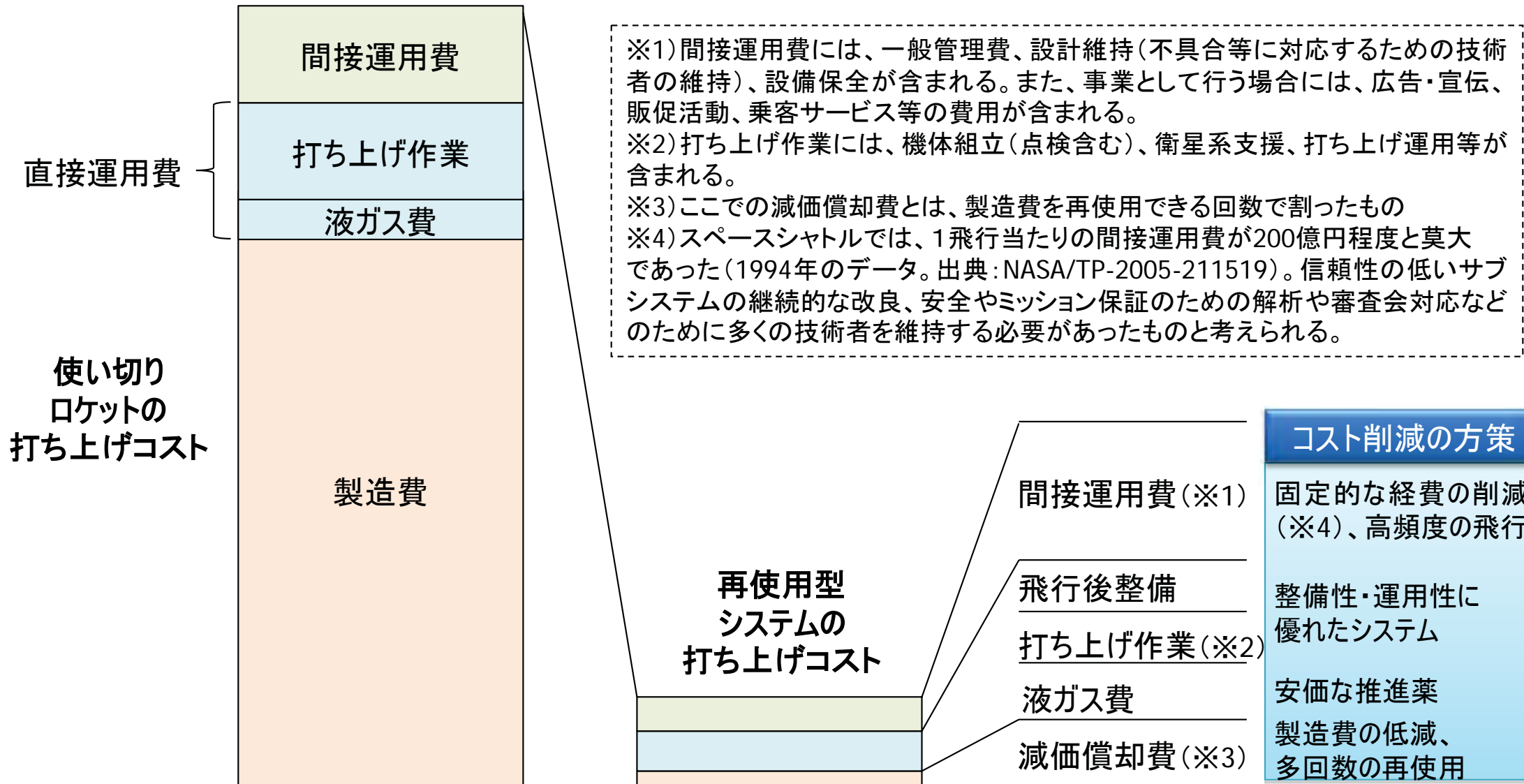


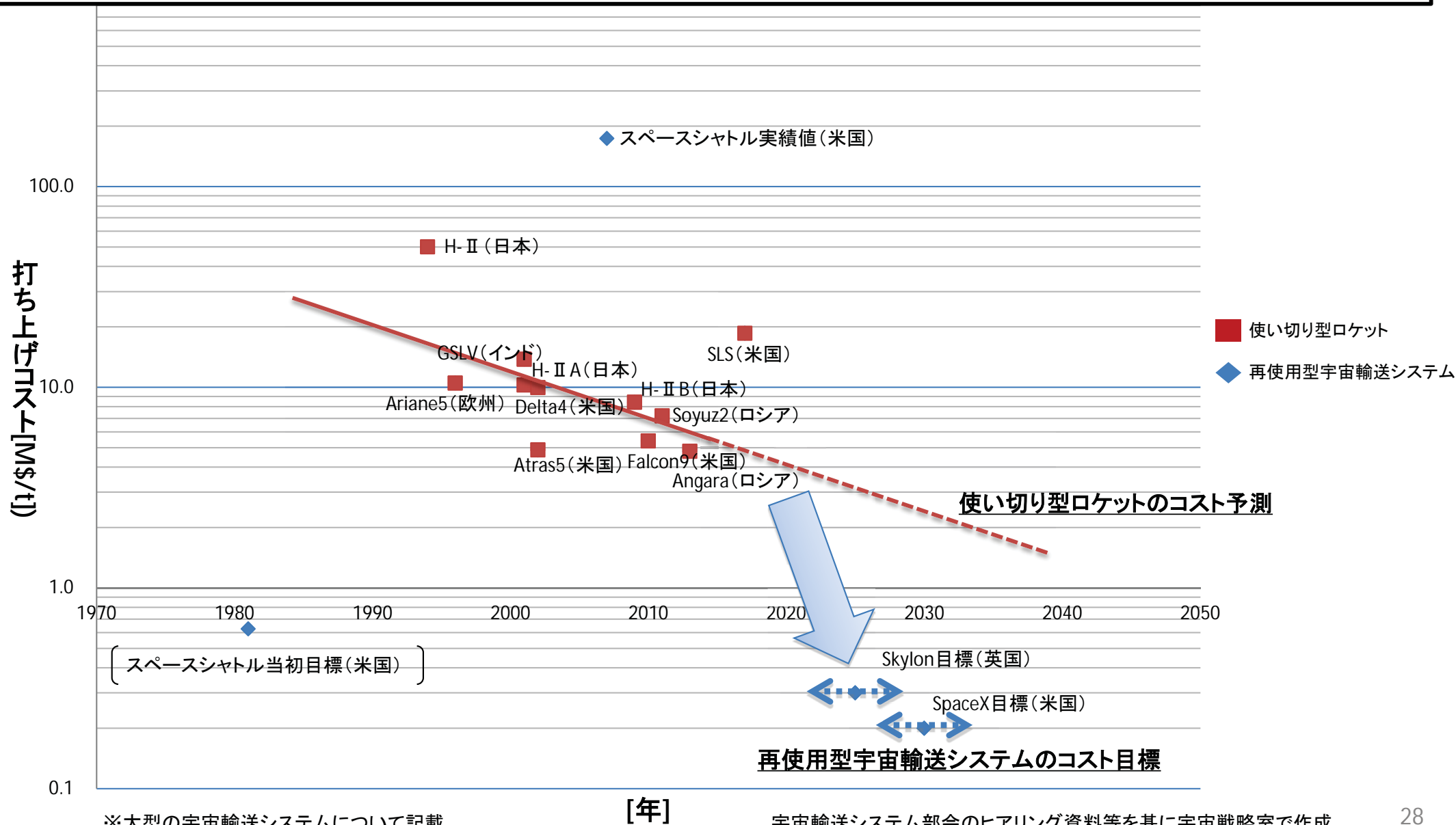
使い切り型と再使用型宇宙輸送システムのコスト構造比較

再使用型システムでは、多数回の再使用により、1回当たり製造費の負担(減価償却費)が減る。間接運用費を減らすためには、信頼性の高いシステムとするとともに、再使用型に特有の飛行後整備を効率的に行い、高頻度の飛行を行えるようにすることが重要。



宇宙輸送システムのコスト予測

使い切り型ロケットは今後も打ち上げコスト低減が見込まれるが、現在から数分の一のコスト低減程度。一方、再使用型宇宙輸送システムは現在から数十分の一のコスト低減が目標として掲げられている。



輸送コストと年間総輸送需要の関係

現在から数分の一の輸送コストの低減では宇宙輸送需要の大きな拡大は見込まれないが、数十分の一のコストの低減が実現されれば、宇宙輸送需要は飛躍的に拡大すると想定される。

NASA Commercial Space Transportation Study(CSTS)の分析

- 従来の延長の利用
 - 通信衛星
 - 宇宙環境を利用した製造
 - リモートセンシング
 - 政府系ミッション
- まだ実現していない利用／新しい利用
 - 付加価値のある輸送サービス(人と物資の普遍的な輸送)
 - エンターテインメント
 - スペースデブリマネジメント
 - 宇宙医療施設
 - 多目的ビジネスパーク
 - エネルギー(宇宙太陽光発電)
 - 資源探査(月LOX、ヘリウム-3)

- 従来の延長の利用では、輸送コストが現状の1/10で、需要が10倍弱増えるという結果。需要予測は漸増。
- 新しい市場においては、輸送コストが現状の1/10になっても需要を拡大することはできないが、1/100になると大規模な需要が見込まれる。

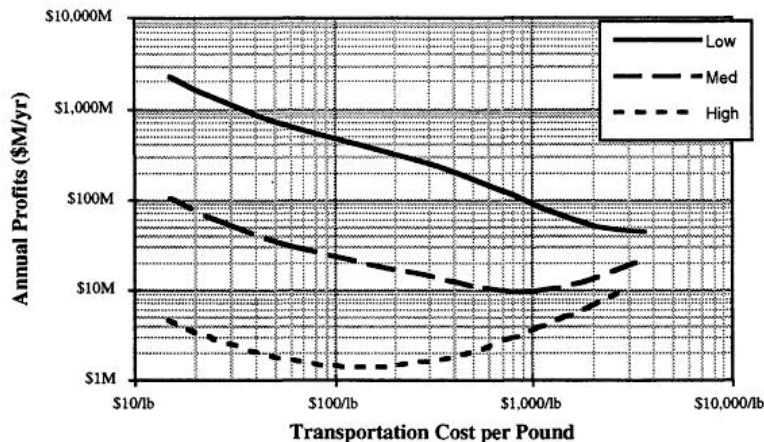
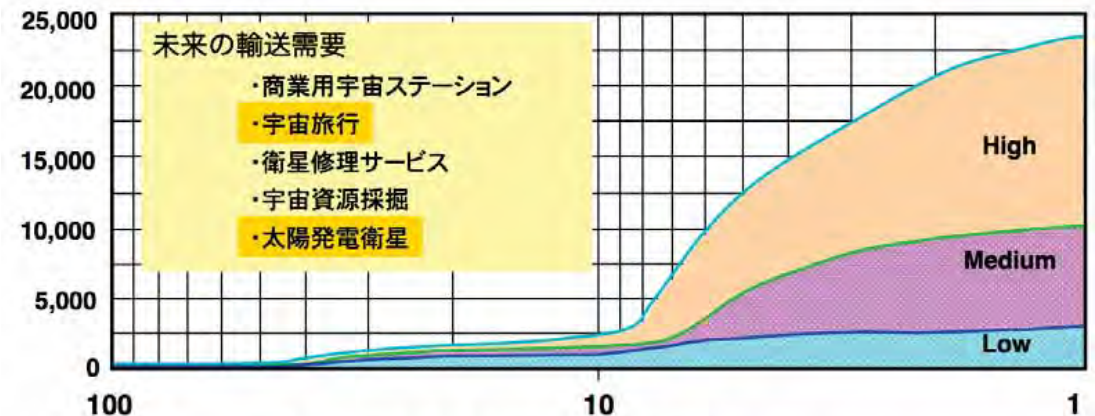


Figure 3.5.6.6-15. Transport Profits as a Function of Transport Cost

Commercial Space Transportation Study(CSTS) NASA 1997

111264-123

地球低軌道への年間総投入量(t)

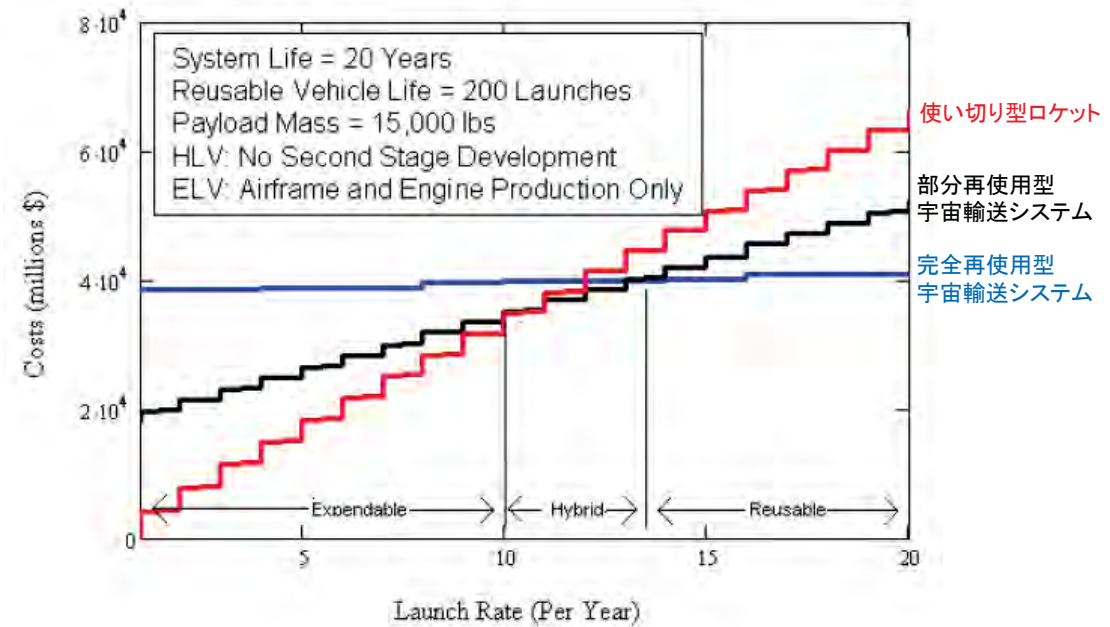
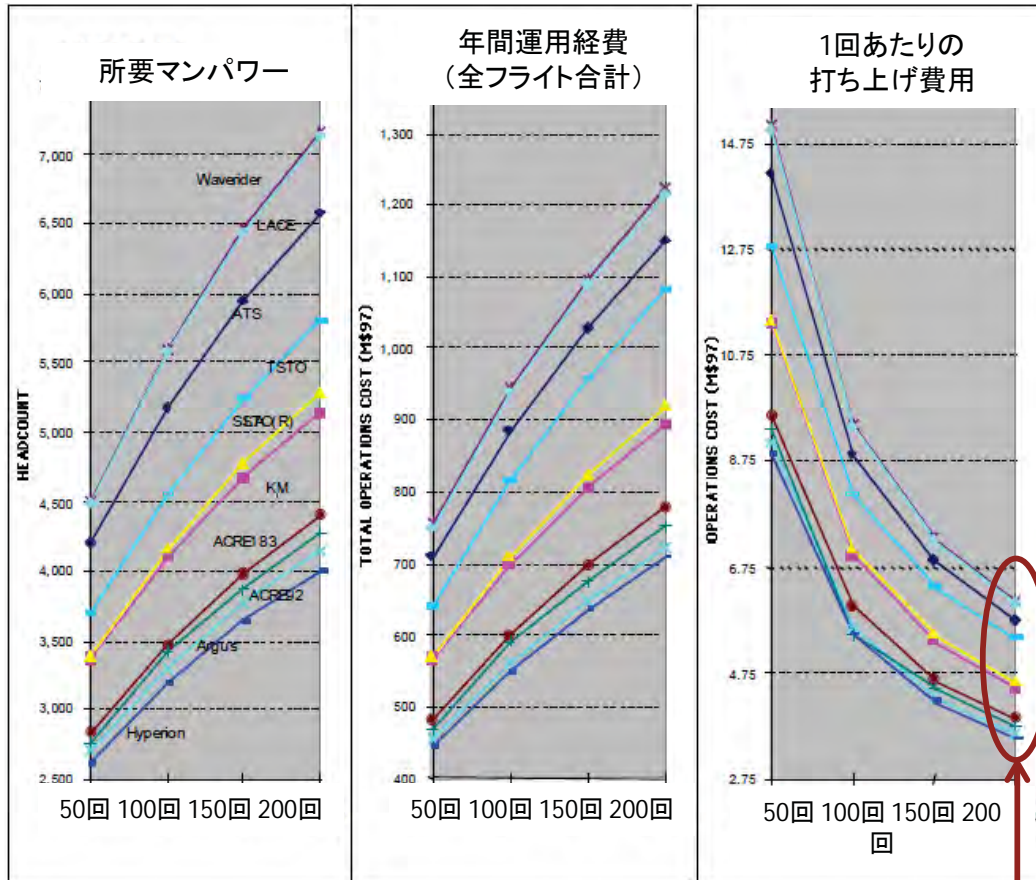


地球低軌道への輸送コスト (万円 / kg)

NASA CSTSを基に宇宙輸送システム長期ビジョンワーキンググループ作成

再使用運用による輸送コストの低下

NASAや米空軍の試算によると、年間十数回以上の打ち上げを行う場合には再使用型宇宙輸送システムの方が使い切り型ロケットよりも低コストとなり、SSPS等の建造に必要な年間数百回の打ち上げを行う場合には、1回あたりの打ち上げコストが数億円(使い切り型ロケットに比べて数十分の一)まで低下する。



James Michael Snead, *Cost Estimates of Near-Term, Fully-Reusable Space Access Systems*. (American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006)

Highly Reusable Space Transportation Study
Integration Task Force, *An Operational Assessment of Concepts and Technologies for Highly Reusable Space Transportation*. (NASA, 1998)

年間200回の再使用を行うと、再使用型宇宙輸送システムの打ち上げコストが300万～600万ドル台まで低下することが見込まれる

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**

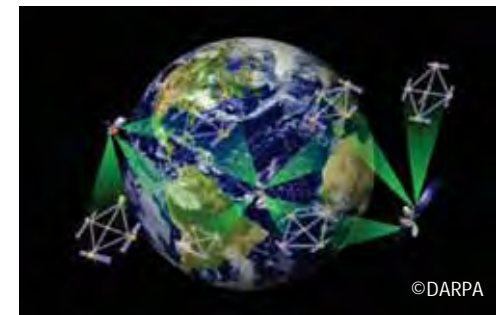
- 従来は使い切りロケットによって行われていた宇宙観測や微小重力実験を再使用ロケットで実施
- 観測・実験機会の増大や、これまでのロケットでは不可能だった実験(より柔軟な軌道、姿勢、速度等)を実現



JAXAで実験されている再使用観測ロケット

- **小型・超小型衛星のコンステレーション運用**

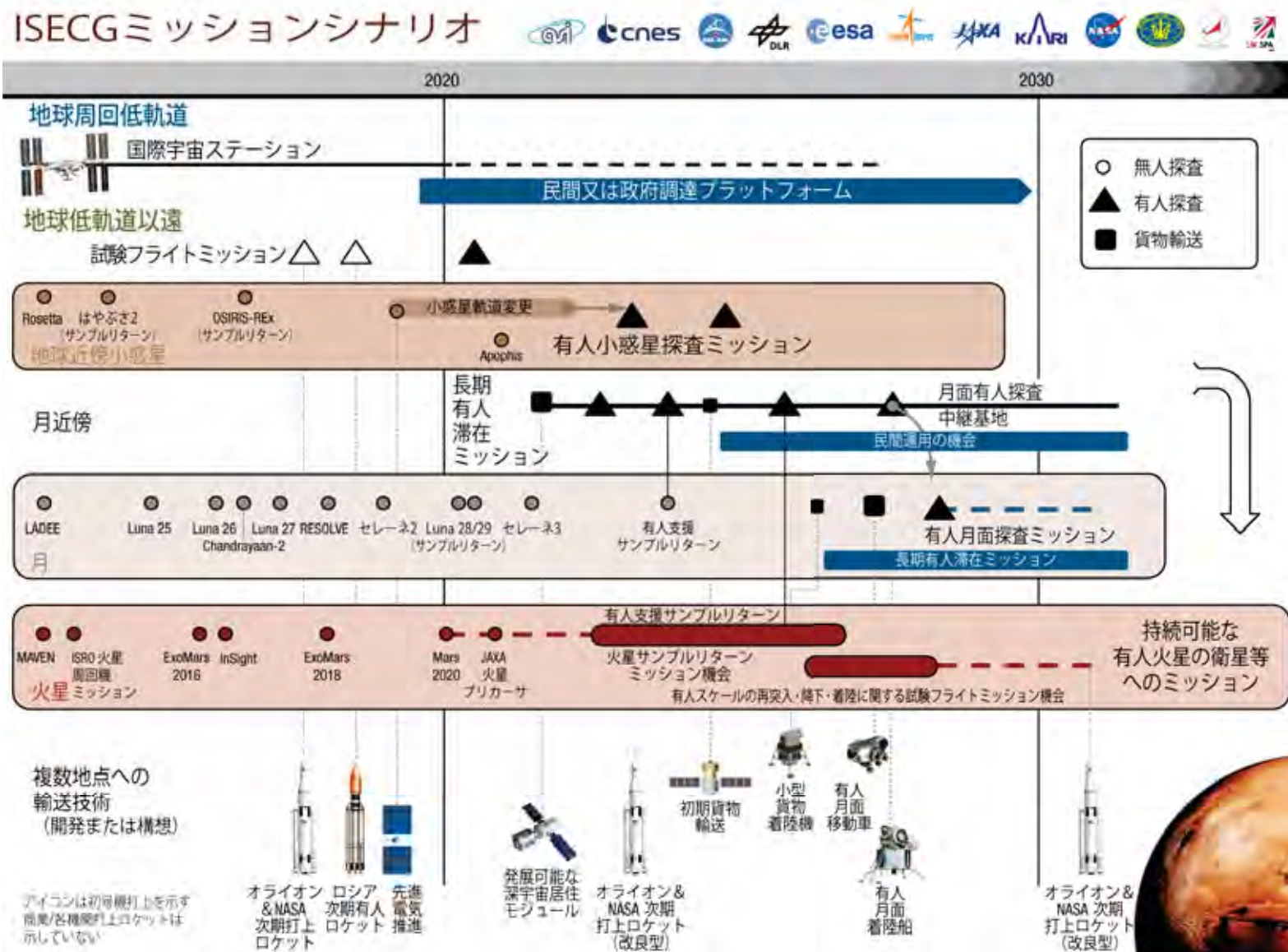
- 災害監視・安全保障用途で、光学センサーや合成開口レーダーを搭載した小型衛星のコンステレーション運用を行う計画が各国政府で進められており、2010年代中にも実現の見込み
- 米Skybox等の民間企業も超小型衛星を活用した安価な衛星情報サービスを展開
- 大規模なコンステレーション化により、大型衛星に匹敵する能力を持たせる構想(例: DARPAのシステムF6)もあった



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ェ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。

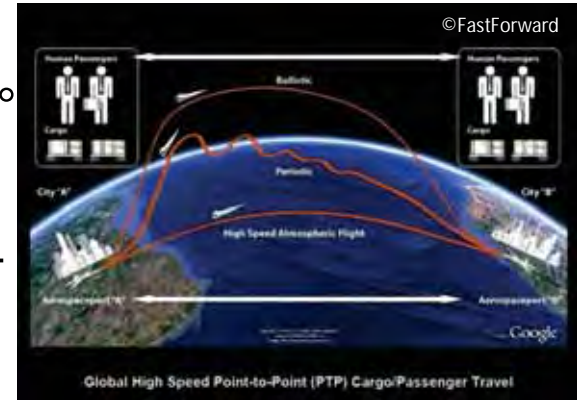
	ISS・低軌道	月周辺・月	小惑星	火星
米国	探査への準備として位置付けており、 <u>2020年以降も運用継続する方向で検討中</u>	<u>2021年頃に有人探査を実施予定であるが、月周辺に留まるのか、月着陸するかは定かでない。尚、将来の有人月探査向け準備として、無人探査は継続実施</u>	小惑星への探査計画はあるが、技術的状況に鑑み、小惑星を月周辺に持って来て探査する計画	<u>2030年代半ばに火星軌道、その後、火星着陸を目指す</u>
ロシア	探査への準備としてISSを位置付け。 <u>ISSを拡張する計画があり、積極的に延長する方向で検討中</u>	有人月探査に強い関心を持ち、 <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、 <u>ISSの2020年以降の延長については検討中</u>	<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



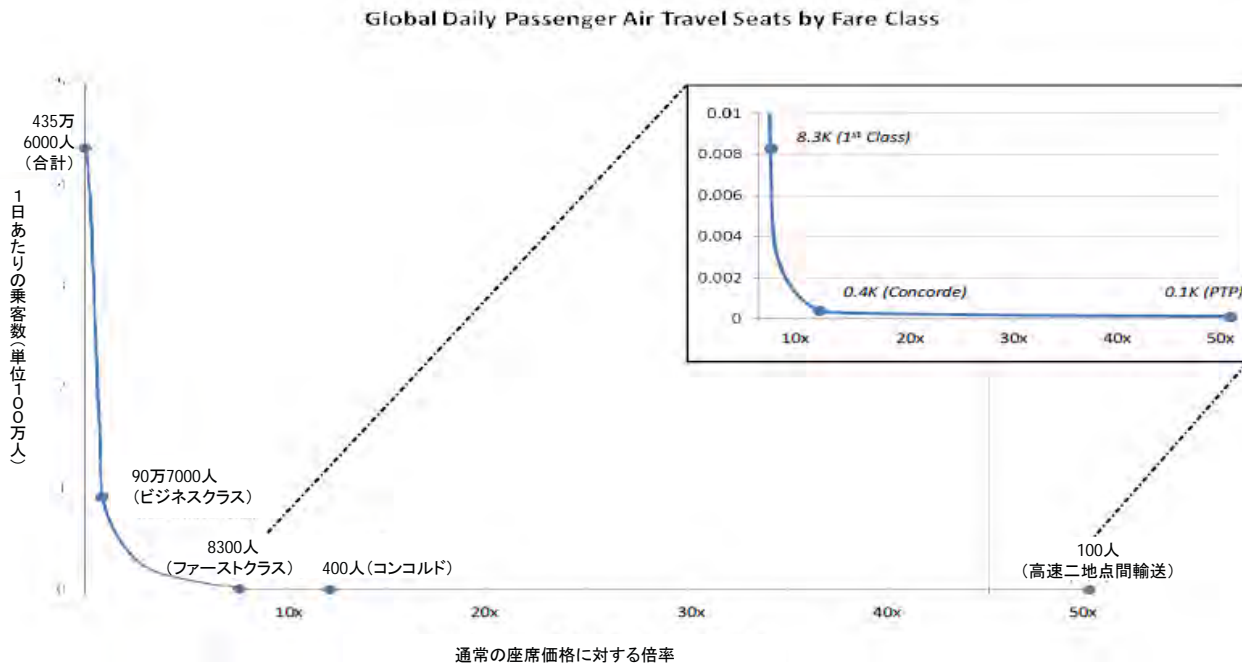
ヴァージン・ギャラクティック社の宇宙体験機スペースシップ2

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