

新型基幹ロケット(液体燃料ロケット) に対する要求分析等について

平成25年7月25日
(独)宇宙航空研究開発機構
(JAXA)

1. 新型基幹ロケットの目的・意義
2. 動向分析
 - 2.1 政府衛星需要動向
 - 2.2 商業衛星需要動向
 - 2.3 顧客要望・意識調査
 - 2.4 衛星の技術動向
 - 2.5 競合ロケット分析
3. 日本の宇宙輸送事業の目指す姿
4. 新型基幹ロケット開発にあたっての基本要求
5. ミッション要求
6. 運用要求
7. 新型基幹ロケットのコンセプト

1. 新型基幹ロケットの目的・意義

新型基幹ロケットの目的・意義は、安全保障を中心とする政府需要等に応える「自律的持続可能な宇宙輸送システム」を構築することである。

このためにJAXAが重要と考える事項は以下の通り。

- ① 国によるロケット技術基盤の保持・活用
基幹ロケットは安全保障に係る国家基幹技術であり、その技術基盤を国が保持し活用する。
- ② 国として効率的な宇宙輸送事業の確立
厳しい財政事情の中、ロケット事業運営にかかる政府支出を抑えるため、官民が各々の役割を責任をもって果たせるよう適切に分担し、我が国の総力を結集して効率的な宇宙輸送事業を確立する。

2. 動向分析

2.1 政府衛星需要動向(2020年代)

分析手法

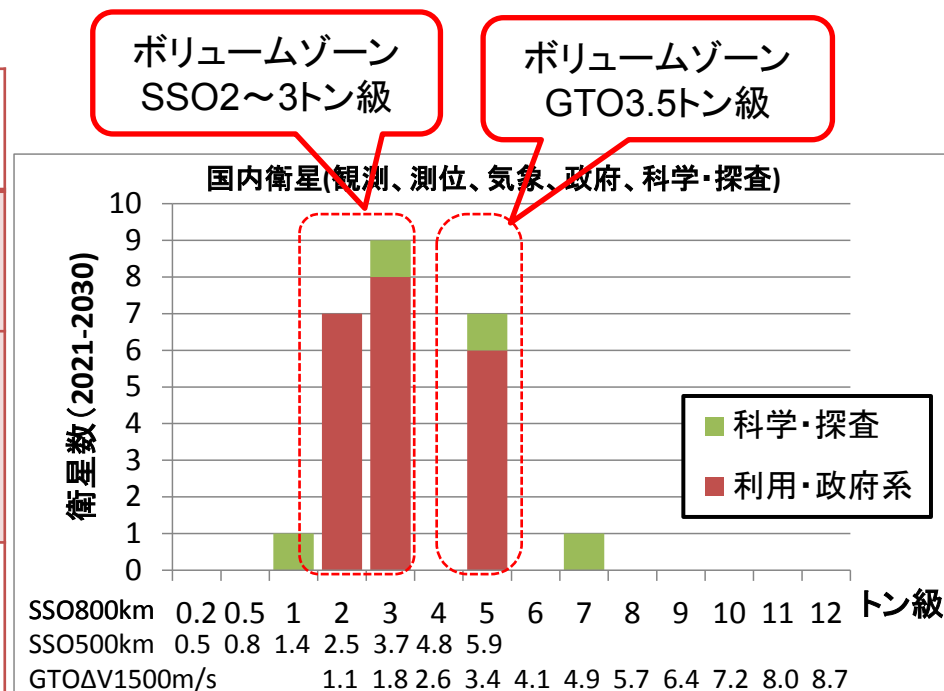
- 年間機数は過去実績などから推定した寿命によりリプレース時期を想定して試算
 - ✓ 情報収集:4機で寿命5年 / 地球観測衛星:3~4機で寿命5年
 - ✓ ひまわり:2機で寿命8年 / 準天頂:7機で寿命15年 / 防衛用通信:2機で寿命15年(2030年以降と想定)
- 軌道・質量は過去実績やヒアリングより推定
- ただし、科学衛星(小型は除く)は今後約10年間において打上げ予定のプロジェクトやその準備段階の4機*1より

結果

- **SSO衛星は、年間1.5機程度で質量のボリュームゾーンは2~3トン級**
- **GTO・準天頂衛星は、年間0.5機程度で質量は3.5トン級(~4トン級)**
- **科学衛星は、年間0.5機程度で質量や軌道はさまざま**

*1)ASTRO-H、はやぶさ2、SPICA、SELENE2

投入軌道	衛星	年間数量	質量
SSO	情報収集	1.4 ~1.6機	2~3トン級
	地球観測衛星		
GTO 準天頂 軌道	ひまわり	0.6機	3.5トン級(~4トン級)
	準天頂		
	(防衛用通信)		
低軌道 ~地球 脱出	天文・太陽観測・ 探査機	0.4機	0.5~4トン級



2.2 商業衛星需要動向(1/2)

分析手法

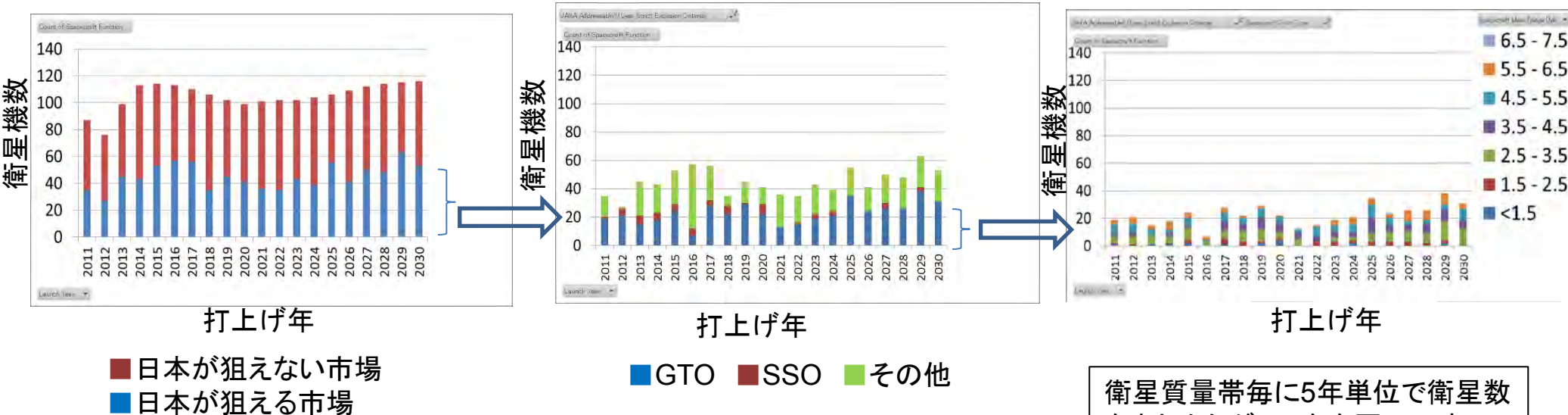
2020年代の需要予測は、技術動向や統計だけではなく経済状況や衛星の事業戦略など幅広い情報と分析が必要。そこで、それらの知見をもつ海外のコンサルティング会社(ユーロコンサル社、Futron社)と連携して以下の分析を行った。

- ① アナウンスされている公開情報、運用中の衛星寿命のリプレースの予測、各社独自情報などを基に推定できる衛星需要のベースラインを予測し、日本が狙える市場を識別
- ② 日本の狙える市場に対して、衛星軌道による区分を作成
- ③ 商業市場で中心となるGTOミッションに対して、衛星質量帯を区分し中長期的な変遷を分析

①ベースライン予測から狙える市場を識別

②衛星軌道による区分

③GTOミッションについて衛星質量帯毎に分類



衛星質量帯毎に5年単位で衛星数をまとめたグラフを次頁に示す。

2.2 商業衛星需要動向(2/2)

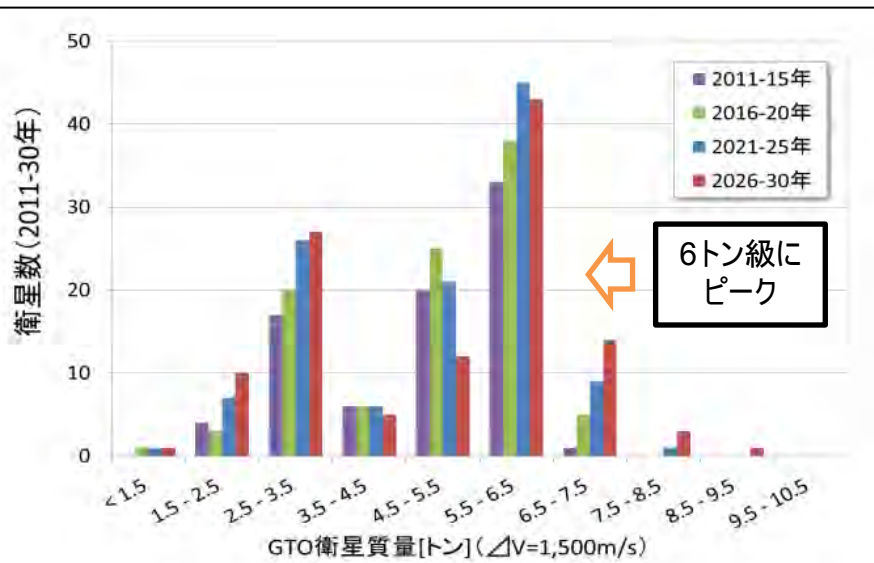
結果

- 年間機数は20~25機/年(2020-2030年)となり、微増傾向
- 質量は、仮定した技術革新や世界経済状況により3~6トン級まで幅広いレンジにばらつく

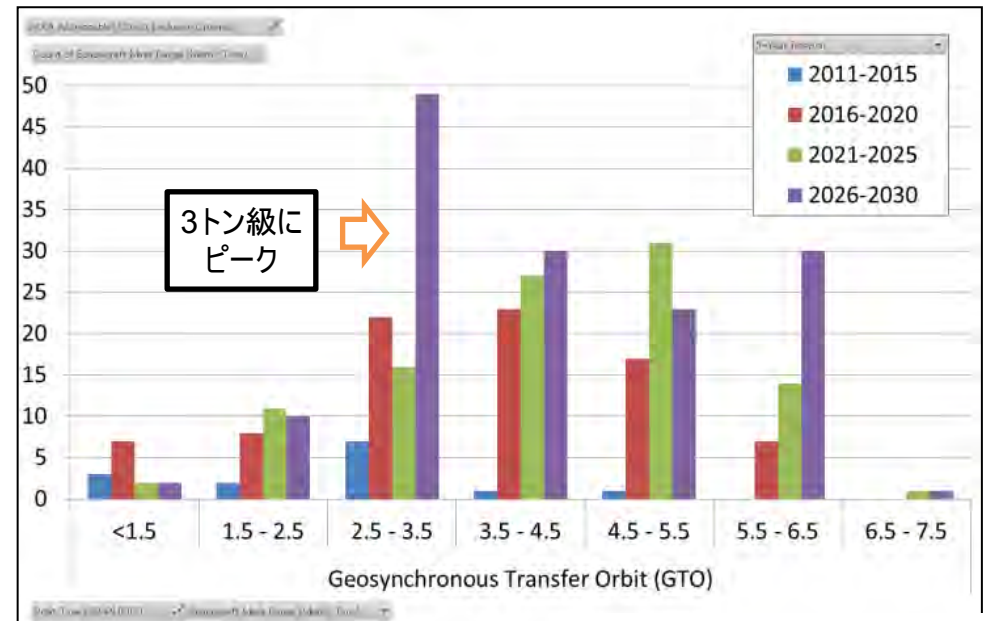
[変動要因の例]

- 電気推進の台頭により、衛星質量を下げ設計寿命が増加する可能性
- ビジネスモデル拡大・縮小により、トラポンの数が増減し、衛星質量が増減する可能性
- 経済情勢や事業戦略により、衛星数が増減する可能性

商業衛星需要 (2011-30)



(出典)ユーロコンサル社調査結果



(出典)Futron社調査結果 6

2.3 顧客要望・意識調査(1/2)



分析手法

1. ロケットの選定基準について統計をとった(衛星オペレータや製造者を中心としたユーザ約40機関より)。
2. 次にH-IIA/Bに対するユーザからの声を、選定基準の上位を中心に分析した。
3. それらを総括して、新型基幹ロケットへの反映事項を整理した。

➤ 結果

ロケット選定基準

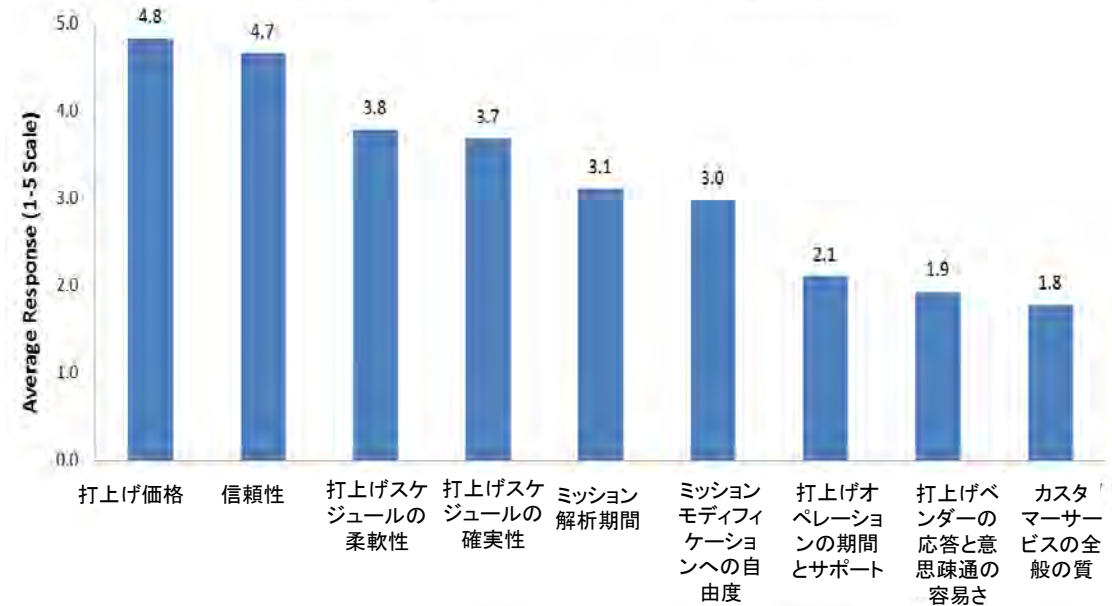
右図の項目について5段階評価を実施

1位: 打上げ価格

2位: 信頼性

3位: 打上げスケジュールの柔軟性

4位: 打上げスケジュールの確実性



2.3 顧客要望・意識調査(2/2)



➤ 総括

- ✓ ロケットを選定する上では「打上げ価格」と「信頼性」が最も重要である。
- ✓ 市場で一定のシェアを獲得しているロケットには下記の特徴がある。
 - Ariane5は価格は高いが、高い信頼性(*)とスケジュールの柔軟性／確実性で顧客を獲得
 - Proton／Falconは安い価格とスケジュールの柔軟性により顧客を獲得
- *)顧客に評価される信頼性とは打上げ成功率や設計上の信頼度だけではなく商業実績、信用関係、打上げ頻度を踏まえて評価される。
- ✓ H-IIA/Bロケットは信頼性でプロトンを上回るが、価格、スケジュールの点で競争力がない。



➤ 新型基幹ロケットへの反映事項

- ✓ ロケット選定基準において価値の最上位である「信頼性」を重点的に向上させつつ、打上げ価格を低減することで官需には使いやすく商業市場で売れるロケットを開発する。
- ✓ また、スケジュール柔軟性／確実性向上に取り組み、価値を高める。

2.4 衛星の技術動向

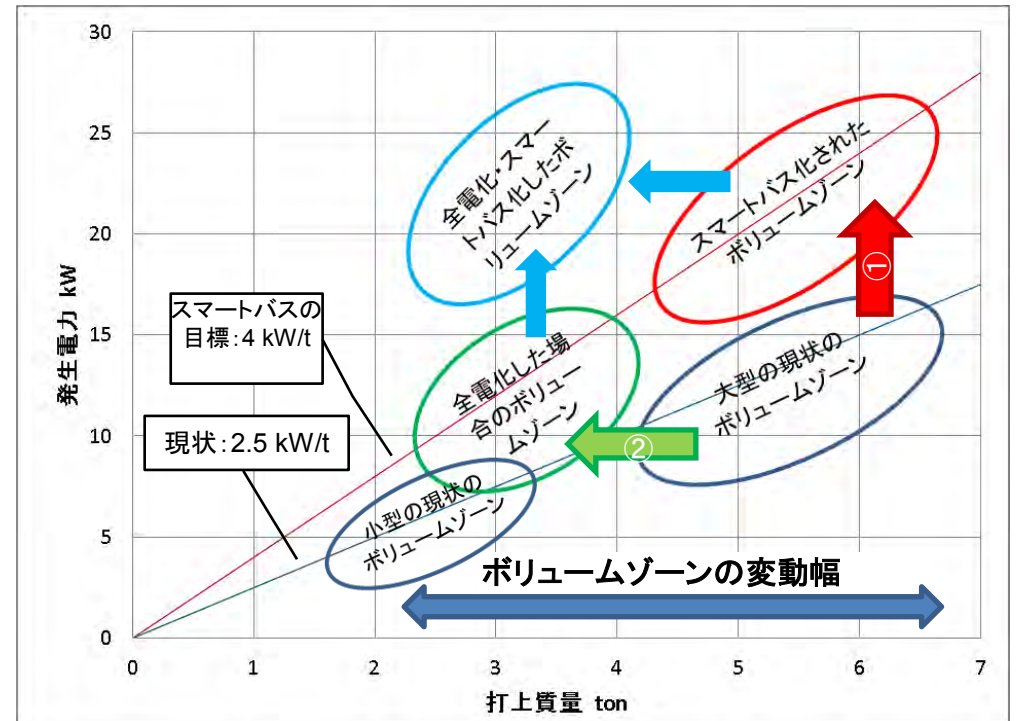
2020年代の衛星打上げサービスにおいては、下記に示す衛星側の今後の技術動向によって、打上げ質量が大きく変わるため、これに対して柔軟な対応ができることが重要

①大電力化とスマートバス化

- ✓ 衛星オペレータは営業収益増加、衛星製造業者は国際競争力強化のため、静止通信衛星のハイパワー化は必須の要求。25kW級の大電力衛星バスが世界的に開発される方向
- ✓ 大電力化だけでは重量増に繋がるが、機器を小型・軽量化した「スマートバス化」により、衛星質量は維持しながら、大電力化の実現が目指されている(図中赤①の矢印)。

②全電化衛星による衛星質量の大幅な軽減

- ✓ 高比推力の電気推進の台頭により、静止衛星バスBoeing 702SP(全電化バス:推進系として電気推進のみを搭載、2014年打上げ予定)では搭載する推進剤が劇的に低減し、打上げ時質量が従来の約6割(図中緑②の矢印)。世界の衛星オペレータが702SPの成否に注目
- ✓ 702SPではGTO-GEO遷移に半年程度かかるが、将来的なスマートバス化(バスの大電力化・軽量化)により、遷移期間は3~4ヶ月程度まで短縮されると予測され、全電化が一層加速する可能性もある(図中水色の矢印)。



2.5 競合ロケット分析

Falcon9 Ver.1.1



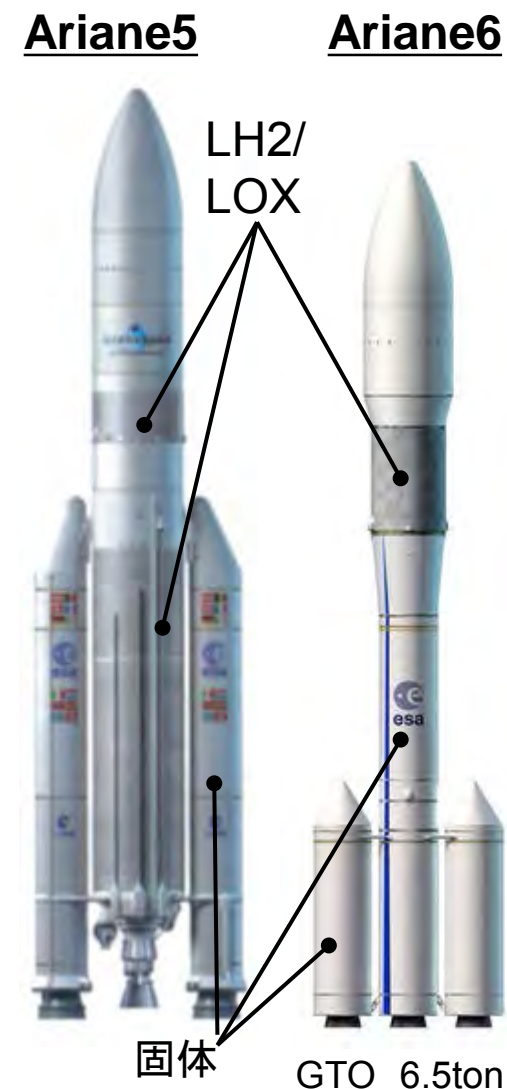
(1) Falcon9 Ver.1.1

- 米国は、自律性を確保するためEELVを政府負担で維持しつつ、政府支出を低減するオプションとして民間企業によるFalcon9開発等をNASAが支援
- 機体コンフィギュレーション
 - Falcon1、Falcon9を通じて発展させてきたケロシン/LOXを用いた2段式形態
 - エンジン(Merlin 1D)を1/2段で共通化し1段はエンジン9個をクラスタ化して配置
 - 超大型のFalcon Heavyとの間に中間的な能力の形態はない
- 戦略上の特徴
 - 豊富な経験を持つNASAや関連企業の経験者の雇用、実績のある技術(枯れた技術)の採用、シンプルな機体構成により信頼性の高さをアピール
 - 最低限のサービスを基本価格(\$54M)として提示し低価格をアピール
その他のサービスはオプション(USAF契約でオプション含め\$97Mとの報道)
 - アビオニクス等への民生技術の適用や、材料のまとめ発注により低コスト化
 - 積極的な販売網展開と低価格化によりフライト前から多数の契約を獲得

2.5 競合ロケット分析

(2) Ariane6

- Ariane5は欧州における自律性確保を目的として、ESAが全額出資し、CNESがシステムインテグレータとなって開発してきた。
Ariane6のシステムコンセプトもCNESが主導して検討してきている。
- 機体構成レーション
 - 1/2段は共通のモジュール化した固体ブースターとし1段は3本を束ねた形態
 - 3段はLH2/LOXのステージとし推進システムはAriane5MEと共通
- 戦略上の特徴
 - 開発コンセプトとしてトリプルセブン(GTO:7ton、価格:€70M、開発期間:7年)を発表
 - Ariane5はデュアルロンチを基本としていたが、Ariane6はシングルロンチを基本とする。
 - Ariane4から続く高信頼性ときめ細かいサービスで顧客を囲い込み



2.5 競合ロケット分析

(3) Angara

- ロシア政府はカザフスタン、ウクライナ等への依存から脱却し 自律性を確保 するため Angaraを開発
- 機体コンフィギュレーション
 - ケロシン/LOX 推進系の液体ブースタ組み合わせ形態により、多様な衛星質量に対応可能
- 戦略上の特徴
 - ロシアはProton、Soyuzなど多数のロケットを保有しているが、Angaraで ラインナップを刷新し一元化
 - スプートニク以来、宇宙用ロケットエンジンとして成熟させてきたケロシン/LOX系の推進系技術を用い、ミサイル技術に起源をもつProtonの有毒なUDMH（非対称ジメチルヒドラジン）の使用を撤廃する。
（平成25年7月2日のProton打上げ失敗では約600tonの有毒燃料が飛散。その除去には2~3ヵ月必要との報道。）
 - 打上げには現在建設中のポストーチヌイ射場も使用予定



バージョン	1.2	A3	A5	A7
GTO 打上能力	—	3.6	7.5	12.5

2.5 競合ロケット分析

(4) GSLV

- インドは自律的な宇宙輸送能力を保持すること等を目的として、ISROがGTO4トン級の打上げに対応可能なGSLVMk-IIIを開発中。
- しかしながら、GSLV Mk-IIの飛行試験の失敗等もあり現状開発スケジュールが不透明な状況になっている。



GSLV Mk 1/Mk II GSLV Mk III

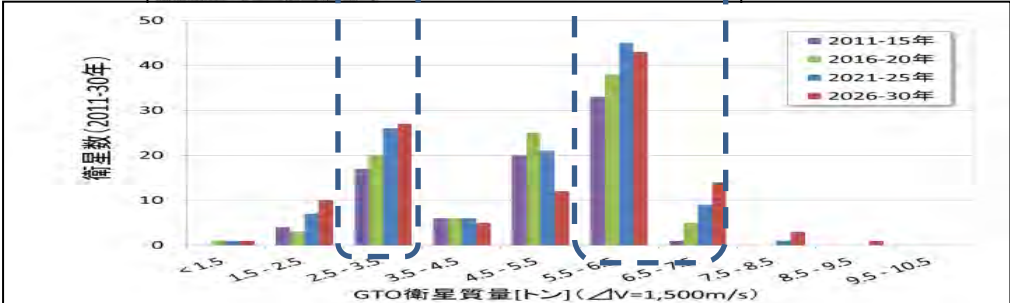
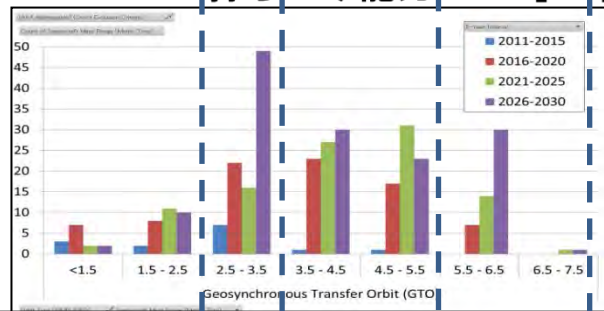
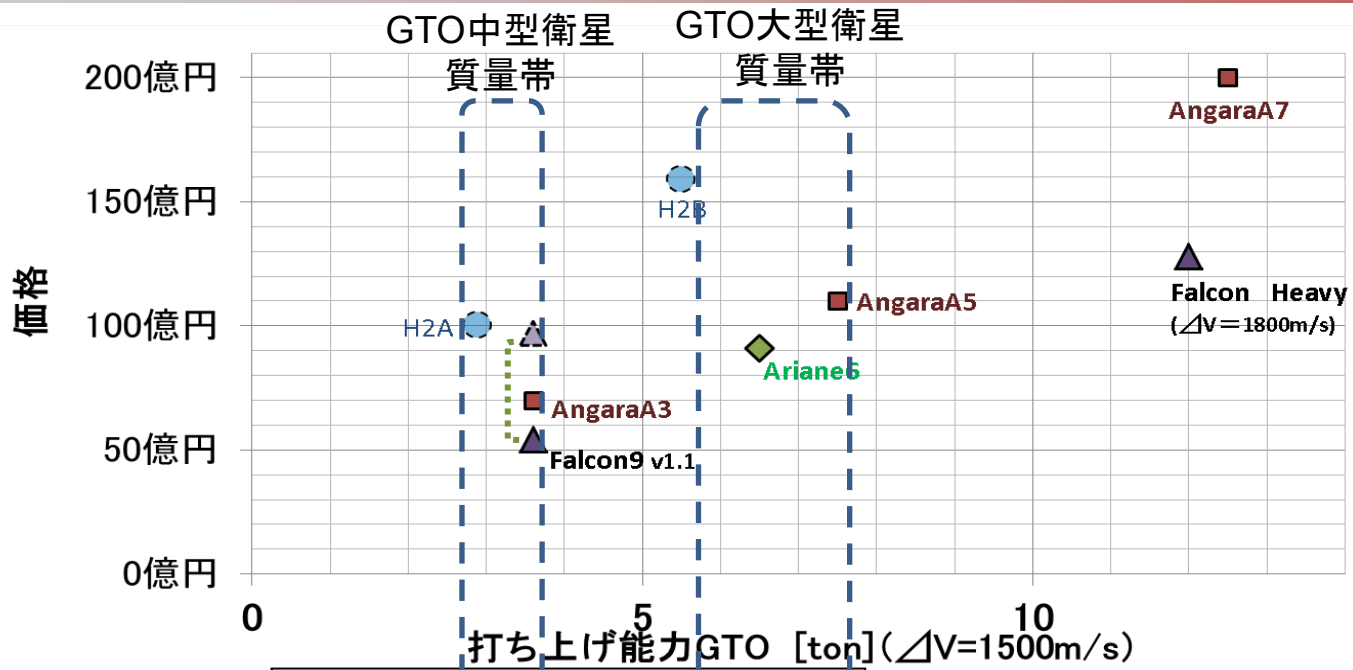
(5) 長征5号

- 中国は次世代ロケットの開発を国の重点的事項と位置付け、技術開発能力向上等を目的としてケロシンと水素系のロケットを組み合わせ、軽量級から重量級まで対応可能な長征5号を開発中。
- なお、ITAR規制(国際武器取引規則)により事実上商業衛星の打ち上げは困難な状況。



長征5号シリーズ

2.5 競合分析(打上げ能力と価格)



(JAXA調査結果)
 出典:
 ・SpaceX社HP
 ・Astrium EADS社プレスリリース
 ・ESA取材結果
 ・IAC-12-D2.4.4(CNES Ariane6計画)
 ・Futron社成果報告書
 1\$=100円
 1€=130円 で換算

3. 日本の宇宙輸送事業の目指す姿



新型基幹ロケットは、我が国の自律的持続可能な宇宙輸送システムを実現するものとして以下を目指す。

① 自律的な宇宙へのアクセス確保

安全保障をはじめとする政府衛星等の打上げ需要に的確に応えるため、ロケット開発能力を国として常に確保し、かつ、開発・運用の不具合等を解決する技術能力を保持して打上げを安定して継続できる状態を目指す。

このため、国／JAXAがロケット技術基盤を保持・活用する。

② 持続可能な宇宙輸送システムの実現

厳しい財政事情の中でも、我が国の宇宙輸送システムを持続可能なものとするため、宇宙輸送コスト(打上げコスト、インフラ維持コスト)をライフサイクル全体で低減して効率的に宇宙輸送事業を実施できる状態を目指す。

なお、コスト低減により、国際競争力が向上し民需獲得や輸出拡大につながり得る。

4. 新型基幹ロケット開発にあたっての基本要求



これまで述べてきた目的・意義、動向分析、宇宙輸送事業の目指す姿を踏まえて、新型基幹ロケット開発にあたっての基本要求を以下の通りとする。

- ① 政府衛星等の打上げ需要に的確に応えること。
 - ✓ 政府衛星等の打上げ要求等に的確に応えること。
- ② 国として自律的な打上げ手段を保持可能なこと。
 - ✓ ロケットを開発できる技術基盤を保持・蓄積すること。
 - ✓ 運用における不具合等を解決する技術能力を有すること。
- ③ 持続可能な宇宙輸送システムを実現すること。
 - ✓ 宇宙輸送コストをライフサイクル全体で低減すること。
 - ✓ 諸外国の競合ロケットに対して技術面及びサービス面で競争力のあるロケットとすること。

5. ミッション要求



主なミッション要求(案)を以下の通りとする。

項目		要求事項	根拠・源泉等
大分類	中分類		
打上げ能力 軌道投入精度	打上げ能力 SSO軌道	3ton／高度800km	政府衛星需要動向(2章参照)
	打上げ能力 GTO軌道	3ton級～6ton級／ 衛星静止化増速量 ΔV 1500m/s	政府及び商業衛星需要動向踏まえて、幅広いレンジに柔軟に対応可能とする(2章参照)
	軌道投入精度	H2Aと同等	
打上げ価格 設備維持コスト	打上げ価格	現行基幹ロケットの半額程度を目標とする。	新型基幹ロケット市場投入時のロケット価格帯として競争力を持つ価格目標を設定する。
	設備維持コスト	現行基幹ロケットの設備維持コストの半額程度を目標とする。	宇宙輸送コストをライフサイクル全体で低減
年間打上げ可能機数		6機対応可能なこと。	産業基盤の維持

6. 運用要求



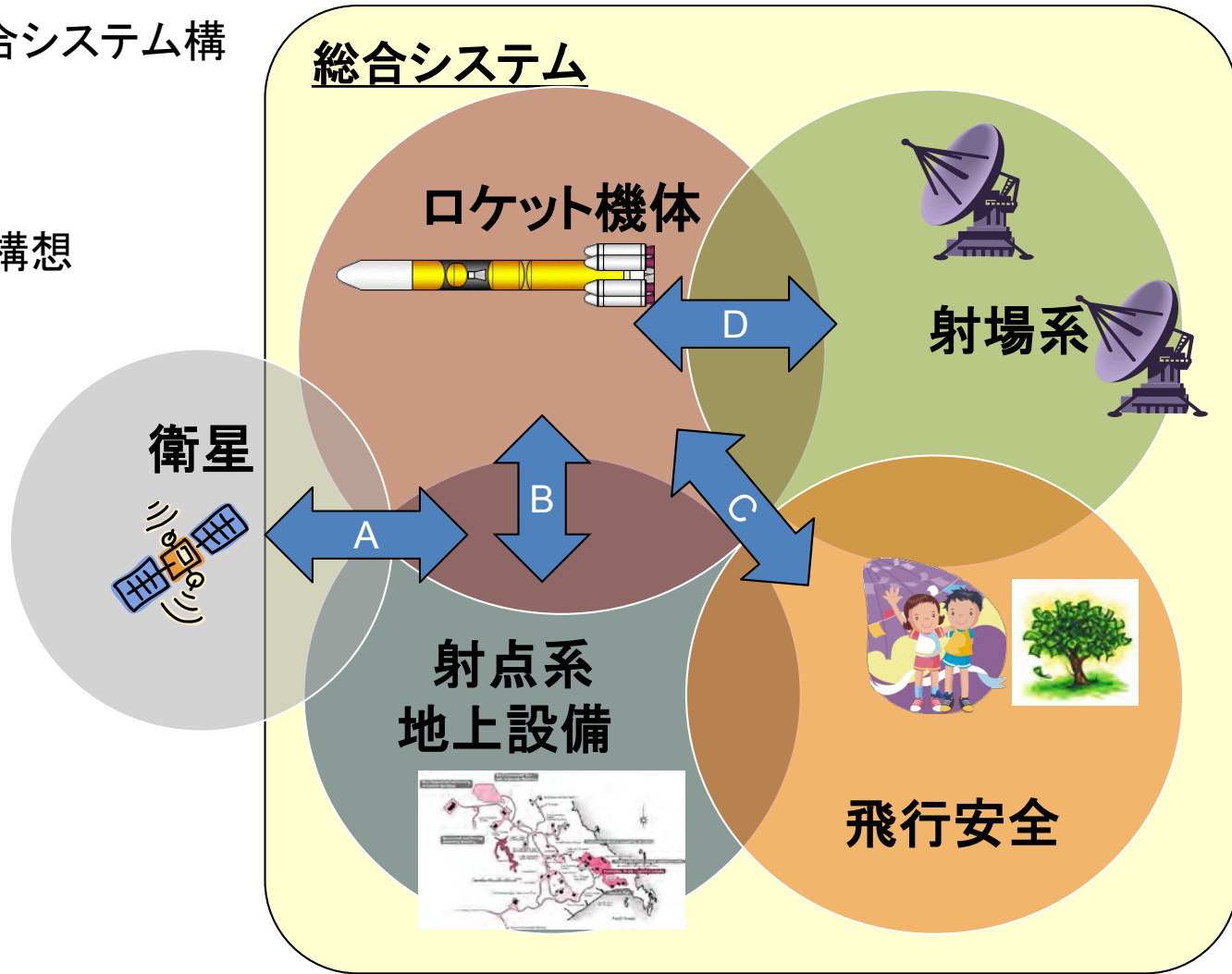
主な運用要求(案)を以下の通りとする

項目	対応方針	根拠・源泉等
契約～打上げ	<ul style="list-style-type: none"> ミッションモディフィケーションが不要な標準インターフェース衛星に対して競合ロケットより短期間で打上げ可能とする。 	他ロケット(実績最短6か月)より短期間で打上げ可能であることはバックアップ打上げ候補として有望(ヒアリング結果)
ミッション解析	<ul style="list-style-type: none"> ミッション解析期間を競合ロケットと同等以下に短縮する。 	顧客ヒアリング、競合分析を踏まえた設定 ・Ariane5 : 各種解析3ヶ月(合計2回) ・Falcon9 : 1ヶ月(ミッション解析のみ) CLAは上記とは別に約3ヶ月。
打上げ間隔	<ul style="list-style-type: none"> 打上げスケジュールの柔軟性を実現する為に打上げ間隔を1ヶ月以下(TBD)とする。 任意の1ヶ月(TBD)を打上げスロットとして設定可能とする。 	顧客ヒアリング、競合分析を踏まえた設定。 政府衛星を優先されるという懸念を払拭し、Arianeと同等の打上げ間隔を設定。 打上げスケジュールの柔軟性を実現する。 ・Ariane5 : 打上げスロット1ヶ月
衛星系整備	<ul style="list-style-type: none"> ロケットとの結合作業期間を短縮する。 同一建屋での衛星点検/PAF結合/推進薬充填を可能とすること ロケットとの作業干渉を発生させないこと 打上げ時人員残留可能な建屋を確保すること 	衛星顧客要望／競合分析により設定 ・Ariane5: 結合作業期間9日(現状最短) ・Arinae5,Proton,Falcon9: 同一建屋で整備実施 ・Arinae5,Proton,Falcon9: 作業干渉なし

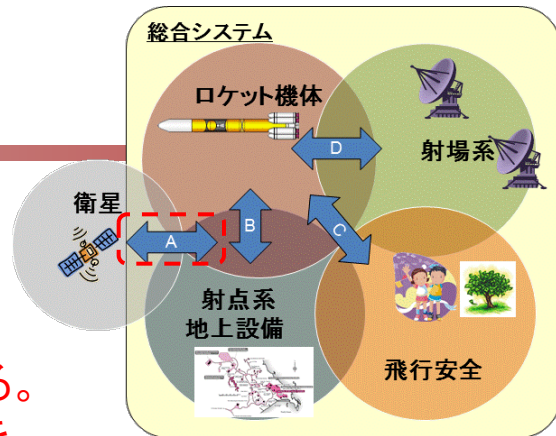
7. 新型基幹ロケットのコンセプト

新型基幹ロケットのコンセプトを総合システム構想としてまとめる

- (A) 衛星サービス構想
- (B) ロケット機体・射点系地上設備構想
- (C) 飛行安全システム構想
- (D) 射場系システム構想



7. 新型基幹ロケットのコンセプト

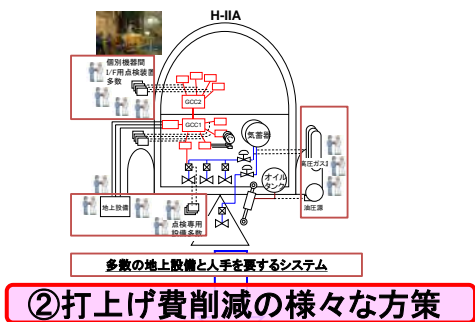


(A) 衛星サービス構想

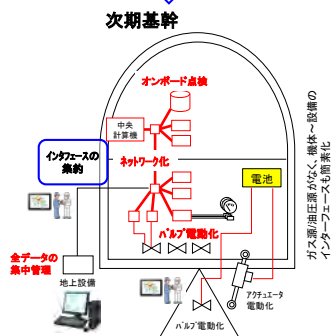
●衛星顧客の要望や意識調査と海外競合分析により、具体的な反映方針を明確にすることで柔軟な顧客サービスを実現する

- ① 試験機での商業打上げ実績作りと高信頼性により、顧客の信用度を獲得する。
- ② システム簡素化、運用性の向上、民間技術の活用により競争力のある価格を実現する。
- ③ 射場作業を簡素化することで、打上げ時期を柔軟に設定する。
- ④ 気象データの分析により天候制約等緩和し、打上げ時期の確実性を向上する。
- ⑤ 設計初期からのユーザインタフェース設計により、世界標準以上のフェアリングサイズ・射場作業・環境条件などを実現する。

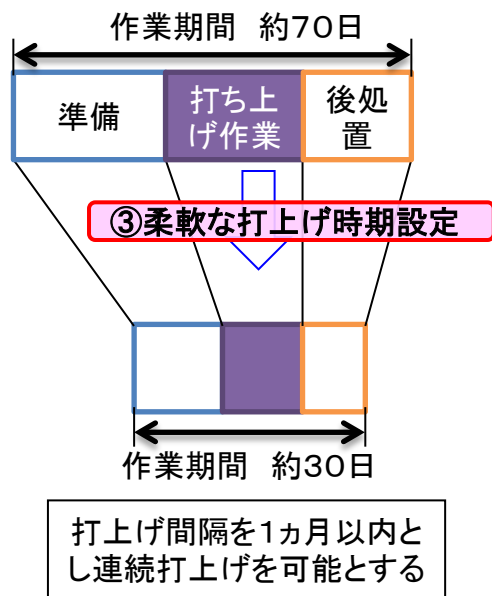
(現行システム)



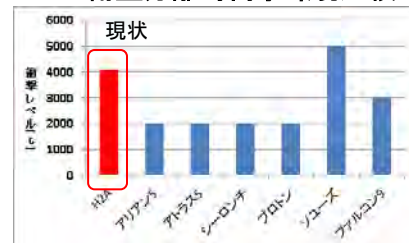
(新型基幹)



射場整備作業の短縮



衛星分離時衝撃環境比較



⑤ 世界標準以上のユーザインタフェース

