

第4回宇宙輸送システム部会

これまでの輸送システム開発の評価 及び今後の在り方について

平成25年5月13日
(独)宇宙航空研究開発機構
(JAXA)

1. これまでの輸送システム開発の評価

- (1) 液体ロケット
- (2) 固体ロケット

2. 今後の取り組みのあり方

- (1) 3つの重点課題の視点
- (2) ユーザの視点
- (3) 中長期の視点

3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム

- (1) 我が国が目指すべき宇宙輸送事業
- (2) 液体ロケット・固体ロケットのあり方と官民役割分担
- (3) 将来輸送系への取り組み
- (4) 次期基幹ロケット開発計画案

補足資料

- A. ユーザ要望調査
- B. システムインテグレーション技術

1. これまでの輸送システム開発の評価

1. これまでの輸送システム開発の評価

(1) 液体ロケット



<成果>

① 自主技術獲得による自律性の確立

●H-IIA/Bのヘリテージ

- 低開発費でのロケットシステムインテグレーション技術
- 液酸液水ロケットエンジン技術(LE-5B、LE-7A)
- 固体ロケット技術との組み合わせによる2段式ロケットシステム



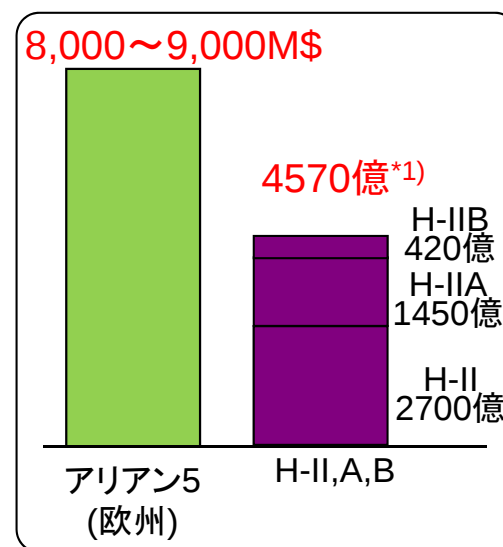
② 世界水準の大型ロケットシステム設計・製造技術の効率的獲得

- 世界に比べ少ないコストで開発(右図参照)

③ 徹底部品数削減と継続的カイゼンで品質向上とコストダウン 世界水準の信頼性へ到達

- H-IIA/B成功率96%(24/25)
- 打上げコストをH-II→H-IIAで半減

④ 民間によるH-IIA/Bロケット打上げ輸送サービス体制を確立



アリアン5 : 全段新規開発
H-IIロケット: 全段新規開発
H-IIA/B : H-II改良開発

*1) 試験機・設備整備含む、信頼性向上含まず

1. これまでの輸送システム開発の評価

(1) 液体ロケット

<課題>

① 過去システム構成踏襲の弊害→持続的な自律性確保に難

a. 維持費増大、政府予算圧迫

地上設備に多くの機能を配分する旧設計でインフラ維持費増大

b. 市場ニーズとのかい離

➤ 1990年代後半から衛星ニーズが変化(右図)。政府・商業衛星需要のサイズ動向変化に対応しきれていない。

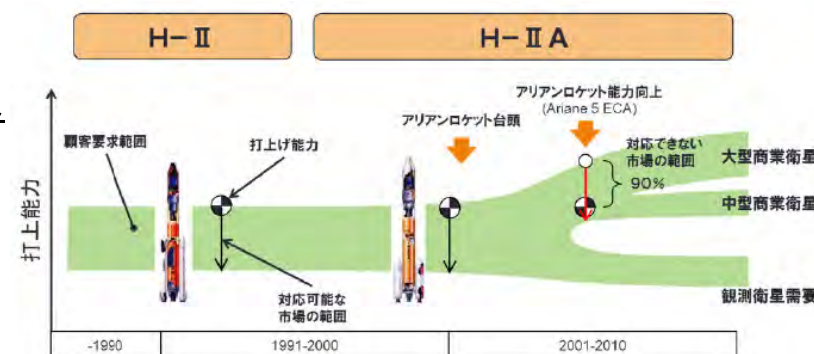
➤ 円高等の影響もあり価格面で国際競争力が低下

c. 技術基盤・産業基盤維持の課題

H-IIから30年経過、開発機会不足で技術者が離散、打上数不足で企業撤退、射場設備等が老朽化などの課題が顕在化

② 高信頼性の継続的確保

衛星契約喪失事例(右図)の教訓として、失敗により失った市場信頼は甚大。後発組である日本にとって高信頼性は必須条件、差別化の観点からも高信頼性は重要



市場ニーズ変化とH-II/H-IIA
(第2回輸送部会資料3-2より抜粋)

- 1994年: H-II初号機打上げ、1996年まで計4機連続成功
- 1996年: ヒューズ社、SS/L^{*1}社から計30機の商業打上げ受注
- ×1998~1999年: H-IIロケット打上げに2機連続失敗
→ヒューズ社契約解除、SS/L社倒産で契約喪失
- ×H-IIA開発注力、2001年成功し商業受注活動再開も、新規受注できず

(株)ロケットシステムの事例

*1) Space Systems/ Loral

1. これまでの輸送システム開発の評価

(2) 固体ロケット

<成果>

① 高性能固体システム技術の獲得

ペンシルロケット以来ゼロからの完全国産技術による開発では、ミッション実行とロケット開発が一体運営、実機の運用を通じた経験を次世代へ反映し、現在運用中の観測ロケットや、世界最高性能、最大の全段固体ロケットであるM-Vロケットに至るまで、我が国の固体ロケット技術が発展した。

② 人材の育成

研究と開発の一体的運営、ミッション達成を通じた研究者・技術者の高い動機づけを維持する体制を構築し、持続的发展の中で人材を連続的に輩出してきた。

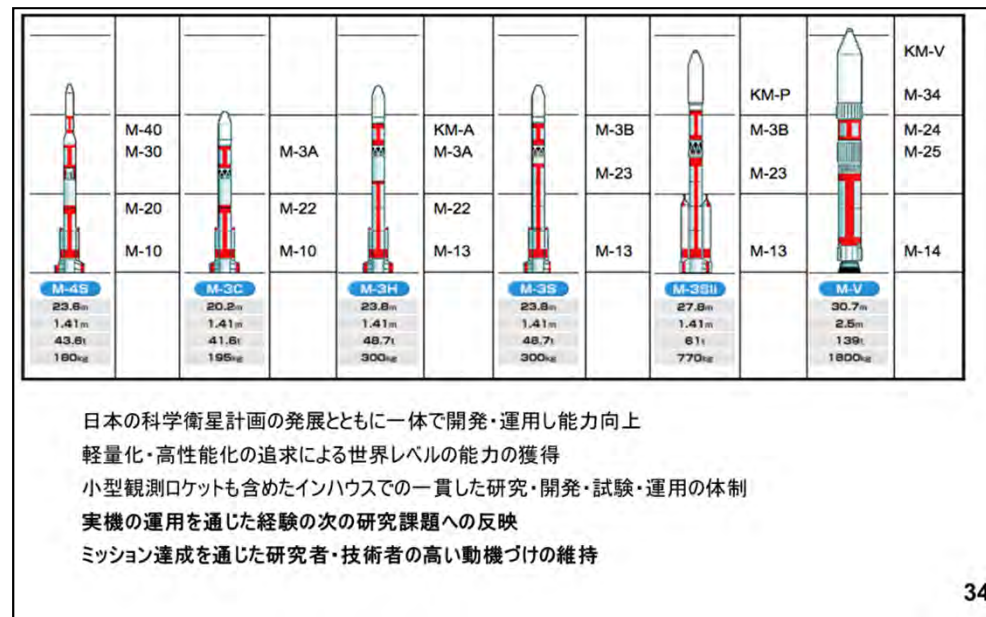
③ ポテンシャルとしての安全保障

研究や科学衛星計画の目的に特化し多くの貢献をしてきたが、インプリシットな形である種の静かな抑止力を構成してきたと言われる。むしろM-Vを止めたときの反応など、海外にこのような傾向があった。

<課題>

① 高性能を追求する研究開発体制

2000年代初頭までは科学的成果のためによいロケットを作る要請が強く、ロケット技術研究や科学ミッション達成のための能力向上により発展し、経済性を第一義の目標としない開発であった。



Mロケット発展の経過とその特徴
(宇宙輸送システム部会 #1 資料3 p.34 抜粋)

2. 今後の取り組みのあり方

今後の取り組みのあり方を検討するにあたり考慮すべき視点を以下に示す。

(1) 宇宙基本計画の3つの重点課題:「安全保障・防災」「産業振興」「宇宙科学等のフロンティア」

これまでの部会議論を踏まえ、考慮すべき視点^{*1)}

(2) ユーザの視点

「輸送サービスを行うために輸送システムがあるという認識の下、ユーザからの視点が重要」

(3) 中長期の視点

「5～10年を超えた中長期の視点で検討すべき」

^{*1)} 第3回宇宙輸送システム部会 資料1「これまでの宇宙輸送システム部会での議論のポイント」より抜粋

2. 今後の取り組みのあり方



(1) 3つの重点課題の視点

●宇宙基本計画の3つの重点課題に対応するため、宇宙輸送システムが満たすべき要件を以下に示す。

A. 安全保障・防災

① 安全保障衛星打上げの自律性確保

「必要とする時に、必要な人工衛星等を、独自に宇宙空間に打ち上げるために不可欠な手段^{*1)}」

② 固体ロケット技術の持続的確保

「即時打上げ要求に対応可能な特徴を持つ技術として、我が国がその自律性を確保する必要^{*2)}」

B. 産業振興

① 多様なニーズへの効率的な対応

多様なニーズに対し効率的な宇宙輸送を実現し、利用拡大を支えるインフラを目指す。

② 技術競争力の向上

培った技術をさらに高めて海外協働や輸出拡大を目指し、産業規模拡大に貢献する。

C. 宇宙科学等のフロンティア

➤ 将来輸送系に向けた技術課題の克服、技術の発展につなげる。

➤ 科学的成果を上げるべく、効率的な宇宙輸送を実現する。

^{*1)} 宇宙基本計画, 2013

^{*2)} CSTP, 2004

2. 今後の取り組みのあり方



(2) ユーザの視点

● ユーザの視点からの宇宙輸送システムの要件を以下に示す。（詳細は補足資料A参照）

① 想定ユーザとサイズ

- 主要ユーザは政府衛星を想定。SSO2～3トン級（情報収集衛星）、GTO3.5～4トン級（ひまわり、準天頂）、SSO0.5トン級（JAXA小型科学衛星）が主なターゲット
- 大型商業衛星はGTO3.5トン級、6～7トン級にボリュームゾーン
- 10年後以降の予測の不確定性をあらかじめ想定し、柔軟な対応が可能なシステム構成に配慮

② ユーザ要望

政府ユーザや国内主要衛星オペレータ・プロバイダ等へのヒヤリング、外部調査機関（Futron）によるユーザ要望調査をもとに、ユーザの求める要件を抽出した。

- 「低価格」と「高信頼性」の確保が、政府ユーザ、商業ユーザ双方にとって必須条件
- その上で、「信用度」（打上げ成功率（高信頼性）や打上げ実績などによるロケットの信頼感）や「ユーザフレンドリ性」（スケジュール柔軟性・確実性や衛星搭載環境緩和）など、他者と差別化した付加価値となる要素を丁寧に確保していく必要

2. 今後の取り組みのあり方

(3) 中長期の視点



● 将来へのつながりを見据えた、次期開発のあり方を以下に示す。

- 宇宙輸送システム開発の将来的な目標は、再使用型輸送システムなどの実現による、輸送コストの劇的な低減と宇宙輸送モード変革。人間や物資の低コスト・高頻度輸送を実現する姿を目指す。
- ただし再使用系は大型化が難しく高エネルギー軌道は非現実。将来的な役割分担として、使い切りロケットは高エネルギー軌道、再使用系は低軌道への高頻度輸送を目標とするのが適切。どちらかに専念するのではなく、両者を輸送技術の両輪として技術を高めていく必要がある。



完全再使用型
宇宙輸送システム



2地点間輸送
サブオービタル機

目標とするシステム

3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム

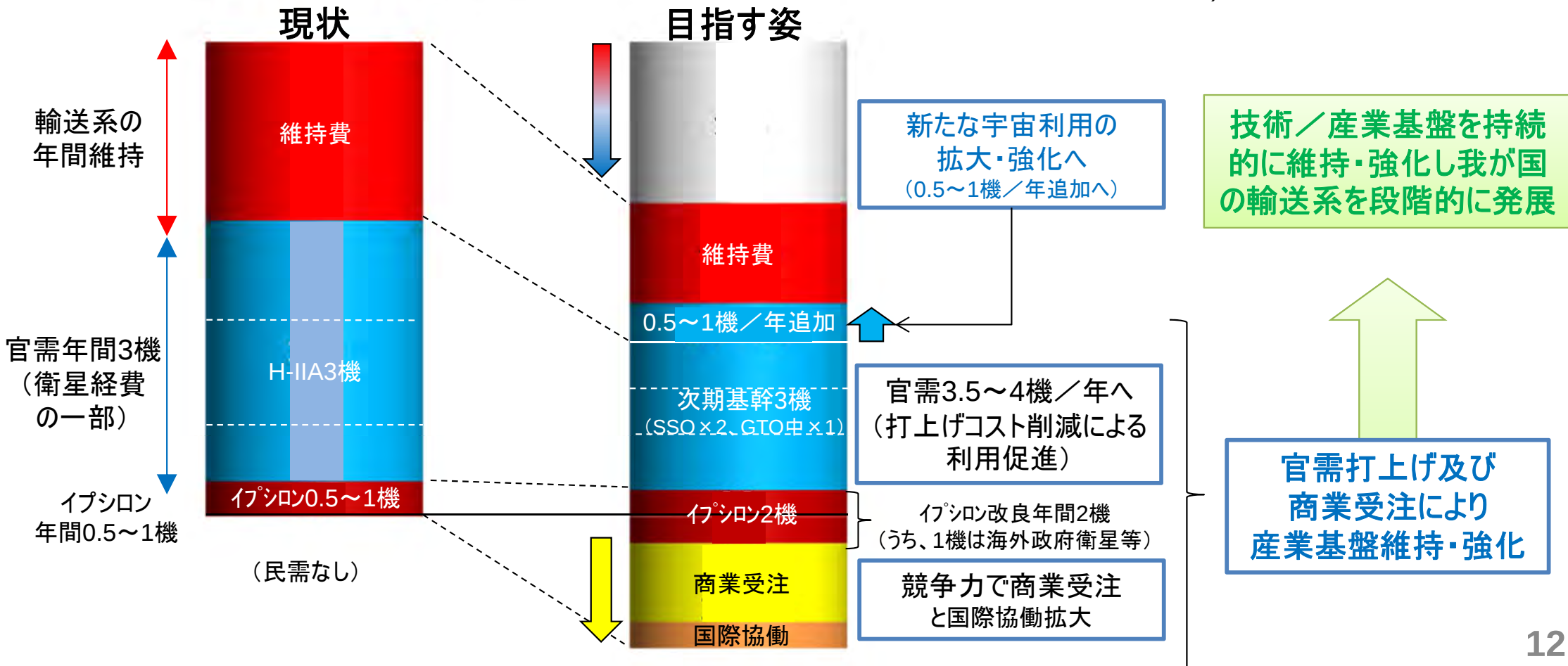
3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム

(1) 我が国が目指すべき宇宙輸送事業

1、2章の考察を踏まえ、自律的かつ持続可能な事業構造への転換が、我が国の目指す姿

- 打上げコスト低減で宇宙利用を拡大
- 維持費の抜本低減で政府支出を効率化
- 事業規模の低減分を商業受注および輸出拡大で補い、産業基盤を維持・強化
- 技術競争力を強化し、国際協働を促進、システムインテグレーション技術^{*1)}を含め、将来にわたる競争力を継続的に確保

*1) 詳細を補足資料Bに示す。



3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム

(2) 液体ロケット・固体ロケットのあり方と官民役割分担

① 液体ロケットのあり方

次期基幹ロケットを開発して、以下を実現

A. 抜本的コストダウン

競争力のある価格実現、維持費の抜本低減で事業構造を変革

【実現方策】

- a. 機体／地上設備の抜本簡素化 : 機能配分見直し等による機体・設備の簡素化・集約化
- b. 運用性を格段に向上 : ネットワーク化・バルブ等電動化でロケット自律点検化、IF集約・削減
- c. 民間技術の活用 : 最新の小型低コストアビオ技術、低コスト製造技術の導入 等

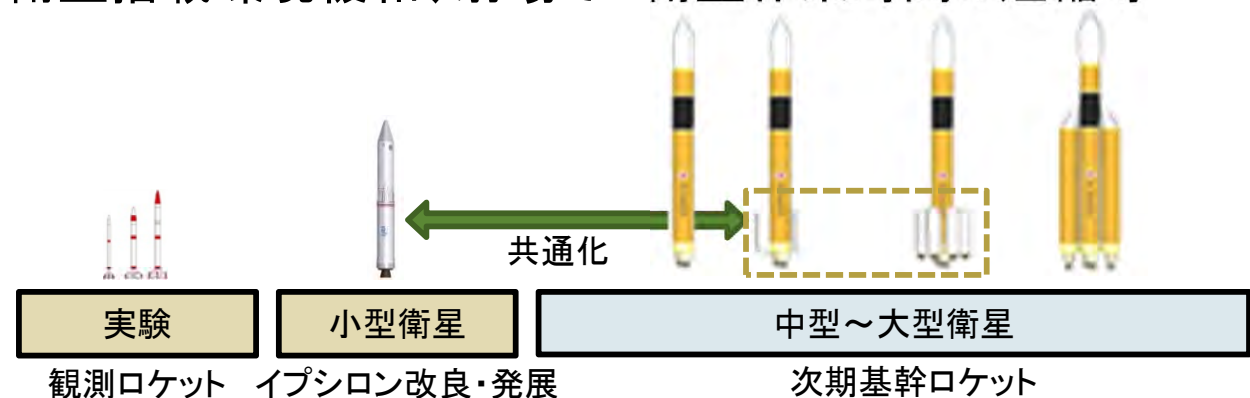
B. 多様なニーズ対応

小型から大型まで、官需・民需衛星需要にあわせた効率的な打上げ、顧客満足度の向上

【実現方策】

- a. 効率的ラインナップ構築 : 固体モータ等によるモジュール化、イプシロンとの共通化
- b. ユーザフレンドリ性の強化 : 衛星搭載環境緩和、射場での衛星作業時間の短縮等

効率的なラインナップによる
ニーズへのシームレスな対応



3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム



(2) 液体ロケット・固体ロケットのあり方と官民役割分担

① 液体ロケットのあり方(続き)

C. 技術競争力の向上

日本の強みである高信頼性技術の活用・強化※、国際協働や輸出拡大促進、将来技術の獲得
※高信頼性技術の意義と、獲得の方策について次頁に示す。

【実現方策】

- a. 高信頼性開発プロセス適用 : 日本の強みの高信頼性の強化、高信頼エンジンの早期完成
- b. 技術共通化 : イプシロンとの共通化による効率化、将来技術の織り込み

② 固体ロケットのあり方

イプシロンロケット改良・発展等により、即時打上げ対応等独自に培った固体ロケット技術を維持

- 次期基幹ロケットの固体モータ活用により固体ロケット産業基盤を維持
- 国内需要喚起と海外政府衛星獲得により打上げ機数確保
- 観測ロケットの継続運用と実証的研究活動への活用

③ 官民役割分担のあり方

官民の責任範囲を明確化し、目指す姿を促進する役割分担

- 官民の開発体制は、運用段階で民間が十分な主体性を発揮できるよう考慮
- 民は商業受注努力、官は海外政府衛星等の受注支援等、官民協力して事業を推進

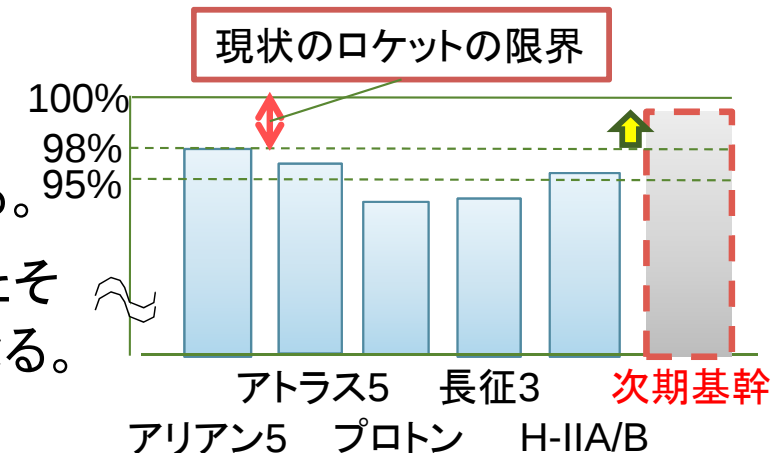
3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム

(2) 液体ロケット・固体ロケットのあり方と官民役割分担

以下により日本の強みとして本質的な高信頼性を確保し、運用初期段階から信頼性の高いロケットを実現し、早期の市場投入を図る。

【高信頼性技術の意義】

- ユーザにとって打上げ失敗は事業機会喪失など影響大。既存ロケット成功率は約95%と依然高リスク、さらなる高信頼性が望まれる。
- 次期基幹では従来レベルを超えた高信頼性の実現を目指す。またそれにより手戻りの少ない効率的な開発と低コスト運用が可能となる。



【高信頼性技術獲得の方策】

- これまで世界的にも、実証試験にてシステム確認し設計に反映する実証方式が一般的である。
- 実証方式は、現実の開発コスト制約から実証試験回数が限定され、以下の限界があった。

- 故障モードを網羅的に識別することの限界
- 識別した故障モードをすべて実証試験で検証することの限界

- 昨今、数値解析等の情報技術の発展でより高度な解析が可能となり、要素試験検証と組み合わせた事前検証が充実してきた。

- 実証方式から事前検証の充実へと転換、故障モードを網羅的に識別・事前検証することで、より高い信頼性を実現できる。



3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム

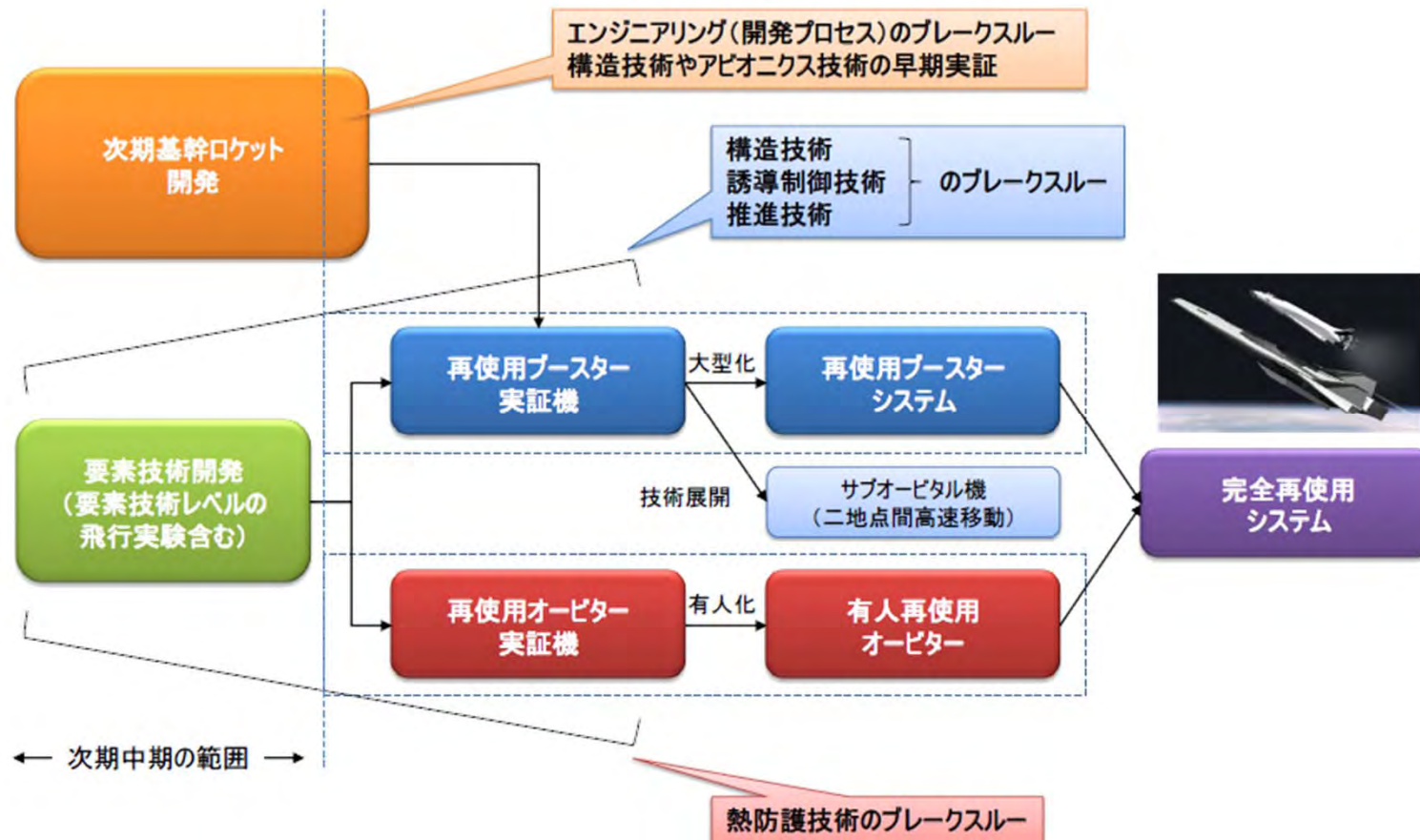
(3) 将来輸送系への取り組み

➤ 再使用系や有人輸送系実現に向け、次期基幹ロケットと将来輸送系が開発の両輪

- ・ 次期基幹ロケット: エンジニアリング変革、および構造・アビオ技術の早期実証
- ・ 将来輸送系技術開発: 先端テクノロジー獲得(推進・構造・誘導制御・熱防護等)

➤ 適切な中間目標を設定した将来輸送系技術開発を実施

次期基幹運用段階においては、開発目標を将来輸送系の実現へとシフト。主要要素技術を飛行実証等により高め、効率的・段階的に技術レベルを上げ、将来輸送系に向けた着実な進歩を目指す。



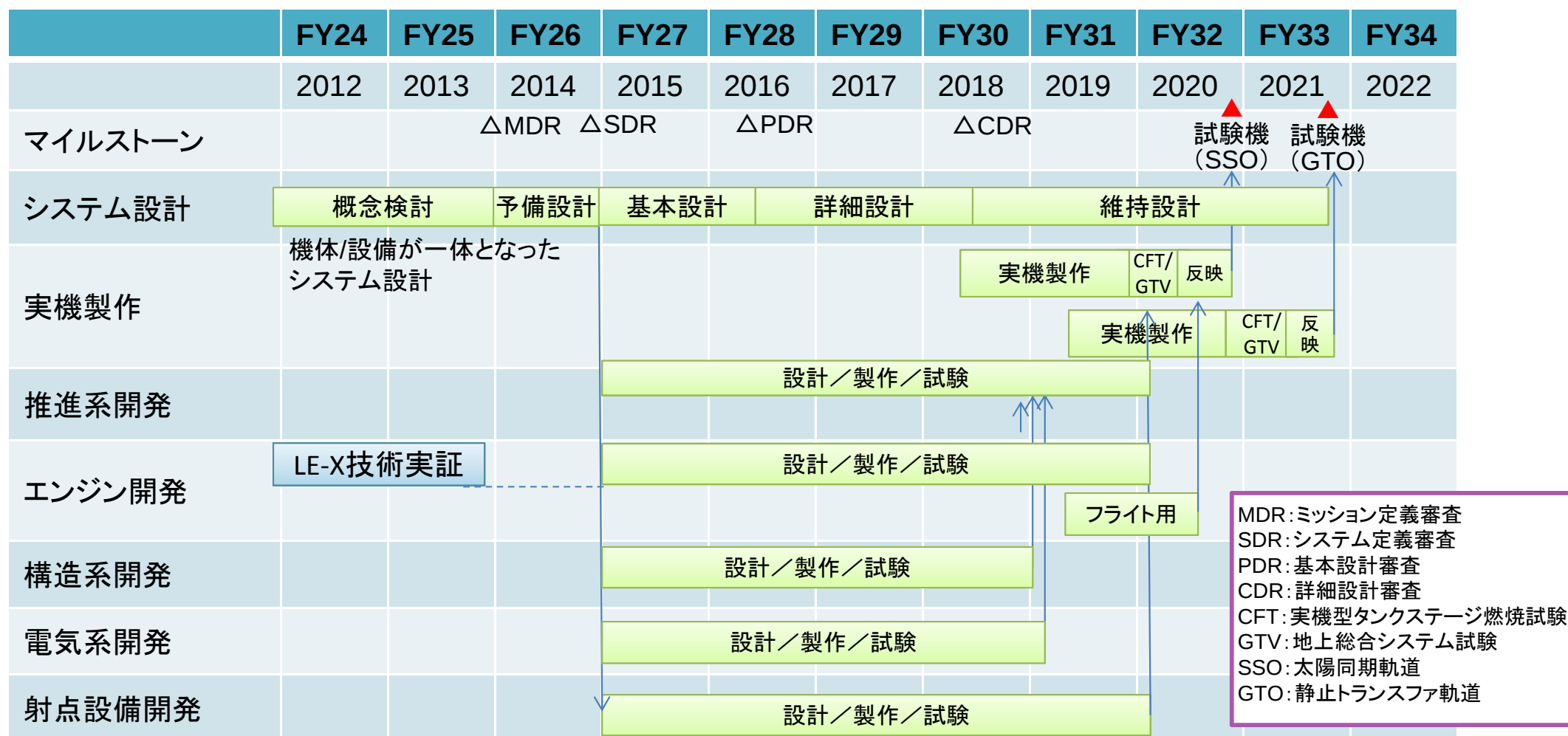
次期基幹ロケットと将来輸送系とのつながり

3. 我が国が目指すべき宇宙輸送システム



(4) 次期基幹ロケット開発計画案

- 機体／設備のシステム機能配分を抜本的に見直す。
- 2014年度に開発着手、2015年度に基本設計開始、2020年度に初号機打上げを目指す。
(参考: アリアン6初号機打上げは2021年目標)



開発スケジュール(案)

補足資料

A. ユーザ要望調査

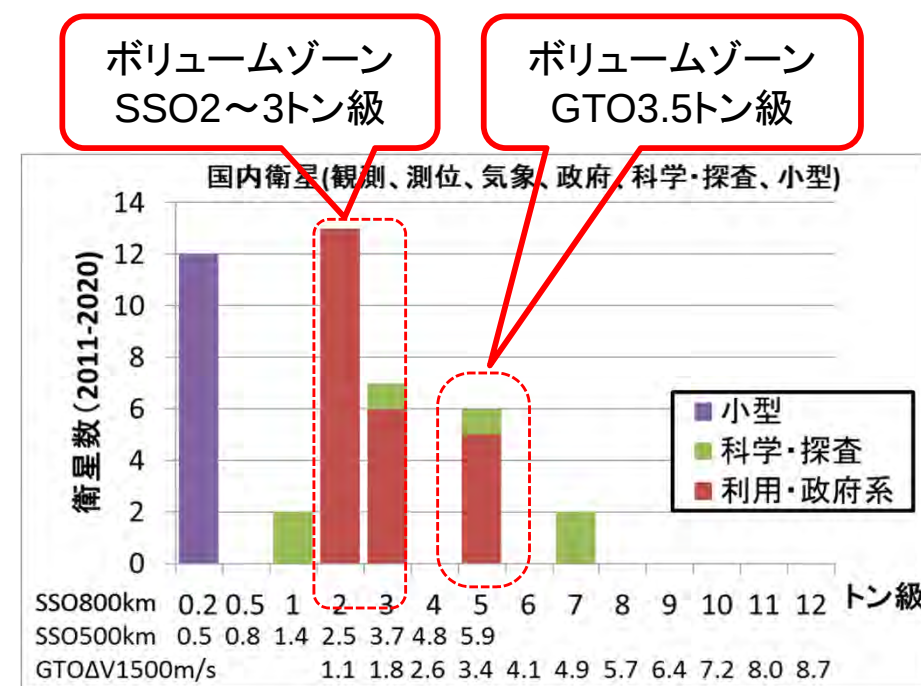
2. 今後の取り組みのあり方

2.2 考慮すべき視点 (2) ユーザの視点

① 想定ユーザ(政府衛星)

- SSO衛星サイズのボリュームゾーンは2～3トン級へとシフト
- GTO・準天頂軌道は3.5トン級(～4トン級)が増加
- SSO相当0.5トン級の小型科学衛星を想定

投入軌道	衛星	年間数量	サイズ・傾向
SSO	情報収集	2機程度	4トン級から <u>2～3トン級</u> へとシフト
	JAXA技術実証		
GTO 準天頂軌道	防衛用通信	0.5～1機程度	<u>3.5トン級(～4トンレベル)</u> が増加
	ひまわり		
	準天頂		
小型	JAXA小型科学	0.5機程度	SSO相当で <u>0.5トン</u> 級前後



2. 今後の取り組みのあり方

2.2 考慮すべき視点 (2) ユーザの視点



② 想定ユーザ(商業衛星)

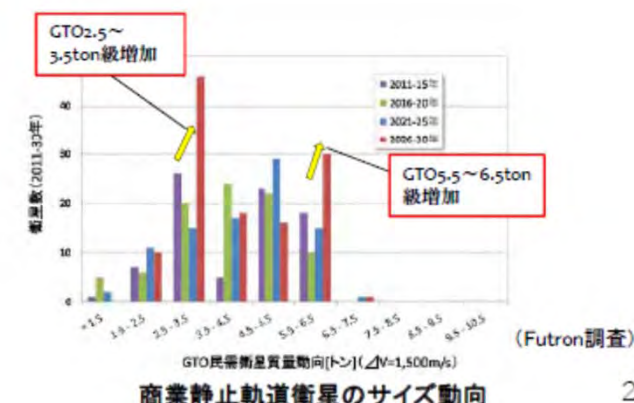
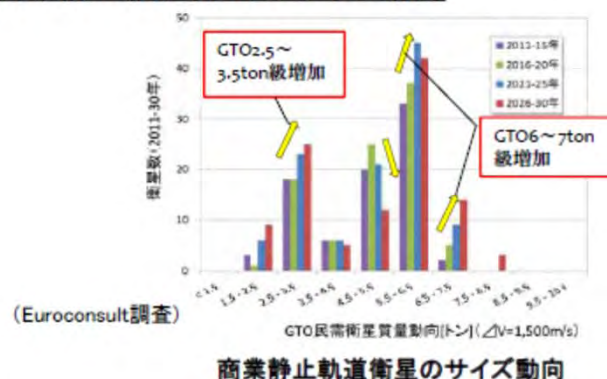
● 大型衛星

商業通信・放送用で以下の傾向がある。(下図参照)

- GTO 6～7ton級、GTO3.5ton級が増加

・ 商業静止軌道衛星のサイズ動向

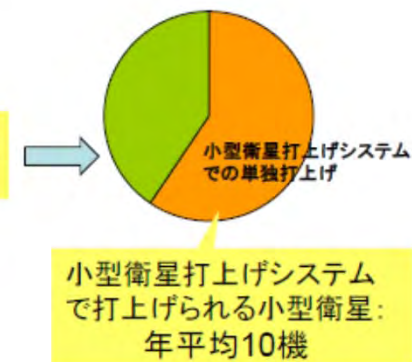
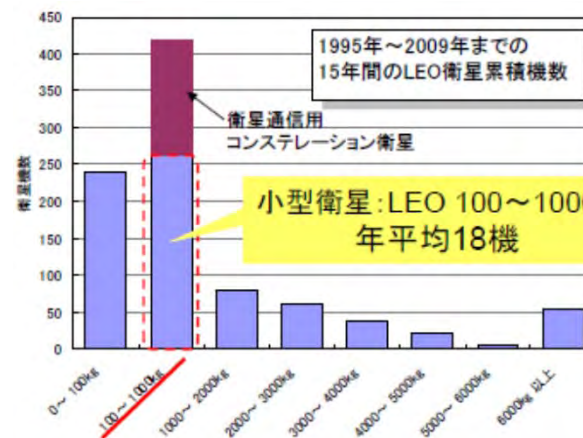
商業静止軌道衛星のサイズ動向
第3回宇宙輸送システム部会
資料2-1(文部科学省)抜粋



● 小型衛星

- 小型衛星単独打上数の過去実績は～1トン級で年平均10機程度(下図参照)
- 「国力がついてきた新興国は衛星保有を指向。今後、年5機程度の市場規模が予想される。」(第3回宇宙輸送システム部会 資料3-1(木内委員資料)より)

小型衛星の打ち上げ実績
第1回宇宙輸送システム部会
資料6-1(木内委員資料)抜粋



2. 今後の取り組みのあり方



2.2 考慮すべき視点 (2) ユーザの視点

③ 政府ユーザの要望

最大顧客である政府ユーザの要望は、ユーザの視点として最も重要である。

a. 自律性

- 「情報収集衛星は保全のため、国内ロケットを使用する方針」^{*1)}

b. 高信頼性

- 「情報収集衛星は(中略)ユーザーとしては、高い信頼性が必要」^{*1)}

c. 低打上コスト

- 「国内打上げロケットは約20～30%割高」^{*2)}
- 国家財政の観点からコスト削減が求められる。

d. ユーザフレンドリ性

- 「気象衛星としては、打上げ時の振動の低減、打ち上げスケジュールの柔軟性を重視」^{*1)}

^{*1)} 第3回宇宙輸送システム部会議事要旨より抜粋

^{*2)} 第3回宇宙輸送システム部会資料2-3(防衛省)より抜粋

2. 今後の取り組みのあり方

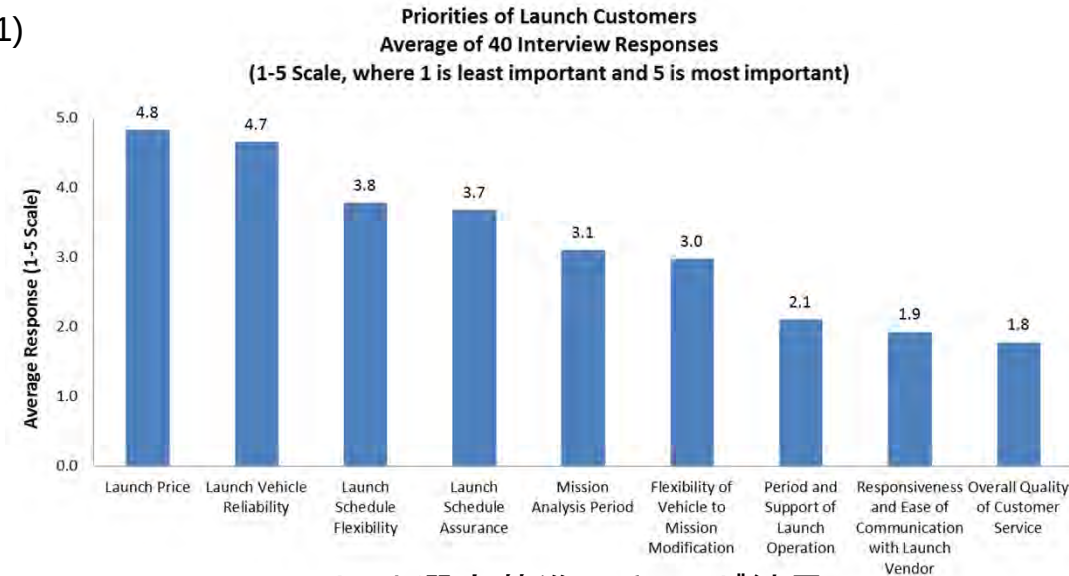
2.2 考慮すべき視点 (2) ユーザの視点



④ 外部調査機関(Futron社)によるユーザ要望調査*1)

a. ロケットの選定基準(右図参照)

- 「価格」、および打上げ成功率や打上げ実績などロケットの「信用度」の2つが最も重要なファクタ
- 次いでスケジュールの柔軟性・確実性が重要



b. 日本の輸送系の印象・提言

- H-IIAは信頼性が高いが、「高い」「打上げ期間制限がありいつもは打上げられない」印象がある。
- H-IIA/Bロケットの強みが分かりにくいなど、営業活動における主張が弱い。
- 顧客のほとんどが国である印象。商業マーケットでは経験も乏しく競合できない。

ロケット選定基準 ヒヤリング結果

要検討事項:

- 競争力のある「価格」の実現は必須条件
- 商業打上げの実績を上げるための施策が必要
- 「価格」「信用度」で競争力確保した上で、スケジュール柔軟性など付加価値をつける必要

*1)調査方法:ロケットの顧客となりうる約40組織ヘインタビューを実施。大手オペレータ(SES,EUTELSAT,TELESAT,INTELSAT)および中堅オペレータ(Arabsat,Hispasat,JSAT,Embratel)のほか、主要衛星プロバイダ、政府機関などを対象とした。

2. 今後の取り組みのあり方

2.2 考慮すべき視点 (2) ユーザの視点

⑤ 国内の主要オペレータ・プロバイダ等への要望調査^{*1)}

a. 価格

- H-2A/Bは値段が高い。

b. 打上げ能力・ペイロードインタフェース

少なくとも他ロケットと同等レベルの最大打上げ能力、ペイロードインタフェース確保を要望

- GTO5トン以上の最大打上能力確保
- 他社ロケットと同等レベルの衛星側必要加速量の実現
- Global Standardレベルへの衛星衝撃環境低減
- 衛星空輸に用いるアントノフ貨物室サイズを包含する衛星フェアリングサイズの確保

c. ユーザフレンドリ性

- 衛星搬入から打上げまでを短縮して欲しい。
- 棟間移動の削減、同一建屋での点検/PAF結合/推薬充填を実現して欲しい。
- 納期(サービス開始)の確実性を維持・向上して欲しい。
- 衛星振動解析などソフト面の利便性も改善して欲しい。
- 衛星の飛行場受け渡しを実現して欲しい。(世界標準であり、搬入コスト低減)

^{*1)} ヒアリング対象: 国内主要衛星事業者2社、国内主要衛星メーカー2社、旧RSC関係者 等

補足資料

B. システムインテグレーション技術

- システムインテグレーション技術の蓄積・継承を効率的・体系的に実施するため、H-IIAロケットの開発完了以来、以下の活動を行ってきた。
 - ① 高信頼性開発手法(p.15)などの研究による開発手法の抜本的改善と知見のデータ蓄積化
手戻りの減少などライフサイクルでの開発品質向上を促す手法を構築し、またそれに必要な故障データベースなど知見のデータ蓄積化を行い、システムインテグレーションを効率的・体系的に実施する仕組みを構築
 - ② システムズエンジニアリング(SE)の教育
全社的なSE教育プログラムを整備し、技術者レベルの底上げを図っている。
- 基幹ロケット高度化など、これまでも部分的なロケット改良を継続しているが、システムインテグレーション技術の実践としては不十分。
- 上述①②の取り組みによって得られた知見をベースとした上で実際のシステム開発等の取り組みを行うことにより、システムインテグレーション技術が維持・向上される。