

資料4-2-2

研究開発局宇宙開発利用課
革新的将来宇宙輸送システム実
現に向けたロードマップ検討会
(第4回) R3.1.18

2030 年台／2040 年台宇宙利用市場ニーズ／規模

令和3(2021)年1月18日

(国研)宇宙航空研究開発機構

目次

1. 低軌道／中軌道／静止；メガコンステ・通信・測位・常時監視分野
2. 大型低軌道有人プラットフォーム分野／国際宇宙探査／月惑星分野
3. サブオービタル／低軌道；宇宙観光／物資輸送／P2P 有人輸送
4. その他の新分野

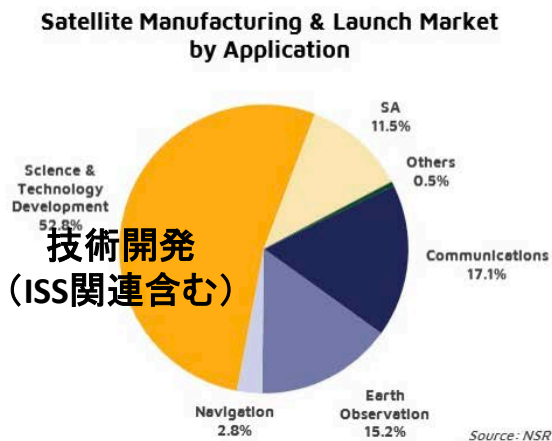
調査方法

- Northern Sky Research社が2019年～2020年に実施した調査資料を基に、部分的にEuroconsult社が2019年に実施した調査結果と大きな差異がないことを確認しつつ整理。
- 大型低軌道有人プラットフォーム分野については、文科省宇宙開発利用部会 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会報告書を引用
- 国際宇宙探査については、JAXA有人宇宙部門探査センターの資料を引用
- 月惑星分野については、ISAS公開ロードマップ及び官民で実施している商業月利用研究会資料から引用

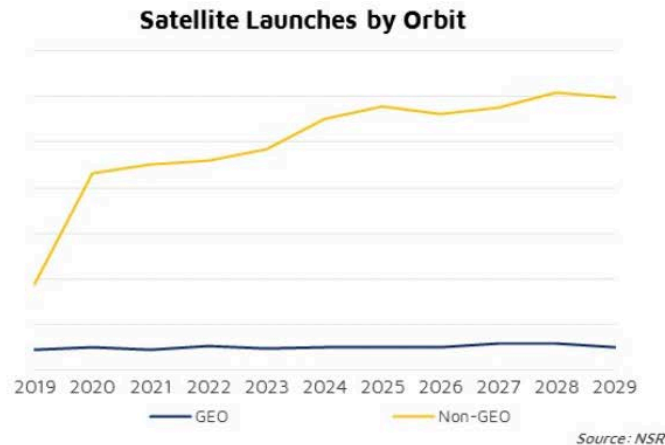
1. 低軌道／中軌道／静止；
メガコンステ・通信・測位・常時監視分野

1.1 衛星打上げ市場予測分析-サマリ①

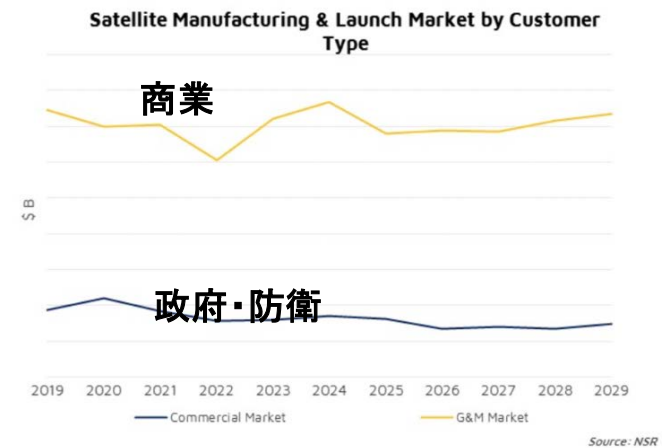
- 2019～2029年の期間における累計の衛星製造・打ち上げ市場規模は、4780億ドル(約48兆円)と予測。
- 用途の内訳としては、技術開発ミッションが全体の約50%を占める見込み。
 - 高コストなISS等への貨物/人員輸送が技術開発ミッションとして分類されているため、大きな割合となっている。
- 顧客セグメント毎の市場規模は、商業分野が約900億ドル、政府・防衛分野が約3870億ドルとなる。
 - 政府・防衛セグメントが全体の約80%を占め、残りが商業セグメントとなる。
- 軌道による分類としては、約25%が静止衛星、残り75%が非静止衛星となる見込み。
 - 静止衛星が1210億ドル、非静止衛星3560億ドルとなる見通し。



ミッション毎の市場規模



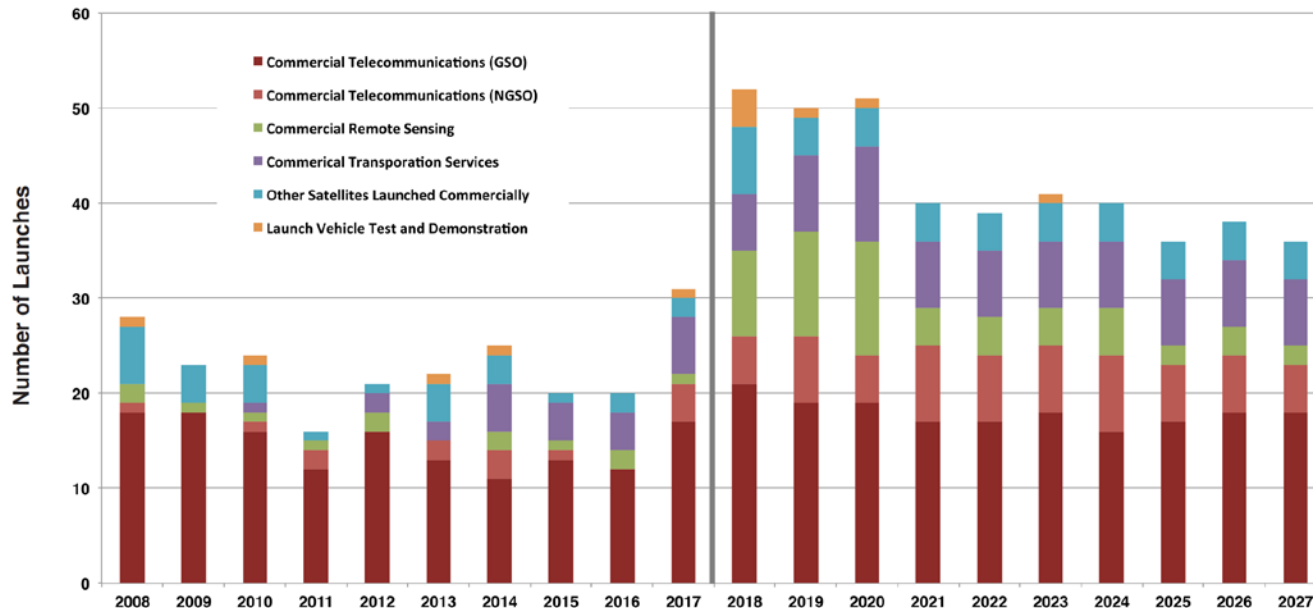
軌道別の規模



顧客セグメント別の規模

1. 1 衛星打上げ市場予測分析-サマリ②

- 商業衛星打ち上げの市場規模は、2009年から2017年頃までは約1500億円程度のほぼ一定の規模で推移していた。
 - 2013年頃までは商業衛星打ち上げ市場の大部分は、静止軌道(GEO)への通信衛星の打ち上げが占めていた
- 近年は、商業衛星打ち上げ全体の市場規模が成長傾向にあり、特に通信や地球観測衛星のコンステレーションなどに代表される**低軌道(LEO)**や**太陽同期軌道(SSO)**への**輸送の市場規模が拡大**している。
 - 今後10年程度で、**LEOやSSOへの輸送需要は継続的に成長することが見込まれ**、今後10年間の**累計の市場規模は約80%程度拡大**することが見込まれる。
 - また、静止軌道の通信衛星の輸送需要については、今後10年間程度は**現状と同程度の安定した需要が見込まれている**。

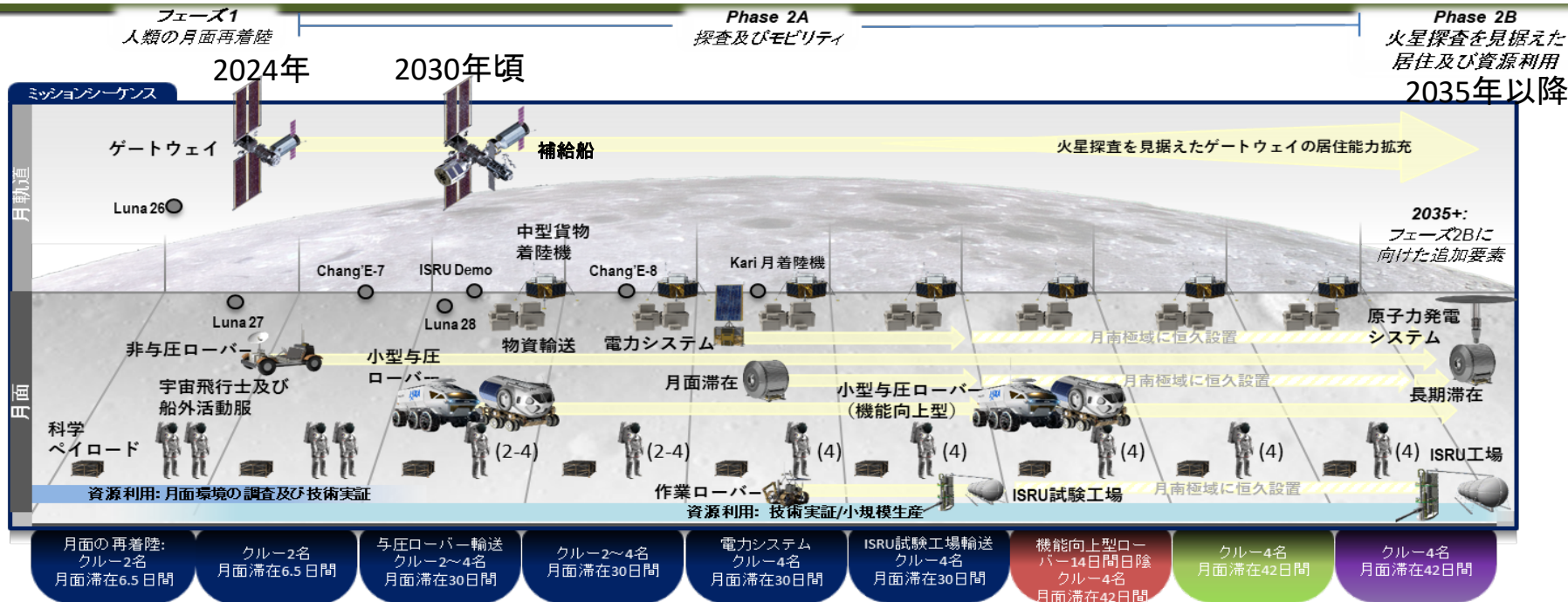


商業衛星市場の動向(2008-2027)

FAA The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018より抜粋

2. 1 国際宇宙探査

国際宇宙探査ロードマップ



予測される日本の輸送ニーズ(最大)

月面への輸送(2030頃~)

- 月面への補給品輸送: 有人月面探査(1回/年)につき2~3t
- 月面基地システム輸送: 各システム(10t超規模)を3t程度に分割して輸送

⇒ロケットTLI能力換算 14-20t

ゲートウェイへの輸送(2030頃~)

- 3年に1回程度、1回につき4~5t

⇒ロケットTLI能力換算 14-16t

(参考) 海外ロケット能力(TLI)

SLS (NASA/Boeing)	42t
Falcon Heavy (Space-X)	21t(*)
Vulcan(ULA)	12t
New Glenn (Blue Origin)	11t(*)
Ariane 6+	9t (*)

(*) TLI公表値がないため、便宜的にGTO公表値の80%能力を掲載

2. 2 商業月利用研究会 ロードマップ(案)

民間主導で検討を進め、具体的なビジネスイメージをもって国へ提案／提言することにより、国主導の科学目的の月探査と産業界による月利用ビジネスの両立を目指す。

2020年9月

商業月利用研究会



主催 MRI、ispace
事務局 日本宇宙フォーラム
委員／メンバー
慶應大学(白坂先生)
清水建設
スカパーJSAT
高砂熱学工業
ユーグレナ
住友商事
Moon Village Association(稲谷先生)
SpaceFood Sphere
オブザーバ
内閣府
経産省
文科省
INCJ
DBJ
JAXA ※本研究会のアドバイザー

ロードマップの全体像

		～2024 準備フェーズ	～2030 有人滞在開始フェーズ	2030～ 有人滞在本格化フェーズ
政府の活動	国際協力による宇宙探査	2022 月着陸実証(日)	2024 有人月面着陸(米) 2024 Gateway最小	2026 離着陸実証SR(日) 2028 Gateway拡張 火星へ
		[民] → [政府] 政府向け通信・要素技術提供・政府向けサービス提供 など [政府] → [民] 月周回輸送余剰スペース活用・月着陸余剰スペース活用・サービス調達 など		
月面への輸送能力	無人	能力：数10kg～100kg 個別ペイロード：数100g～10kg	能力：100kg～500kg 個別ペイロード：数十kg～数百kg	能力：500kg～1500kg 個別ペイロード：～1500kg
	有人		能力：数十kg～500kg	能力：9000kg
基盤インフラ エネルギー・通信	通信	政府向け基幹回線(輸送、観測用)	数百Mbps： 政府向け基幹回線、民間向け回線	数Gbps： 政府向け基幹回線、民間向け回線
	エネルギー 太陽光	開発実証(小規模パネル)	小規模パネル利用開始、 大型パネル実証、現地製造試行	実用システム稼働開始
生活インフラ 水・食料・居住施設	エネルギー 水素		水素抽出実験	水素抽出・利用
	水	小型装置開発、月面実証(電解、採取)	小型装置現地稼働開始、 大型化(実用システム)試行	実用システム稼働開始
	酸素		酸素抽出実験	酸素抽出・利用
	食料生産		月面実証、現地製造試行、大型化検討	小型装置現地生産開始、 大型(実用システム)試行
輸送インフラ 月面移動・輸送	建設		滞在用インフラ・小型プラント建設 現地資材活用	滞在用インフラ・大型プラント・工場建設 現地資材活用
	月面輸送	小型ローバ(数kg)	中大型ローバ(数十kg～)	
	月面移動		与圧ローバ(有人用)	

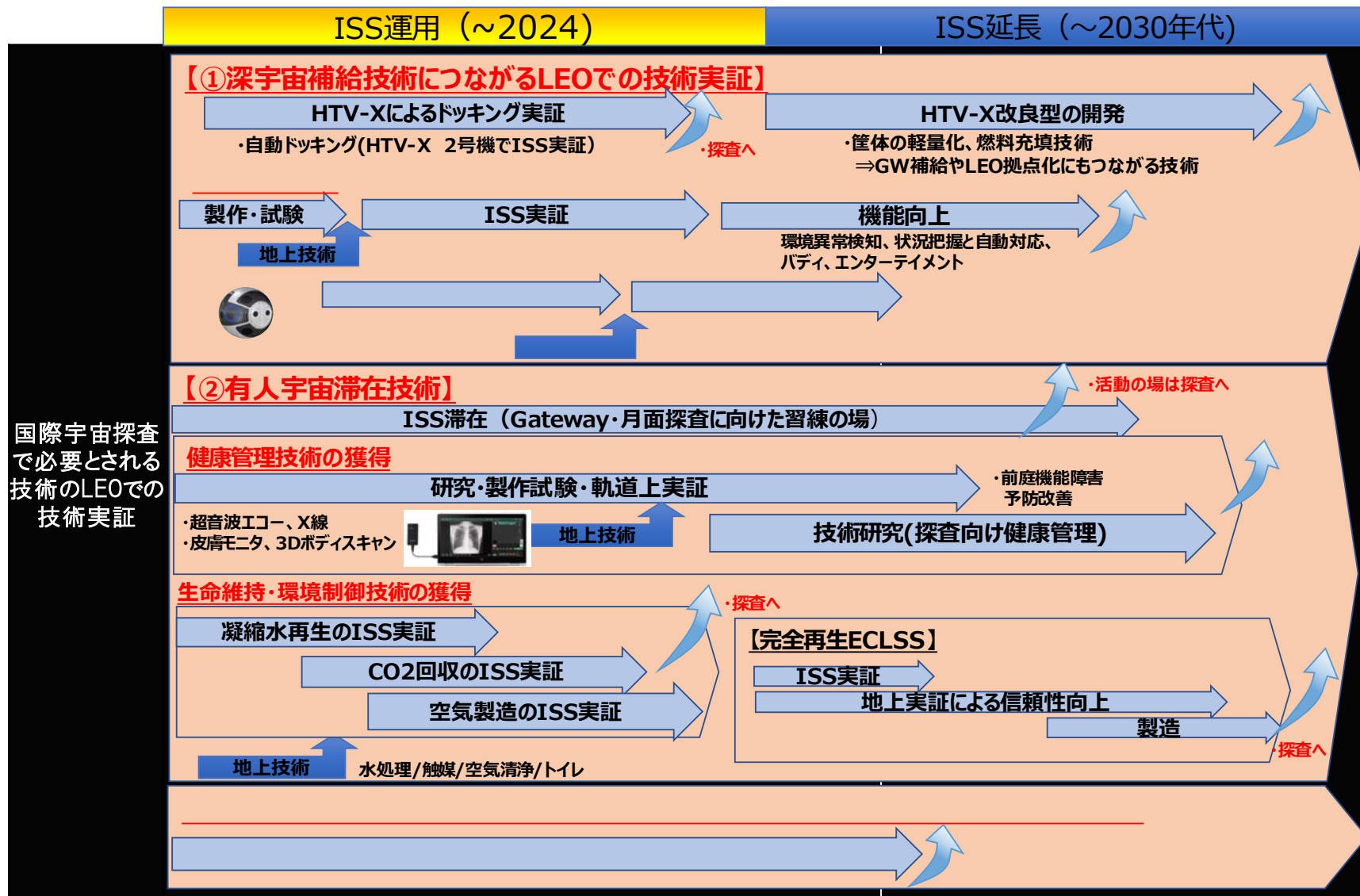
2.3 大型低軌道有人プラットフォーム分野

(宇宙開発利用部会 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会報告書抜粋)

2. 3 「目指すべき姿」の実現に向けた技術獲得ロードマップ(抜粋)

(1) 国際宇宙探査で必要とされる技術の低軌道における技術実証

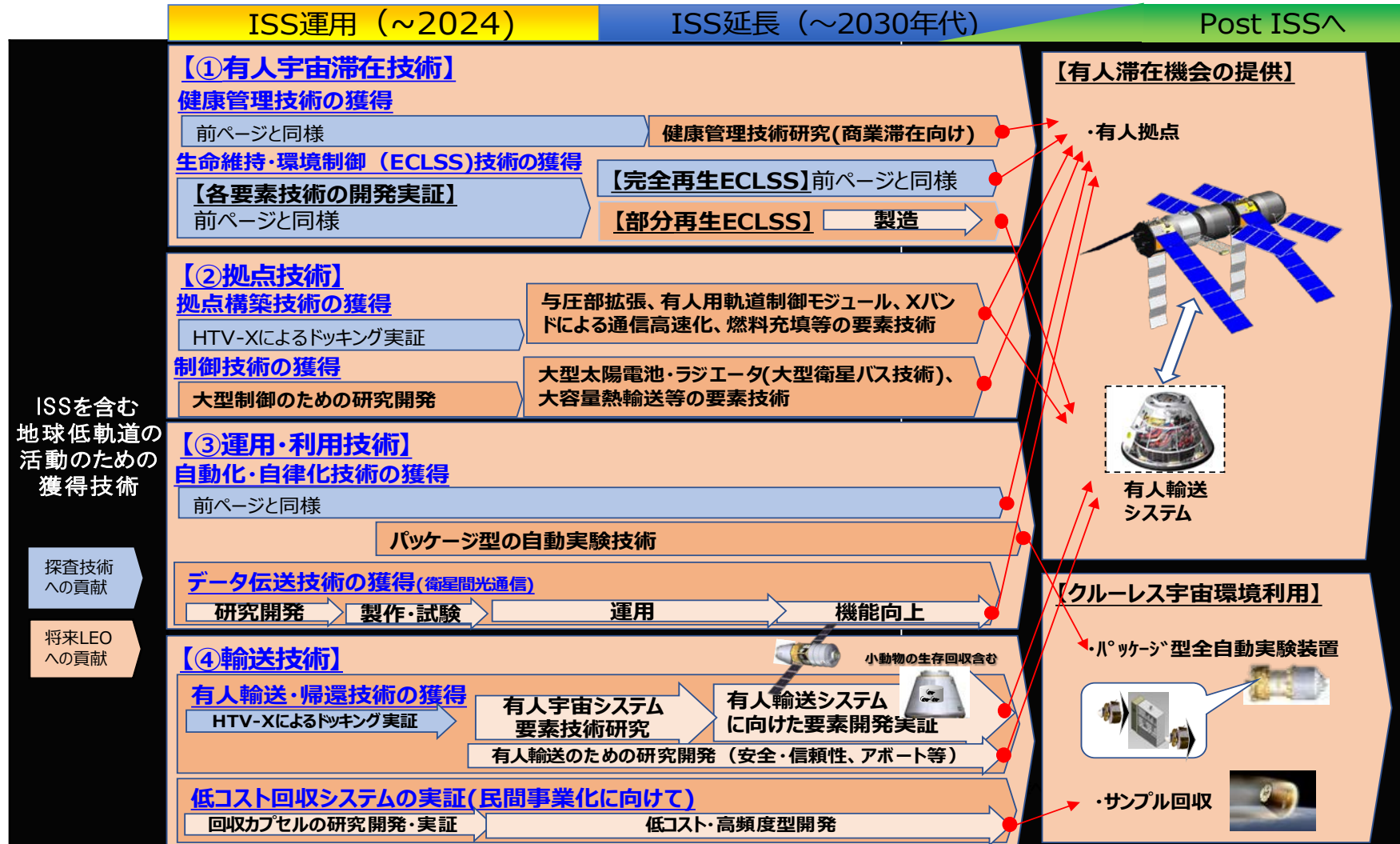
国際宇宙探査に必要な技術を低軌道で先行的にISSにて技術実証を行うことにより、探査における4つの重要技術の獲得につなげる。以下に技術実証のロードマップ(概要)を示す。



2. 3 「目指すべき姿」の実現に向けた技術獲得ロードマップ(抜粋)

(2) 将来地球低軌道に向けた4つの重要技術

将来LEOに向けた技術ロードマップでは、民間事業者からの期待が高く地球低軌道の利用拡大に資する有人飛行に繋がる技術や探査にも関係するECLSS技術などを中心に4つの重要技術の獲得を目指す。なお、技術の獲得にあたっては民間技術の積極的な活用や民間リソースを活用しつつ進める。



2.4 科学探査分野

2.4.1 天文学・宇宙物理学分野

2.4.2 太陽系探査科学分野

以降は、各分野について「分野全体を俯瞰する将来ビジョン」、「日本が採るべき戦略」、「2040年を視野に入れた目標」、「今後10年程度の目標」の検討状況であり、今後も議論を行い更新をしていく。

2. 4. 1 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(1/2)

■ 分野全体を俯瞰する将来ビジョン

大目標:「宇宙の空間と物質の起源の理解」「宇宙における生命の可能性の探求」



宇宙観測の利点を用いて次の課題に挑む。

- 我々の宇宙の成り立ちの理解にかかわる課題:
宇宙の時空間と構造の起源 (インフレーション、宇宙の加速膨張)、多様な天体の形成過程 (銀河の形成、星・惑星の形成、元素合成)、宇宙における生命の可能性 (太陽系外惑星) など。
- 物理学の根幹にかかわる課題:
素粒子論と物質の根源 (暗黒物質、中性子星)、一般相対論の検証 (暗黒エネルギー、ブラックホール、重力波)、極限状態の物理学 (プラズマ過程、粒子加速、分子・固体形成) など。

2.4.1 天文学・宇宙物理学分野の将来構想(2/2)

■ 日本が採るべき戦略

- 戦略的中型、公募型小型、海外計画参加を含む小規模計画などのミッション機会を、柔軟かつ適正に組み合わせることで持続的な発展を目指す。
- 中型ミッション機会を戦略的に利用し、宇宙構造の起源・原始重力波・ハビタブル系外惑星といった宇宙の成り立ちと物理学の根幹に関わる課題に挑戦する。
- 公募型小型機会を利用し、科学目的を絞った先鋭的ミッションを実施することで、強みとなる技術の発展的応用および挑戦的な技術の獲得を戦略性を持って進める。
- 冷凍機技術といった国際的優位性を保つ技術を強化するとともに、将来ミッション像に合致した応用性の高い技術領域を同定して技術開発を推進する。

■ 2040年を視野に入れた目標

- 国際協力を通じて、太陽系外惑星における生命可能性の探査といった超大型望遠鏡・観測装置が必須となる大型計画へ参加の実現を目指す。
- 原始重力波の直接観測を目指すミッションや銀河・惑星・ブラックホールの誕生過程を解明するミッションなど、我が国の優位性を活かした新機軸の宇宙物理観測・実験ミッションを世界に先駆けて実行する。

■ 今後10年程度の目標

- XRISM、LiteBIRD、小型JASMINE、HiZ-GUNDAMを我が国主体で進める。
- Nancy Grace Roman宇宙望遠鏡、ATHENA、LISAといった海外ミッションへ参加する。
- 他研究分野との協力によるWSO-UV、SILVIAを実現する。

2.4.2 太陽系探査科学分野の将来構想(1/3)

■ 分野を俯瞰する将来ビジョン

大目標: 「太陽系と生命がどの様に生まれ、進化して、現在に至ったかを解明する」

● 惑星科学(固体惑星, 始原天体): 【太陽系の形成・進化】

太陽系形成過程を物証に基づいて明らかにするとともに、太陽系における惑星材料物質の進化・移動過程を探る。

● 太陽圏システム科学(太陽物理、磁気圏プラズマ物理、惑星大気科学): 【太陽系の現在環境】

太陽活動の起源および太陽のプラズマ現象を理解し、磁場の起源と変動に迫る。宇宙天気予報を実現し、月や火星など人類の活動圏拡大を支え、地球環境への長期影響を解明する。太陽活動により変動する太陽圏・惑星圏環境を理解し、惑星大気プラズマのダイナミクスと進化を解明する。太陽系と系外惑星系の知見を融合させ普遍的な生命生存可能環境を理解する。

● アストロバイオロジー: 【生命の形成・進化・現在】

太陽系における生命起源物質の進化・移動過程を理解し、地球外での生命活動の可能性またはその痕跡を探る。太陽系そして系外惑星における前生命環境およびハビタビリティ(生命圏の持続条件、人類の居住可能性)を解明し、人類の活動圏における生物多様性の保全に資する。



2.4.2 太陽系探査科学分野の将来構想(2/3)

■ 日本が採るべき戦略

- 適正規模の太陽系探査を高頻度で実施し、日本独自の技術や観測機器の実証を系統的に行える枠組みを構築する。
- 国際的な優位性を持つ太陽物理・磁気圏プラズマ分野は、日本独自ミッションだけでなく世界の動向を踏まえた国際協力をさらに積極的に推進する。
- 始原天体探査は、世界におけるリーダーシップを意識し、はやぶさ・はやぶさ2の実績を発展させ国際的な優位性を確立する。
- 物質科学探査については、国際協同プロジェクトおよび我が国のサンプルリターン計画を通して独自の探査手法を構築し、本格的な生命探査ミッションを立案・実施する。
- 日本では実施できない規模の海外主導ミッションへの参加を推進する。
- 我が国におけるチャレンジングで高度な深宇宙探査ミッションを実現する上で必要となる、惑星保護(探査対象天体の保全および地球環境保護)に係る技術的な蓄積を行う。惑星周回探査や重力天体着陸探査については、国際宇宙探査と連携しつつ理工連携により独自の探査手法を構築し、欧米とは差別化された本格的探査を立案・実施する。

■ 2040年を視野に入れた目標

- 宇宙物質科学や惑星系形成論、アストロバイオロジーの進展と並走しつつ、小天体探査(地球接近小惑星、彗星、トロヤ群小惑星など)を実施する。
- 国際宇宙探査と連携して、月の水・資源探査や、火星のサンプルリターンおよび気候・水環境探査を実施する。
- 太陽系内生命環境の理解に向け木星・土星衛星リモート観測や直接探査、サンプルリターンを実施する。
- 太陽の磁気プラズマ活動の本質を探るための超高解像度撮像を行う、太陽圏における多点観測機会を最大活用する等の方策から、太陽活動とその太陽圏への影響というテーマの探求を進める。
- 地球に加えて小天体から岩石・ガス・氷惑星のあらゆるスケールにおけるプラズマ環境を超小型・小型編隊飛行衛星群を用いて探査し、地球から惑星圏まで広がる宇宙天気・天体環境の解明を目指す。
- 宇宙物理分野と連携し、太陽系科学分野で培われた技術を系外惑星大気観測に応用することで「生命存在可能環境の解明」を目指す。

2. 4. 2 太陽系探査科学分野の将来構想(3/3)

■ 今後10年程度の目標

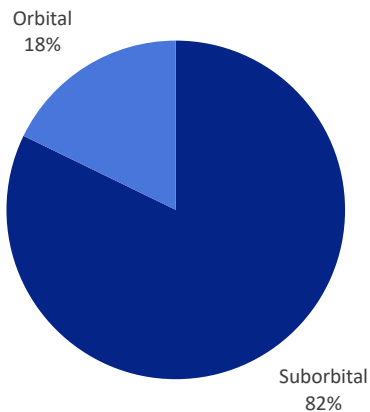
- 始原天体探査において世界をリードしつつ、積極的に国際共同計画にも参加する。
→MMX、DESTINY⁺、Hera、Comet Interceptor
- 国際宇宙探査と連携しつつ月着陸探査および火星気候・水環境探査を実施する。
→SLIM、LUPEX、UZUME、MACO/Ice Mapper
- 日本が強みをもつ技術を活かした木星・土星衛星探査を実施する。
→JUICE、Dragonfly、氷衛星プリューム探査
- 国際的優位性を活かした地球・小天体プラズマ環境探査を実施する。
→BepiColombo、FACTORS、GEO-X、JUICE、Comet Interceptor
- イプシロン規模で太陽の磁気プラズマ活動の本質を探る。
→Solar-C (EUVST)、PHOENIX
- 海外の大型宇宙望遠鏡計画に参画し系外惑星大気環境を探る。
→WSO-UV

3. サブオービタル／低軌道；宇宙観光／物資輸送 ／P2P 有人輸送

3. 1 宇宙観光・旅行市場-サマリ

- 2020年以降数年間にかけては、宇宙観光・旅行市場を主にサブオービタル飛行がけん引する見込み
- 潜在的には非常に多数の需要が見込まれているものの、資金調達および技術課題が実現の制約となっている。しかし、消費者の本市場に対する興味は増しており、サブオービタルフライトにおける信頼性および定常性が示されれば、本市場は成長することが予想される。
 - 市場規模は年平均86%程度の成長率と予測され、2028年時点では34億ドル程度の市場規模まで成長すると予測されている。
 - 軌道上への旅行は当面は高価であり、ニッチであると考えられるが、ISSがより商業的なハブとなり、各国の政府主導の宇宙開発計画の影響を受け、成長する見込み。
 - サブオービタルフライトの価格は、市場での競争、フライト機会の提供に加え、2地点間輸送の発展の影響を強く受けることが予想される。

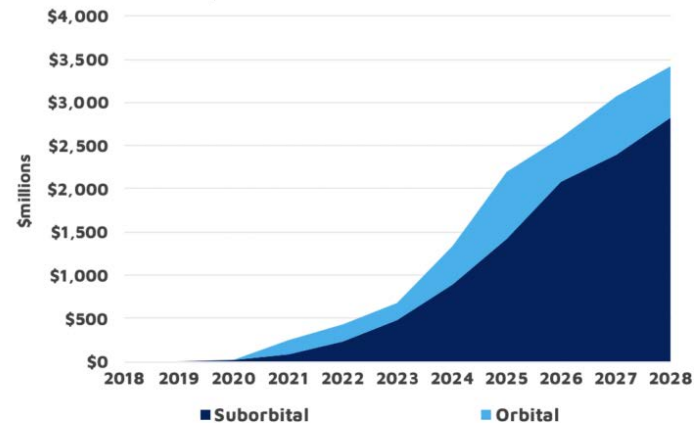
Space Tourism Market, 2028



Source: NSR

サブオービタルと軌道上飛行の内訳

Space Tourism Market Revenues

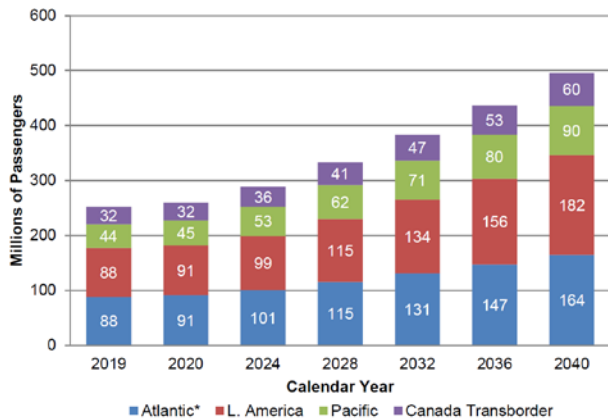


Source: NSR

顧客セグメント別の市場規模

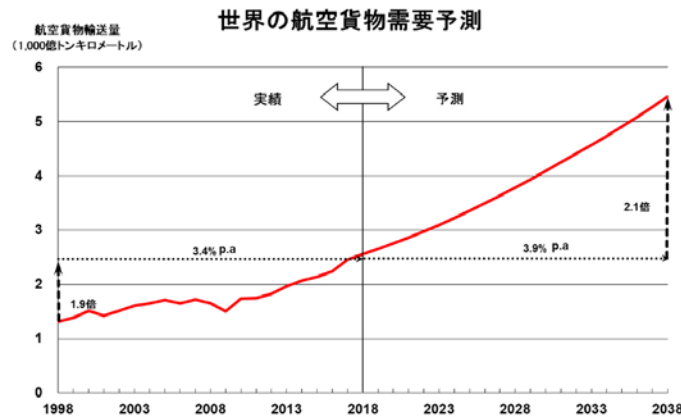
3.2 P2P 有人・貨物輸送

- 航空旅客輸送および航空貨物輸送については、今後20年間で倍増することが予想されている。
 - 航空貨物輸送需要の増加要因としては、Eコマース需要の更なる増大などが挙げられる。
- 航空貨物輸送は、高付加価値製品の主要な輸送手段となっている。
 - 航空貨物輸送は、全貿易量に対して質量ベースでは1%以下の割合しか占めないが、金額ベースでは35%程度占める。
- 2040年頃には全世界で約3000機のジェット貨物機が運用される見込みであり、そのうち細胴機と大型機が約35%となり、残りが中型機となる見込み。



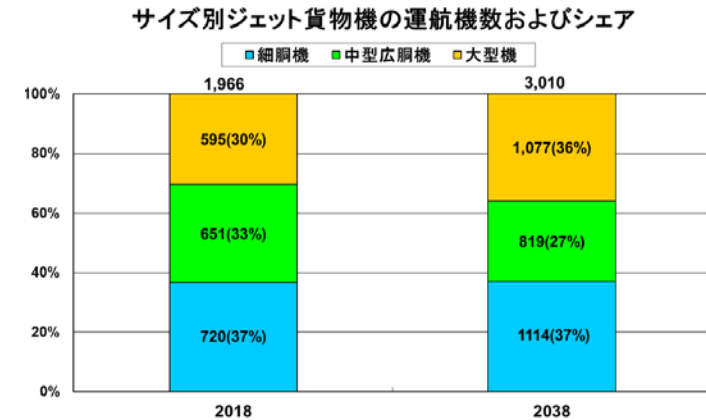
米国を発着する全旅客数の推移の予測

FAA Aerospace Forecast Fiscal Years
2020-2040



貨物輸送の実績と予測

一般財団法人 日本航空機開発協会
民間航空機に関する市場予測 2019-2038



ジェット貨物機の運航機数およびシェアの実績と予測

一般財団法人 日本航空機開発協会
民間航空機に関する市場予測 2019-2038

3.2 P2P 有人・貨物輸送

- 宇宙機を活用した超高速2地点間輸送については、各社が提案している。
 - SpaceX社は、開発中のStarshipを活用した超高速2地点間輸送(ニューヨーク-上海間を40分程度で結ぶ速度)を提案している。
 - Virgin Galactic社は、将来的にはSpaceship 2を活用した超高速2地点間輸送を計画しており、低軌道輸送よりもむしろ超高速2地点間輸送に集中する計画。
- 航空分野においては、SSBJ(Super Sonic Business Jet)については一定の需要が見込まれるため、開発が進められている。
 - Aerion社は、12名乗りの超音速旅客機AS-2を開発中であり、2020年代中盤の就航を目指している。
 - Boom社はより、大型の超音速旅客機の検討を進めているが、エンジン選定などに難航している模様。



SpaceX社のStarship



Virgin Galactic社のSpaceship 2



Aerion社の超音速旅客機(12名:航続距離7800km M=1.4)



Boom社の超音速旅客機(50名:航続距離8300km M=2.2)

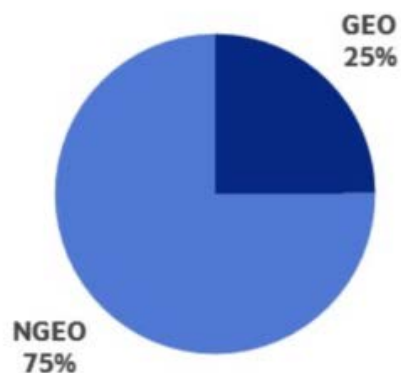
4. その他の新分野 軌道上サービス

(寿命延長、サルベージ、再配置、デオービット、
ロボティクス、SSA(宇宙状況把握)、デブリ除去)

4. 1 軌道上サービスサマリー①

- 軌道上サービスは成長市場であり、2019年～2029年にかけての10年間の累計市場規模は約3100億円程度となる見込みであり、年平均成長率(CAGR)は63%となる見込み。
 - 市場動向は主に寿命延長サービスによって支配される可能性が高い。
 - 2029年には、単年度の市場規模が約500億円程度となることが見込まれる。
- 軌道別で見ると、静止軌道と非静止軌道の市場規模は2:1程度となり、静止軌道における軌道上サービス需要が大きい。
 - 需要(ミッション数)としては非静止軌道が多いが、市場規模としては、ミッションの複雑さ等により静止軌道における軌道上サービスの市場規模が非静止軌道の約2倍となる見込み。

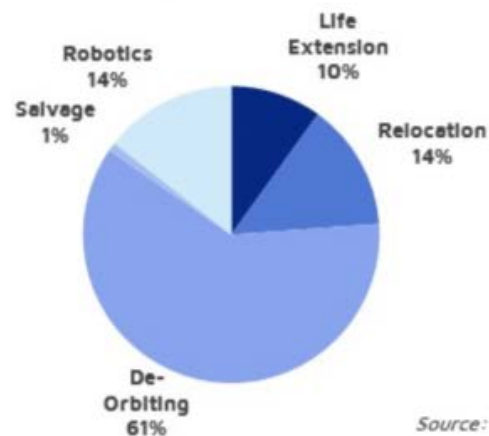
Cumulative Global Demand by Orbit



Source: NSR

2019年から10年間の軌道別の需要予測

Cumulative Global Demand by Type of Service

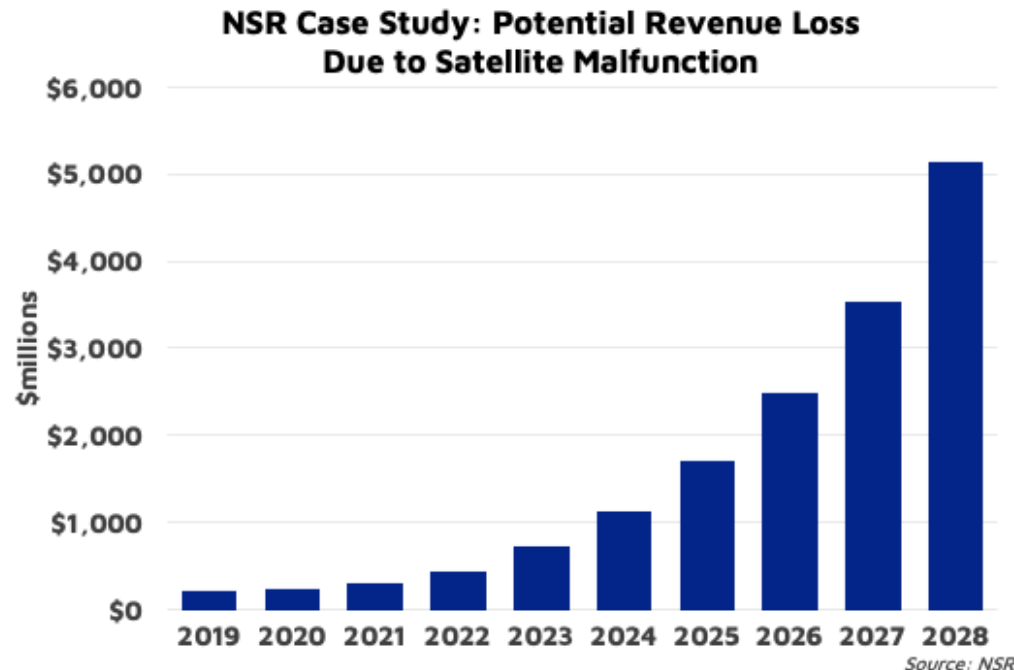


Source: NSR

サービス別の需要予測

4. 1 軌道上サービスーサマリ②

- 宇宙状況把握(Space Situation Awareness: SSA)サービスは、衛星の飛行経路の解析、監視等のサービスであり、近年商業的にサービスが提供されている。
- 理論的にはほぼ全ての衛星が顧客になりうるが、主に高リスク軌道(LEOやトランスファー軌道)の衛星が主要なターゲットとなり、非静止衛星が大部分を占めると予測されている。
- SSAのサービスは成長市場であり、2029年頃には15億ドル程度の市場規模まで成長する見込みである。



2019年から10年間にかけて予測される衛星の故障等による損失