

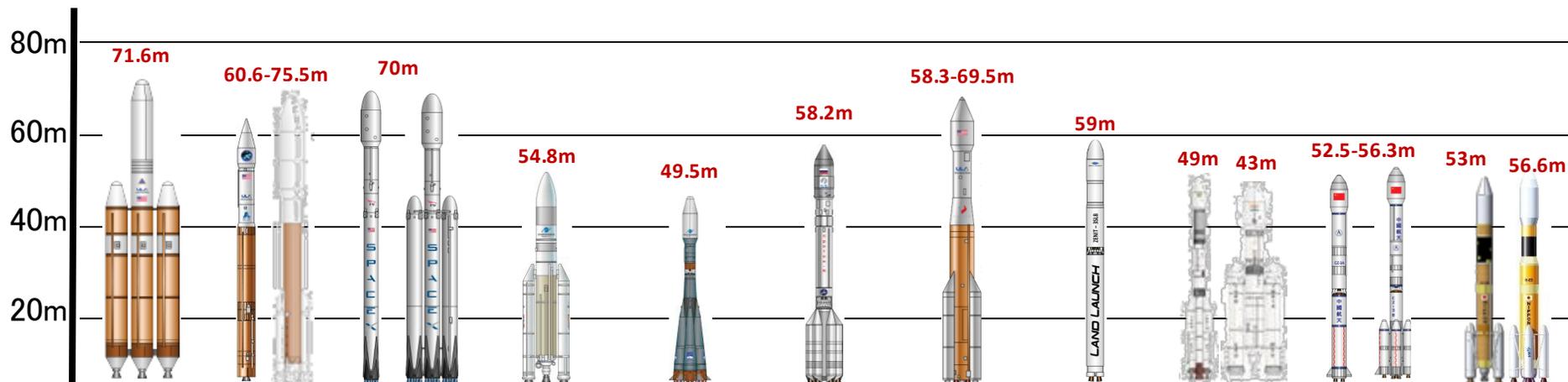
4.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

■ 概論

- 各国、宇宙への自立的輸送手段として、直接的・間接的に主力となるロケットを政策的に維持・発展させている。
- 米国民間企業SpaceXによる1段ステージ再使用の実用化が進む中、米国、ヨーロッパ、中国で同様の1段再使用化の研究開発が行われている。特に、ヨーロッパ、中国では、政府が積極的・計画的に再使用化に関わる研究開発を推進。
- 上段ステージ等の再使用化や宇宙往還機の研究開発も欧米で進められている。特に、SpaceXでは、完全再使用輸送システムであるStarship/Super Heavyを急速なピッチで開発中。
- 有人ロケットは、現在、ロシアのソユーズロケットと中国の長征2Fが運用中であるが、米国は政府の政策の下、複数の有人ロケット/宇宙船を開発中。SpaceXは2020年5月に有人飛行予定。
- 欧米では、小型ロケット等のベンチャー企業を支援。
- エアブリージングエンジンについては、米中露では安全保障用途での研究開発が政府主導で行われている。欧州では宇宙輸送システム、2地点間高速輸送システムを目指したエアブリージングエンジンSABREの開発が進められている。

4.2.1. 国外の宇宙輸送システムに関する政策動向

(1) 各国の運用中の主要な大型ロケット一覧



ロケット名	デルタ4 Heavy	アトラス5	ファルコン9 /Heavy	アリアン5 ECA/ES	ソユーズ CSG	プロトンM	アンガラA5	ゼニット3 SLB/SL	GSLV Mk.II Mk.III	長征3	H-IIA/B
国名	米国			欧州	ロシア			ウクライナ/ロシア	インド	中国	日本
製造	ULA	ULA	SpaceX	Airbus	TsSKB-Progress	Khrunichev	KBKhA	Yuzhmash	ISRO	CALT	MHI
GTO打上能力 (ΔV=1500m/s)	10.1t	2.7~6.9t	3.6~26.7t	10.5t	3.2t	6.2t	5.4-7.3t	3.6~6.1t	2.7-4t	2.6~5.5t※1	2.9~5.5t
成功数 / 打上げ数	9/10	80/81	80/82	101/106	1037/1068 22/23(CSG)	98/109	1/1	71/84	12/17	106/109	47/48
打上げ成功率	90%	99%	98%	95%	97% 96%(CSG)	90%	100%	85%	71%	97%	98%
初打上げ年	2004年	2002年	2010年	1996年	1966年	2001年	2014年	1999年	2001年	1984年	2001年
機体再使用			1段/ブースタ /フェアリング								
推進種	LOX/LH2	LOX/LH2 LOX/RP-1	LOX/RP-1	LOX/LH2	LOX/RP-1	N2O4/UDMH	LOX/RP-1	LOX/RP-1	LOX/LH2	N2O4/UDMH LH2/LOX	LOX/LH2

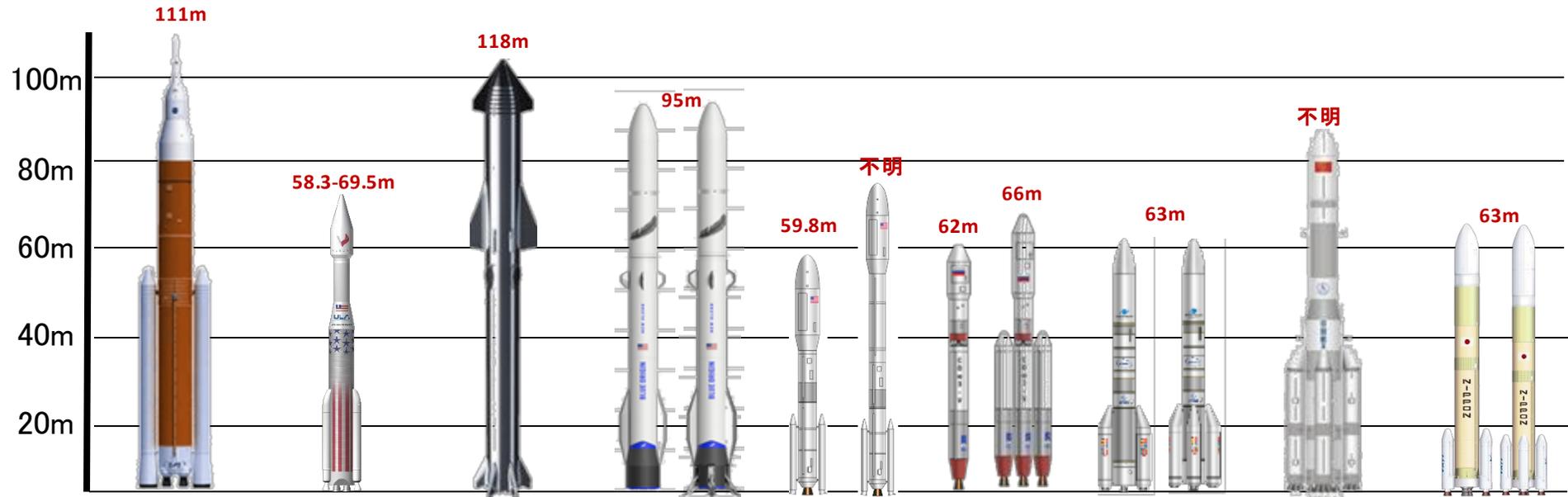
(2020年1月11日時点)

GTO: 静止トランスファ軌道(遠地点が高度36,000kmの楕円軌道。気象衛星や通信・放送衛星等を打上げる軌道)

※1: ΔV(衛星をロケットから分離後、静止軌道に投入するのに必要な増速量)=1800m/s

4.2.1. 国外の宇宙輸送システムに関する政策動向

(1) 各国の開発中の主要な大型ロケット一覧



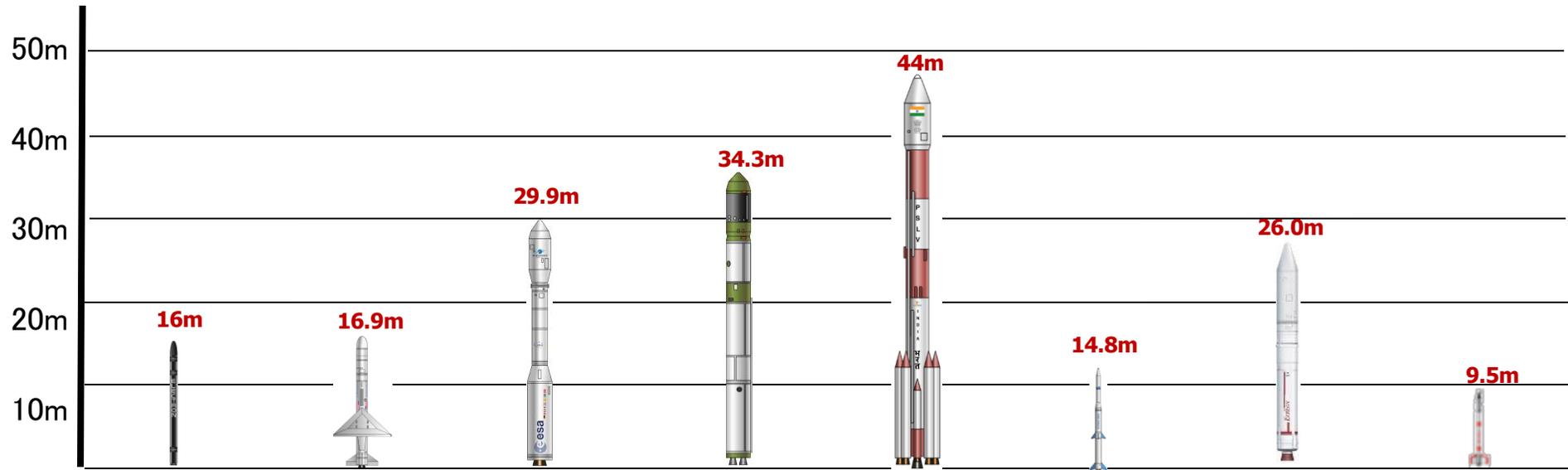
ロケット名	SLS	Vulcan	Starship/Super Heavy	New Glenn	Omega A	Irtysh (Soyuz-5)	Ariane 6	長征9	H3ロケット
国旗									
製造	Boeing, Orbital ATK, Aerojet Rocketdyne	ULA	SpaceX	Blue Origin	Northrop Grumman Innovation Systems	RKK Energia, TsSKB-Progress	Arianespace	CALT	MHI
GTO打上能力 (ΔV=1500m/s)	不明 (LEO:130t)	7.4-16.3t※1	不明 (LEO:250t)	13t※2 (2段式)	4.9-10.1t 5.25-7.8t	5t (LEO:16-18t)	4.5-12t	66t (LEO:140t)	6.5t以上
初打上げ年	2021年	2021年	2022年	2021年	2021年	2024年	2020年	不明	2020年度
機体再使用		1段エンジン	完全再使用	一段					
推進種	LOX/LH2	LOX/LCH4 LOX/LH2	LOX/LCH4	LOX/LCH4 LOX/LH2	HTPB LOX/LH2	LOX/RG-1	LOX/LH2	不明	LOX/LH2

(2020年1月11日時点)

※1: ΔV=1800m/s ※2: ΔV=不明

4.2.1. 国外の宇宙輸送システムに関する政策動向

(1) 各国の運用中の主要な小型ロケット一覧

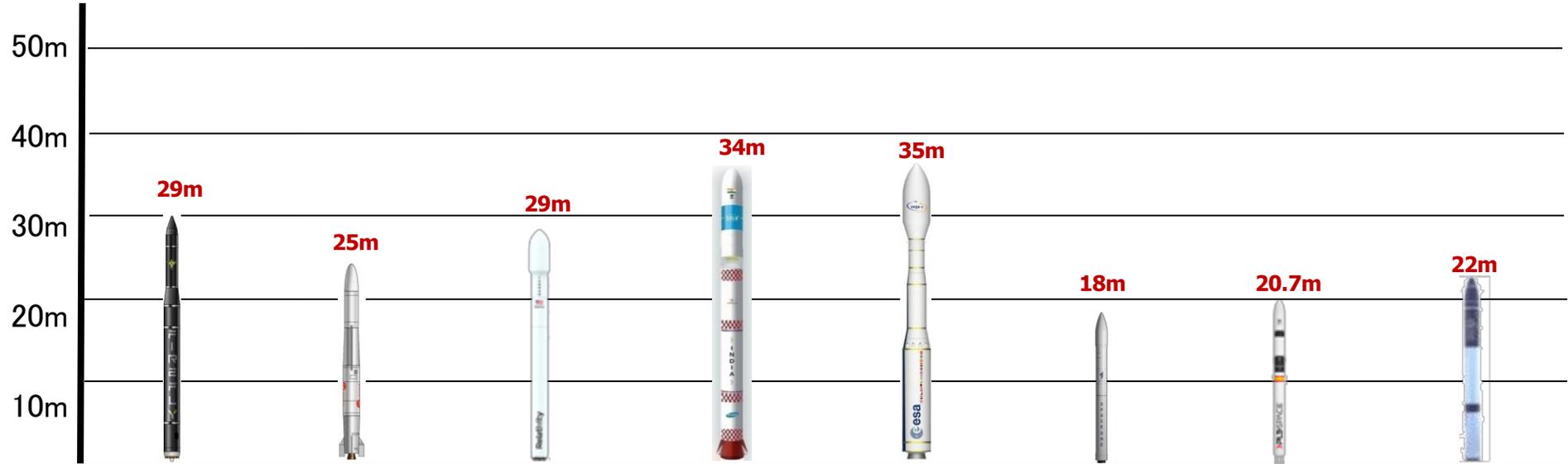


ロケット名	Electron	Pegasus	Vega	Dnepr	PSLV	OS-M1	イプシロン	SS520
国名	USA		欧州	ウクライナ	インド	中国	日本	
製造	Rocket Lab	Northrop Grumman	Avio		ISRO	OneSpace	IA	
SSO打上能力	150-225kg	325kg	1,430kg	2,300kg	1,750kg	112kg	590kg以上	4kg以上
成功数／打上げ数	9/10	39/44	14/15	21/22	47/50	0/1	4/4	3/4
打上げ成功率	90%	89%	93%	95%	94%	0%	100%	75%
初打上げ年	2017年	1994年	2012年	1999年	1993年	2019年	2013年	2017年

(2020年1月11日時点)

4.2.1. 国外の宇宙輸送システムに関する政策動向

(1) 各国の開発中の主要な小型ロケット一覧



ロケット名	Alpha1.0	Launcher-One	TERRAN1	SSLV	VegaC	Miura-5	SpaceOne	ZERO
国名	米国			インド	欧州		日本	
製造	Firefly Aerospace	Virgin Orbit	Relativity Space	ISRO	Avio	PLD Space	SpaceOne	インターステラテクノロジズ
SSO打上能力	600kg	300-500kg	700kg	300kg	2,200kg	83kg	150kg	100kg
初打上げ年	2020年	2020年	2021年	2020年	2020年	2022年	2021年度	2022-2023年

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.1 アメリカ

(1) 運用中の大型ロケット

- もともとは国策である旧EELVにより、2種類の異なる主力ロケットとしてATLAS、Deltaをそれぞれロッキードマーチン、ボーイングが開発・運用していたが、現在は両社のジョイントベンチャーであるULAが打ち上げサービスを実施。
- Falcon9は私企業としてFalcon9を開発。NASAのISS補給プログラムや空軍のNSSLによる衛星打上げ等を行う一方、打上げ価格の安さ等を武器に多数の商業衛星を打ち上げ。2018年は商業打ち上げ市場の58%を占めている。
 - SpaceX社は2015年Falcon9の1段ステージの再使用に成功。その後、改良を続け、**2018年より最終形態Block5(第1段ステージを点検のみで10回再使用可能、補修を行うことで100回以上の再使用可能)を運用開始**。また、2019年にはフェアリングの洋上回収にも成功している。
 - 2018年より、再使用ブースタ×2機を付加し能力を大幅に向上したFalcon Heavy(図A-6)を運用中。それまで世界最大の打上能力を誇っていた**Delta IVと比較して、打上能力2倍、価格1/3を実現**。



ULAが運用中の代表的なロケット
左: Atlas V 中央: Delta IV 右: Falcon 9

Falcon Heavyの打上げとブースタおよび衛星フェアリング回収の様子

2018年における商業衛星打上げ実績BRYCE、“2018 Orbital Launches Year in Review”

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.1 アメリカ

(2) 開発中の大型ロケット（周回衛星打上げ）

- 部分再使用システムについては、SpaceX社に続き**各社が精力的に開発を進めている**。
 - Blue Originは、2021年の初打上げを目指し、1段コア再使用の大型ロケットNew Glennを開発中。**1段コア再使用と効率的な再整備を前提**とした、システムを検討中。（左下図）
 - 大型のフェアリングを活かし、静止軌道へのデュアルローンチや多数のコンステレーション衛星の展開が可能。
 - ULAは、AtlasV、Delta IVの後継機として、2021年の運用開始を目指し、Vulcanを開発中。**最も製造費のかかる1段エンジン部のみを再利用**することですることによって打上能力を落とさず効率的にコストを削減。（中央図）
 - DARPAは、2021年の試験飛行を目指し、**有翼の再使用ブースター「XS-1」**の開発を実施中。（右下図）
 - 母機にはスペースシャトル・メインエンジンの派生型AR-22を採用。2018年、10日間に10回の燃焼試験を成功。
- ※ 2020/1/22情報 ボーイングは本プログラムからの脱退を決定

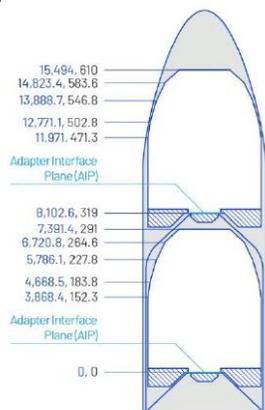


©Blue Origin

Blue originが開発中のNew Glennと1段再使用のコンセプト



©Blue Origin



©ULA

ULAが開発中のVulcanロケットと1段エンジン部の再利用のコンセプト



©Boeing

DARPAが開発中の有翼再使用ブースターXS-1と使用予定のエンジン（スペースシャトルメインエンジンの派生型）の燃焼試験の様子



©Aerojet Rocketdyne

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

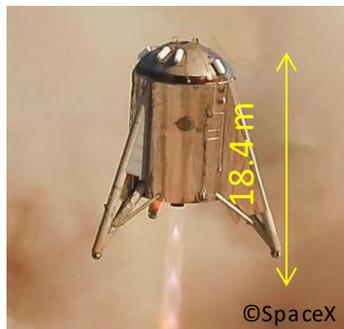
4.2.2.1 アメリカ

(2) 開発中の大型ロケット（周回衛星打上げ）

- SpaceXは、次世代のロケットとして、完全再使用の2段式ロケットStarship[上段]/Super Heavy[1段](旧Big Falcon Rocket: BFR)を2020年前半の軌道投入の試験打上げに向けて開発中。(中央左図)
- 用途は、地球上の軌道投入のほか、月・火星等の惑星への航行、地上での高速2地点間輸送にも使用する計画。
- LEO100～150トンの打上能力。
- これまでの開発経緯は以下の通り
 - ✓ 2016年以降、1000回再使用可能なメタンエンジンRaptor(2,000 kN/基、フルフロー2段燃焼サイクル)の実機試験を実施。
 - ✓ 2019年8月、Starhopper (Raptor×1基)による着陸実験(高度150 m)に成功。



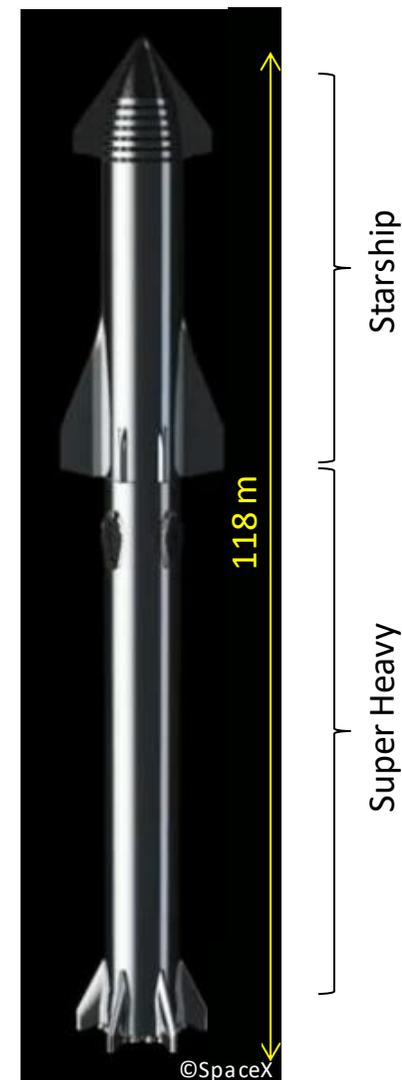
Raptorエンジンの燃焼試験の様子



Starhopperの飛行実験の様子



StarshipとSuper Heavy

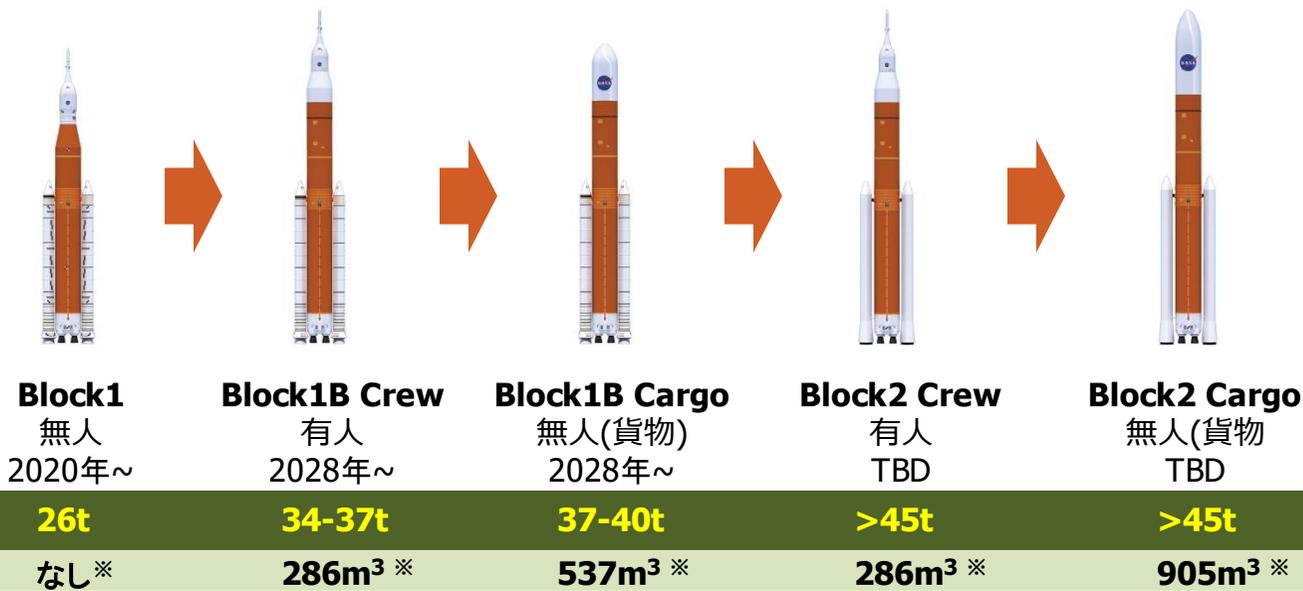


4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.1 アメリカ

(2) 開発中の大型ロケット（探査対応）

- 米国を中心とした、月面回帰、その後火星へとの動き(宇宙探査)が急速に進展。月面、火星へと活動領域が拡大していく中で、ロケットの役割として地球周回軌道への輸送だけでなく、有人輸送・軌道間輸送等、新たな輸送需要が生まれてくる可能性が出ている。
- 月面有人探査計画「アルテミス」においては、2020年にSpace Launch System(SLS)による無人の宇宙船オリオンを打上げ、2022年以降は定期的な有人飛行が予定されている。月面探査の拠点として開発するGatewayは2024年までに最小構成が完成する計画であるが、その構成モジュールや宇宙飛行士の輸送にはNASAのSpace Launch System(SLS)が使用される予定。一方、燃料等の物資補給にはSpaceX社のFalcon 9(使い切り使用)等、民間ロケットが活用される計画であり産業の活性化にも貢献。



※宇宙船Orion/
サービスモ
ジュールの容
積は含まない。

図A-1 Space Launch System(SLS)の発展計画

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.1 アメリカ

(3) 小型ロケット

- 従来、小型衛星の打上げは大型衛星との相乗りが主流であったが、昨今では、100kg級の小型衛星を専用に打ち上げる小型ロケットの需要が増大。政府の積極的な資金的・技術的支援もあり、無数のベンチャー企業が小型ロケットの開発に取り組んでいる。
- Rocket Lab社は、3Dプリンタ、複合材タンク、電動ポンプ等を採用した小型ロケットElectronを開発し2018年に打上げ成功。その後、11回の商業打上げに成功。高頻度打上げ対応のため1段再使用に向けた技術開発中。
 - また、同社は、Electronのキックステージを活用した、小型衛星プラットフォームPhoton(質量170kg)も開発中であり、2020年の初打上げを目指している。
- Virgin Orbit社は、米国だけではなく、イギリス、日本等からもLauncherOneの打上げを検討中※。

※2020年4月大分空港の利用計画を発表
- Relativity space社はロケット全体を3Dプリンタで製造するTerran 1を開発中であり、独自開発の3DプリンタStargateを活用し、人の手を介さない自動製作を推進。機体製作着手から打上げまでを60日間に短縮。



©Rocket Lab

Rocket Lab社のElectronロケットとキックステージを活用した小型衛星プラットフォーム



©Virgin Orbit

Virgin orbit社の空中発射ロケット LauncherOne



©RelativitySpace

Relativity Space社が開発中の Terran 1ロケット

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

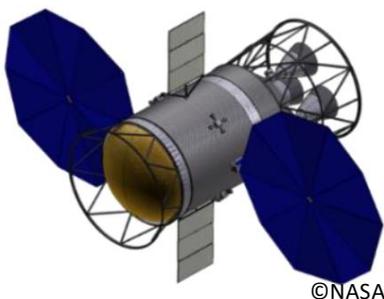
4.2.2.1 アメリカ

(4) 軌道間輸送機・往還機

- 月探査および将来探査に向けてLunar Gatewayを中心とした活動を計画中であり、人員輸送、物資輸送、探査活動に必要な輸送機の研究開発を実施中。
- 人員輸送のための輸送機として、Orion宇宙船(左下図)をESAと共同で開発中であり、2019年に試験飛行が実施された。
- Gateway以降の活動として、2030年代の有人火星着陸を実現するため、NASAは火星探査活動に必要な軌道間輸送機の研究を実施中であり、ミッション期間が長く推進剤の長期保存が要求されることなどから、LNG(液体メタン)を推進剤とする軌道間輸送機を研究中。
- 再使用可能な軌道間輸送機・軌道上サービス機の研究開発が官民双方で進められており、官(USAF、NASA、DARPA)が再使用可能な宇宙機の技術実証のために、X-37Bによるフライト実験・軌道上実験を実施中である。
- 民間企業が再使用可能な宇宙機としてDream Chaserを開発中であり、2017年に着陸実験が実施された。2021年へISSへ物資輸送を計画中。



開発中のOrion宇宙船



研究中の地球-火星間の軌道間輸送機の例



DARPAが運用中のX-37B



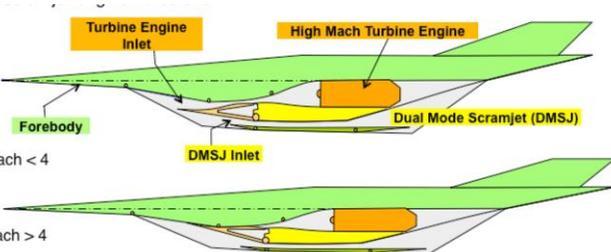
民間企業が開発中のDream Chaser

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.1 アメリカ

(5) エアブリージングエンジン搭載の宇宙輸送システム

- Robust Scramjet計画で、徐々に寸法・機能を付加しながら、段階に応じた社会実装(安全保障目的中心)を進めている。
 - 米空軍を中心にした、スクラムジェットエンジンを鍵として、徐々に寸法・機能(他のエンジンとの複合含む)を拡大して、アプリケーションを拡大する構想
- ターボジェットとスクラムジェットを組み合わせたTurbine Based Combined Cycle (TBCC:左下図)についての研究開発が行われている。
 - Lockheed Martin社はTBCCを2機搭載した無人偵察機SR-72(飛行マッハ数6程度)の構想を発表し、2025年頃の飛行を目指し研究開発中。(下中央図)
 - 2018年にはBoeing社がターボジェットとラムジェットの切替え式の推進装置を搭載した極超音速旅客機の構想(右下図)を公開している。



TBCCの概要(例)



LM社提案の無人偵察機SR-72



Boeing社の極超音速機旅客機構想

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.2 欧州

(1) 運用・開発中のロケット

- 現在、ペイロードの質量、投入軌道により、Ariane5, Soyuz, Vegaの3種類のロケットを使い分けている。
- Ariane 5、Soyuzの後継機としてAriane 6を2020年初打上げに向けて開発中。
 - Ariane 6はAriane5に比べ半分のコストで年間9基の打上げを予定。
 - GTO 5ton以上、SSO800km 5.5ton以上の打上げ能力を有するA62形態とGTO11ton以上の打上げ能力を有するA64形態の2種類。
 - 複数の小型衛星を相乗りで静止軌道(GEO)に直接投入する「定期便」の打上げサービス(搭載量4.5トン以上)を計画。静止軌道の活性化・新たな利用を目指す。
- 市場需要に合わせてVegaの打上げ能力を向上させるVega Cを2020年初打上げに向けて開発中。4段式ロケット(1~3段:固体、4段:液体)であり、1段をAriane 6の固体ブースタと共通仕様としてコストダウンを目指す。



Ariane 5
GTO:10.5t
($\Delta V=1.5\text{km}$)



Soyuz
SSO:4.4t
(820km)



Vega
SSO:1.3t
(800km)



Ariane 64
GTO:11.5t
($\Delta V=1.5\text{km}$)



Ariane 62
SSO:6.0t
(800km)



Vega-C
SSO:2.08t
(800km)

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.2 欧州

(2) 将来輸送系技術の開発

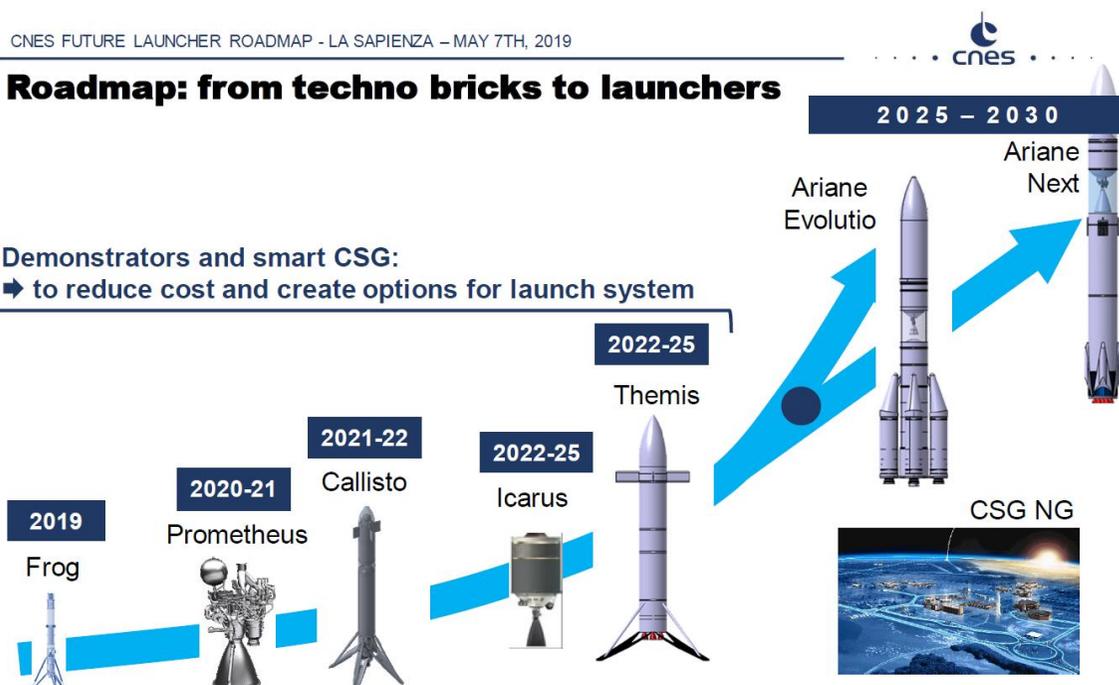
- Ariane6開発と並行して、再使用型輸送機や低コストメタンエンジンの適用などを想定した**Ariane 6以降の輸送機の形態を複数検討中**。
 - CALLISTO, Prometheus, Themisなどの1段再使用化に向けた段階的な実証研究を加速している。
 - 要素研究開発を実施の上、2025年頃までに**1段再使用等の有効性を見極め、打ち上げ機の開発方針を判断**する予定。

CNES FUTURE LAUNCHER ROADMAP - LA SAPIENZA - MAY 7TH, 2019

Roadmap: from techno bricks to launchers

Demonstrators and smart CSG:

→ to reduce cost and create options for launch system



欧州の輸送系技術のロードマップ
(Jean Marc ASTORG(CNES/DLA)
“CNES FUTURE LAUNCHER ROADMAP”)

◆ Prometheus(プロメテウス)エンジン:
ESAプログラムとして、仏CNESが中心となって
開発している再使用可能なメタンエンジン。

◆ CALLISTO(カリスト):
CNES/DLR/JAXAの共同で実施する1段再使用
に必要な技術のサブスケール実証試験。

◆ Themis(テミス)実証機:
CNESとArianeGroupがCALLISTOの次段階と
して検討中の、Prometheusを用いたフルス
ケール実証機。

◆ Icarus(イカルス):
Ariane 6の上段ステージであり、複合材タンク
等の軽量化技術を研究中。

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.2 欧州

(3) 小型ロケット

- 欧州においても、米国と同様に複数の新興企業による小型ロケットの開発が精力的に進められている。
 - FLPP(Future Launcher Preparatory Program)により、複数社と小型ロケットの研究開発契約を締結。
- PLD Space社やORBEX社などにより100～300kg級のペイロードを持つ小型ロケットが開発されている
 - スペインに拠点を置くPLD Space社はサブオービタル機(MIURA 1)と300kg程度の小型衛星を打ち上げるロケット(MIURUA 5)を開発中。
 - ORBEX社は150kg程度の打ち上げ能力を持つPrimeロケットを開発中。
 - ・ バイオプロパンを燃料として利用、エンジンの全体を3Dプリンタで製造、フライト実績のあるアビオニクスの利用などを特徴としている。
- スコットランドにSutherland spaceportを建設予定であり、Orbex社やRocketLab社が利用を計画している。
 - Spaceportの運用は、英国宇宙局によってなされる予定



©PLD Space

**PLD Space社が開発中のMIURUA 5
と関連するエンジン試験の様子**



©ORBEX

**ORBEX社が開発中のPrimeロケット
とエンジン試験の様子**



©ORBEX



© Sutherland spaceport

**スコットランドに建設予定の
Sutherland spaceport 72**

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関する技術動向

4.2.2.2 欧州

(4) エアブリージングエンジン搭載の宇宙輸送システム

- 英国政府や航空機メーカー、航空エンジンメーカーからの出資を受け、水素を燃料する予冷ターボジェット複合サイクルエンジン「SABRE」が開発中。
 - 英国政府から80億円以上、Boeing、Rolls Royceから36億円以上の資金が投入
- SABREエンジン適用した宇宙輸送システム「Skylon」や「LAPCAT II」(Long-Term Advanced Propulsion Concepts and Technologies II)の研究開発が行われている。

【Skylon】

- 離陸からマッハ数5.4(高度26km)までは大気中の空気を使うエアブリージングモードにより比推力3,000~5,000sを実現し、その後はロケットエンジンモードで増速。
 - 打上能力は、LEO 17トン、GTO 7.3トンであり、ターンアラウンド期間2日間、200回以上の再使用を目指している。

【LAPCAT II】

- Reaction Engines社により提案された、SABREの派生型エンジンScimitarを搭載予定のマッハ5で巡行する300人乗りの極超音速旅客機。



SABREエンジンやその派生型を適用予定



Skylon



LAPCAT-A2

水素を燃料する予冷ターボジェット複合
サイクルエンジン「SABRE」

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関する技術動向

4.2.2.2 欧州

(5) 軌道間輸送機・往還機

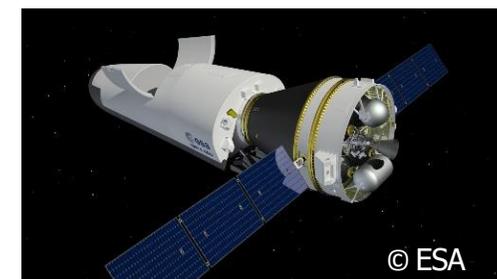
- 月・惑星探査に使用する軌道間輸送機や再使用可能な往還機を研究開発中である。
- 米国と協力し、ATVの技術を活用したOrion宇宙船用のサービスモジュールを開発中であり、2020～2021年に打上げを計画。(左下図)
- 再突入時の空力設計技術、航法・誘導・制御技術、熱防護技術の実証を目的にIntermediate eXperimental Vehicle(IXV)が2015年に打上げられており、フライト実験を実施。(下中央図)
 - IXVで実証した技術を基に再使用可能な宇宙機であるSpace Riderを研究開発している。
- Space RiderはVEGA-Cの上段と組み合わせることで高頻度な宇宙空間へのアクセス手段を確保することを目的として研究開発が進められている。(右下図)
 - 軌道上実験、微小重力環境実験、地球観測などをミッションとして計画中である。



ATVの技術を活用してOrion宇宙船のサービスモジュールを開発



再突入技術実証機であるIXV



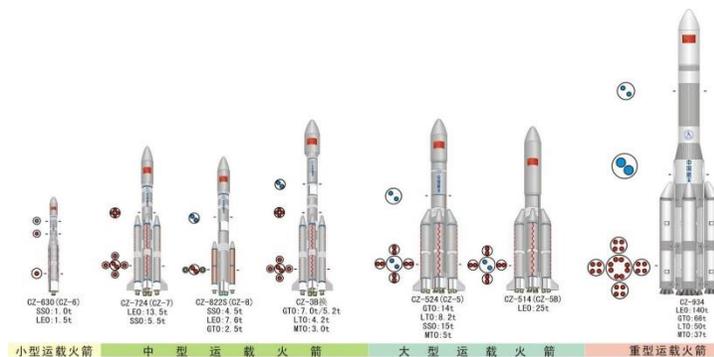
計画中のSpace Rider

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関する技術動向

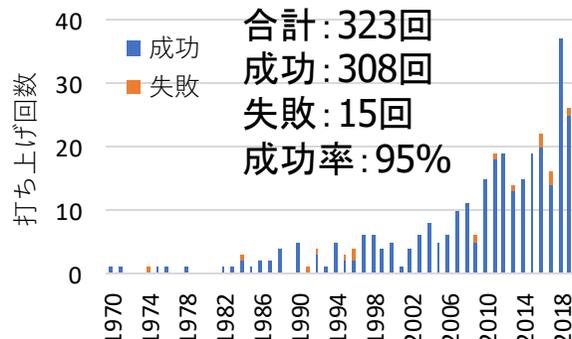
4.2.2.3 中国

(1) 運用中のロケット

- 中国では長征ロケットの開発をシリーズ的に進め、現在の宇宙開発の基礎を確立。目的に合わせ、様々な軌道・打上げ能力を大型・中型・小型ロケットで実現しており、近年は打ち上げ機数が急増している。
 - 2019年末までに323回長征ロケットが打ち上げられており、うち308回の打ち上げに成功。
 - 2018年は37回、2019年は21回の打ち上げが実施されており、近年は年間打ち上げ回数で世界一となっている。
 - 2003年以降、長征2Fにより有人打上げを実施。
- 月等の探査ミッションを担う大型ロケット「長征5型」(GTO:14 ton LTO:8.2 ton)や固体燃料小型ロケット「長征11号」(SSO:350 kg)など、運用中。
 - 長征5号は、2019年末までに3回打ち上げられ、うち2回の打ち上げに成功。2020年後半に打上げ予定の4号機では火星ミッション、5号機では月のサンプルリターンミッションを計画中。
 - 長征11号は、2019年6月に海上プラットフォームからの打上げに成功。



長征ロケットのシリーズ



中国によるロケットの打ち上げ回数の変遷



© CALT



© CALT

大型ロケット長征5型(左)と海上から打ち上げられた長征11号

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関する技術動向

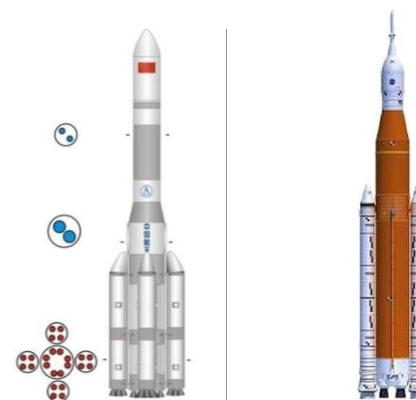
4.2.2.3 中国

(1) 開発中の大型ロケット

- 1段再使用化の技術開発や有人月探査等に向けた**大型ロケットの研究開発も精力的に進められている**。
- 1段再使用化を目指した「**長征8号**」の研究開発が進められていた。
 - コア(グリッドフィン・脚により回収)、固体ブースタ(パラシュートにより回収)を再使用するロケットで市場進出後は年間10-20機を想定。
 - 2019年12月に第2段エンジンの燃焼試験が終了したが、再使用性についての言及はない。
- 中国のスペースステーションのモジュールを打上げる目的で「**長征5型**」の派生型の大型ロケット**5B型** (LEO 25ton)の開発も進められている。
 - 2020年前半の打上げでは、無人にて、深宇宙探査が可能な有人飛行船をペイロードとする予定。
- 2030-2050年に実施予定の**有人月探査等に使用される計画のSLSと同規模の超大型ロケット「長征9型」**(GTO 66ton LEO 140ton LTO 50ton)の開発が進められており、2028年打上げを目指した開発が進行中。



長征8号の1段再使用化の検討例と開発中の長征8号



長征9型

(参考)長征9型はSLS block1とほぼ同じ大きさ

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関する技術動向

4.2.2.3 中国

(2) 運用中の小型ロケット

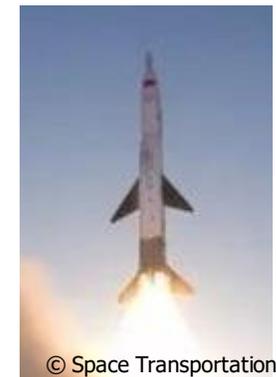
- 2014年に中国政府が民間企業の宇宙産業への進出を許可して以来、数多くのベンチャー企業が打ち上げ市場に参入し、様々なロケットの開発が進められている。
 - 政府も宇宙産業分野への投資を奨励しており、民間企業による打ち上げ施設等の使用を認めている模様。
- 2019年7月には、中国の民間企業としては初めてiSpace社が小型固体ロケットHyperbola-1の打ち上げに成功した。
- 2019年には、Linkspace社、Space Transportation社が、それぞれ小型ロケットの再使用化実験飛行に成功している。
 - Linkspace社：1段再使用可能なロケットのプロトタイプの飛行・着陸実験（高度300m）に成功（2019年8月）
 - Space Transportation社：有翼再使用ロケットの実験機の飛行・着陸実験（高度26.2km）に成功（2019年8月）



iSpace社の小型ロケットHyperbola-1の打ち上げの様子



Linkspace社の再使用ロケットのプロトタイプと飛行試験の様子



Space Transportation社「嘉庚1号」

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関する技術動向

4.2.2.3 中国

(3) 国が行っている技術開発

- 国有企業CASC(China Aerospace Science and Technology Corporation 中国航天科技集团公司)は、再使用宇宙輸送システムの実現に向け、段階的な計画をしている。
 - 2025年頃、再使用可能なサブオービタル輸送機による宇宙旅行の実現を計画。
 - 2030年頃までに1段・2段が再使用可能なロケットを完成させ、2035年までに上段も含めた完全再使用輸送システムの実現を計画。
 - 2040年頃には、更なる高信頼性化・低コスト化・高性能化を目指した、複合サイクルエンジンを用いた完全再使用輸送システムを実現する計画。

Reusable Launch Vehicle 重复使用

➤ Reusable lift-body launchers will be developed by “3 phases”.

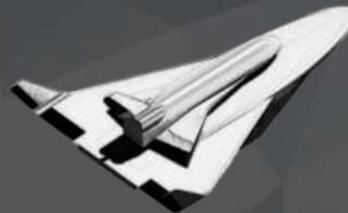
明确了发展升力体式重复使用运载器“三步走”的发展思路。



Rocket-engine partial reusable vehicle
火箭动力部分重复使用



Rocket-engine full reusable vehicle
火箭动力完全重复使用



Combined cycle-engine reusable vehicle
组合动力飞行器

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関する技術動向

4.2.2.3 中国

(4) エアブリージングエンジン搭載の宇宙輸送システム

- 国有企業、大学において、エアブリージングエンジンおよび輸送システムの研究開発が進められている。
 - 国有企業「中国航天科工集団(CASIC)」は、母機にエアブリージングエンジンを搭載した2段式宇宙輸送システム「Tengyun」を開発中。
 - 国有企業「中国航天科技集团公司CASC」は複合サイクルエンジンTEREを開発中。
 - 廈門大学はエアブリージングエンジンXTERの飛行実証を2019年4月に実施。



- 国有企業「中国航天科工集団(CASIC)」2段式の再使用型宇宙輸送システム「Tengyun」を開発中。
- 打上能力は、2トンまでの貨物または5人の宇宙飛行士とのごと。

Tengyun



- 国有企業「中国航天科技集团公司CASC」が進める複合サイクルエンジン Turbo-aided Rocket-augmented Ram/scramjet Engine (TRRE)。
- 2020年までに本エンジンの技術を確立し、2030年には極超音速スペースプレーンとして飛行させる計画。

TRRE



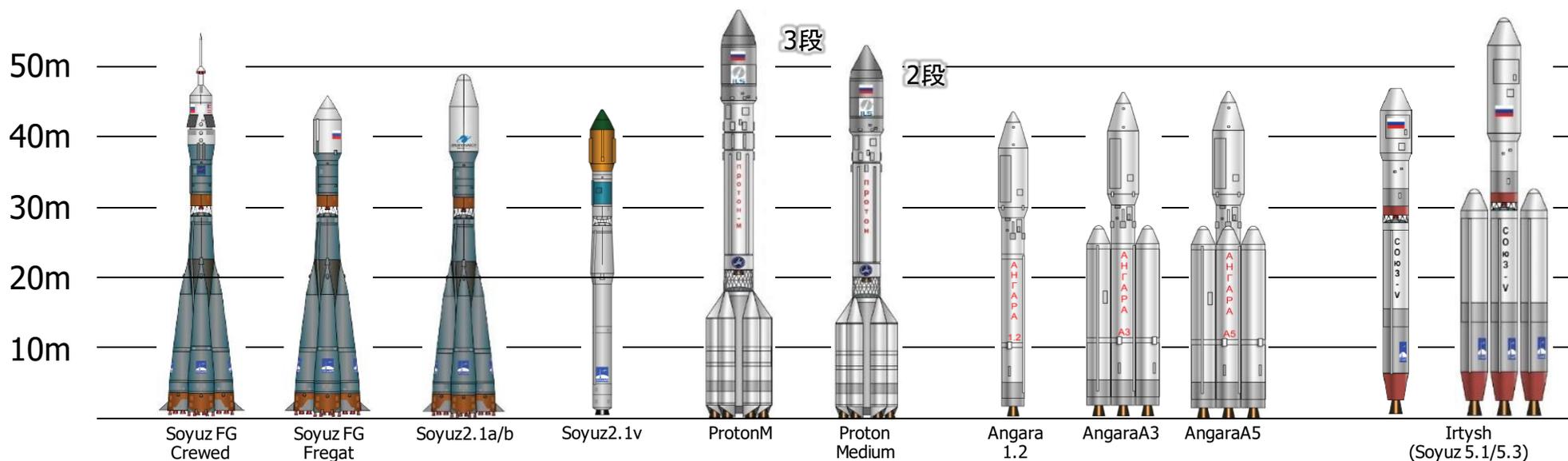
- 廈門大学がマッハ数4~6で作動するエアブリージングエンジン(TBCC)を開発。
- 2019年4月「嘉庚1号」により打ち上げられ、マッハ数3.5まで加速した模様。

XTER

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.4 ロシア

- これまでソビエト連邦時代に開発されたプロトンロケット、ソユーズロケット、ゼニットロケット、ロコットロケットを主力ロケットとして維持・運用してきた。
- 昨今、アンガラロケット、エルティシロケット(ソユーズ5)の開発が進められている。
- 今後、ソユーズ、アンガラの2系統に統合していく計画。



ソユーズロケット

- 1966年から運用しており、有人用、物資補給船用、衛星打上げ用等のバリエーションあり。
 - Soyuz FG: 国際宇宙ステーションへの要員・物資の輸送用と
 - Soyuz2.1: 低軌道軌道打上げ
- 2011年よりギアナ宇宙センターから欧州版打上げ開始。

プロトンロケット

- 1967年から運用
- 静止軌道打上げを主目的としたProtonM、およびその派生のProtonMedium/Lightがある。

アンガラロケット

- プロトンロケットの後継機として開発。
- 2014年、アンガラ1.2のサブオービタル試験打上げ、重量級アンガラA5の初試験を実施。

エルティシロケット

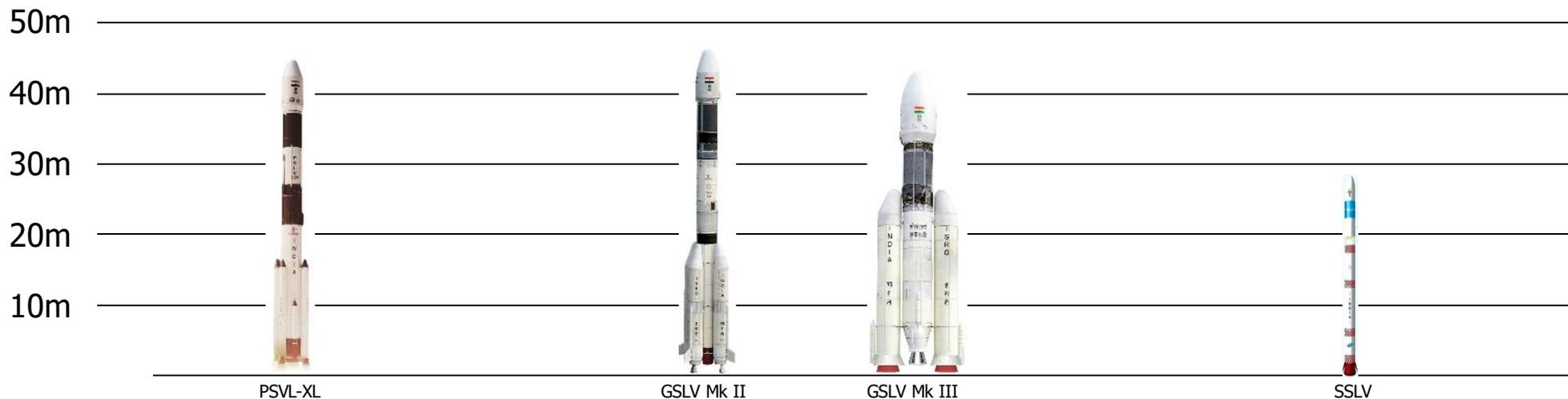
- ゼニットロケットの後継機として開発中。
- 5ton(GTO)、17.3t(LEO)
- 次世代有人宇宙船「Federation」打上げに使用予定。

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.5 インド

■ 軌道投入ロケット

- 極軌道衛星打上げ用にPolar Satellite Launch Vehicle (PSLV)、静止衛星打上げ用にGeosynchronous Satellite Launch Vehicle (GSLV) Mk II/ MK IIIを運用中。また小型ロケットSSLVを開発中。
- 2022年、GSLV MKIIIによる有人打上げを計画中。



PSLV(運用中)

- 4段式使い切りロケット(1、3段: 固体ロケット、2、4段: 液体エンジン)
- 打上能力は1.86ton(475kmSSO)。
- 1機\$30M程度の価格。2種類の固体ブースタを使い分け、幅広い打上能力に対応。

GSLV Mk II/Mk III(運用中)

- PSLV N2O4/UH25液体ブースタと LOX/LH2エンジンの第3段を加える事で 打上能力を向上させた3段式の使い切りロケット。
- 打上能力は以下の通り。
 - GSLV MkII: 2.2ton(GTO)
 - GSLV MkIII: 4.0ton(GTO)
- 2022年にMkIIIによる有人飛行を計画。

SSLV(開発中)

- 直径2m、全長34m、打上げ時重量120t、3段固体ロケットで上段(第4段)に液体推進モジュールを搭載。
- 高度500km、軌道傾斜角45度のLEOへ質量500kg、SSOへ300kgのペイロード投入が可能。

4.2.2. 国外の宇宙輸送システムに関わる技術動向

4.2.2.5 インド

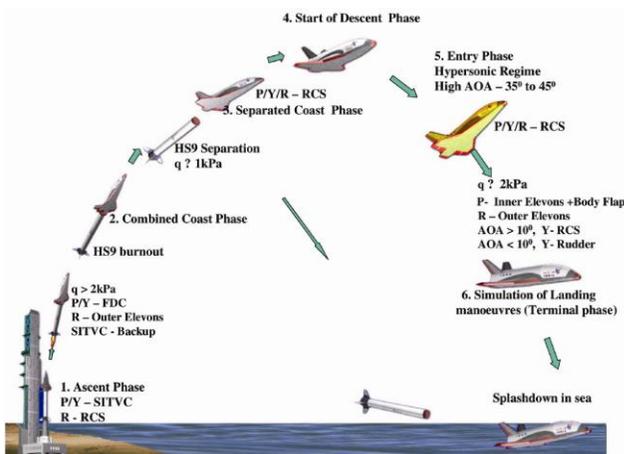
■ 再使用宇宙輸送システム技術実証機(RLV-TD)

RLV-TD: Reusable Launch Vehicle-Technology Demonstrator

- 低コストでの宇宙アクセスを可能とする完全再使用型ロケットの実現に向けた研究開発を実施中。
- 2016年5月、ISROにより、小型ロケットにより打ち上げた有翼形態の実験機を高度65kmからマッハ数5で飛行させ、自律的な航法誘導制御則、再使用可能な熱防護システム等の要素技術を検証した。

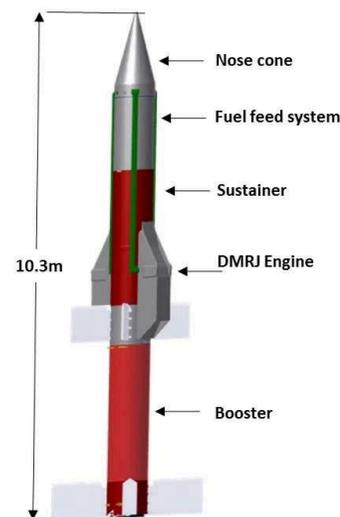
■ スクラムジェットエンジン(Scramjet Engine Technology Demonstrator)

- エアブリージングエンジンの研究開発を実施中。
- 2016年8月、水素を燃料としたスクラムジェット(超音速エアブリージング)エンジンを固体ロケットで加速し、マッハ6で極超音速(マッハ6)飛行試験を実施(スクラムジェットエンジンの飛行実証を行った国としては世界で4番目)。



© ISRO

RLV-TDのフライトプロファイル(左)と小型ロケットで打上げる前の様子(右)



© ISRO

Scramjet Engine Technology Demonstratorの機体概要(左)と打上げ前の様子(右)



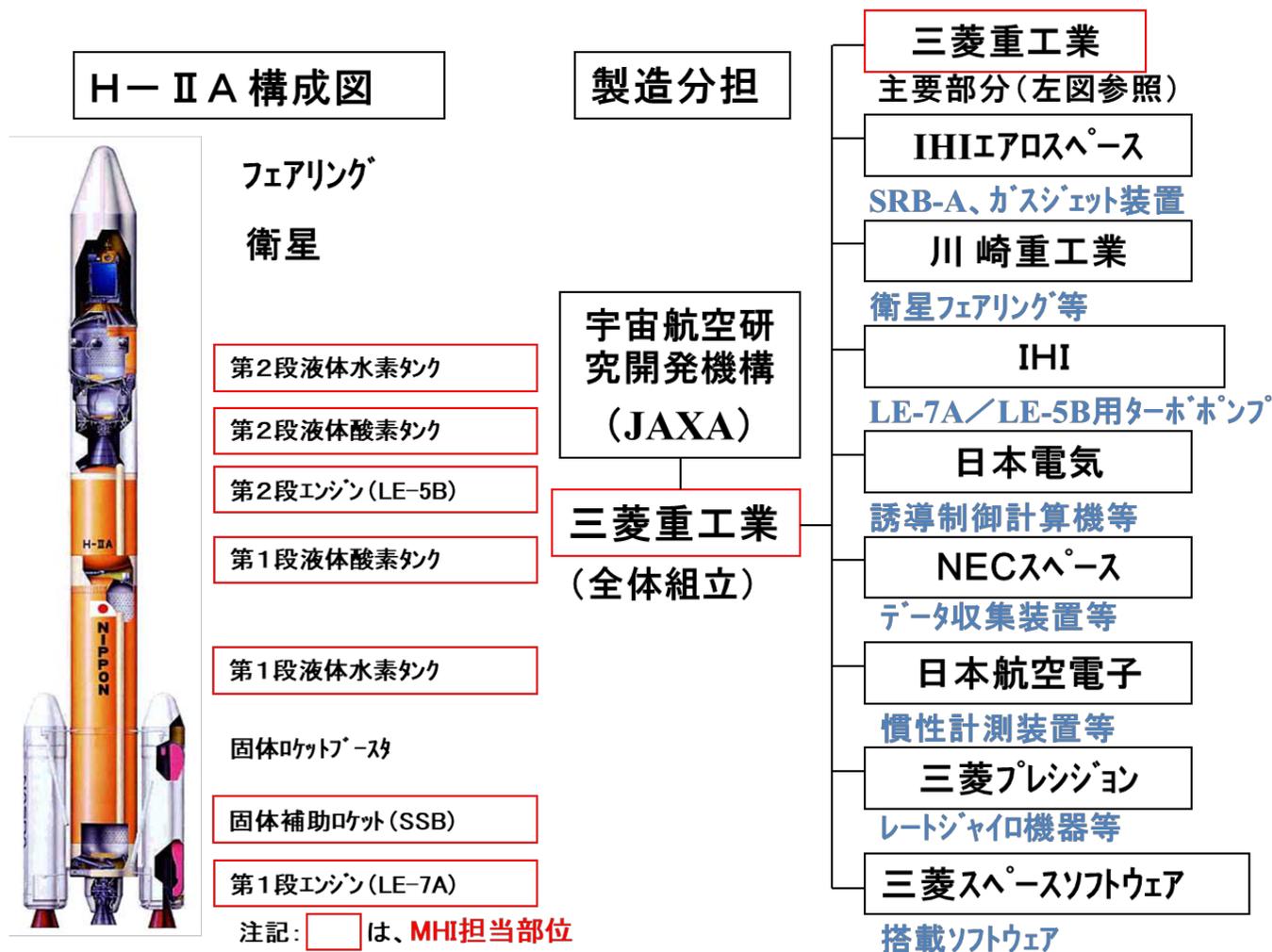
© ISRO

5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.1 これまでのロケットビジネス事例

■ H-IIA/Bロケット開発における主要構成品と製造担当企業

- H2Aロケットの部品点数は約100万点(202型)あり、それぞれの製造担当企業傘下には中小企業を含めたサプライチェーンが構築されている。



5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.1 これまでのロケットビジネス事例

■ H-IIA/Bロケット民間企業活動事例

- 基幹ロケット開発を通じて獲得した技術により、民間企業が海外企業と独自の企業活動を展開。

◆米国デルタIV ロケットエンジン部品

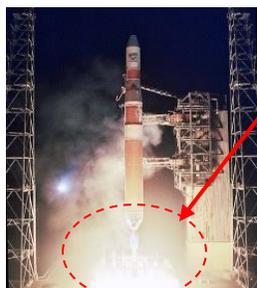
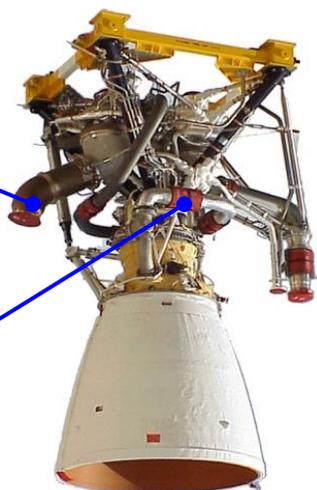
三菱重工業は米国Aerojet Rocketdyne社(旧Pratt & Whitney社)に1998年よりロケットエンジン部品を供給中



熱交換器



バルブ類
(9種類17個)



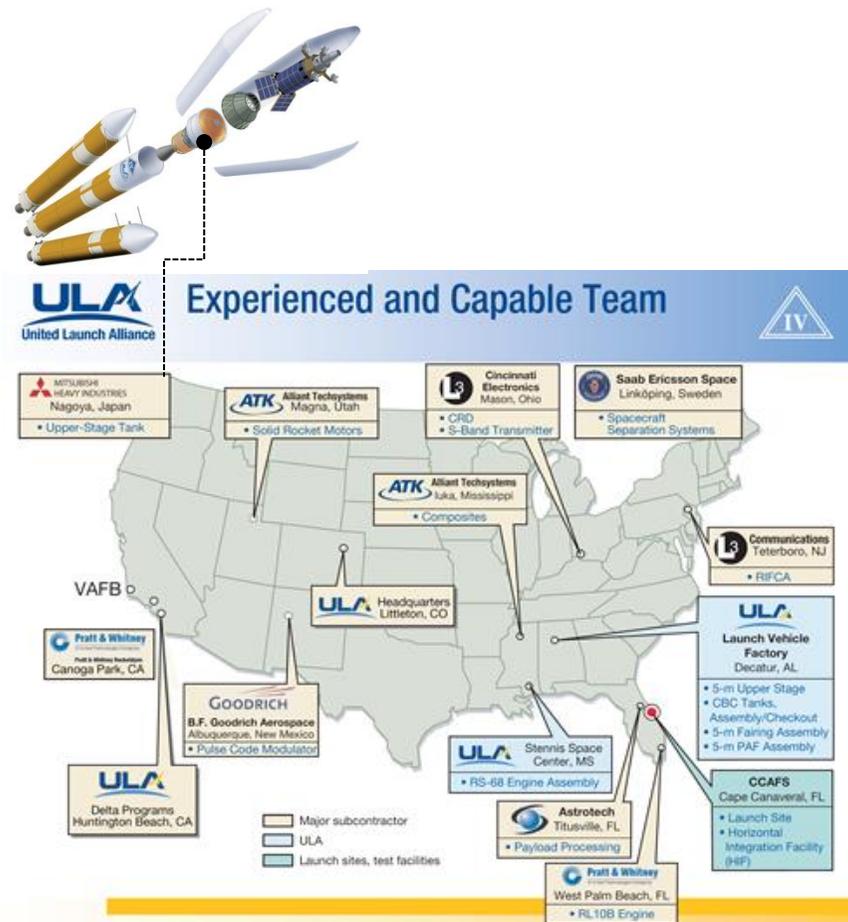
米国デルタIV
(エンジン1台/1機)



米国デルタIV Heavy
(エンジン3台/1機) (c)MHI

◆デルタIV/デルタIV Heavy 2段液体水素タンク

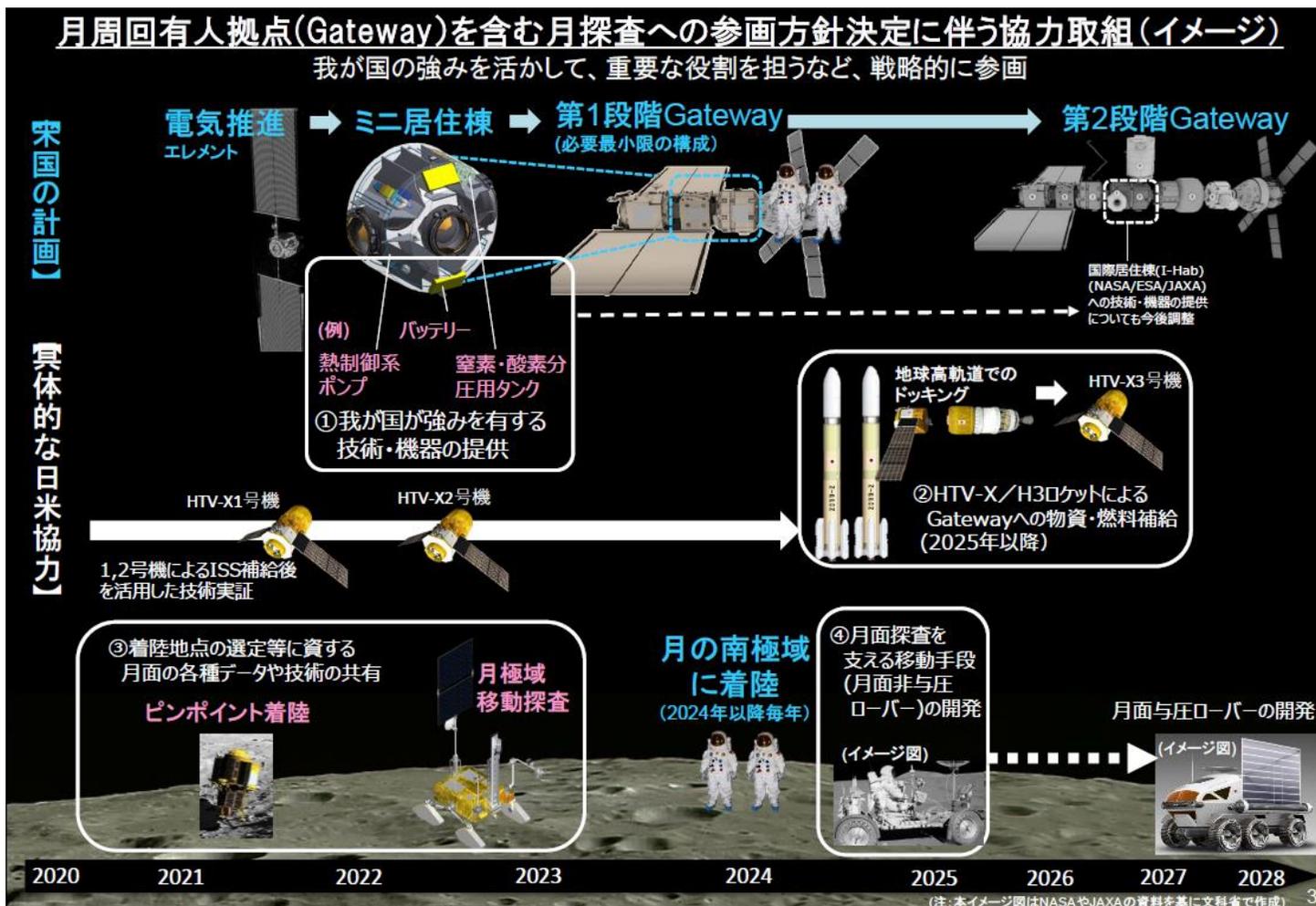
三菱重工業は直径4mのタンクを米国ULA社に供給中



5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.2 月探査を第一ステップとした宇宙探査活動の構想実現化の動き

- 米国では、2024年の有人月面着陸、2030年代の有人火星着陸を目指す「アルテミス計画」を発表。同時に、我が国でも、国際宇宙探査計画への参画を決定。宇宙輸送系関連では、HTV-X/H3ロケットによる月周回有人拠点(Gateway)への物資・燃料補給ミッションで貢献する計画。また、将来的な月・火星探査構想検討において輸送需要の増加が見込まれる状況。



第2回将来宇宙輸送システム調査検討小委員会 資料2-3-6抜粋

5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.3 宇宙利用活動の広がりおよび宇宙領域の戦略的重要性の高まり

- 宇宙は他分野から独立していた時代から、国民生活にデータを介して不可欠なものになり、宇宙の果たす役割は飛躍的に増大。
- 同時に、宇宙は我が国としての優位性を獲得する上で死活的に重要な領域と識別され※、新たな防衛力構築に向けて従来とは抜本的に異なる速度で変革を進めることとされた。
※「平成31年度以降に係る防衛計画の大綱について」
- 米国においても、国防総省に宇宙軍を新たに創設することを決定。
- また、スペースデブリ増加が宇宙空間の安定的な利用への脅威になるとの国際的な共通認識の下、対策の取り組みや規範作り等の検討・議論が加速してきている。
- 民間の宇宙活動が活発化する中、安全保障用途を含めたデュアルユースとして、宇宙空間の利用・技術とその価値が多様に変化していくとともに、国が主体となる活動が広がっていくことも想定される。

(参考1)平成30年12月18国家安全保障会議決定 閣議決定「平成 31年度以降に係る防衛計画の大綱について」抜粋 (強調は原文にはなし)

今後の防衛力の強化に当たっては、以上のような安全保障の現実に正面から向き合い、従来の延長線上ではない真に実効的な防衛力を構築するため、防衛力の質及び量を必要かつ十分に確保していく必要がある。特に、宇宙・サイバー・電磁波といった新たな領域については、我が国としての優位性を獲得することが死活的に重要となっており、陸・海・空という従来の区分に依拠した発想から完全に脱却し、全ての領域を横断的に連携させた新たな防衛力の構築に向け、従来とは抜本的に異なる速度で変革を図っていく必要がある。—

5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.3 宇宙利用活動の広がりおよび宇宙領域の戦略的重要性の高まり

(参考2) 平成30年12月18日国家安全保障会議決定 閣議決定「中期防衛力整備計画(平成31年度～平成35年度)について」抜粋 (強調は原文にはなし)

領域横断作戦を実現するため、優先的な資源配分や我が国の優れた科学技術の活用により、宇宙・サイバー・電磁波といった新たな領域における能力を獲得・強化するとともに、新たな領域を含む全ての領域における能力を効果的に接続する指揮統制・情報通信能力の強化・防護を図る。

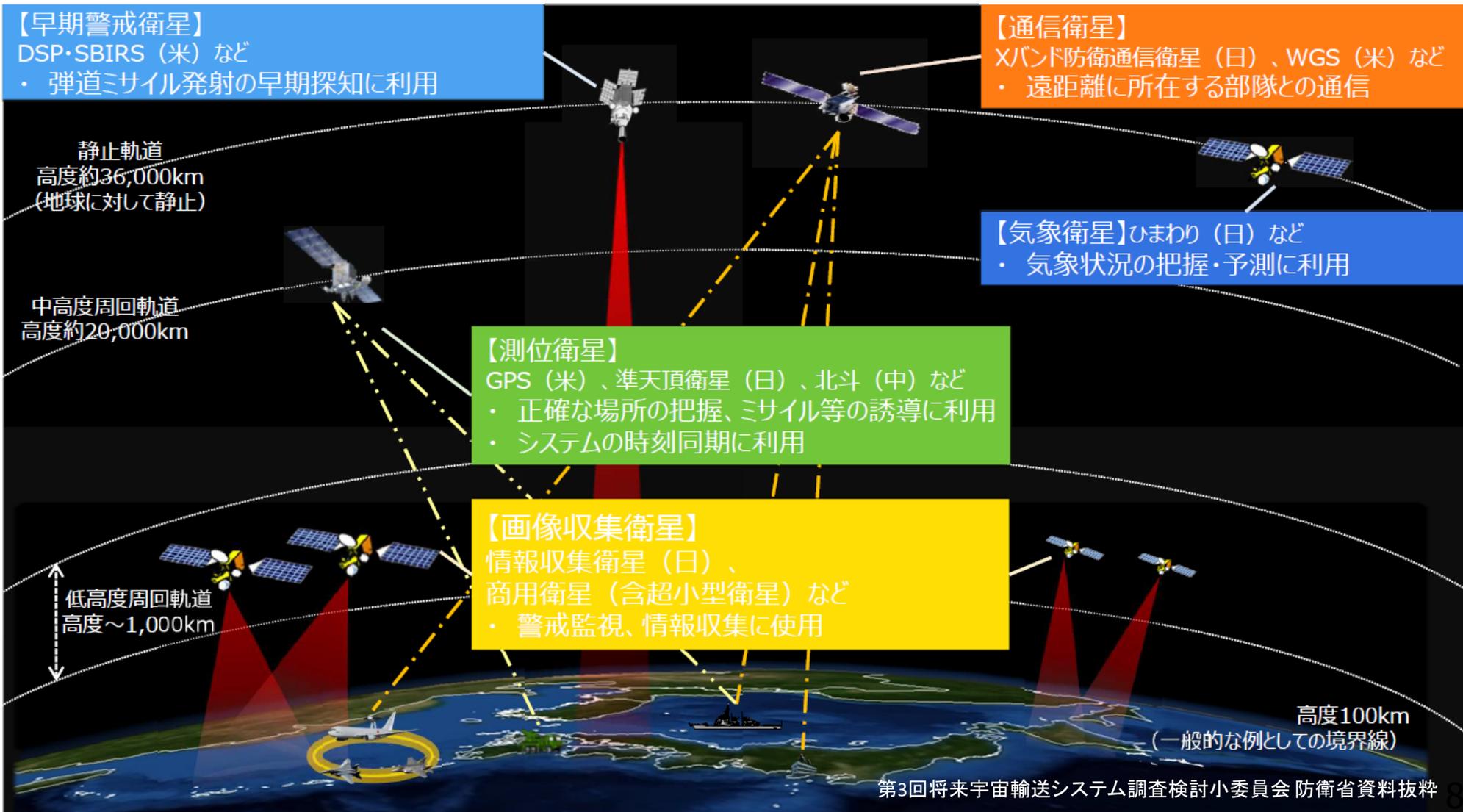
宇宙・サイバー・電磁波といった新たな領域を含め、領域横断作戦を実現できる体制を構築し得るよう、統合幕僚監部において、自衛隊全体の効果的な能力発揮を迅速に実現し得る効率的な部隊運用態勢や新たな領域に係る態勢を強化するほか、将来的な統合運用の在り方として、新たな領域に係る機能を一元的に運用する組織等の統合運用の在り方について検討の上、必要な措置を講ずるとともに、強化された統合幕僚監部の態勢を踏まえつつ、大臣の指揮命令を適切に執行するための平素からの統合的な体制の在り方について検討の上、結論を得る。

宇宙空間の状況を常時継続的に監視するとともに、平時から有事までのあらゆる段階において宇宙利用の優位を確保し得るよう、航空自衛隊において宇宙領域専門部隊1個隊を新編する。

5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.3 宇宙利用活動の広がりおよび宇宙領域の戦略的重要性の高まり

- ✓ 宇宙空間は国境の概念がなく、人工衛星を活用すれば、地球上のあらゆる地域の情報収集や通信、測位などが可能となるため、安全保障の基盤として死活的に重要な役割を果たしており、各国は宇宙空間を軍事作戦の基盤として利用



5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

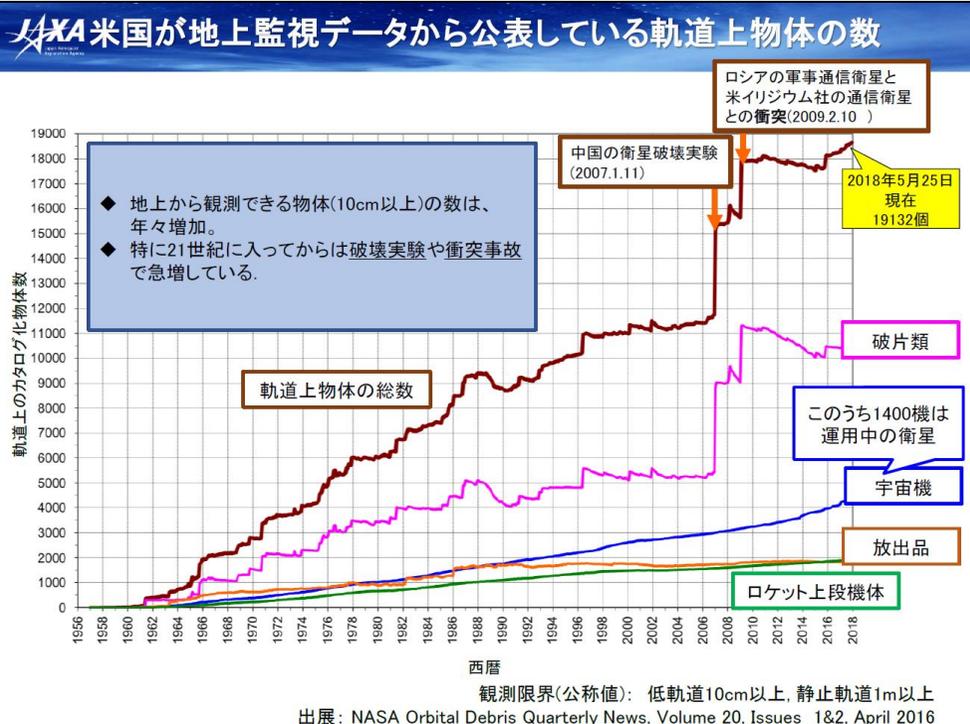
5.3 宇宙利用活動の広がりおよび宇宙領域の戦略的重要性の高まり



5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.4 宇宙デブリへの対策

- スペースデブリといった宇宙環境の悪化も進行しており、その低減に向けた取組が国際的に検討。
 - 宇宙環境の悪化: 地上から観測できる物体の数は年々増加しており、21世紀以降に急増(下左図)
 - 低減に向けた取組: 国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)にて機関間スペースデブリ調整委員会(IADC)ガイドラインをエンドースし、各国にIADCガイドラインに即した取り組みを促している(下右図)
 - ・ H3では、運用終了後の2段機体を制御再突入する計画を検討中。
 - ・ イプシロンでは、デブリ低減活動として、スラグレス固体推進薬等を検討中。



Source: 宙を拓くタスクフォース(第4回) JAXA資料抜粋

国際機関間スペースデブリ調整委員会(IADC)の開催概要

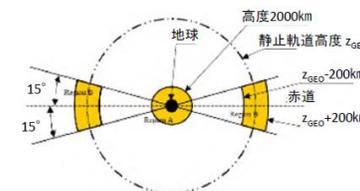


国際機関間スペースデブリ調整委員会(IADC*)の概要

*: Inter-Agency Space Debris Coordination Committee

- 組織の概要
 - 加盟宇宙機関間での研究活動に関する情報交換、研究協力の機会の提供、デブリ低減策の識別等を目的
 - ステアリンググループ(SG)と4つのワーキンググループ(WG: 状況把握、環境予測、防護、低減)で構成
 - メンバ要件は国を代表する宇宙機関であり、現在13か国から13機関が加盟している。
- これまでの成果例
 - IADCスペースデブリ低減ガイドラインの策定(2002)
 - ✓ デブリ低減に関する先進国宇宙機関間の初めての合意ガイドライン
 - ✓ NASDA標準・米国政府基準をベースに、1990年代からJAXA(当時NASDA)がルール策定議論を先導・貢献
 - ✓ この内容をふまえて国連スペースデブリ低減ガイドライン、国際標準規格(ISO-24113)が制定された。
 - ガイドラインの主な項目
 - ① 正常な運用で放出される物体の制限
 - ② 軌道上破砕事故の防止
 - ・ 破砕事故、残留エネルギーによる爆発の防止
 - ・ 意図的な破壊行為、軌道環境に有害な行為の禁止
 - ③ 運用終了後の廃棄(保護すべき軌道域からの除去):
 - ・ 静止軌道保護域: 運用終了後に300km程度の高度上昇
 - ・ 低軌道保護域: 運用終了後25年以内に落下させる
 - ④ 軌道上の衝突の防止(地上で監視できる物体との衝突の回避)

NASA(米)、ROSKOSMOS(露)、CNES(仏)、JAXA(日)、ASI(伊)、CNSA(中)、UKSA(英)、DLR(独)、ESA(欧)、ISRO(印)、NSAU(烏)、CSA(加)、KARI(韓)



IADCで定められた保護領域

Source: 宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会 第40回会合 JAXA資料抜粋

5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.5 将来宇宙ビジネスの展望(輸送ビジネス中心)

- 将来の宇宙ビジネスに向けて、多様な新しい事業が生まれつつある。



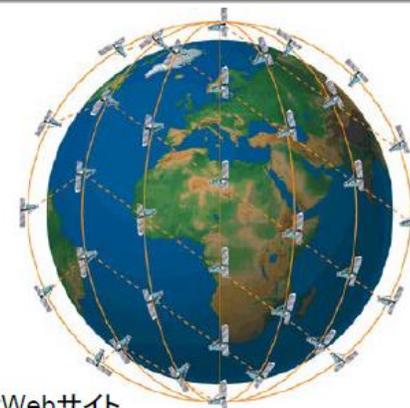
第2回将来宇宙輸送システム調査検討小委員会石田委員資料抜粋

5. 宇宙利用の拡大及び将来の宇宙ビジネスの可能性

5.5 将来宇宙ビジネスの展望(輸送ビジネス中心)

■ 新たな宇宙ビジネスの事例(コンステレーション衛星)

- 近年、多数の衛星を高度2000km以下の低軌道に打上げ、これらを一体として連携・運用して通信や観測等のサービスを提供する「衛星コンステレーション」が活発化。
- これに伴い、数百kgの衛星を多数搭載して、同じ軌道面に投入するような低軌道輸送需要が増加(下図は例)



出典: Iridium社Webサイト

主な非静止衛星コンステレーションの動向: LEO

※高度約2,000km以下

事業者名	OneWeb	SpaceX	LeoSat	Iridium (Iridium-Next)	Boeing (V帯)
衛星機数	882機	4425機以上	120-140機	66機	1396-2956機
軌道高度	約1200km	約1150km	約1400km	約780km	軌道により異なるが、約1200kmまたは約1000km
製造者	Airbus Defence & Space	SpaceX	Thales Alenia Space	Thales Alenia Space	Boeing
利用周波数帯	Ku帯 Ka帯	Ku帯 Ka帯	Ka帯	L帯 Ka帯	V帯
レイテンシ	30ms以下	25-35ms	20ms以下	N/A	N/A
スループット	7.5 Gbps per satellite	17-23 Gbps per satellite	1.6 Gbps per link	N/A	N/A
通信速度	D/L: 50Mbps U/L: 25Mbps	1 Gbps per user	1.2 Gbps	D/L: 最大1.5Mbps U/L: 最大512kbps	D/L: 最低25Mbps U/L: 最低3Mbps
日本でのサービス展開予定	未定 ※当該衛星システムのサービス開始は2020年頃を計画	未定 ※当該衛星システムのサービス開始は2020年頃を計画	未定 ※当該衛星システムのサービス開始は2020年頃を計画	未定 ※衛星は2018年にリプレイス配備完了予定	未定

平成29年5月19日
総務省 衛星通信システム委員会資料抜粋

JAXA注記: OneWeb社は、2020年3月、米国内で破産申請

6. JAXAにおける共創体制の枠組み

6.1 J-SPARC

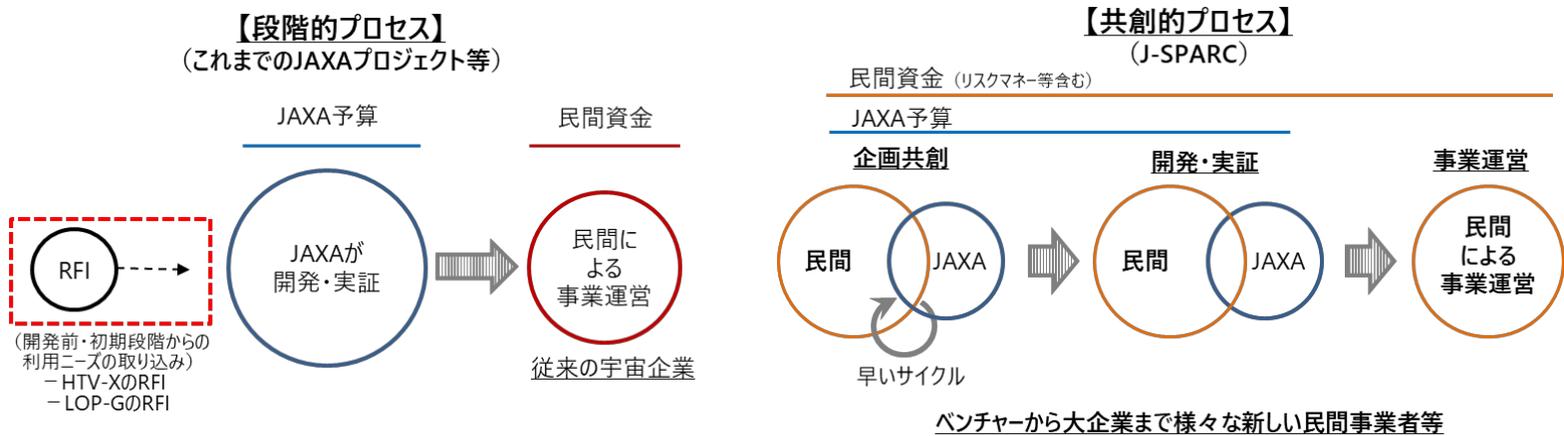
J-SPARC : JAXA Space innovation through PARTnership and Co-creation

J-SPARCの概要

- 異分野融合等によるオープンイノベーションの取組により、宇宙分野に閉じることのない技術革新の実現を目指し、民間事業者等を主体とする事業を出口としつつ、民間事業者等とJAXAがそれぞれの強み・リソース持ち寄り技術開発・技術実証等を伴うパートナーシップ型の共創型プログラムである(2018年5月より始動)。

J-SPARCにおける宇宙輸送事業の取組方針

- 宇宙産業の規模拡大には、そのボトルネックと言われる宇宙輸送系の更なる充実(低コスト化、多様化等)が不可欠である。
- 日本の宇宙輸送ベンチャー等のエコシステム構築・国際競争力向上を図るべく、JAXA自らR&Dに取り組み、個別ベンチャー企業との連携を図りつつ、オールジャパン視点も考慮し、全ての宇宙輸送ベンチャー等の事業化の成功を後押しすることで(次頁参照)、我が国の宇宙輸送サービスの更なる充実を実現する。



具体的な進め方

- 下記2階層(共通、個別)の取組みにより、共創活動を推進。

[① 共通的/汎用的技術等の提供、発展]

- 共通的技術の発展・獲得
ベンチャーの共通課題やハードルの高い技術・サブシステムと、JAXAの技術シーズや研究テーマ等とをマッチングさせ、民間適用を前提に技術発展・獲得
- 成果利活用
JAXAが保有する共通技術等を提供
⇒ JAXA発ベンチャーによる成果利用事業も一案
- 安全・信頼性評価、飛行・射場安全、数値シミュレーション等の支援

[② 個別ニーズに応じた技術提供・支援]

⇒ 各社ニーズ、事業モデルに応じて。

- 事業コンセプト、システムデザインの共創
- 施設・設備等の利用機会(施設供用等)、
取得データの解析
- 実証機会等の提供、実証結果の検証
- 共同技術検討等による人的支援(クロアポ等)

6. JAXAにおける共創体制の枠組み

6.1 J-SPARC ~J-SPARCの共創プロジェクト①有翼サブオービタル機~

有翼サブオービタル事業

<2018.8.1発表>

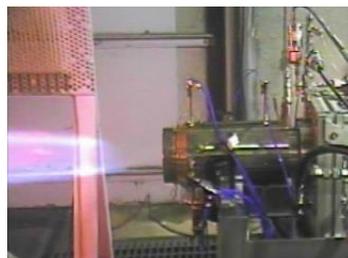
(株)スペースウォーカー



九州工業大学(今年4月から東京理科大学)で研究中の再使用型の有翼ロケット実験機 (WIRES) 機体をベースに、IHI、IHIエアロスペース及び川崎重工とも連携しつつ、将来的には宇宙旅行サービスに挑戦。

[JAXAの主な役割] (～2020.3: 事業コンセプト共創)

- ✓ JAXAのLNG推進系エンジン研究・再使用型宇宙輸送研究成果を活かし、有翼サブオービタル事業を共創
- ✓ 同事業の技術成立性検討の支援



LNG推進系エンジン研究



HOPE-XのCG図

有翼サブオービタル事業

<2018.12.25発表>

PDエアロスペース(株)



1つのエンジン内でジェット燃焼とロケット燃焼を切り替えを行うエンジン「パルスデトネーションエンジン」をベースに、H.I.S.、ANA HD及び東北大学とも連携し、将来的には宇宙旅行サービスに挑戦。

[JAXAの主な役割] (～2020.3: 事業コンセプト共創)

- ✓ 高揚力機体設計等のキー技術の共同研究を通じて、有翼サブオービタル事業を共創
- ✓ 風洞試験設備等の供用、同事業の技術成立性検討の支援



調布の風洞試験設備



スペースプレーンのCG図

6. JAXAにおける共創体制の枠組み

6.1 J-SPARC ～J-SPARCの共創プロジェクト②小型ロケット～

小型ロケットによる宇宙輸送サービス事業

<2019.3.19発表>

インターステラテクノロジズ(株)



安定した性能かつ低コストなロケットエンジン技術の獲得により、超小型衛星打上げ用ロケット(ZERO)による輸送サービス事業に挑戦。

[JAXAの主な役割] (～2020.3: 事業コンセプト共創)

- ✓低コストロケットエンジン検討等に関する共創
- ✓角田宇宙センターの試験設備を活用した共同研究、ISTエンジニアの受入れ
- ✓「みんなのロケットパートナーズ」としてオールジャパンによる宇宙輸送事業の実現を支援。



角田の試験設備



記者発表会の様子

小型ロケットによる宇宙輸送サービス事業

スペースワン(株)



固体燃料3段式による小型ロケットにて、2021年度の事業化を目指す。射場建設予定地として、和歌山県串本町を選定。

[JAXAの主な役割] (～2021年頃: 技術支援)

- ✓ JAXA共通技術文書等、JAXA保有技術基盤の活用等による技術支援

6. JAXAにおける共創体制の枠組み

6.2 宇宙探査イノベーションハブ

宇宙探査イノベーションハブの概要

- ミッションの大型化・長期化など課題にどう対応するか、地上の民間技術を如何に活用するか等の視点で、日本発の宇宙探査におけるGameChanging技術を開発し、宇宙探査の在り方を変えると同時に地上技術に革命を起こすことを目的としたオープンイノベーションの場(2015年にJSTの支援(5年間)を受け、探査ハブ発足)。

宇宙探査事例

- ① 移動型探査ロボットによる広域探査
- ② 月面・火星基地の遠隔施工
- ③ 月面・火星基地用資材を現地で製造するシステム
- ④ 安全かつ効率的な有人宇宙探査のロボット技術活用

宇宙探査シナリオ・ミッションの実現



社会課題の解決
産業競争力向上

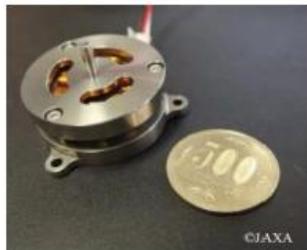
事業化事例

- ① 自動車、航空機(ドローン)分野の電化技術
- ② 防災・減災等にも資する無人化・自動化された建設・メンテナンス技術
- ③ 介護・医療分野の支援技術
- ④ 新たなプロセスによる資材製造技術
- ⑤ 生活を豊かにする技術

6. JAXAにおける共創体制の枠組み

6.2 宇宙探査イノベーションハブ

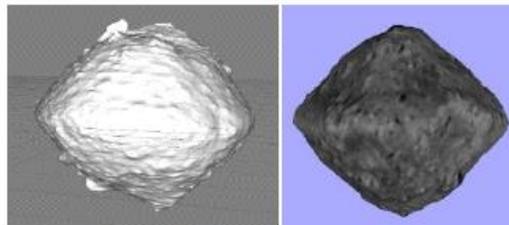
成果創出事例



世界最高クラスモータ
新明和工業(株)



小型ロボット技術
(株)タカラトミー



vSLAM技術による
「はやぶさ2」への応用
(株)アイヴィス



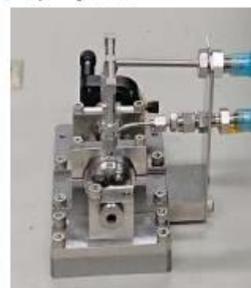
遠隔施工システム
鹿島建設(株)



超軽量建機
タグチ工業(株)



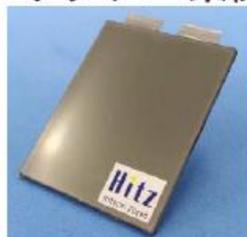
持続可能な新住宅システム
ミサワホーム(株)



ガス中微量水分計
神栄テクノロジー(株)



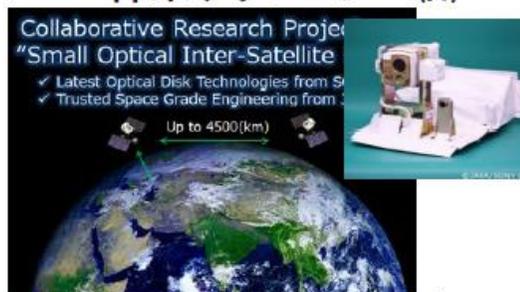
タンパク質生産システム
(株)ちとせ研究所



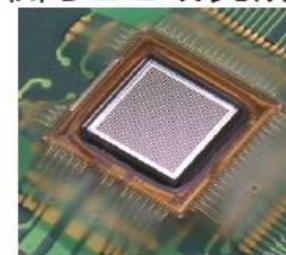
全固体リチウム
イオン電池
日立造船(株)



固体化マリンレーダ
(株)光電製作所



小型衛星用光通信モジュール
ソニー(株)



二次元距離センサ
浜松ホトニクス(株)