

# 現在の延長上にある宇宙利用の姿 (1/3)

中大型衛星の利用や宇宙探査などの従来の延長上にある宇宙利用として、小型・超小型衛星のコンステレーション運用や再使用型ロケットによる観測・実験の実現が想定される。

- 再使用型ロケットによる観測・実験
  - 従来は使い切りロケットによって行われていた宇宙観測や微小重力実験を再使用ロケットで実施
  - 観測・実験機会の増大や、これまでのロケットでは不可能だった実験(より柔軟な軌道、姿勢、速度等)を実現
  
- 小型・超小型衛星のコンステレーション運用
  - 災害監視・安全保障用途で、光学センサーや合成開口レーダーを搭載した小型衛星のコンステレーション運用を行う計画が各国政府で進められており、2010年代中にも実現の見込み
  - 米Skybox等の民間企業も超小型衛星を活用した安価な衛星情報サービスを展開
  - 大規模なコンステレーション化により、大型衛星に匹敵する能力を持たせる構想(例: DARPAのシステムF6)もあった



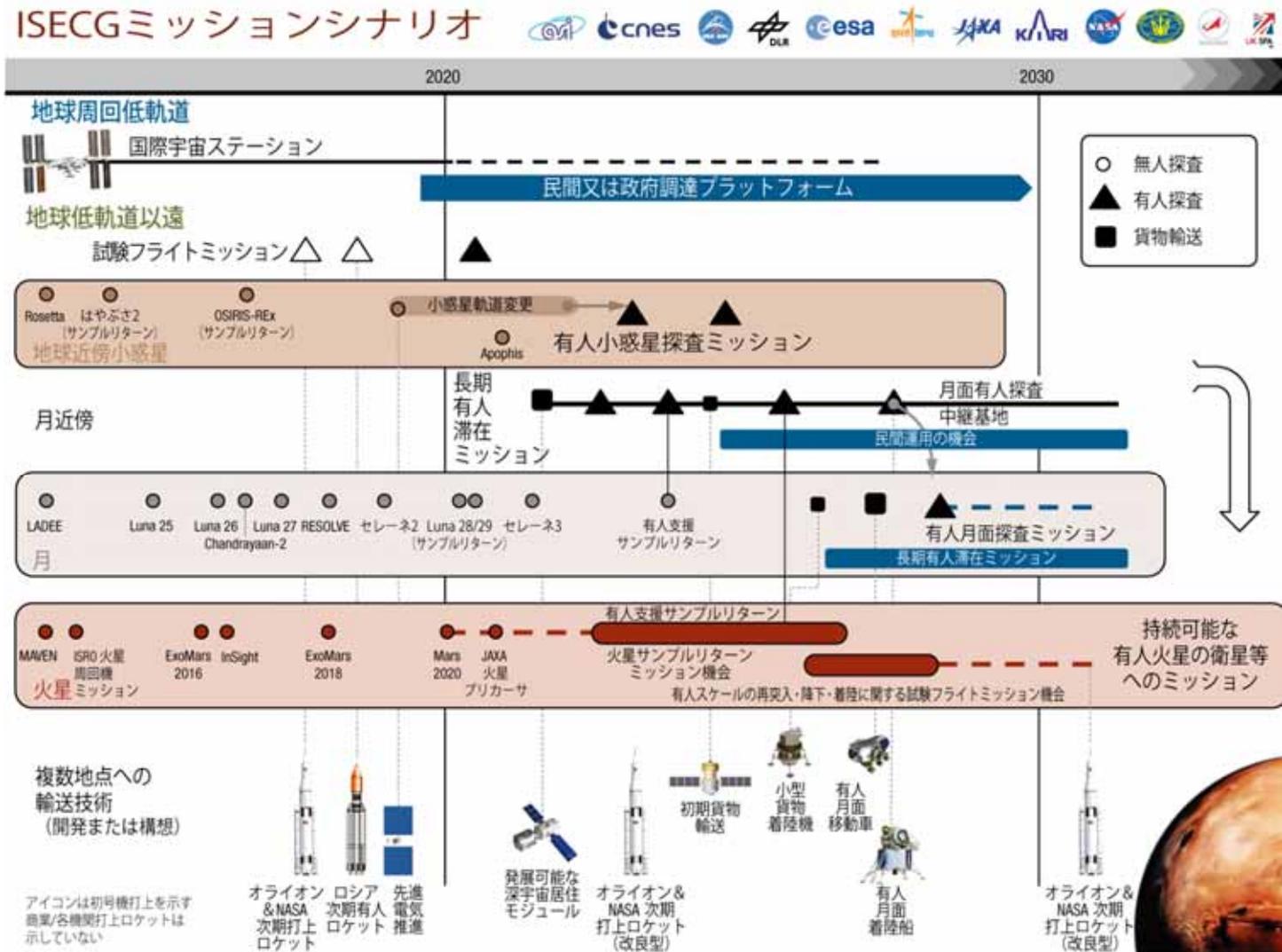
JAXAで実験されている再使用観測ロケット



システムF6の概念図

# 現在の延長上にある宇宙利用の姿(2/3)

国際協働による有人宇宙探査に向けて技術検討を行うメカニズムである国際宇宙探査協働グループ(ISECG)は、2020年代に月のラグランジエ点ステーションを設置することや、2030年代以降に月面や火星に基地を設置することなどを2013年のGlobal Exploration Roadmap(GER)第2版に盛り込んでいる。



# 現在の延長上にある宇宙利用の姿(3/3) ~ 各国の宇宙探査計画 ~

米国及び中国は、月と火星への有人探査を目指している。ロシアは火星への有人探査計画は無いが、月への有人探査に関心を持つ。欧州は月への有人探査計画は無いが、火星有人探査には関心あり。

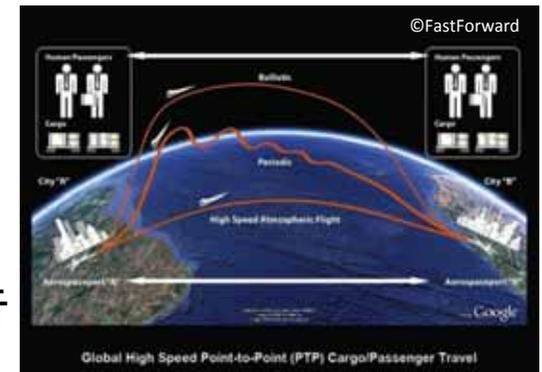
	ISS・低軌道	月周辺・月	小惑星	火星
米国	探査への準備として位置付けており、 <u>2020年以降も運用継続する方向で検討中</u>	<u>2021年頃に有人探査を実施予定であるが、月周辺に留まるのか、月着陸するかは定かでない。尚、将来の有人月探査向け準備として、無人探査は継続実施</u>	小惑星への探査計画はあるが、技術的状况に鑑み、小惑星を月周辺に持って来て探査する計画	<u>2030年代半ばに火星軌道、その後、火星着陸を目指す</u>
ロシア	探査への準備としてISSを位置付け。 <u>ISSを拡張する計画があり、積極的に延長する方向で検討中</u>	有人月探査に強い関心を持ち、 <u>2030年代に有人月探査を実施予定。また、有人月面基地構想を持つ</u>	無し	<u>有人探査計画は無く、無人探査を実施</u>
ESA	探査の準備として位置付け。但し、コストが高額であるため、ISSの2020年以降の延長については検討中	<u>有人探査計画は無く、無人探査を実施</u> (ESA独自の計画は予算化されず、ロシアのプログラムに参画予定)	<u>有人探査計画は無く、無人探査を実施</u>	<u>有人探査を実施する予定であるが、ロボティクスを主張するフランスと有人を主張するドイツとの間で対立が続いている。</u>
中国	<u>独自の宇宙ステーションを2020年迄に完成予定</u>	<u>2025-2030年頃に有人探査を計画。また、時期は未定であるが、有人月面基地構想を持つとの報道もあり。</u>	無し	<u>2050年に有人火星探査を実現する目標を持つ</u>
インド	有人輸送機を計画中	無人探査を実施	無人探査を実施予定	無人探査を実施中

# 新たな宇宙利用の姿 (1/6)

宇宙空間を経由して地球上の2地点を短時間で結ぶ高速二地点間輸送や、宇宙旅行の実現が想定される。

## ● 高速二地点間輸送

- 極超音速で飛行し、地球上の二地点間を結ぶ高速輸送手段の出現。
- 人と物(高価な部品や緊急移植用臓器等)の大陸間輸送に使用
- JAXAはマッハ5級の極超音速輸送機の研究を実施中
- ドイツのSpaceLinerなど、宇宙空間を経由しマッハ25級の速度で飛行する計画も存在
- 欧州ではLAPCAT(先進推進概念及び技術)計画及びLAPCAT2において複数の極超音速機計画に関する研究を実施
- 2013年から日欧共同研究計画HIKARIを開始



高速二地点間輸送の概念図。大気圏内を飛行するタイプ(マッハ5~8)、宇宙空間を飛行するタイプ(マッハ20台)、大気圏上層をバウンドしながら飛行するタイプの3パターンがある。

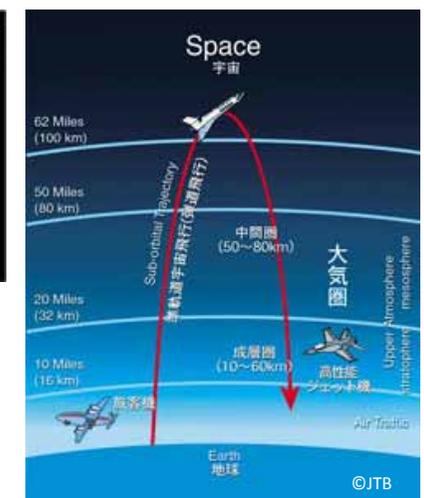
## ● 宇宙旅行

- 米ヴァージン・ギャラクティック社等がサブオービタル飛行による宇宙体験ツアー(高度100km)を計画中
- 宇宙体験飛行用のスペースポートも米国を中心に世界各地に建設中(一部は試験運用中)
- さらに将来的には地球・月軌道飛行や商業宇宙ステーションへの滞在も想定



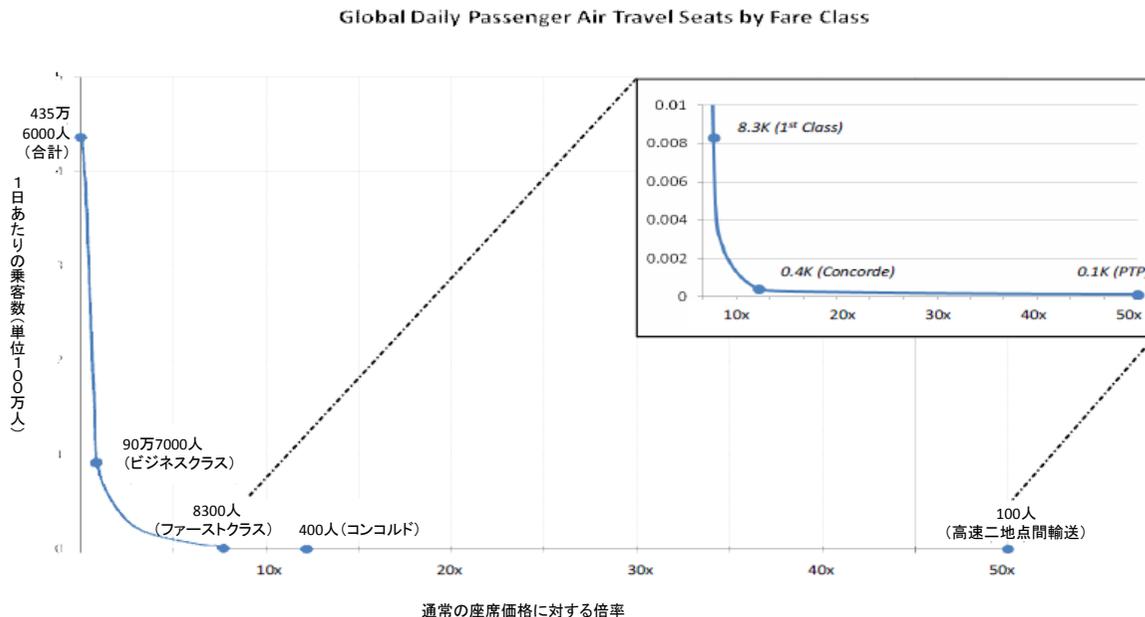
ヴァージン・ギャラクティック社の宇宙体験機スペースシップ2

サブオービタル宇宙体験飛行の概念図



# 新たな宇宙利用の姿 (2/6) ~ 高速二地点間輸送の旅客需要予測 ~

- 現在の低軌道への輸送コスト(1万ドル/Kg)が100ドル/Kg程度を達成する時代には、高速二地点間輸送の運賃は1万ドル/人程度(現状のファーストクラスと同程度)で平均運賃倍率6程度となり、8,300人/日程度の需要が期待できる。
- また、高速二地点間輸送の運賃が平均運賃倍率3程度を達成すると、全世界の旅客の20%程度(現在のプレミアムクラスの旅客割合、90万人/日)が利用すると予想される。



出典: "Point-to-Point People with Purpose - (Exploring the Possibility of a Commercial Traveler Market for Point-to-Point Suborbital Space Transportation)" (AA-2-2011-22), Derek Webber, Washington DC Director, Spaceport Associates, Bethesda, MD, USA

JFK: 米国ジョン・F・ケネディ国際空港  
LHR: 英国ロンドン・ヒースロー空港  
CDG: フランスシャルル・ド・ゴール国際空港

- 世界の航空輸送に占めるプレミアムクラス需要・コンコルド実績から需要を予測。
- 現状の技術レベルを想定し、サブオービタル観光の価格(20万ドル/人)より、高額な(~40万ドル/人)運賃を前提。
- 平均運賃に対する倍率50とすると、全世界での乗客数は100人/日と悲観的な予測。

コンコルドの場合:

15万人/年利用(JFK-LHR、CDG-JFK旅客の4.5%に相当)。時間短縮のためファーストクラスの2倍の運賃。

# 新たな宇宙利用の姿(3/6)

政府が運用する宇宙ステーションだけでなく、民間宇宙ステーションの登場が想定される。また、軌道上サービスによる人工衛星の寿命延長、再使用型宇宙機による衛星機能の一時的代替といった利用も想定される。

## ● 商業宇宙ステーション

- 米ビゲロー社がインフレーターブル(膨張式)のモジュール構造を使用した民間宇宙ステーションを計画中
- 2015年にBEAM(ビゲロー実験活動モジュール)をISSに連結して実験。2016年には実用型のBA330モジュール(1個につき330立方m)を打ち上げる計画。用途はホテル、実験室、生産施設など

## ● 軌道上サービス

- 軌道上における人工衛星や宇宙探査機等の組立を行うことによる大型化や高機能化
- 軌道上の衛星に対する燃料補給、修理、改修(軌道上サービス)による衛星の寿命向上
- JAXAはこれまで軌道上サービスの研究を実施し、軌道上の衛星への接近・捕獲のためのランデブー用センサ、捕獲機構、軌道上作業機等を研究



米ビゲロー社が計画している民間宇宙ステーション・モジュールBA330



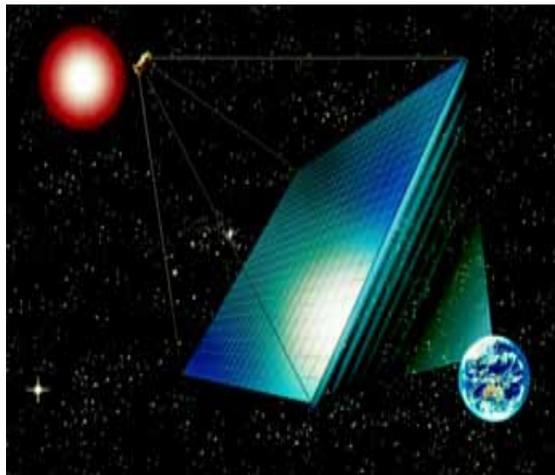
JAXAが研究した軌道上作業機のイメージ

# 新たな宇宙利用の姿(4/6)

静止軌道においては、宇宙太陽光利用システム(SSPS)など、大規模な構造物を宇宙空間に建造することが想定される。

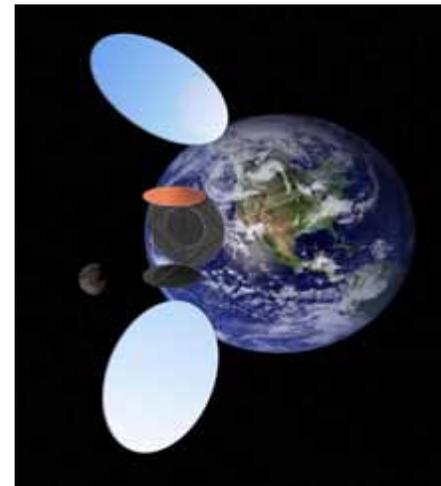
- 宇宙太陽光利用システム(SSPS)等の大規模構造物の建設
- 静止軌道上の太陽発電光パネルで発電を行い、マイクロ波等により地上へ伝送し、地上で再び電気エネルギーに変換する発電システム
- 我が国の大学、JAXA、企業等で要素研究が実施されている。
- 太陽光発電パネルや送電用アンテナは全長1km以上にもなり、大量の宇宙輸送能力が不可欠

マイクロ波方式SSPS Basic Model



パネル寸法 : 2.5km × 2.375km × 0.02m  
全重量 : 26600ton  
交流出力 : 1.00GW(おおよそ原発1機分)

マイクロ波方式SSPS Advanced Model



反射鏡寸法 : 2.5km × 3.5km  
発電部寸法 :  $\Phi$ 1.25km  
送電部寸法 :  $\Phi$ 1.8km  
全重量 : 10000ton  
交流出力 : 1.00GW(おおよそ原発1機分)

# 新たな宇宙利用の姿 (5/6) ~ SSPS建造のための宇宙輸送系シナリオ ~

宇宙太陽光利用システム(SSPS)の建造に当たっての物資輸送について、再使用型宇宙輸送往還機及び軌道間輸送機によって1年間に300回という高頻度の打ち上げがシナリオの一つとして想定。

(Advanced Model前提 2007年度時点の想定)

- SSPS建設: 1基/年のペースで、合計30機をGEO(静止軌道)に建設
- SSPS1機の総質量: 1万トン(組立時は機材も含めて、約1.5倍輸送)
- SSPS輸送: 2段階
  - 地上 LEO(高度400km):  
再使用型宇宙往還機: Reusable Launch Vehicle (RLV)
  - LEO GEO: 軌道間輸送機: Orbit Transfer Vehicle (OTV)  
電気推進等の高比推力(低推力)推進系を使用、再使用型を想定
- 射場: 赤道上に設置
- SSPS組立軌道: GEOにおいて組立

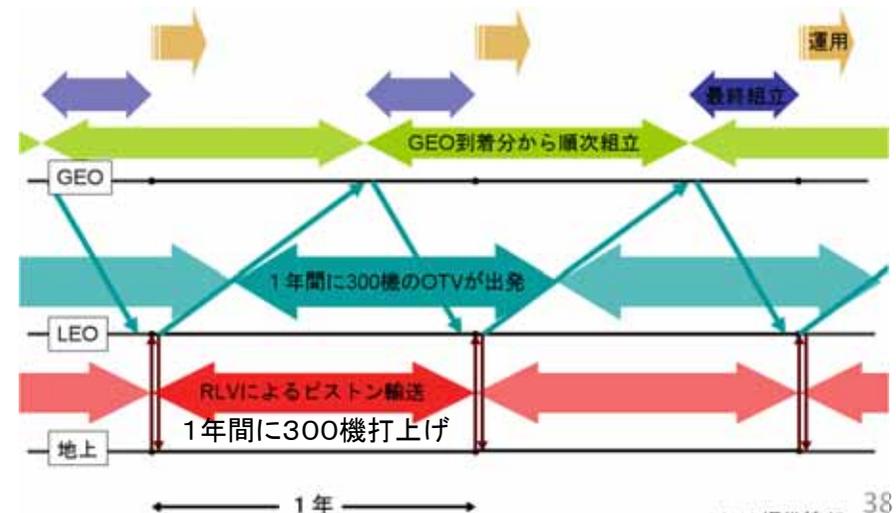
地上一LEO輸送機(RLV)

輸送重量 (1飛行当たり)	50 ton	寿命	500 飛行 10 年
総飛行回数 (SSPS1基当たり)	307 回	製造費(1) (1機当たり)	1000 億円
飛行頻度	7回/週	運行費 (1飛行当たり)	8.6 億円(2)
総輸送費 (SSPS1基当たり)	2,600億円	輸送費/輸送重量	0.17億円/ton(3)

(1)スペースシャトルの製造費は1機17-18億ドル程度

(2)製造コストは含まれるが、開発コストは含まない

(3)輸送コストはH-IIAの50分の1を想定



# 新たな宇宙利用の姿(6/6)

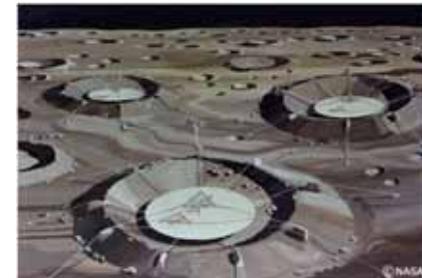
月周辺においては、次世代観測設備や地球観測設備を設置したり、月における埋蔵資源の調査を行うなど、国家の科学的活動が始まると想定される。地球近傍小惑星にはプラチナなどの希少金属を多く含むものがあると考えられており、これらの小惑星を捕獲して資源を採掘し、地球に輸送することも想定される。宇宙旅行を月周辺まで拡大させるなど、月の商業利用も見込まれる。

## ● 科学研究・資源採掘

- 月面への深宇宙観測設備の設置
- 資源探査・採掘活動(月面:ヘリウム-3(約100万トン)、鉄、アルミニウム、チタン、水素、酸素、小惑星:プラチナ等)

## ● 月旅行

- 宇宙観光旅行の代理店である米Space Adventures社が月観光プランを販売中。ソユーズ宇宙船を使用して月軌道を周回し、約2週間で地球に帰還する。費用は1人あたり1億5000万ドル(約150億円)で、すでに1人分の契約が成立済み。
- 月周回軌道における観光の次の段階として、月ラグランジェ点ステーションや月軌道ステーションへの滞在が想定される。
- 月周辺までの軌道間輸送ネットワークが実現した場合、月面基地への観光滞在も可能となると見込まれる。清水建設の月面基地構想では、月面のレゴリスを使用したコンクリート製モジュールやインフレータブル構造を採用すると共にロボットを使用し、人間の負担を減らしながら長期滞在に適した月面基地の実現を目指す。宇宙ホテルとしての利用も検討されている。



月面望遠鏡



民間企業による資源探査



月観光宇宙船

# 将来宇宙輸送システムの機体及びエンジンの適用材料(1/3)

機体を熱から保護する耐熱・断熱材料については、整備性や耐熱性能の向上を目指した研究が進められている。また、大幅な軽量化のために、タンクも含めた全機構造の複合材化を目指している。

サブシステム	コンポーネント/ 部位	これまでの材料 (スペースシャトル)	将来の材料	置換えの狙い	開発期間
熱防護システム	ノーズや翼前縁等の超高温部	C/C材 (SiCコーティング)	超耐熱軽量セラミックタイル、超耐熱耐酸化コーティングを施したC/C材	耐熱温度向上による飛行範囲の拡大、緊急時の安全性向上	5年程度
	空力舵面	セラミックタイル (主構造に接着)	C/C、SiC/SiC等の耐熱複合材(舵面全体)	耐熱温度の向上による操舵範囲の拡大	5年程度
	機体高温部	セラミックタイル (主構造に接着)	耐熱複合材表面パネル+軽量内部断熱材(発泡金属サンドイッチ板やエアロゲルなど)	頑健な表面パネルを用いることによる安全性向上、ファスナ固定による整備性の向上	5年程度
	機体低温部	可とう断熱材 (主構造に接着)	耐熱複合材または耐熱金属表面パネル+高性能内部断熱材	同上	5年程度
構造	胴体・主翼	アルミ合金	複合材(CFRP)	軽量化、整備コストの低減(腐食がないことにより整備間隔が長くできる)	実現可能なレベル
	推進薬タンク	アルミ合金	複合材(CFRP)	軽量化	5年程度

C/C: 炭素繊維強化炭素複合材料、CFRP: 炭素繊維強化プラスチック  
SiC/SiC: 炭化ケイ素繊維強化炭化ケイ素複合材料

# 将来宇宙輸送システムの機体及びエンジンの適用材料(2/3)

- ロケットエンジンのさらなる低コスト化にむけて、エンジンの再使用化に資する長寿命化の実現、ならびに材料そのものの低コスト化を目指す。
- 複合サイクルエンジン等はノズルや空気ダクトを持つため、材料の軽量化はエンジンシステム重量軽減に対する効果大きい。

コンポーネント	要素	現在の材料	将来の材料	置換えの狙い	開発期間
ロケット 燃焼器	燃焼室	銅合金、ステンレス、インコネル等	耐熱銅合金 耐熱コーティング	長寿命化、 再使用化	10～15年程度
	噴射器	ニッケル合金、ステンレス等	3Dプリンタ対応 金属材料	複雑構造製造 コストの低減	5年程度
エアロスパイク ロケットエンジン (将来推進系)	ノズル部	銅、または銅合金、およびステンレスなど(研究用)	コーティング付加	耐熱性強化	5～10年程度
			耐熱複合材	軽量化	10～15年程度
ロケット複合サイ クルエンジン (将来推進系)	内蔵ロケット		ロケットエンジンに準じる		
	燃焼器(ラムダク ト)	銅、または銅合金(研究用)	ニッケル合金	剛性確保、 軽量化	5年程度
			耐熱複合材	軽量化、 熱収支改善	10～15年程度

# 将来宇宙輸送システムの機体及びエンジンの適用材料(3/3)

コンポーネント	要素	現在の材料	将来の材料	置換えの狙い	開発期間
ロケット ターボポンプ	インペラ	インコネル(AMS718)、 チタン(AMS4924)	一般産業用インコネル ※2、チタン(AMS4930)	コストダウン	5~10年程度
	インデューサ	インコネル、チタン(同 上)	一般産業用インコネル、 チタン(同上)	コストダウン	5~10年程度
	タービン	インコネル(同上)	一般産業用インコネル (同上)	コストダウン	5~10年程度
	軸受内外輪	SUS440C	XD15NW※3 等	耐腐食性の向上 (応力腐食割れ防止)	5年程度
	軸受玉	SUS440	Si3N4※4	高速性能向上、 耐凝着性向上	5年程度
	軸受保持器	PTFE※5ガラス織布複 合材	強化PTFE材、PTFE+ PEEK※6材、PTFE+アル ミ	製造性向上、 品質向上、 コストダウン	5年程度
	軸シールFR※1しゅ う動材	カーボン系材料	PTFE系材料	製造性向上、 コストダウン	10年程度
	軸シールFRシール ランナー	酸化クロムコーティング	検討中		10年程度

※1 FR: Floating Ring

※2 同規格のものを国内調達

※3 欧州の鉄鋼メーカーが特許を持つSUS系材料。SUS440Cと比較し極めて耐食性が向上

※4 窒化ケイ素、シリコンナイトライド

※5 ポリテトラフルオロエチレン、フッ素系ポリマー

※6 ポリエーテル・エーテル・ケトン、熱可塑性の樹脂

# 軌道遷移エネルギーの比較

ある地点・軌道地点に到達するための軌道遷移エネルギー(デルタV)は、地球上から出発するよりも地球軌道等から出発する場合の方が小さくなる。

## 典型的な各軌道間の軌道遷移エネルギー(デルタV)

	地球上	地球低軌道	地球静止軌道	月低軌道	月面上	火星低軌道
地球上	-	9300	13230	13270	15260	15010
地球低軌道 (200km)		-	3930	3970	5960	5710
地球静止軌道			-	1780	3770	4280
月低軌道 (200km)				-	1990	3700
月面上					-	5680
火星低軌道 (200km)						-

単位:m/s

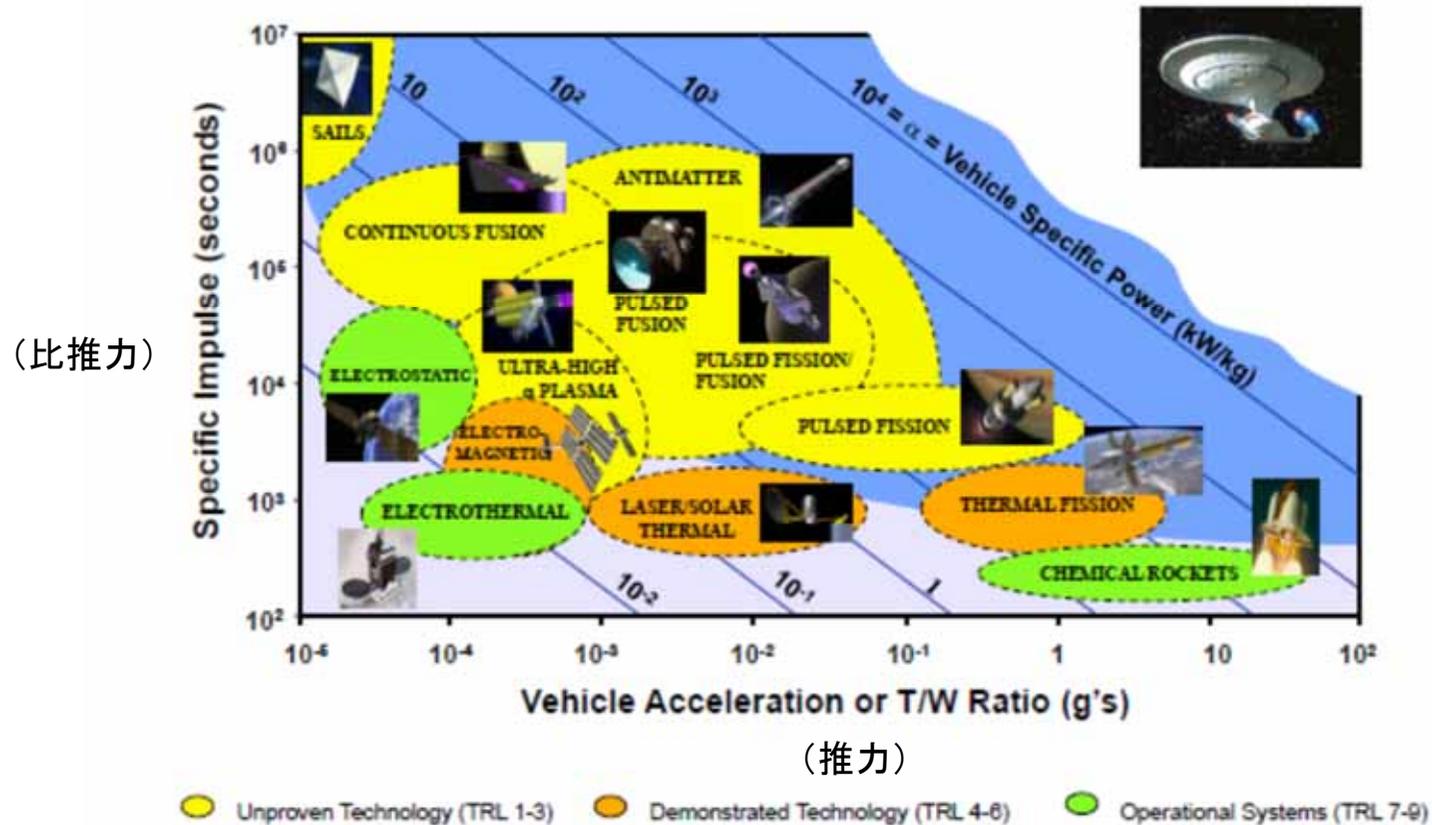
出典:平成7年度科学技術庁委託研究「月探査に関する調査研究報告書」(未来工学研究所)

# 高出力推進系について

火星有人探査などにおいて要求される高比推力と高推力を両立させるためには、原子力や反物質などの高出力推進系を利用することが想定される。



## Capabilities of Candidate Propulsion Technologies

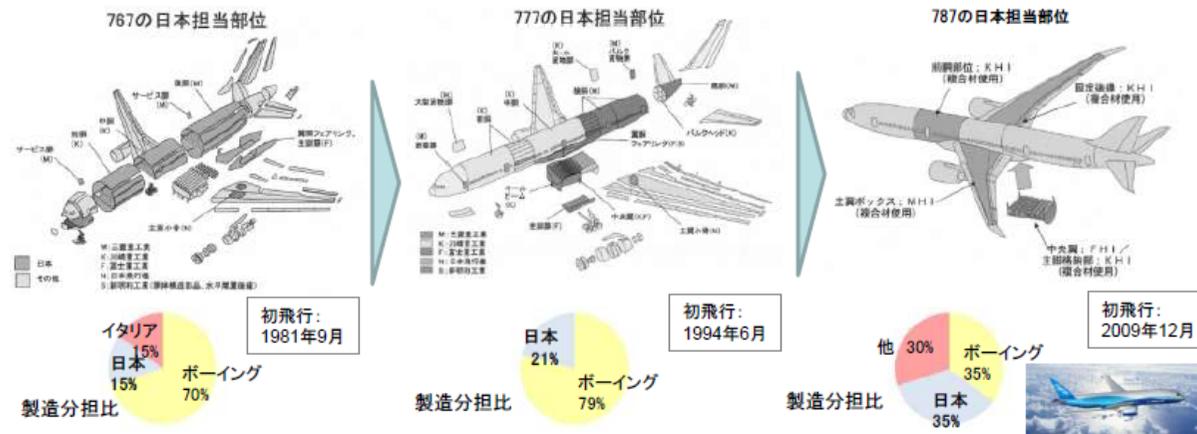


# 航空業界における国際協業の状況

航空産業の場合、世界で大型旅客機を製造しているのは、事実上、ボーイングとエアバスの2社の寡占状態となっている。

## ○ 機体開発への参画状況

- 対ボーイング社: 共同開発・製造の分担比率を徐々に向上させ、最新のB787においてはボーイングと製造分担比で等しく、主翼も担当している。

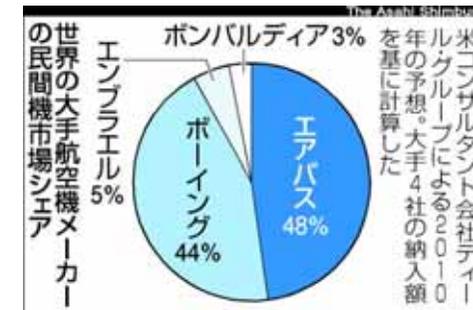


- 対エアバス社: A330、A380等へのプロジェクトへサプライヤーもしくはサブコントラクターとして参加。
- 対ボンバルディア社: 三菱重工業がリスク・シェアリング・パートナー※として開発、生産に参画。
- 対エンブラエル社: 川崎重工業がリスク・シェアリング・パートナーとして開発、生産に参画。

※リスク・シェアリング・パートナー:

製造・設計にあたり、開発費やマネージメントのリスクを一部分担することで、応分の作業分担を得る共同開発への参画形態 5

出所: 航空科学技術の現状と新たな取り組みについて 平成25年5月23日 文部科学省研究開発局・JAXA



出所: 朝日新聞 2011年11月17日c

## 世界の航空産業のサプライチェーンの階層構造



航空機等に関する技術開発動向調査報告書

財団法人航空機国際共同開発促進基金

# 海外の宇宙輸送システムに関する制度の動向

宇宙輸送の安全にかかわる欧米の制度は以下のとおり。商業民間輸送の台頭に伴い、米国でFAA規定化の動き。

- 米国
  - 空軍管轄射場での打ち上げは射場利用マニュアル (AFSPCMAN 91-710)が要求される
  - 商業衛星打ち上げに対してはFAAの安全基準が追加要求される
  - 商業有人輸送に対してはFAA規定にPart460として有人宇宙飛行要求が盛り込まれている。
- 欧州
  - 2008年4月に法律化された宇宙利用のための行動規範(FSOA)内に安全基準を示すTechnical Regulationあり。

欧米 宇宙輸送 安全規定の整理

米国			欧州		
官需		空軍射場利用マニュアル AFSPCMAN917			
民需	無人輸送	空軍射場利用マニュアル AFSPCMAN917 及び、 FAA規定 14CFR Part417	官・民需	無人輸送	フランス 宇宙行動規範 (FSOA)
	有人輸送 (RLV)	FAA規定 14CFR Part431 14CFR Part460		有人輸送 (RLV)	—

**Regulations**

Title 14 CFR  
Chapter III—Commercial Space Transportation, Federal Aviation Administration, Department of Transportation

Subchapter A – General

- Part 400 — Basis and Scope
- Part 401 — Organization and Definitions

Subchapter B – Procedure

- Part 404 — Regulations and Licensing Requirements
- Part 405 — Investigations and Enforcement
- Part 406 — Investigations, Enforcement, and Administrative Review

Subchapter C – Licensing

- Part 413 — License Application Procedures
- Part 414 — Safety Approvals
- Part 415 — Launch License
- Part 417 — Launch Safety
- Part 420 — License to Operate a Launch Site
- Part 431 — Launch and Reentry of a Reusable Launch Vehicle (RLV)
- Part 433 — License to Operate a Reentry Site
- Part 435 — Reentry of a Reentry Vehicle Other than a Reusable Launch Vehicle (RLV)
- Part 437 — Experimental Permits
- Part 440 — Financial Responsibility
- Part 460 — Human Space Flight Requirements

FAA規定の目次抜粋

(Code of Federal Regulation TITLE 14-Aeronautics and Space) 46