

基盤技術の開発戦略

一般財団法人衛星システム技術推進機構
Advanced Satellite Systems Technology Center (ASTECC)

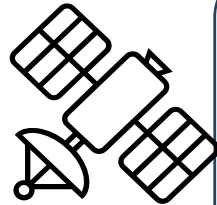
2024年 1月

基盤技術の概要

23-001-R-019a

衛星基盤技術は 衛星全体システムの各バスサブシステム技術、および、衛星開発・製造技術からなる。

衛星全体システム
衛星 + 地上からなるシステム
全体。複数の衛星、地上システムから構成される場合もある。



地上システム

地上ミッション系
衛星固有のミッションを遂行するため地上実装されるサブシステム

地上管制系
衛星とテレコマンド・テレメトリ通信を行い、衛星の運用管制を行うサブシステム

衛星システム

ミッション系
衛星固有のミッションを遂行するため衛星搭載されるサブシステム

バス系
ミッションに関わらず人工衛星に必要な機能を提供するサブシステム群

通信・データ
処理系

姿勢軌道
制御系

電源系

構造系

熱制御系

推進系

計装系



衛星開発
製造技術

基盤技術の代表的なトレンドとして、「SDS(Software Defined Satellite)化」、「コンステレーション化」、「開発・製造の効率化」を支える技術の開発が進む。

利用分野 ・ 環境の変化

多くの利用分野にて、衛星システム柔軟性要求の高まりがみられる。
通信：ビームの形状・帯域等の柔軟性
観測：AI処理等高度なオンボード処理
測位：軌道上での抗堪性向上要求
軌道上サービス：高度なRPO等

多くの利用分野で1機の衛星ではなく、小型に限定されない複数機衛星による高度なニーズへの対応例が出現。
通信：LEO通信コンステレーション
観測：観測コンステレーション
測位：GPS/QZS等

小型衛星事業者の増大等、衛星事業環境全体の競争激化による事業スピードの加速

基盤技術の 代表的な 課題

専用HW(アナログ回路、書き換えできないデジタル回路(ASIC)等)にて各機能を実現する場合、各利用分野の要求するシステム柔軟性を実現することは困難。

従来の基盤技術では、1機の衛星を開発・製造・運用することができても、複数機の衛星を効率的に開発・製造・運用することが困難。

SDS/コンステレーション等によるシステム高度化の中で、従来の開発・製造技術では、事業スピードについていく事が困難。

基盤技術 の代表的 なトレンド

SDS化を支える技術
機能のSW化、オンボード化により、ニーズの複雑性、多様性に対して柔軟に対応できるSDS化を可能とする技術。

コンステレーション化を支える技術
コンポーネントのSWaP-CDの向上や運用の効率化など、コンステレーション化を効率的に実現する技術の開発。

開発・製造の効率化を支える技術
デジタルツイン等のデジタル開発技術や量産化技術等、衛星全体システムの開発・製造の効率化を実現する技術。

※ AI: 人工知能、RPO:ランデブ及び近傍運用、HW:Hardware、ASIC : 特定用途向け集積回路、SW:Software、SWaP-CD : サイズ、質量、電力、コスト、納期

衛星全体システムの大きなトレンドとして、「SDS (Software Defined Satellite)化」、「コンステレーション化」、「開発・製造の効率化」があり、基盤技術はそれらを支える技術として開発が進む。

SDS化を支える技術

SDS基盤技術となる

- ・ 高性能計算機
- ・ SWフレームワーク
- ・ デバイス

SDS化による増大する電力・発熱に対処するための

- ・ 電源制御系
- ・ 熱制御系

SDS化の更なる高度化に資する

- ・ 機械学習・AI活用技術

SDS化を活用する技術

- ・ AI等を活用した画像航法を利用する誘導制御系
- ・ オンボードでの自律化による運用自動化技術

コンステレーション化を支える技術

SWaP-CD^{※1}に寄与する

- ・ 太陽電池パドル・セル
- ・ バッテリ
- ・ 電気推進系、及び、その電源
- ・ 統合姿勢制御ユニット
- ・ 小型姿勢制御センサ・アクチュエータ
- ・ 熱制御系、構造系
- ・ 3Dプリンティング技術

多数機運用の効率化に必要となる

- ・ 運用自動化技術
- ・ 地上局仮想化技術
- ・ AI/仮想化の基盤ソフトウェア技術

開発・製造の効率化を支える技術

開発サイクルを高速化するシステム開発・製造プロセス変革としての

- ・ デジタルツイン等を用いた開発プロセスの変革
- ・ プロセス自動化/量産技術等の製造プロセスの変革
- ・ 優れた民生技術を宇宙転用する技術
- ・ 民生技術活用のキー技術となる放射線評価技術

※1 SWaP-CD :

サイズ、質量、電力、コスト、納期

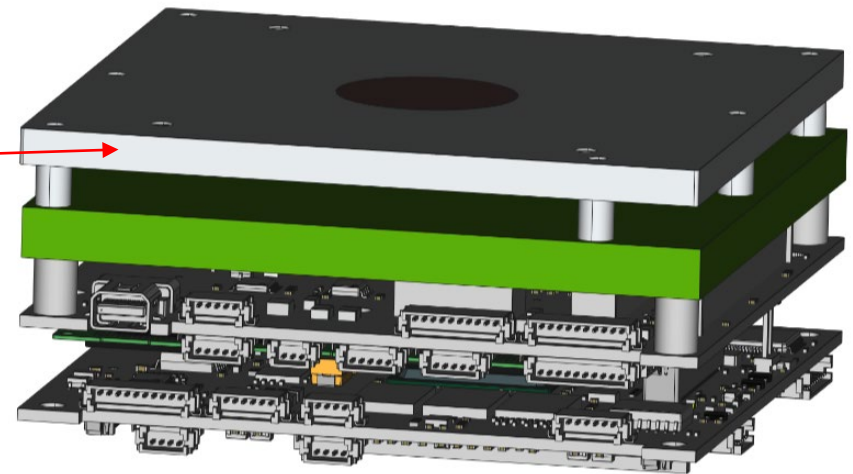
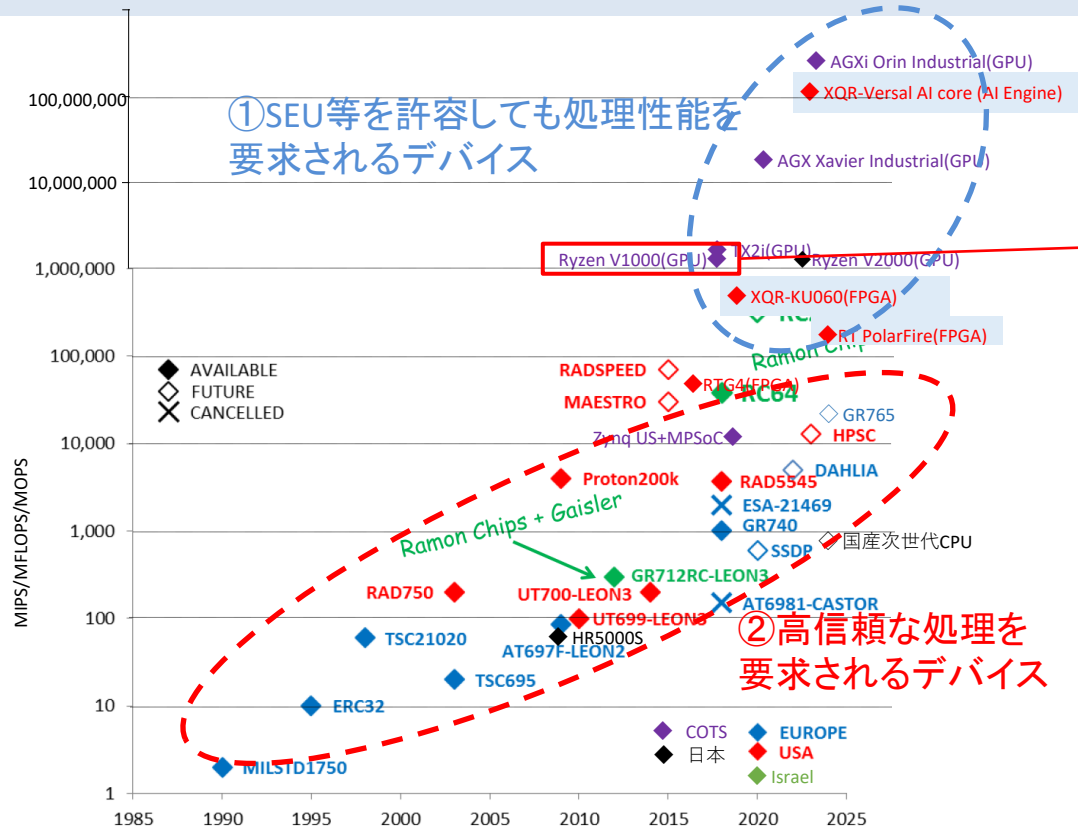
※本トレンド以外の各サブシステム固有の課題に関する開発も存在するため、全てではない。

SDS基盤技術の技術トレンド

23-001-R-019a

SDS基盤技術の中で最重要となるものは高性能計算機、及び、その中で使用されるデジタル処理デバイス

- 宇宙用計算機に用いられるデジタル処理デバイスは大きく下記①②の領域に分類される。
- ①はCOTS※1品や民生品から転用された宇宙用デバイスとなり、②に対して数桁上の性能を示す。
- ②は多くは国家プロジェクト等で宇宙専用品として開発されたデバイスとなる。
- ①、もしくは①②を組み合わせたSDS向けの高性能計算機の開発が各社で進んでいる。



Unibap社(Sweden)の高性能計算機 ix10 ①の領域のAMD社(米) Ryzen V1000をCOTS品として利用。従来宇宙用計算機と比較して、消費電力としては、10倍程度増加するものの、100倍以上演算性能が高い。

出典：[Unibap](#)

出典：[ESA OBDP](#)にASTEC情報追記

※1 COTS : commercial off-the-shelf

姿勢軌道制御系の技術トレンド

23-001-R-019a

「軌道上サービスという新たな事業分野」への対応と、「衛星事業環境の競争激化」によるSWaP,CD向上が進む

利用分野・
環境の変化

軌道上サービスという新たな
事象分野の成長

コンステレーション事業者の増加等による衛星事業環境の競争激化

姿勢軌道制
御系の課題

相対的に高精度な姿勢制御
要求への対応

SWaP、CD(Size Weight and Power, Cost, Delivery)
の優先度が増加

姿勢軌道制
御系の
技術トレンド

・多様な対象物に対応した視
覚センサ、距離センサの開発
・多様なセンサを融合した近接
誘導制御アルゴリズムの開発

低価格、小型、短納期
センサ、アクチュエータの開発
(FOG※1小型CMG※2STT※3等)

衛星分野新規参入者にも使用可能
な、センサ・アクチュエータ・制御装置
が一体化された統合制御ユニット



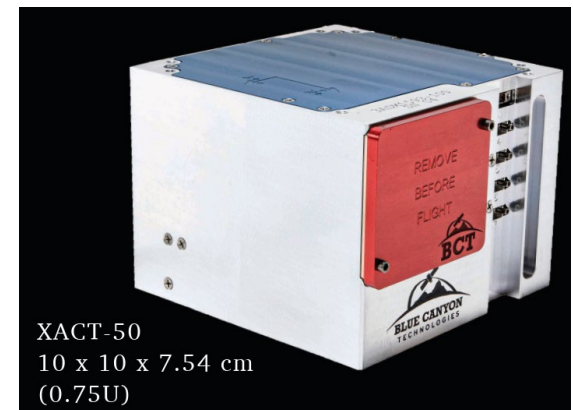
CRD2プロジェクト 出典：[JAXA](#)



© Veoware Space

VEOWARE社(ベルギー)小型CMG

出典：
https://www.veoware.space/minicmg/?utm_source=satsearch&utm_medium=product_page



XACT-50
10 x 10 x 7.54 cm
(0.75U)

Blue Canyon社(米)
統合姿勢制御ユニット
出典：[Blue Canyon社](#)

※1 FOG(Fibre-Optic Gyroscope)

※2 CMG(Control Moment Gyros)

※3 STT(Star Tracker Telescope) roprietary Information : Not to be disclosed or reproduced without specific written permission from ASTEC

電源系の技術トレンド

23-001-R-019a

「搭載機器の多様な電源ニーズ」への対応と「衛星事業環境の競争激化」によるSWaP,CD 向上が進む

利用分野・
環境の変化

電気推進・SDS化による電力増加等多様な電源要求の発生

打上コスト低減のための
複数機同時打上

コンステレーション事業者の増加等による衛星事業環境の競争激化

電源系の
課題

多様な電源要求への
柔軟な対応

太陽電池パドルの
打上時の高収納化

SWaP、CDの優先度が増加

電源系の
技術トレンド

デジタル電源
電気推進用高圧大電力電源

高収納太陽電池パドル
薄膜太陽電池セル

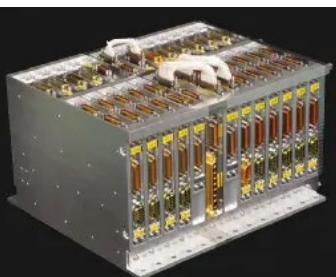
小型・大容量・低コストバッテリー
(次世代リチウムイオンバッテリー
・全固体電池)

小型・軽量

スケーラブル

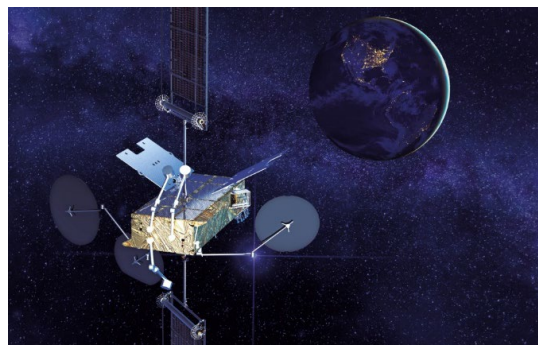
高効率

高信頼性

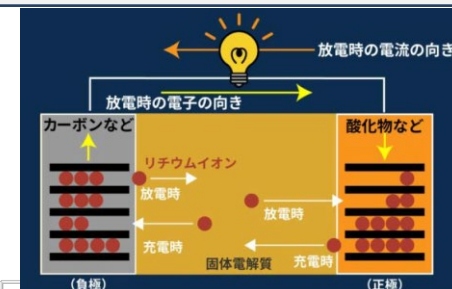


NECスペーステクノロジー(日)の小型衛星向けデジタル電源機器。経済産業省「小型コンステレーション関連要素技術(電源系技術)」にて開発。

出典：[MATLAB EXPO2023](#)



THales Alenia Space(TAS:仏)のロールアップ型高収納太陽電池パドル。従来比1/4~1/5の省スペース化を実現。出典：[TAS](#)



構造系の技術トレンド

23-001-R-019a

構造系は「衛星事業環境の競争激化」によりSWaP, CDを向上させる技術開発が進む

利用分野・
環境の変化

コンステレーション事業者の増加等による衛星事業環境の競争激化

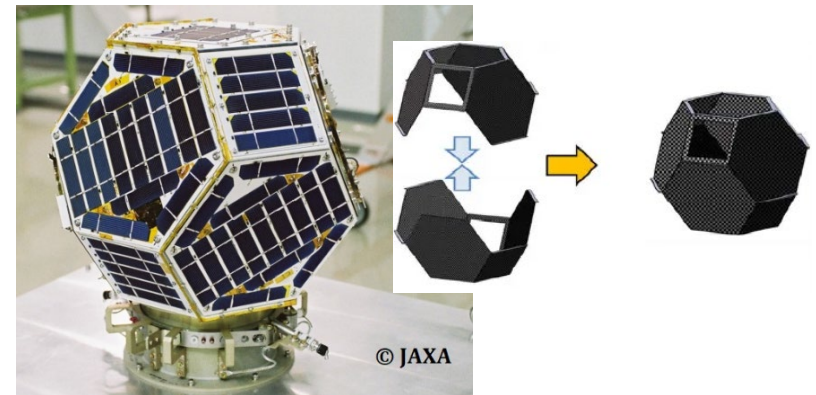
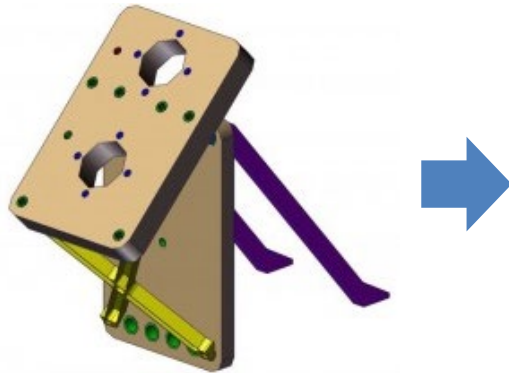
構造系の
課題

SWaP、CDの優先度が増加

構造系の
技術トレンド

Additive Manufacturing (3D プリント) を用いた衛星製造技術の高度化

新規高性能材料を用いたSWaP, CDの向上
(新規合金、CFRTP※1、CFRM※2,メタマテリアル等)



3Dプリンタ製品例：Thales Alenia Space社(仏)の
ブラケット(支持部材)(質量22%、コスト30%の低減)

出典：<https://www.voxelmatter.com/we-speak-to-an-amazon-executive-about-3d-printing-trends-industry-outlook-and-more/>

CFRTPを衛星主構造に用いた人工衛星「しんえん2」(日)

出典：<https://aero.cst.nihon-u.ac.jp/okuyama/%e3%81%97%e3%82%93%e3%81%88%e3%82%93%ef%bc%92/>

※1 CFRTP(Carbon Fiber Reinforced ThermoPlastic)

※2 CFRM(Carbon Fiber Reinforced Metal)

熱制御系の技術トレンド

23-001-R-019a

「通信衛星の大容量化・SDS化」に伴う大発熱化や高密度実装に伴う発熱密度増加への対応の必要性から技術開発が進む

利用分野・
環境の変化

通信分野の大容量化・SDS化

コンステレーション事業者の増加等による
衛星事業環境の競争激化

熱制御系の
課題

発熱量の増加への対応

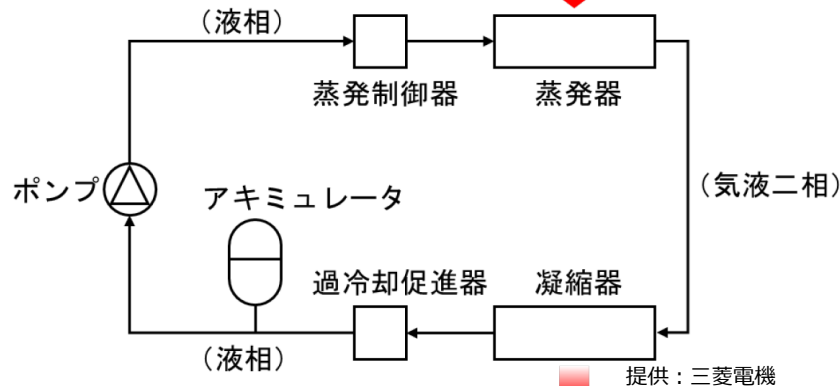
SWaP, CD向上実現のための高密度実装化により、
発熱密度増加への対応が必要

熱制御系の
技術トレンド

能動的熱制御：機械式2層流体
ヒートパイプによる大規模熱輸送

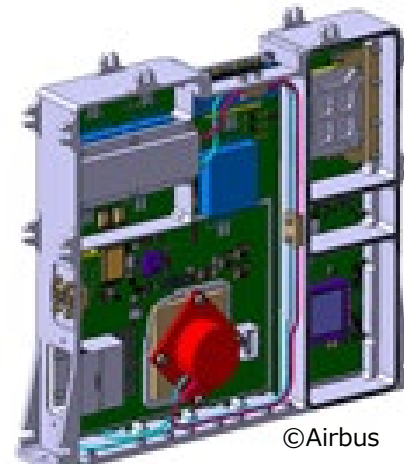
受動的熱制御：マイクロヒートパイプ等の局所排熱技術

機械式2層流体ヒートパイプ模式図：



受動的熱制御のヒートパイプがパイプ内の毛細管現象によって液相を移動させるのに対して、機械式ポンプで直接循環させることにより、大幅な熱輸送性能向上が可能

局所排熱となる機器内ヒートパイプの例：



©Airbus

出典：[ESA](#)



Credits : EHP

Mini LHP Nickel wick evaporators

※
Airbus(仏)
EHP(ベルギー)

推進系の技術トレンド

23-001-R-019a

「電気推進の普及推進」、「小型衛星向けのライドシェアミッション」への対応により技術開発が進む

利用分野・
環境の変化

優れた比推力により、GEO通信衛星、低軌道星座衛星、軌道上サービス等、電気推進の普及が推進

小型衛星にてライドシェアミッションが普及

推進系の
課題

軌道遷移期間の短縮のため、電気推進の継続的な高推力化要求への対応が必要。

電気推進 主要推進剤であるキセノン(希少資源)の高価格化

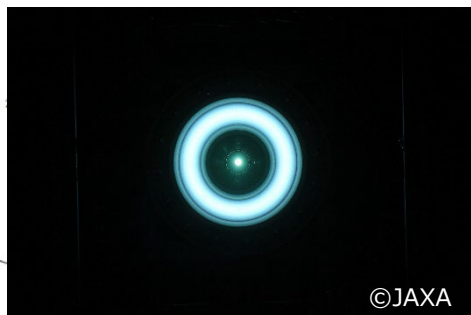
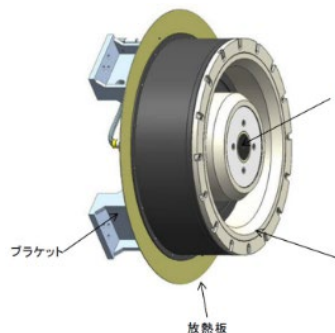
安全管理の観点からヒドラジン等の毒性推進系が使用できず、低毒性推進系が必要

推進系の
技術トレンド

電気推進系の更なる高推力化

キセノン代替(クリプトン、アルゴン)を用いた電気推進系の開発

低毒性の化学推進系の開発

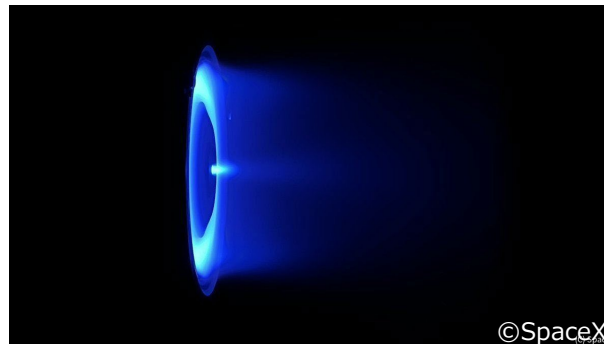


©JAXA

ETS-9にて開発中の高推力ホールスラスタ

出典:

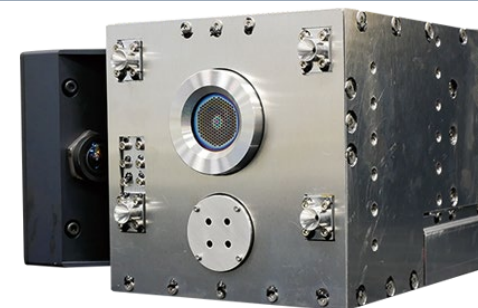
https://www.satnavi.jaxa.jp/files/project/ETS-9/interview/ETS-9_interview-02.html



©SpaceX

SpaceX社(米) Starlink v2 Miniのアルゴンを用いたホールスラスタ

出典: <https://uchubiz.com/article/new14785/>



提供: 株式会社Pale Blue

株式会社Pale Blue(日)製水を推進剤としたスラスタ

出典: <https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/kakushin03.html#kir>

地上管制系の技術トレンド

23-001-R-019a

「衛星コンステレーション」対応による運用の自動化、「多くのプレイヤー」のための地上局の仮想化技術の技術開発が進む。

利用分野・
環境の変化

衛星コンステレーションの出現

- 小型衛星を中心に多くのプレイヤーが参入
- 民生分野でのクラウド利用が一般化

地上管制系
の課題

- 1機あたりの運用コストの大幅な低減が必要
- 全機を人手運用するためには地上局が不足

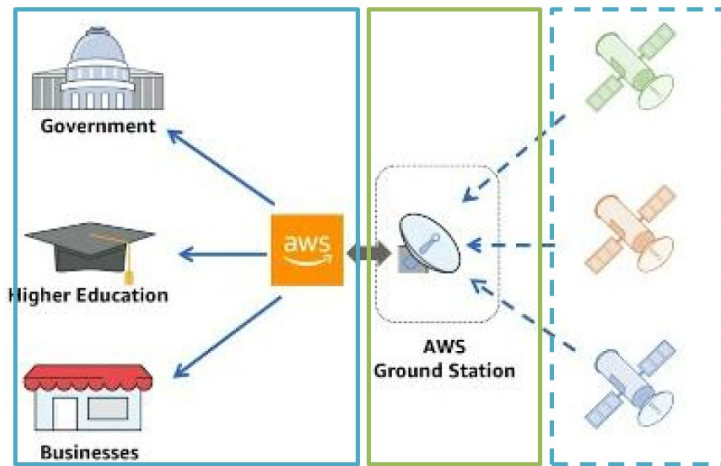
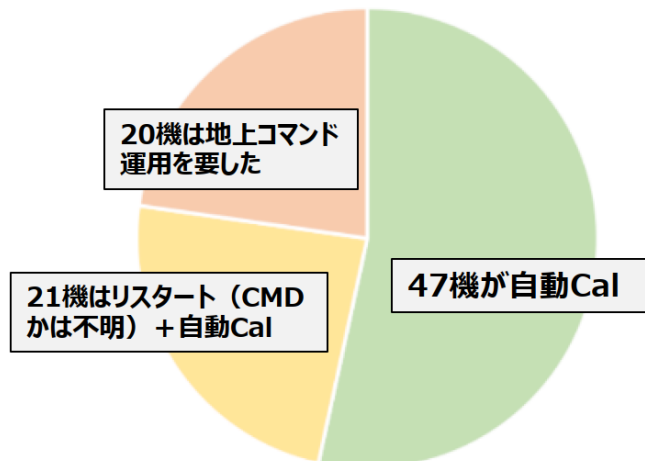
プレイヤー毎に個別の地上局を整備することは高コスト

地上管制系
技術トレンド

運用省力化のための
運用自動化技術

地上局構築の低コスト化につながる地上局仮想化技術
(アンテナのシェアリング、管制装置のクラウド化)

Planet(米) Doveミッションの例：
従来、多くの労力がかかっていた軌道上での初期チェックアウト・キャリブレーションを自動化。2017年88機打上ミッションでは、半数以上の47機が自動キャリブレーションを達成。



©Amazon

AWS Ground Station(米)の例：

- 送受信局はAmazon(米)が世界中に保有するアンテナをシェア
- 運用管制局はクラウド上に構築

衛星開発製造技術の技術トレンド

23-001-R-019a

開発技術の大規模化・高度化に伴い、衛星開発・製造技術の革新も必要となってきた。

利用分野・
環境の変化

必要開発技術の大規模化・高度化

衛星開発
製造技術の
課題

従来開発手法での技術開発の
長期化、その間のニーズ変化への
対応や新規技術の早期導入

技術実証コストの増加
限定された実証機会
技術開発の長期化

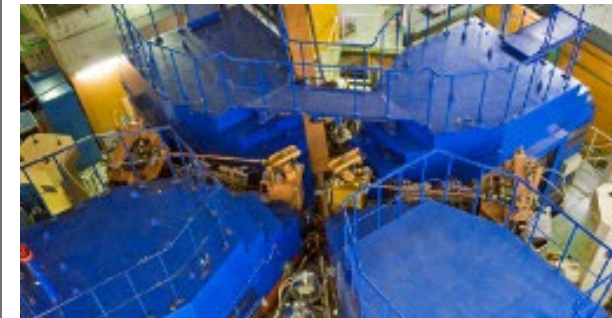
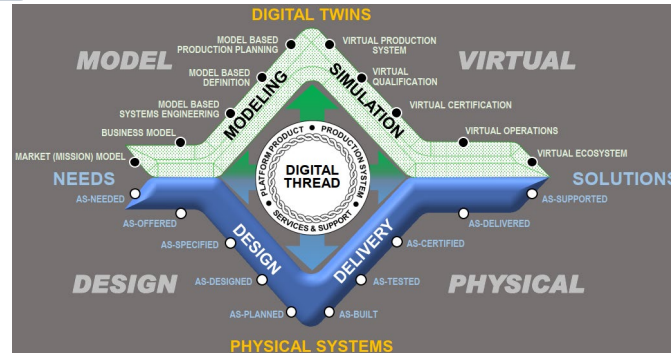
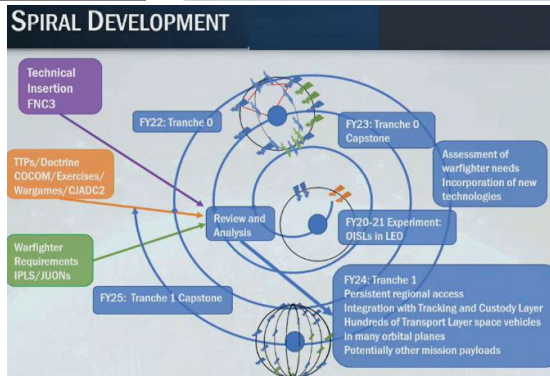
民生技術を活用せず、全てを宇宙
専用技術として開発することは
リソース的に困難

衛星開発・製
造技術の
技術トレンド

アジャイル・スパイラル開発

デジタルツイン技術を利用した
仮想的な実証機会の確保

COTSの宇宙転用拡大に必要な
放射線試験環境の拡充



PWSA※1(米)スパイラル開発：従来のように10年かけて一つの衛星を開発・運用することはせず、約2年程度の短いサイクルでその都度最新の衛星を開発する手法。出典：Milsat Symposium2022
※1:Proliferated Warfighter Space Architecture

Boeing(米)の進めるシステムエンジニアリング：仮想世界に実システムに対応したデジタルツインを生成。システム検証・実証を仮想的に行う開発手法。出典：[GPDIS](#)

理化学研究所(日) 仁科加速器科学研究センターの重粒子放射線試験設備
出典：[理化学研究所仁科加速器科学研究センター](#)

ot to be disclosed or reproduced without specific written permission from ASTEC



(財)衛星システム技術推進機構