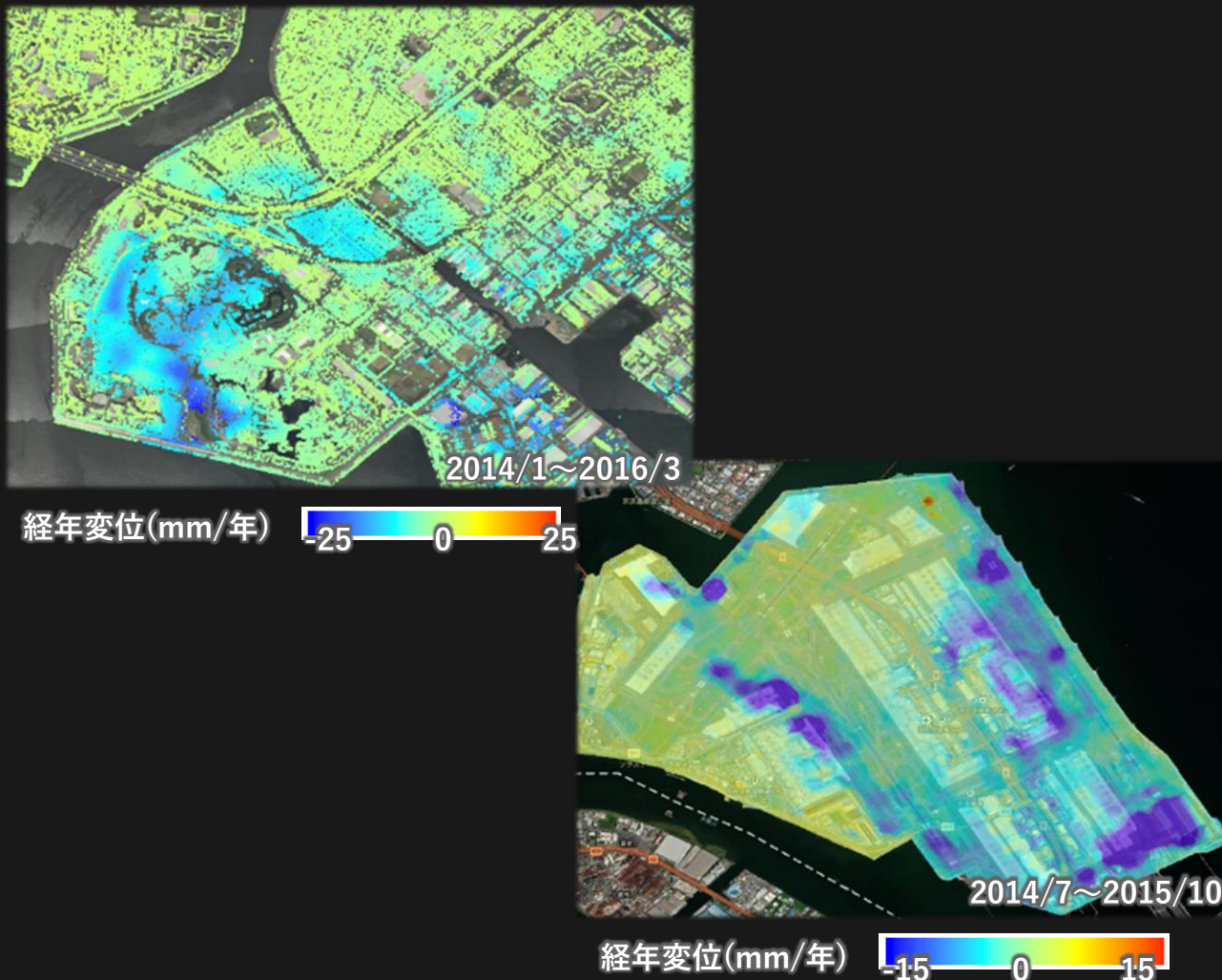
衛星SAR画像解析により、広域（数100km四方）の被災状況（主に構造物崩壊エリアの特定）を迅速に可視化（被災後1-2日以内）



- 広域にわたる被災状況の迅速なスクリーニングが可能
- がれき処理エリアの優先順位付け、アクセスポイントの可視化が可能

事例 2 : 宇宙からのデータをインフラ管理に役立てる

測量では難しい広域・高密度な変位計測



広域・高密度な計測により、面的に変位を高精度（ミリ単位）で把握



- 変位量が大きく、ストレスが大きいと想定される箇所を把握することで、測量・検査が必要なエリアを特定する
⇒ 測定業務の効率化

NECの宇宙事業 概観

宇宙に関わる全てのアセットに豊富な実績を有する

人工衛星

- 地球観測
- 科学
- 通信・放送
- 技術試験
- 測位

衛星サブシステム

- センサーサブシステム
- 測位ペイロード
- 通信ペイロード

衛星搭載コンポーネント

- 衛星バスシステム
 - ・TTC機器
 - ・太陽電池パドル
 - ・GPS受信機
 - ・搭載用計算機
 - ・データレコーダー 等
- 通信ペイロード
 - ・周波数変換器
 - ・増幅器 等
- 地球観測ミッション
 - ・変調器

地上システム

- 衛星追跡管制システム
- ロケット追跡管制システム
- 衛星測位システム
- リモートセンシング地上システム
- 深宇宙探査システム

利用システム&サービス

ロケット搭載機器

宇宙ステーション



NECの宇宙事業 事業領域

◆ 宇宙システム

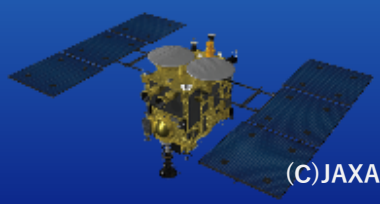
日本初の人工衛星



(C)JAXA

おおすみ 1970年
(24kg)

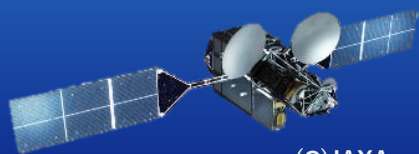
科学衛星・探査機



(C)JAXA

はやぶさ2 2014年
(600kg)

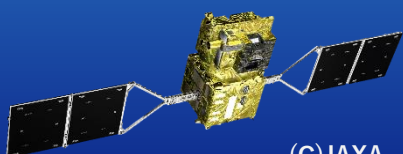
通信・放送衛星



(C)JAXA

きずな 2008年
(2.7t)

地球観測衛星



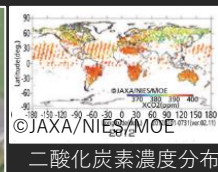
(C)JAXA

しきさい 2017年
(2.0t)

◆ 衛星搭載 大型観測センサ - 光学/SAR/赤外/ハイパースペクトル等



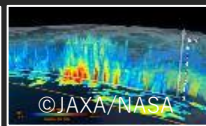
温室効果ガス観測センサ (TANSO)



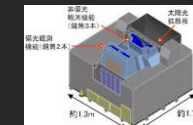
二酸化炭素濃度分布



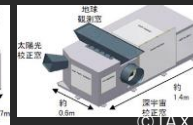
二周波降雨レーダ (DPR)



降水の三次元分布



赤外含む多波長センサ(SGLI)

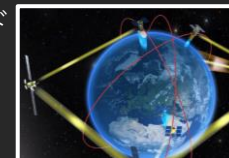


◆ 衛星搭載 ペイロード - 通信/測位

準天頂
測位ペイロード



光通信ペイロード
GEO-LEO



◆ 地上システム - 追跡/運用管制/データ処理等



追跡管制室

追跡管制局



©JAXA



衛星通信アンテナ

記録/処理設備

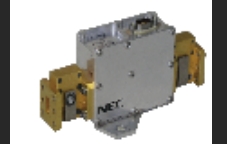


◆ 衛星/ロケット搭載機器 - トランスポンダ/太陽電池パドル等

イオンエンジン



低雑音増幅器



太陽電池パドル



マルチバック型
周波数変換器



GPS受信機



テレメトリ送信機



小惑星探査機「はやぶさ2」の開発



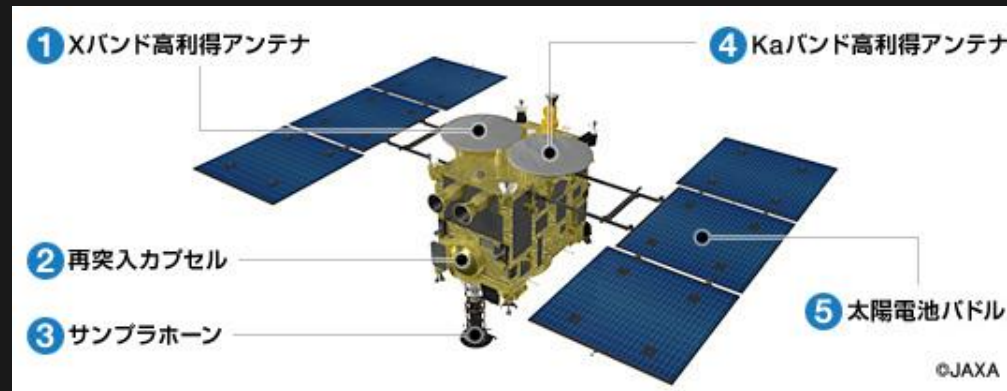
A. Yoshida
イラスト:池下章裕

「はやぶさ2」のミッションとNECの関わり



「はやぶさ2」とNECの関わり

NECは、システム設計/組立/試験/運用支援を担当
以下の搭載機器の設計・製造も担当



ミッション

小惑星のサンプルを地球に持ち帰ることにより、
地球・海・生命の起源と進化に迫る

- 2014年 種子島宇宙センターから打ち上げ
- 2018年 リュウグウに到着
- 2020年 地球に帰還しカプセルを投下後、
拡張ミッションで再び深宇宙へ



<https://jpn.nec.com/ad/cosmos/hayabusa2/nec/index.html>

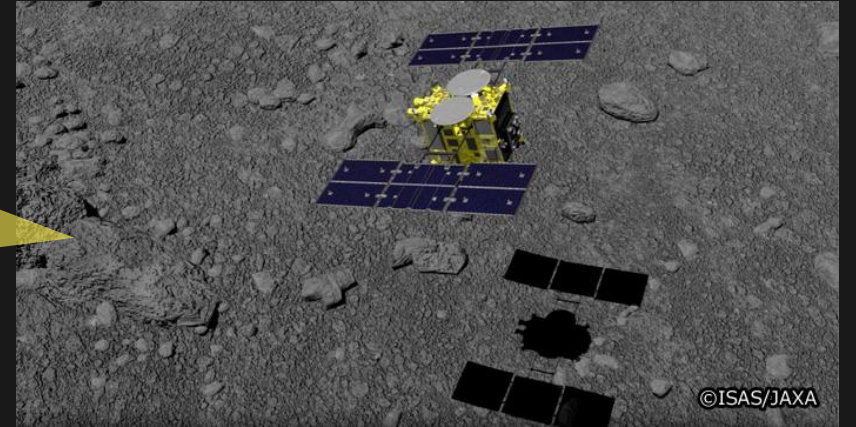
技術的挑戦 1 : 自律的に動作する探査機



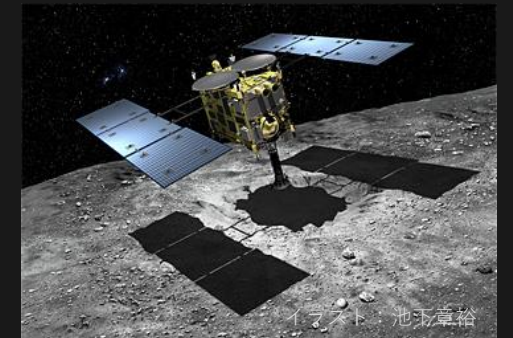
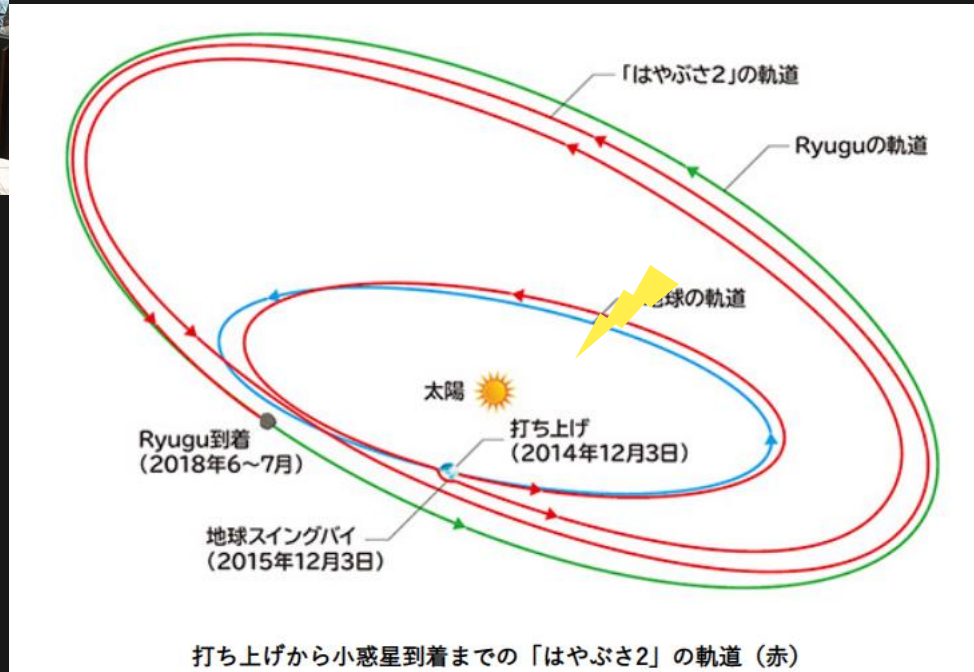
はやぶさ2管制局
(日本・相模原市)

距離 約3億キロメートル

信号のやり取りに
片道 15分 往復 30分



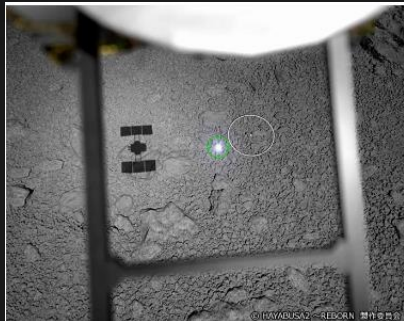
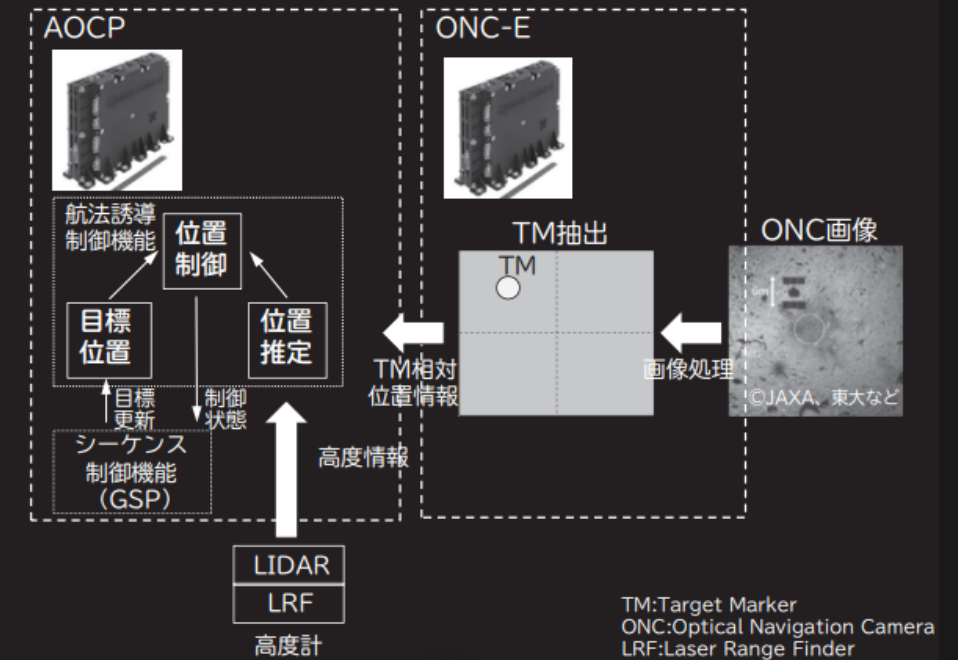
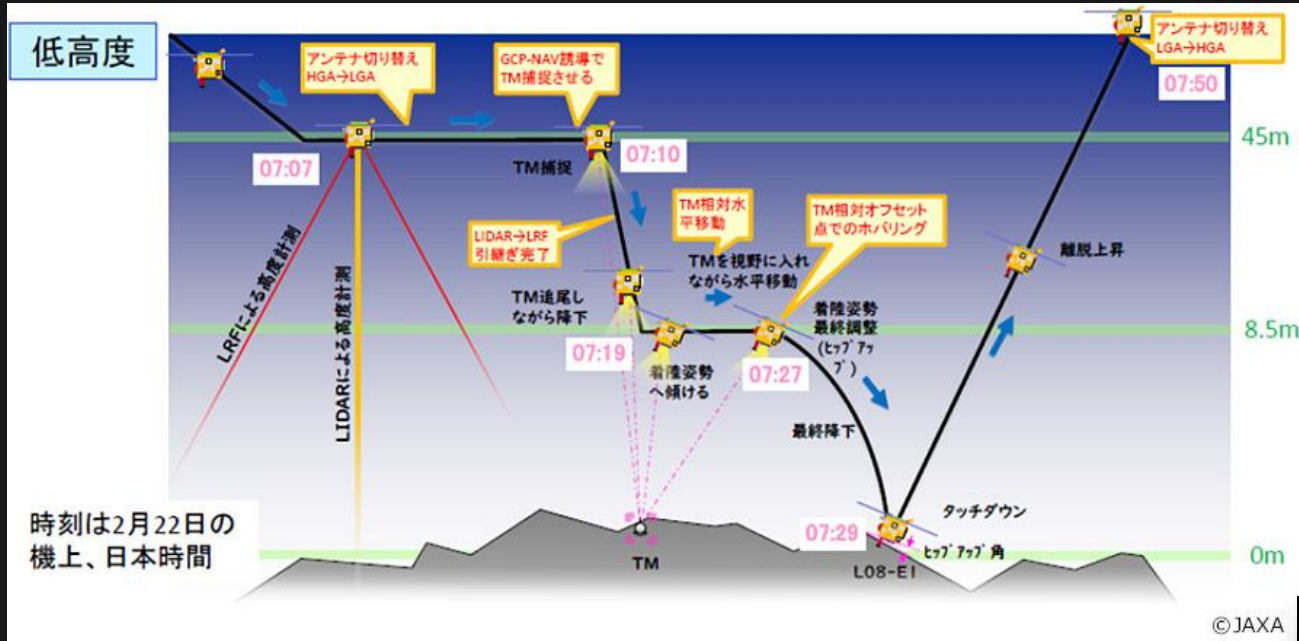
はやぶさ2探査機
(小惑星リュウグウ)



<https://jpn.nec.com/ad/cosmos/hayabusa2/swingby/index.html>

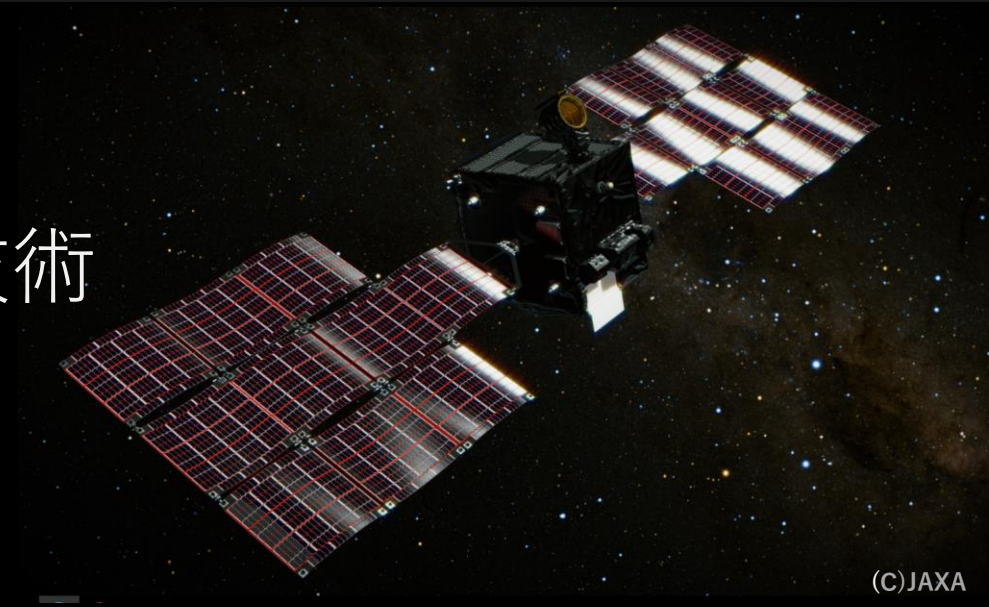
技術的挑戦 2：超精密な誘導制御システム

目標地点誤差約1mの高精度タッチダウンに成功



<https://jpn.nec.com/ad/cosmos/hayabusa2/interview/touchdown/index.html?>

探査機開発に貢献するモデルベース技術



(C)JAXA

太陽系探査への新たな挑戦

深宇宙探査技術実証機 DESTINY+



科学観測

ふたご座流星群の母天体である小惑星(3200) Phaethonの近傍をフライバイし、詳細な地形を観測したり、ダストの組成をその場で分析することで、太陽にあぶられ、ダストをもたらす活動的小惑星の実態解明を目指す

工学的特徴

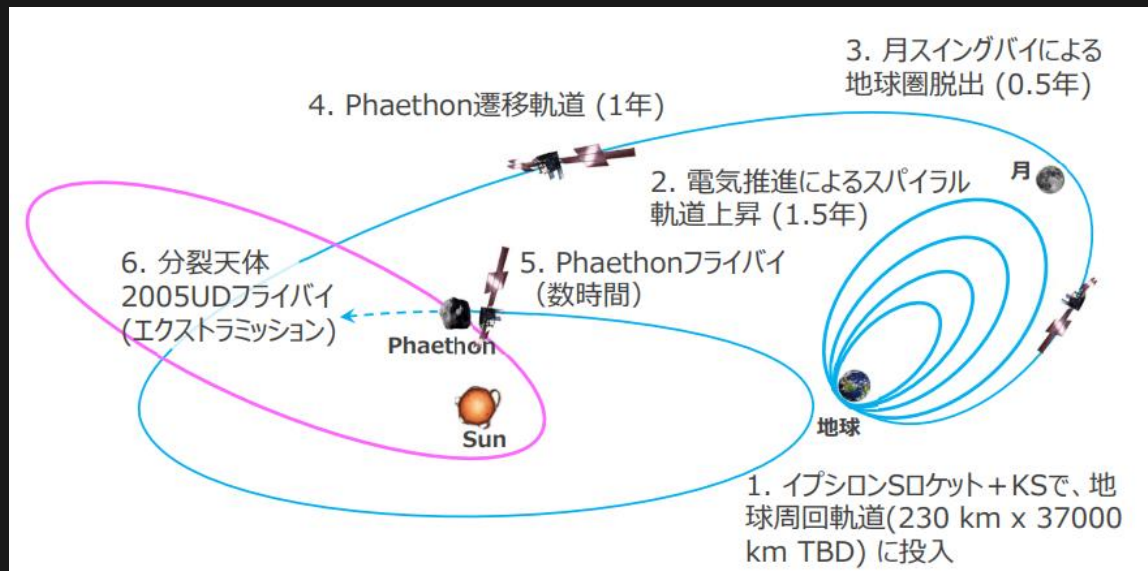
「はやぶさ2」搭載の増強版イオンエンジンや新型の薄膜軽量太陽電池パドルの採用

将来の低コスト・高頻度で持続的な深宇宙探査を実施可能にするための技術実証

DESTINY+の技術的挑戦

電気推進によるスパイラル軌道上昇と月スイングバイ航行技術

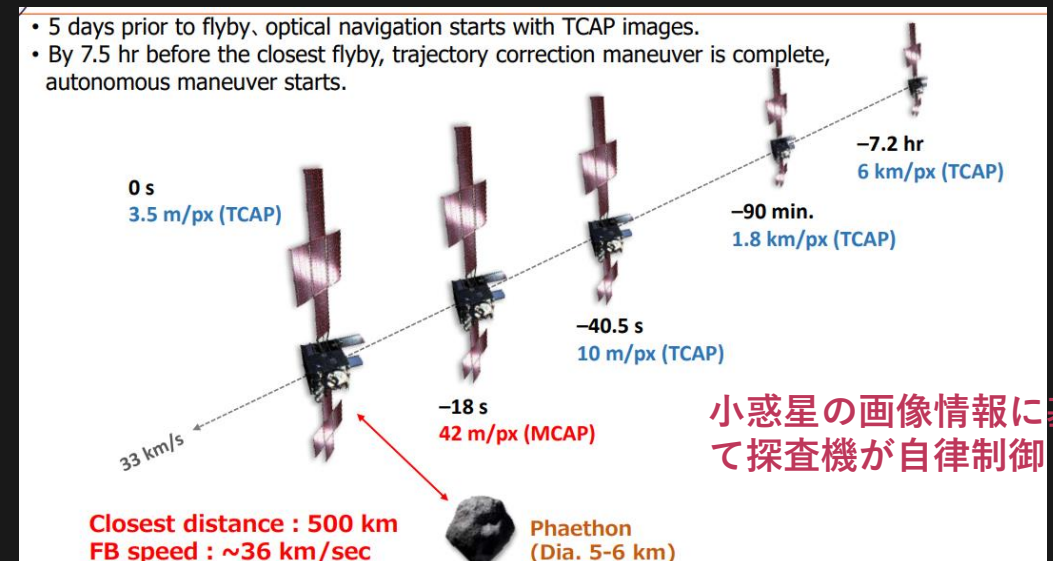
電気推進を用いて、地球周回低軌道から深宇宙へ挑む世界初の技術



https://www.mext.go.jp/kaigisiryu/content/20210628-mxt_uchukai01-000016392_10.pdf

高速フライバイ探査技術

Phaethonから約500km離れた地点を相対速度30km/s以上でフライバイし、フライバイしている数分間で、カメラによる表面撮像とダストアナライザによるダスト分析を実施



http://www.perc.it-chiba.ac.jp/meetings/D+SWT/Welcome_files/D+SWT%233%20mission%20overview.pdf

これらの技術は、探査機のオンボード処理による自律制御が必要

ミッションクリティカルで高度な技術である一方で、計算機リソースの制約も考慮する必要がある

モデルベース技術の活用による探査機開発の迅速化 (1/2)

<課題>

限られた計算機 リソース

例) メモリ：数MB

自律制御のための計算

(行列計算、繰り返し文など)

例) カメラによる撮影画像と星位置カタログ
画像の比較から小天体の位置を推定

量産向けではなく、一品向け
であり、実機によるフィード
バックが少ない

<採用技術>



オートコーディング
Embedded Coder

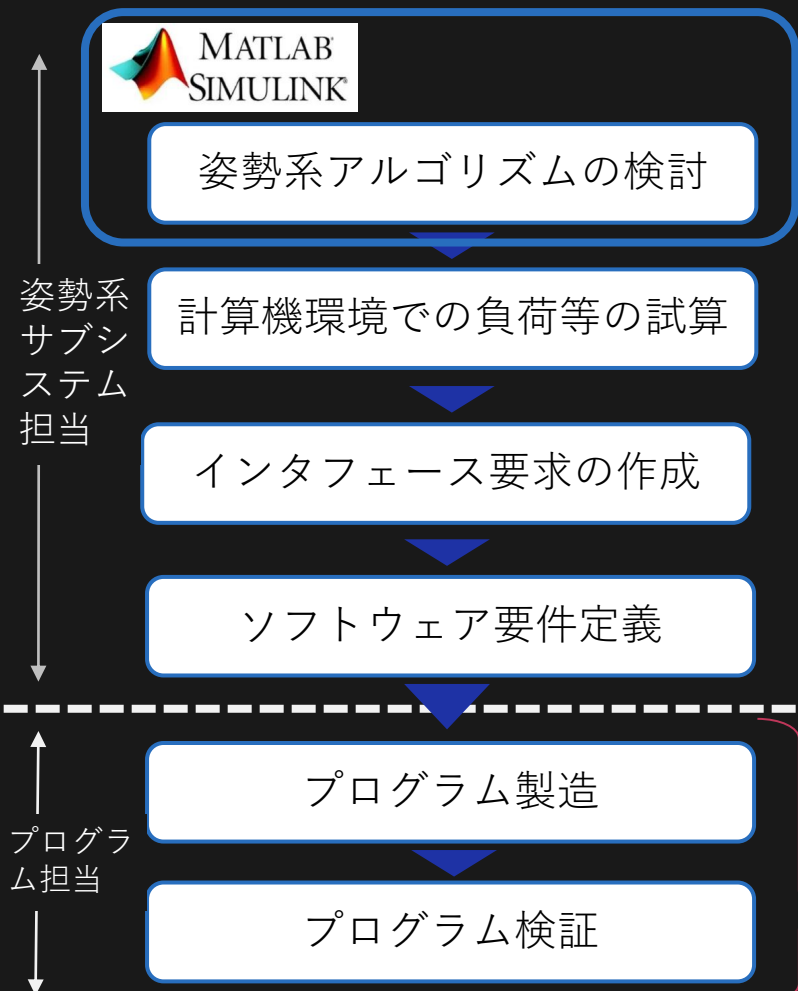
利点① 計算負荷の試算の迅速化

コーディングするモデル上で、計算負荷を試算することが可能となり、必要に応じて迅速に対処が可能となる

モデルベース技術の活用による探査機開発の迅速化 (2/2)

<従来の開発フロー>

<オートコーディングを活用した開発フロー>



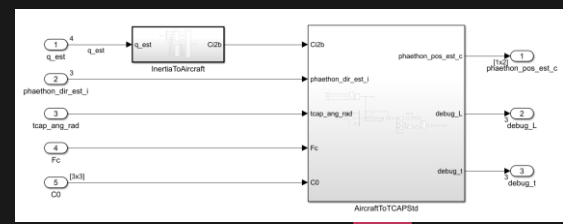
利点②
コミュニケーション齟齬による
後戻り防止

- ・曖昧な要求により不具合が発生し手戻りが発生
- ・計算負荷等の試算のヌケモレがあり、仕様変更が発生

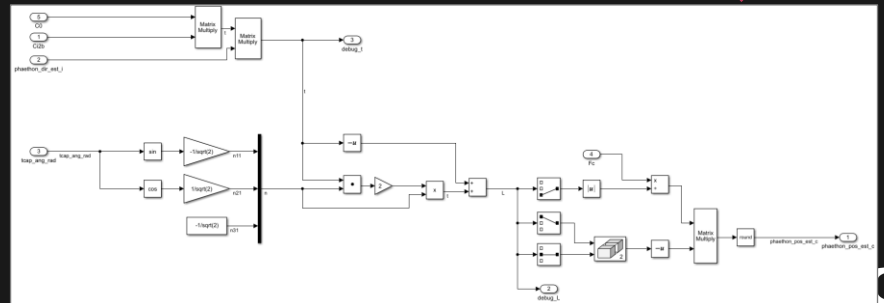


利点③

モデルの高い可読性/
流用性



- ・オートコーディングと可読性を考えたモデルに更新
- ・流用性が向上



民と宇宙で培われた信頼性の融合による高い信頼性の実現

民生用として多くのユーザー
によって培われてきた信頼性



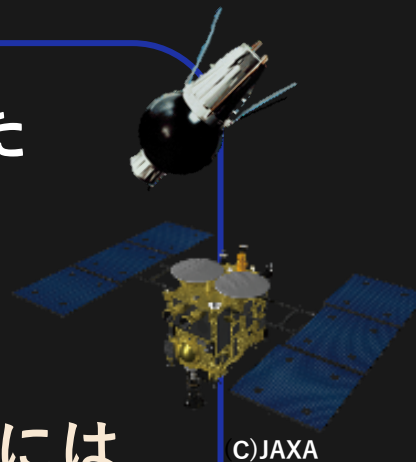
モデルベース技術

オートコーディング
Embedded Coder

宇宙で長年培われてきた
信頼性

業界標準(または当社独自の)
品質基準など

姿勢制御の基本的機能には
実績のあるプログラムを採用



融合



DESTINY+で新たに必要な機能の
開発にモデルベース技術を採用

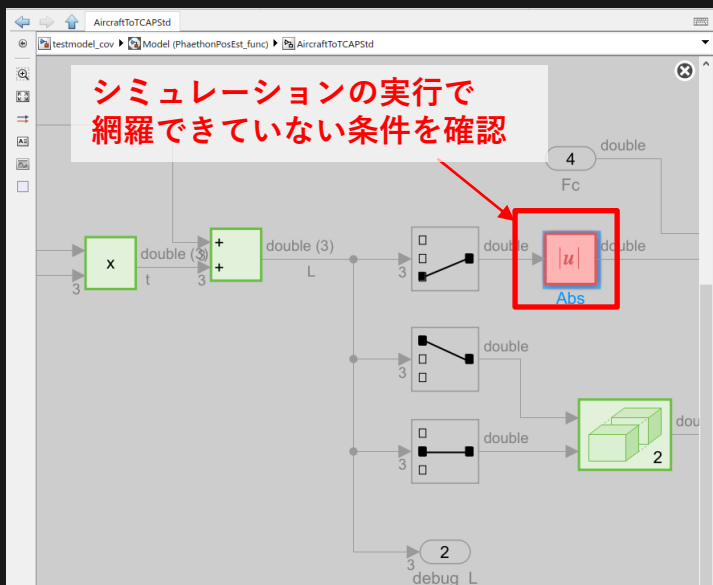
クリティカルなミッションが求められる探査機の高い信頼性の実現

モデルベース技術を活用したプログラムの網羅的な検証

宇宙でのミッションを成功させるため、あらゆるテストケースについて検証する必要がある。一方で、宇宙空間での実機を用いた事前テストはできないため、シミュレーション上で検証が必要。

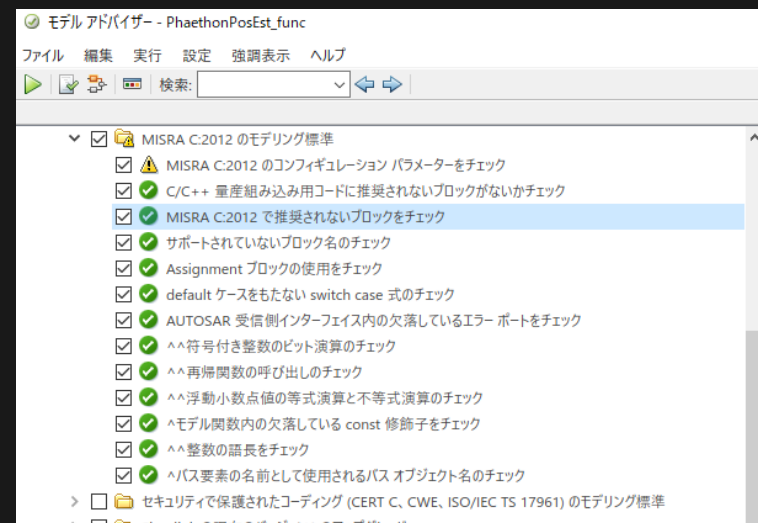
Simulink Coverage による網羅性検証

シミュレーションの実行により網羅できていない条件を明確化でき、検証できていない箇所を確認していくことで、プログラムの網羅的な検証が可能



Simulink Check によるコード品質確認

オートコーディングの品質を高めるために、モデリング標準の準拠などを確認することが可能。



探査機へのモデルベース技術の貢献

DESITNY+で新たに挑戦する技術に、モデルベース技術を活用して、開発の迅速化と高い信頼性を実現し、ミッション達成を目指す

2024年の打上げ(予定)

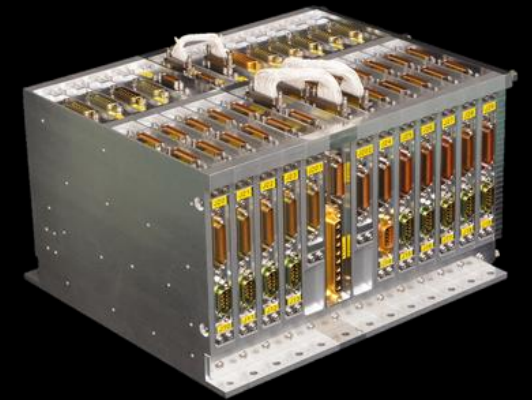


3年後にフライバイ(予定)



(C)JAXA

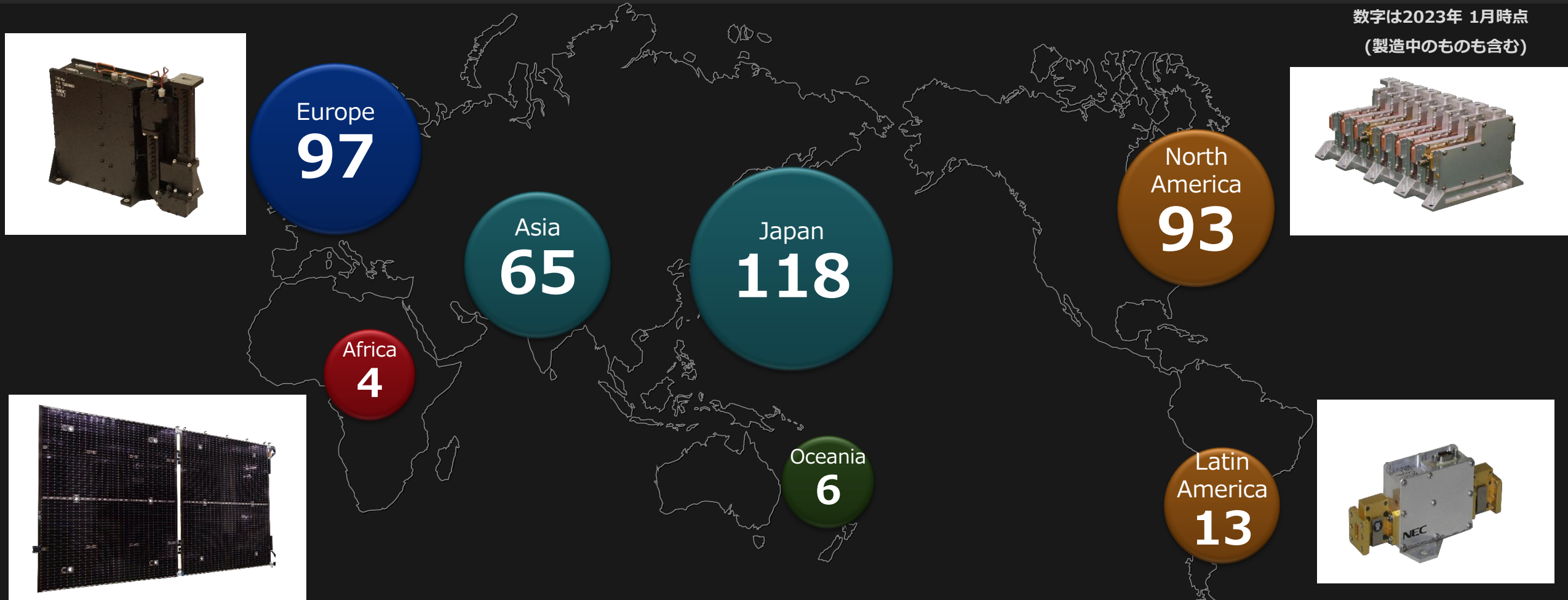
搭載機器開発に貢献するモデルベース技術



世界に認められた衛星搭載機器（コンポーネント）

世界約**30**か国の**350**機以上の衛星など宇宙機向けに**搭載機器（NECスペーステクノロジー担当）**を製造
～海外の衛星メーカーからも多数の採用実績～

数字は2023年 1月時点
(製造中のものも含む)



搭載機器開発におけるモデルベース技術への期待

搭載機器の特徴

- 少量多品種
- 部品が高価で長納期

市場トレンド

- 高機能化、小型／軽量化
- 短納期化

製造に与えるインパクト

- 限られた試作回数
- 不具合 & 後戻りコストの増加

開発に与えるインパクト

- 新しい技術の採用により開発が複雑化
- 仕様変更にも素早い対応が求められる

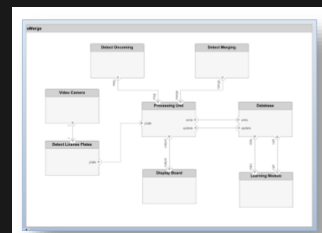
従来設計（ドキュメントベース）

新しい設計（モデルベース）

モデルベース開発技術を積極的に導入して上記インパクトを低減！



- 個別最適化
- 暗黙知の流用
- ポストプロセス依存

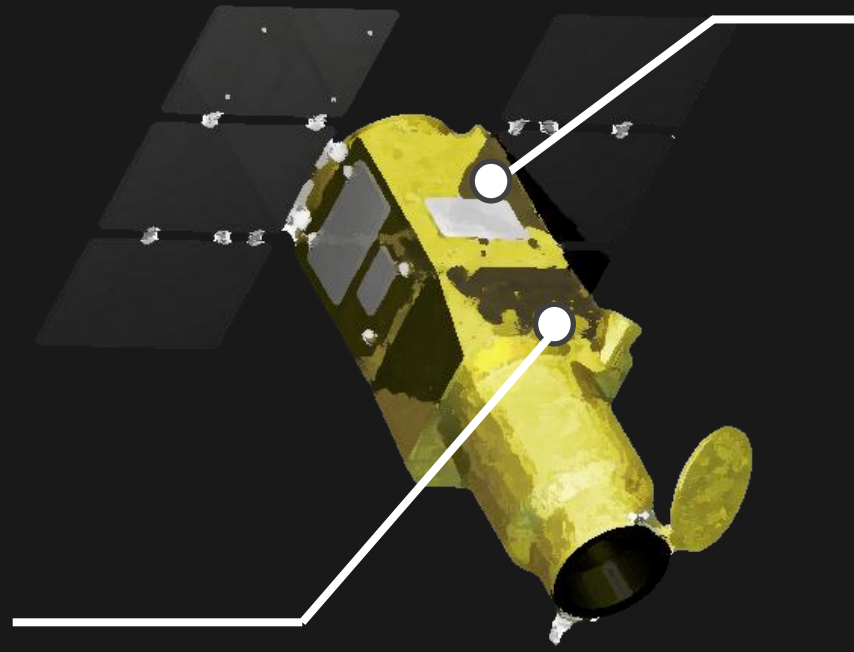


- 全体最適化
- 形式知の流用
- フロントローディング

搭載機器の MATLAB/Simulink 適用事例の紹介 (1/2)

電力制御器

太陽電池パドルから衛星の各機器に電力を供給し、バッテリーの充放電を制御する。



通信機器

衛星の追跡／管制／制御のために地上局と通信する。

搭載機器の MATLAB/Simulink 適用事例の紹介 (2/2)

搭載機器開発の発展

民生技術とデジタル化技術の採用

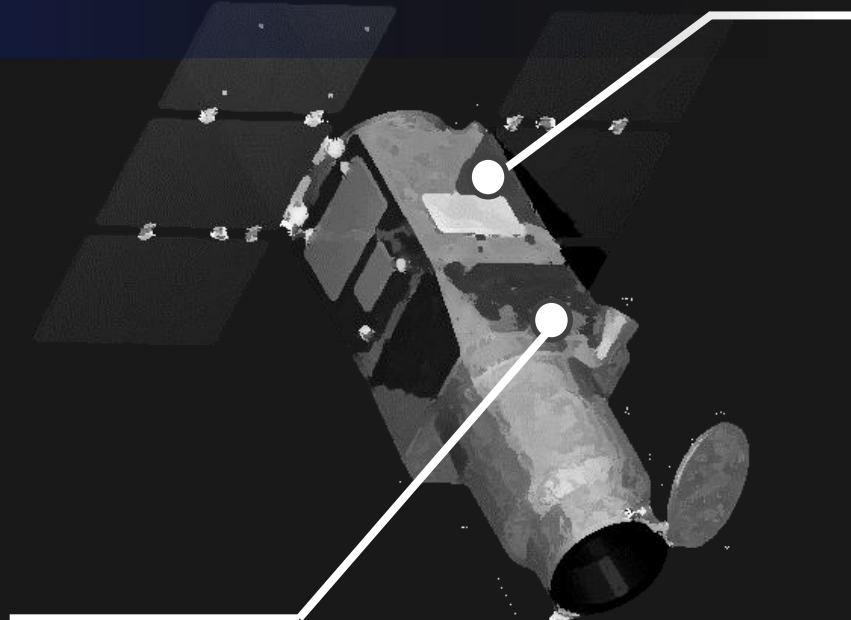
複雑化する開発にモデルベース開発を適用

通信機器

- MATLAB/Simulinkの自動コード生成機能の活用による開発の効率化
- デジタルとアナログが混在するRF信号処理部をモデル化

電力制御器

- デジタルとアナログが混在する電源系のシステムをモデル化
- 仕様検討と機能確認に有効活用



例1：ソフトウェア受信機 (SDRX※) 開発の適用例

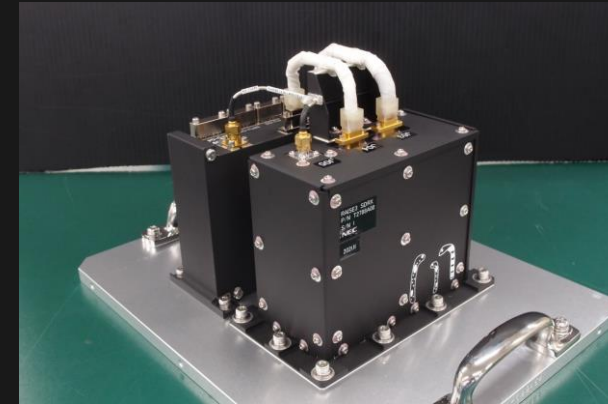
(※SDRX: Software-Defined Radio Receiver)

◆ 機器概要

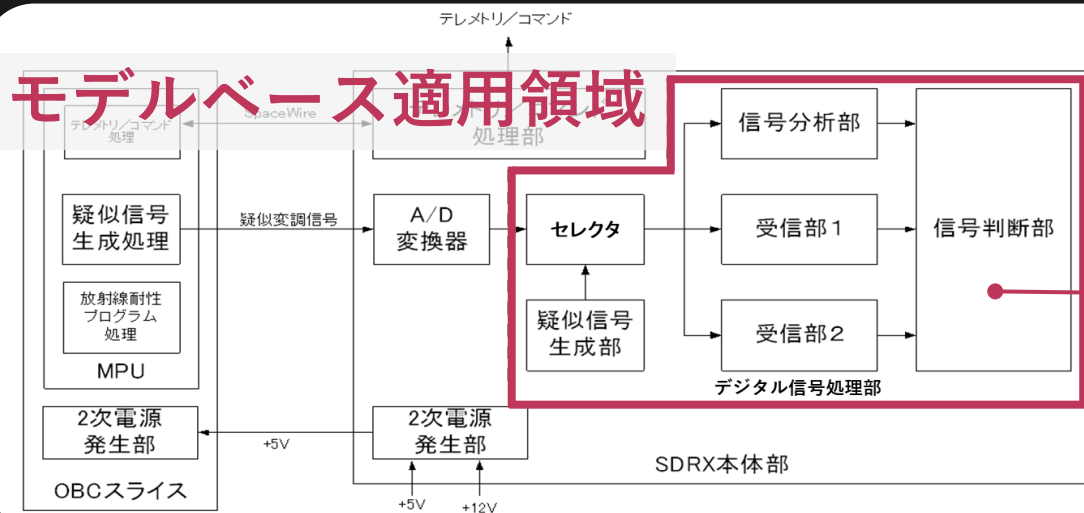
- 軌道上で信号を受信して、受信信号の解析や復調方式をフレキシブルに変更が可能な機器
- 革新的衛星技術実証3号機の実証テーマとして採択

◆ 開発課題と適用事例

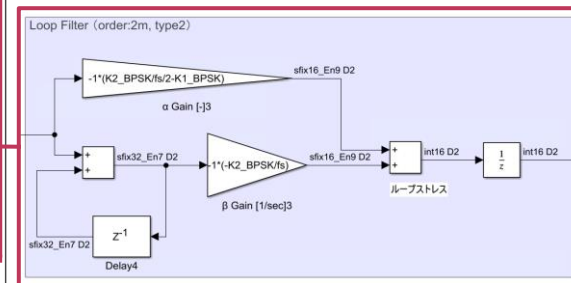
- 複雑さを増す FPGA 設計の高精度化と効率化
- **Simulink を用いたモデルベース開発を導入し、FPGAに実装する HDL コード作成には HDL Coder を利用**



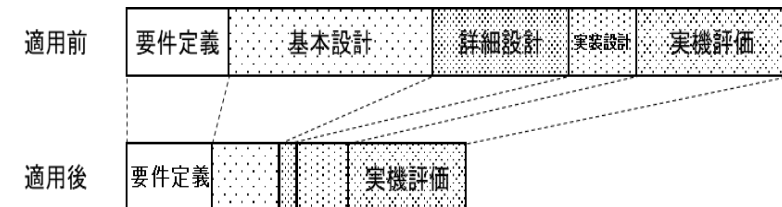
革新的衛星技術実証3号機HPより引用
<https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/kakushin03.html>



モデル例



モデルベース適用範囲で
約50%の工数削減!



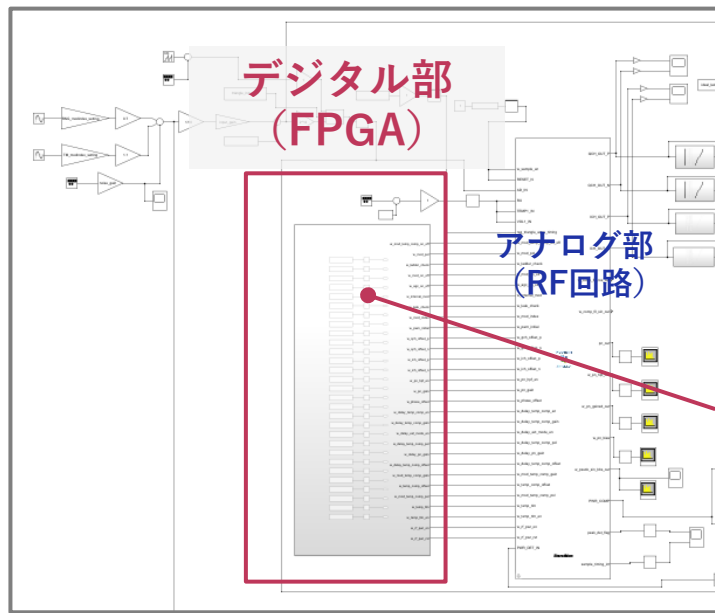
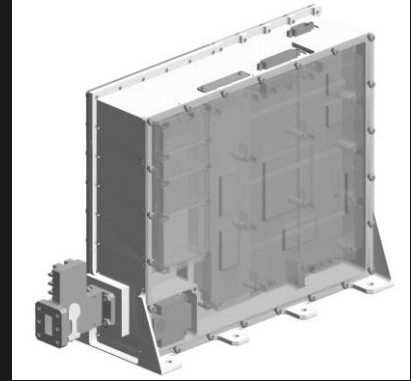
例2：テレメトリコマンドレンジング機器開発の適用例

◆ 機器概要

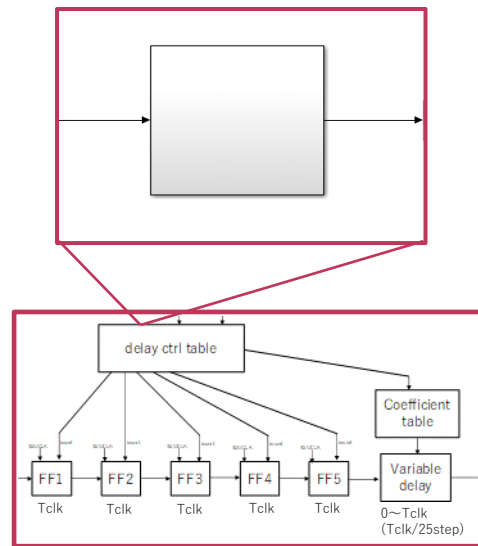
- 衛星の追跡/管制/制御を行うために使用される通信機器
- 海外の主要衛星メーカーに商用衛星用途で継続的に供給

◆ 開発課題と適用事例

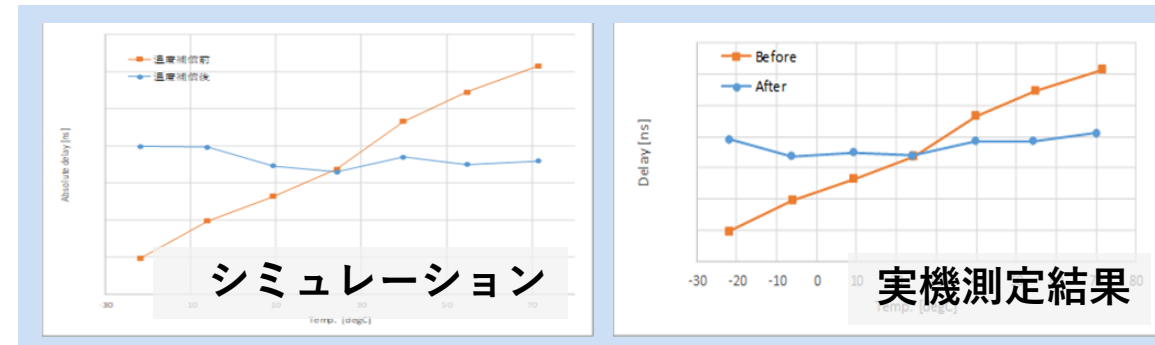
- 軌道上の温度高低差 (例： $-30^{\circ} \leq T \leq 70^{\circ}$) 依存の部品性能ばらつきが測距精度に影響
- **Simulink** で温度補償のデジタル機能 (Fine Tuning Module) をモデル化 & 設計



Fine Tuning Module



測距遅延の温度依存性を製造前に確認！



測距遅延の温度依存性 (温度補償処理前後)

例3：デジタル電源機器開発の適用例（1/2）

◆ 機器概要

- 多数の小型衛星が連携する衛星コンステレーションにも対応した電源機器を開発中
- デジタル制御を採用することで、**小型・軽量化**と**高効率化**の両立が可能な技術として期待
- 経済産業省様「**小型コンステレーション関連要素技術（電源系技術）**」として採択※

※参考：経済産業省HP

<https://www.meti.go.jp/information/publicoffer/saitaku/2021/s210726003.html>



イメージ

衛星コンステレーション
(高機能かつ小型の衛星が連携)

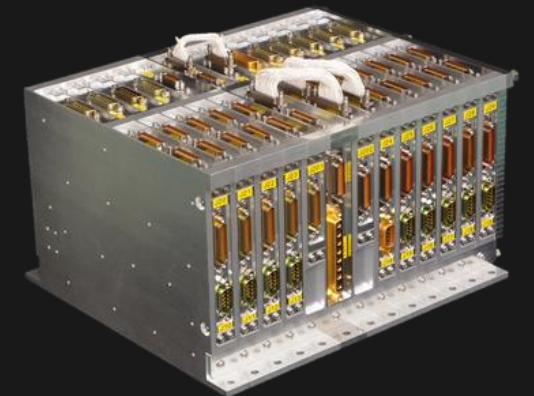
デジタル制御の採用

小型・軽量

スケーラブル

高効率

高信頼性

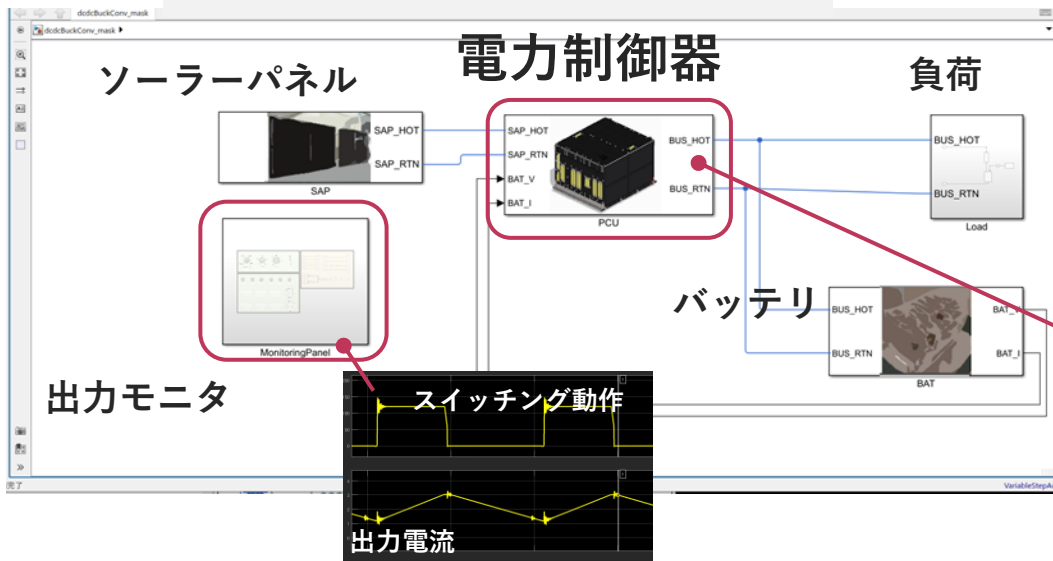


例3：デジタル電源機器開発の適用例（2/2）

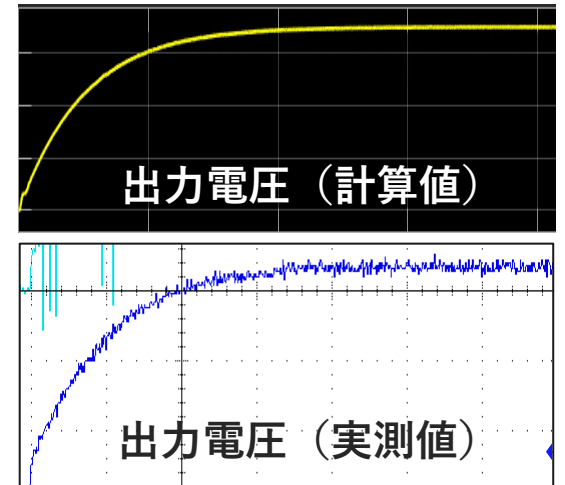
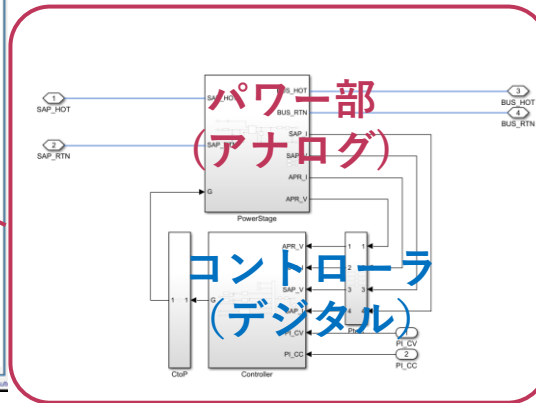
◆ 開発課題と適用事例

- デジタル制御の採用により、デジタルとアナログが混在するシステムの協調動作設計の妥当性確認
- アナログ部を **Simscape Electrical** を用いてモデル化することで、デジタルとアナログの協調解析を実施

電源系のシステムをモデル化



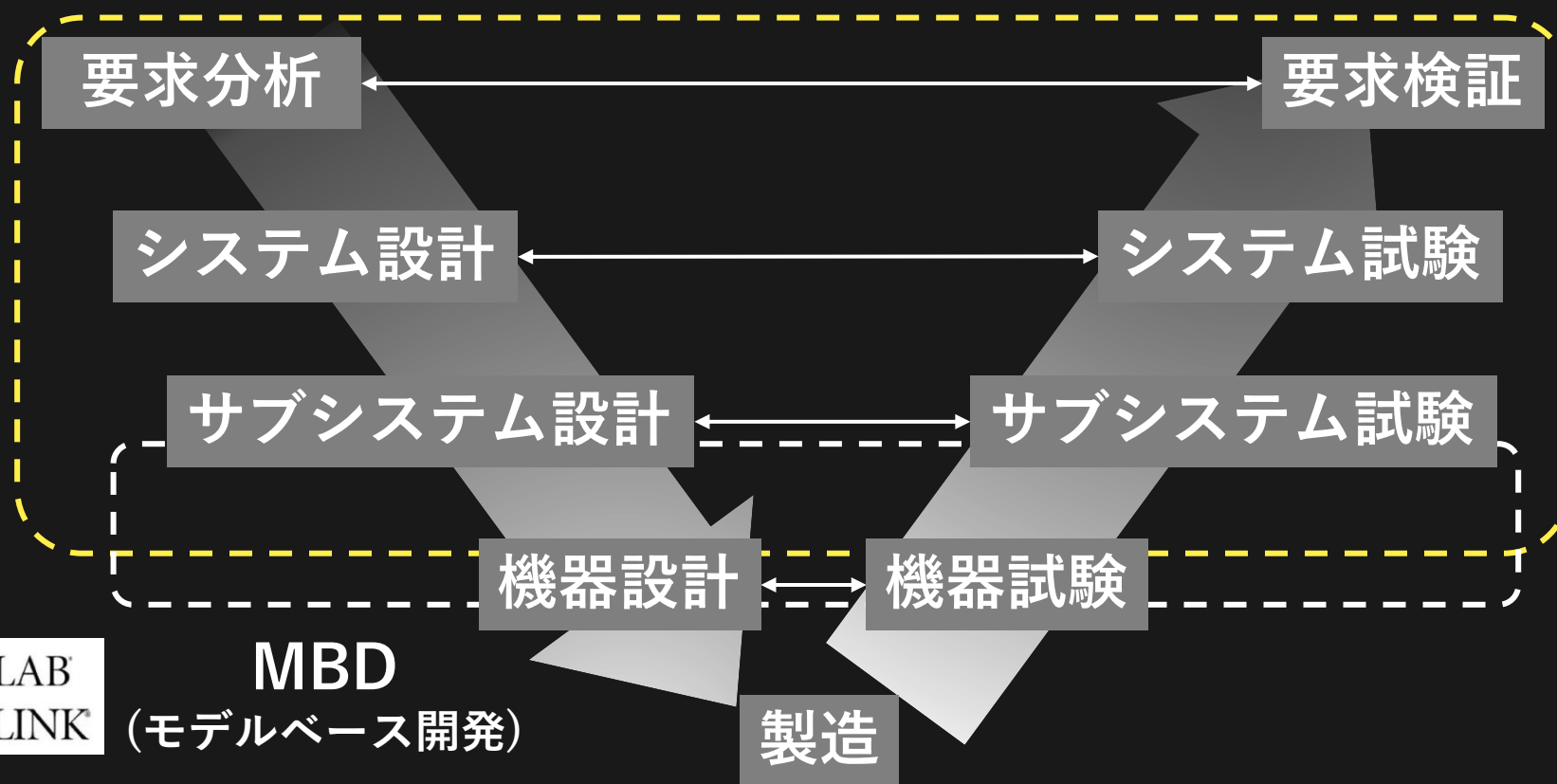
デジタルとアナログの協調動作の 設計妥当性を製造前に確認！



今後のさらなる発展

- ◆ 上位／下位連携領域での**モデルベースシステムエンジニアリング（MBSE）**の導入加速
- ◆ 試験プロセスでの**NEC 独自 AI**による異常検知および診断の適用

今後 **MBSEの導入加速**（System Composer に期待）



今後

NEC独自AIによる
異常検知・診断



\Orchestrating a brighter world

NECは、安全・安心・公平・効率という社会価値を創造し、
誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会の実現を目指します。