

資料5-2-1

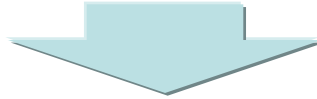
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第5回)H24.10.25

ロケット開発・運用の推進方策検討に向けて

2012年10月25日

ポイント

○基幹ロケットの検討に当たっては、ロケット本体及び射場についての考慮が不可欠



○前回開発からの空白期間の長期化

仮に最短スケジュールで次期基幹ロケット開発に着手した場合でも、運用開始は平成33年頃となり、H-II運用開始からは29年、H-II Aからは21年を経過する状況

○国費投入の軽減

- ①次期基幹ロケットの採用により、毎年235億円ずつ支出の削減が可能
- ②次期基幹ロケットを開発した場合、開発費(1,900億円)を考慮しても、長期運用(今後30年)において、合計3,200億円の国費削減

○技術の維持による自律性確保

早期に次期基幹ロケットの開発に着手しない場合、これまで蓄積した技術基盤が失われ、新規ロケット開発ができなくなり将来宇宙輸送の自律性の確保が不可能になるおそれ



○早急に検討の上、次期基幹ロケット開発への着手が必要

目次

1. 基幹ロケット等開発・運用の状況

- (1) 液体ロケット及び固体ロケットの開発
- (2) ロケット開発に必要な期間
- (3) ロケットシステム更新周期

2. 今後の衛星需要の見込み

- (1) 衛星需要の変化
- (2) 世界のロケットの打上能力

3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

- (1) 長期運用コストの比較
- (2) 技術基盤維持へのロケット開発の貢献
- (3) 技術基盤維持の必要性

4. 今後のロケット開発のあり方

- (1) 基本的考え方
- (2) 目指すべき30年後の姿
- (3) 中期的な姿

1. 基幹ロケット等開発・運用の状況

1. 基幹ロケット等開発・運用の状況

(1)液体ロケット及び固体ロケットの開発

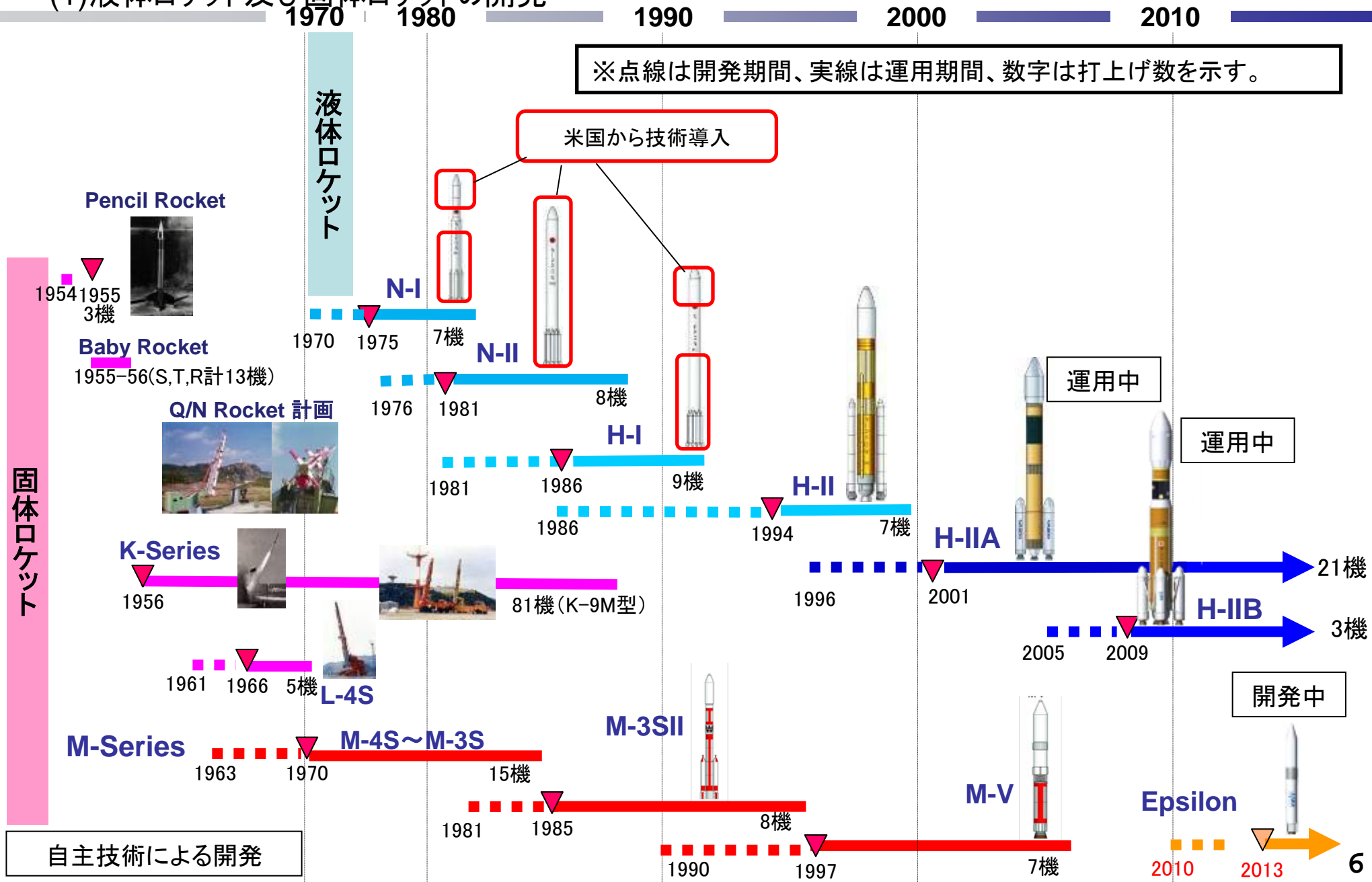
1. ペンシルロケットからスタートした我が国のロケット開発は、科学衛星打上げ用の固体ロケットとして進化を遂げ、惑星探査まで可能なM-Vロケットまで発展(2006年最終打上げ)
2. 現在、我が国が独自に培った固体ロケットシステム技術を継承し、機動性・即応性に優れた小型固体ロケット(イプシロン)を開発中(2013年初号機打上げ目標)
3. 一方、実利用衛星の打上げを目的として米国からの技術導入によりスタートした液体ロケットは、H-Iロケット以降、段階的に開発を継続してきた。
4. 我が国は、H-IIロケットの開発を通じ全段自主技術による世界に比肩する大型ロケットの打上能力を獲得した。その後、部分刷新したH-II A/Bロケットでは世界最高水準の打上げ成功率(95.8%(24機打上げ中23機の成功))を実現するに至る。
5. ロケットシステムとしての高い信頼性は、選択と集中により着実に研究開発を重ねて獲得・進化してきた先進的キーテクノロジー及びこれらをシステムとして高度に統合する技術により支えられており、いずれも世界最高の水準にある。

<先進的キーテクノロジーの例>

- 推進薬として最高性能を有する液体水素／液体酸素ロケットエンジン技術
- 自主技術で進歩を重ねてきた固体ロケット技術

1. 基幹ロケット等開発・運用の状況

(1) 液体ロケット及び固体ロケットの開発



1. 基幹ロケット等開発・運用の状況

(2)ロケット開発に必要な期間

H-II ロケット

	FY59 FY1984	FY60 FY1985	FY61 FY1986	FY62 FY1987	FY63 FY1988	FY1 FY1989	FY2 FY1990	FY3 FY1991	FY4 FY1992	FY5 FY1993
H-IIロケット										◆ 初号機 打上げ
システム設計	概念検討	概念設計	予備・基本設計	詳細設計			維持設計			
実機製作						初号機製作				
エンジン開発 (LE-7)	システム予備 燃焼試験			原型エンジン 燃焼試験		実機型エンジン 燃焼試験		認定試験		
電気系開発		システム試験				認定試験				
射点設備系開発										

H-IIA ロケット

	FY8 FY1996	FY9 FY1997	FY10 FY1998	FY11 FY1999	FY12 FY2000	FY13 FY2001
H-IIAロケット						◆ 初号機 打上げ
システム設計	概念設計	基本設計	詳細設計	維持設計		
実機製作		初号機製作				
エンジン開発 (LE-7A)	実機型エンジン 燃焼試験			認定試験		
電気系開発	認定試験					
射点設備系開発						

○新規開発であるH-IIIは、10年程度の開発期間を要した。

○H-IIからの部分刷新であるH-IIAは、6年程度の開発期間を要した。

1. 基幹ロケット等開発・運用の状況

(3)ロケットシステム更新周期

① ロケット地上設備(射点系設備・射場系設備)の耐用年数

○種子島の射点系設備及びレーダ・テレメータ・コマンドのアンテナ局等の射場系設備は、海風によるダメージ及び常時稼働ではなく年数回程度の使用など通常使用条件下の機械・装置よりも厳しい環境で使用されている。

○ロケット地上設備は、現在適切な保全・修理等により打上げ運用に支障のないよう維持管理を行っているものの、経験や実績を踏まえると、建屋設備(油圧、空調、制御盤類等)など多くの設備の寿命は20年程度と推定

○機械・装置類の一般的な耐用年数は、概ね20年前後(下記参考参照)



種子島のロケット地上設備の多くは、すでに**整備後20年以上^{*1)}経過しており、**
大幅な刷新を考慮すべき時期を迎えている

*1)現在H-IIA地上設備については、射点系設備はH-IIのため整備したものを活用(1992年から使用)、射場系はNロケット用を活用(1970年代から使用)

<参考>機械・装置の一般的な耐用年数について

◆税法上の減価償却資産の耐用年数^{*2)}

- ・航空機若しくは同部分品製造又は修理設備:10年
- ・その他の輸送用機器製造設備:13年
- ・区分による機械及び装置以外のもの、主として金属製のもの:17年

◆ 国有財産管理上の資産価値評価耐用年数^{*3)}

- ・諸作業装置(発電装置、変圧装置、電動装置、除じん装置):20年

*2)国税庁 減価償却資産の耐用年数表より抜粋

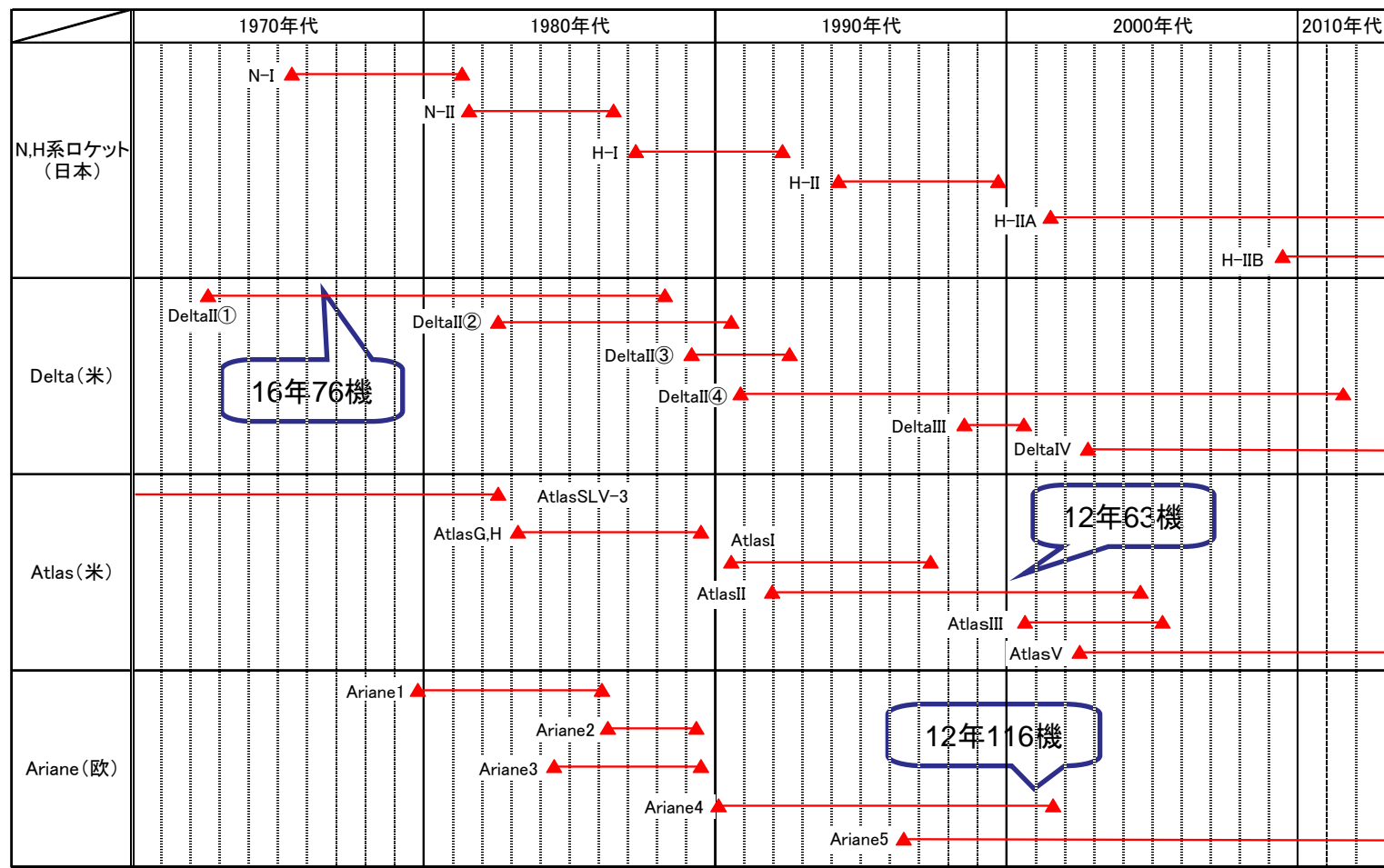
*3)国有財産台帳の価格改定に関する評価要領について、財理第4670号 平成23年10月12日 別表第1 耐用年数表より抜粋

1. 基幹ロケット等開発・運用の状況

(3)ロケットシステム更新周期

② ロケットの更新周期

- 欧米では、50機以上の飛行実績のある信頼性の高いロケットをみると、10数年で新規開発や部分刷新による世代交代を実施
- 仮に最短スケジュールで次期基幹ロケット開発に着手した場合でも、運用開始は平成33年頃となり、新規開発ロケットであるH-II運用開始からは29年、H-IIロケットの部分刷新であるH-IIAからは21年を経過する状況



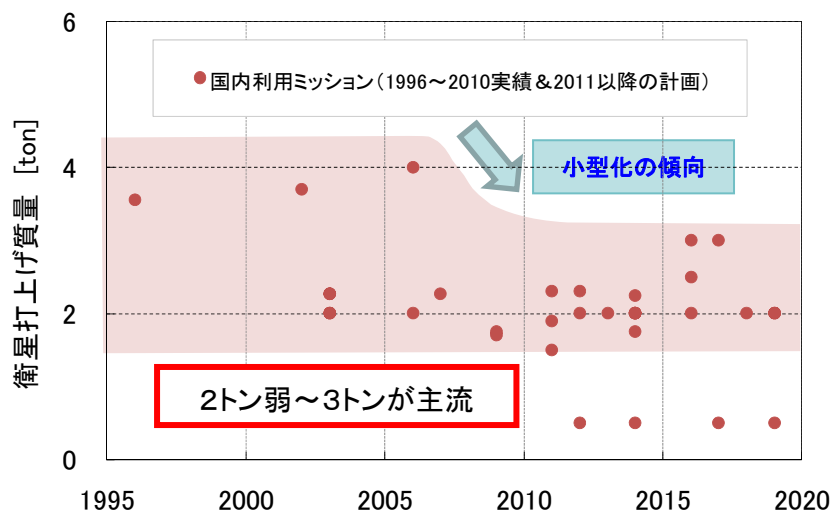
2. 今後の衛星需要の見込み

2. 今後の衛星需要の見込み

(1) 衛星需要の変化

①国内の政府系衛星の需要

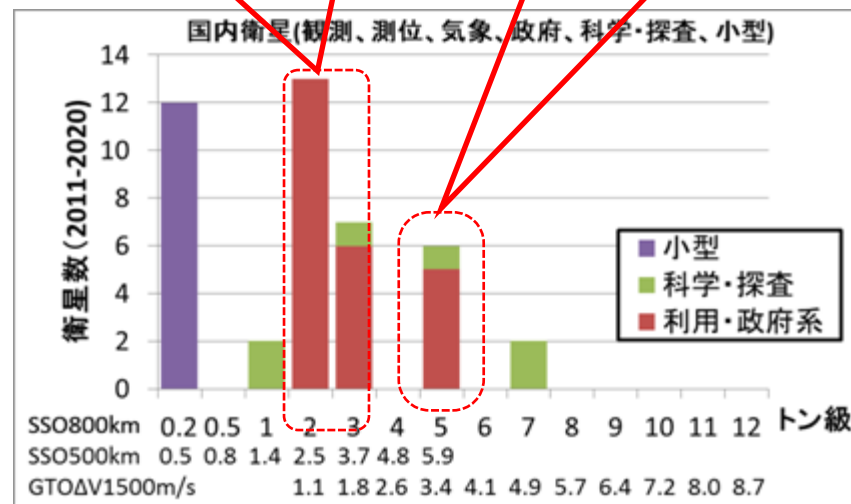
- a. 低軌道(主に太陽同期軌道(SSO)の観測衛星)の打上需要は、SSO 4ton級から、**SSO 2~3ton級へと中型にシフト**
H-IIAはSSO 4ton級の打上能力があり、余剰能力がある非効率な状態
- b. 静止トランスファ軌道(GTO)(主に気象衛星、測位衛星)の打上需要は、2.5~3.5ton級に。



国内の太陽同期軌道(SSO)衛星のサイズ動向

ボリュームゾーン
SSO2~3ton級

ボリュームゾーン
GTO2.5~3.5ton級



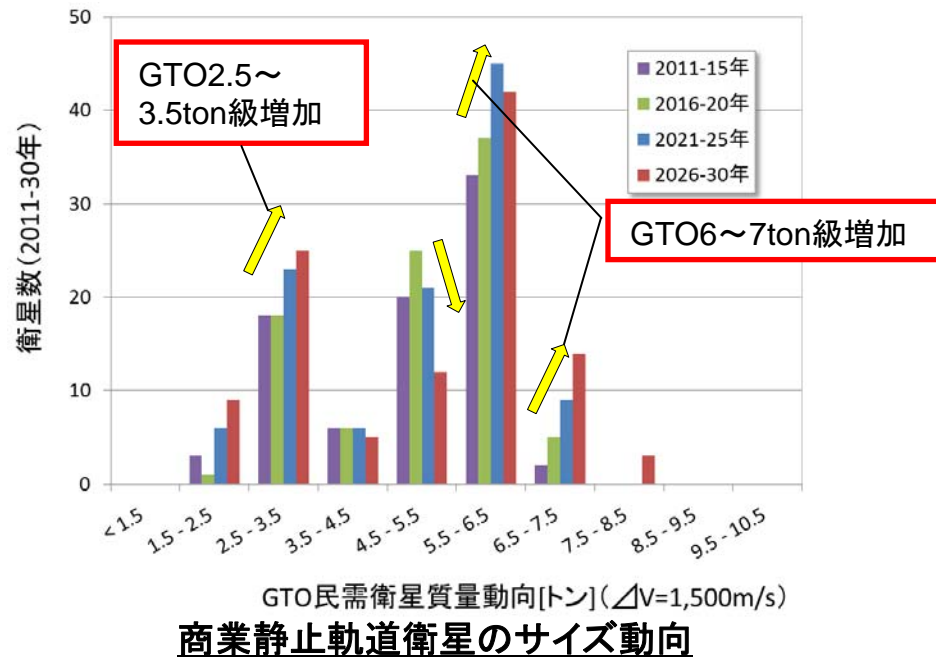
国内の政府系衛星の需要

2. 今後の衛星需要の見込み

(1) 衛星需要の変化

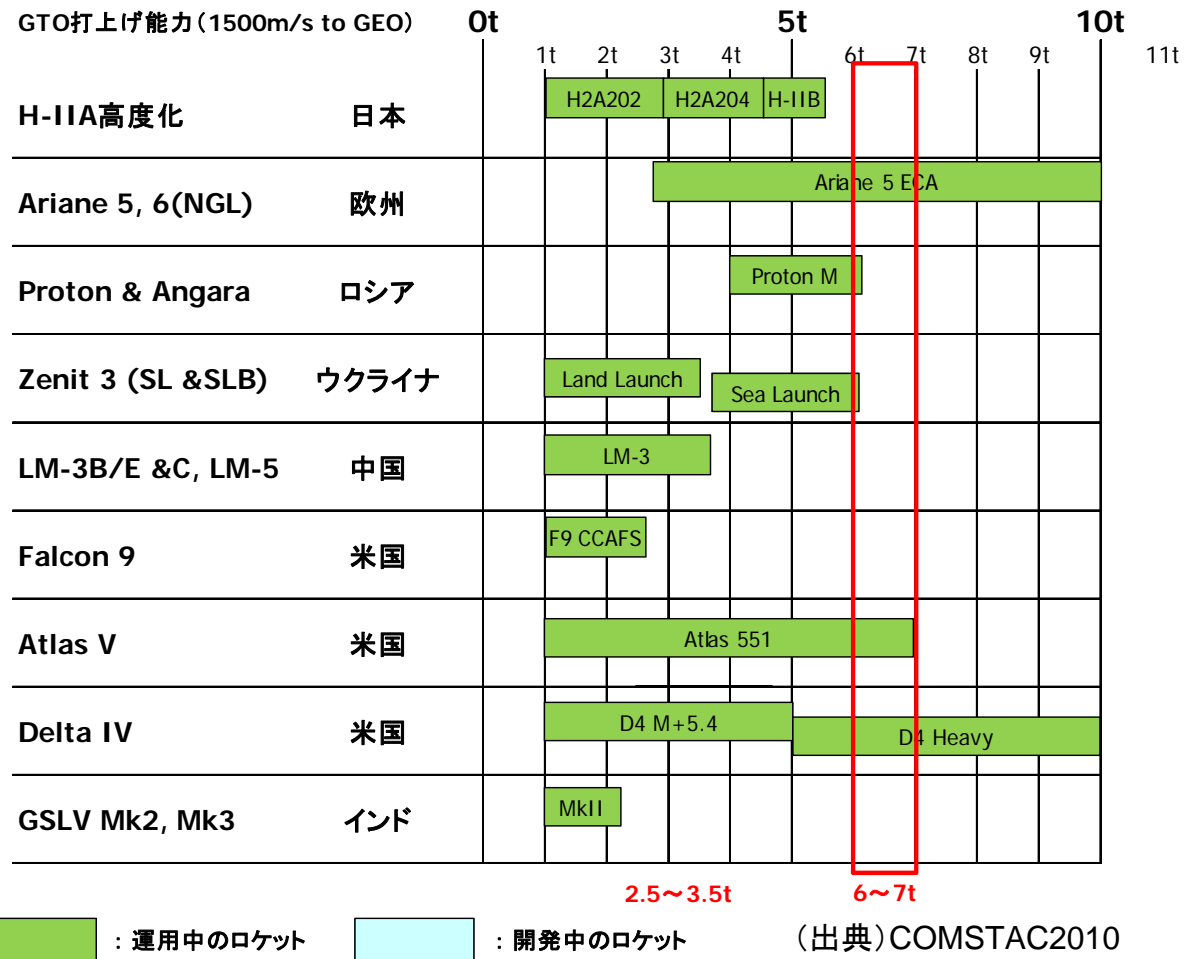
② 商業静止軌道衛星の需要

- a. 通信・放送用の静止軌道衛星の打上需要は、GTO 6～7ton級に大型化
- b. GTO2.5～3.5ton級の中型衛星も増加傾向



2. 今後の衛星需要の見込み

(2) 世界のロケットの打上能力



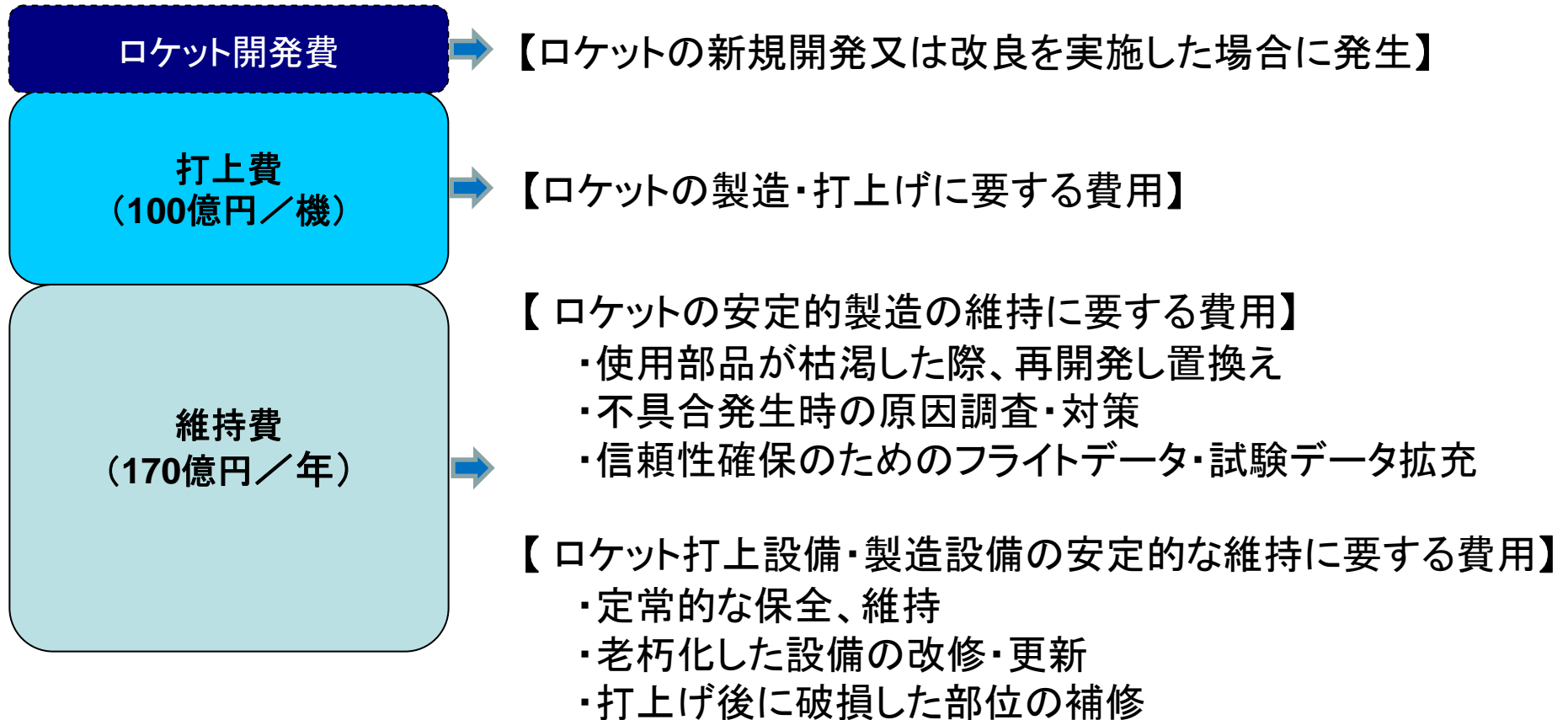
○ 商業静止軌道衛星の需要ボリュームゾーン(GTO6~7ton前後)に対し、H-IIA/Bロケットでは打上能力が不足しており、近年の打上需要動向に対し適合していない。

3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

4. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(1) 長期運用コストの比較

○長期運用コストの項目内訳と現在のコスト



3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(1) 長期運用コストの比較

今後の長期的な基幹ロケット運用のコスト比較に当たって、以下の各シナリオを設定

【H-IIAロケットの基本仕様の維持】

○シナリオ1 (H-IIA継続運用)

H-IIAロケット及び関連地上設備を現在のまま継続運用

○シナリオ2 (H-IIA改良)

H-IIAロケット基本仕様の大幅な変更をせず、実施可能な範囲で改良を実施

- ・機体 : 機体構造低コスト化、第1段エンジン変更、搭載電子機器改良、SRB-A改良
- ・インフラ: ロケット自律点検機能(第1段のみ)、自律飛行安全

【次期基幹ロケットの開発】

○シナリオ3 (次期基幹ロケットの主要部新規開発)

機体の主要部の新規開発(第2段ロケットは、H-IIAの技術を活用)

- ・新規開発: 第1段機体・エンジン、次世代搭載電子機器
- ・インフラ : 機体自律点検化(第1段、第2段)、横置きでのロケット整備、自律飛行安全

○シナリオ4 (次期基幹ロケットの全機体新規開発)

シナリオ3に加え、第2段機体を含め、機体全体を新規開発

3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(1) 長期運用コストの比較

○各シナリオについて、1年間当たりの開発費、打上費、維持費の試算条件を以下に提示

○長期運用期間としてH-II開発運用の前例を踏まえ、合計30年間

(開発8年+運用22年)を想定し、以下の年間コストから長期運用コストを試算

<試算条件*0>

	現在のコスト	シナリオ1 (H-IIA継続運用)	シナリオ2 (H-IIA改良)	シナリオ3 (主要部新規開発)	シナリオ4 (全機体新規開発)
開発費	—	—	1,000億円	1,300億円	1,900億円
打上費*1)	100億円×3機 (H-IIA基本形態)	100億円×3機	80億円×3機	65～80億円*2)×3機	50～65億円*2)×3機
維持費	170億円*3)	170億円	改良前:170億円 改良後:145億円	開発前:170億円 開発後:85億円	

*0) 本表の数値は試算のための概算値

*1) 年3機打上げを仮定

*2) GTO3.5トン級打上げ形態は、SSO打上げ形態に対しプラス10～15億、ここではプラス15億として記載

*3) 維持費は1年当たりの費用であり、過去3年間の予算の平均値

3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(1) 長期運用コストの比較

○今後30年間の長期運用コストの試算

	H-IIAロケット基本仕様を維持		次期基幹ロケットの開発	
	シナリオ1 (H-IIA継続運用)	シナリオ2*1 (H-IIA改良)	シナリオ3*1 (主要部新規開発)	シナリオ4*1 (全機体新規開発)
開発費	—	1,000億円	1,300億円	1,900億円
打上費	9,000億円	7,700億円	6,700億円*2)	5,700億円*2)
維持費	5,100億円	4,600億円	3,300億円	3,300億円
30年長期運用コスト	14,100億円	13,300億円 (△800億円)	11,300億円 (△2,800億円)	10,900億円 (△3,200億円)

打上費用の差が長期運用コストに大きく影響



次期基幹ロケットの新規開発シナリオ(シナリオ3、4)は長期運用コストが大幅に低減

*1) H-IIA改良または次期基幹ロケット開発が完了するまでの、H-IIA8年の運用維持を含む。

*2) SSO打上げ年3機の場合。GTO 3.5トン級衛星の打上げを2年に1機程度想定する場合は、打上費がプラス150億円

注)本試算においては、現在価値への割戻しによる比較は実施していない。

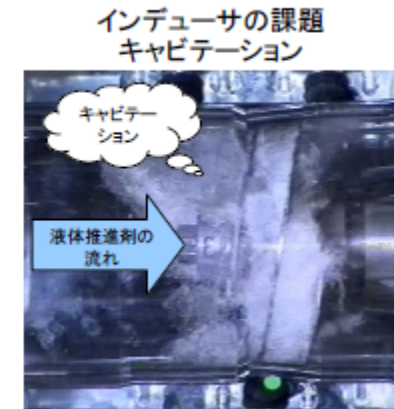
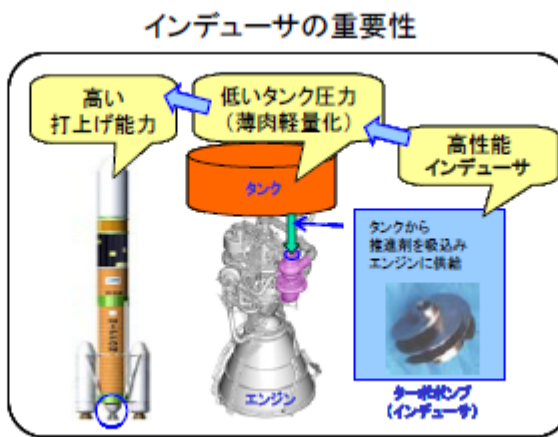
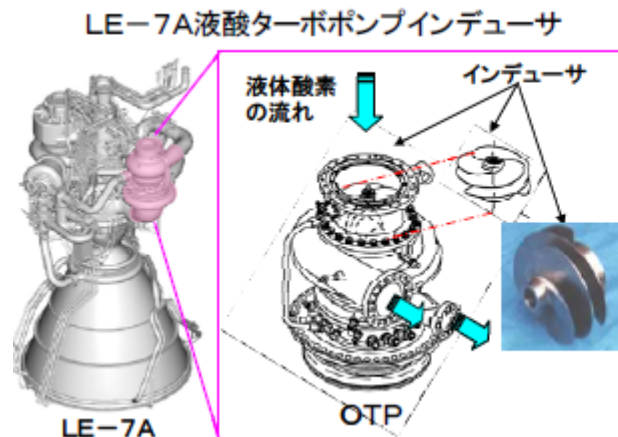
3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(2) 技術基盤維持へのロケット開発の貢献

○ ロケット開発・運用トラブルへの対応にH-II開発経験者が不可欠だった例

(事例1)ターボポンプのインデューサ(液体酸素供給用回転部品)の不具合の解決

- H-IIA 1段エンジン液体酸素供給ターボポンプのインデューサの不具合が発生したため、H-II開発を経験した知見のある技術者を中心に対処
- ポンプは、気液2相の極低温流体という極めて複雑な物理現象により大きく影響を受け、ポンプの回転部品の細部の形状により異なったキャビテーションが発生する特性がある。
- H-II開発経験のある技術チームは、これらの特性を把握する効率的な試験手法(水流し試験)などに精通しており、精密加工の必要性をいち早く提言し、短期間で不具合を解決に導き、目標としていたH-IIB初号機に改良されたポンプを搭載することができた。



3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(2) 技術基盤維持へのロケット開発の貢献

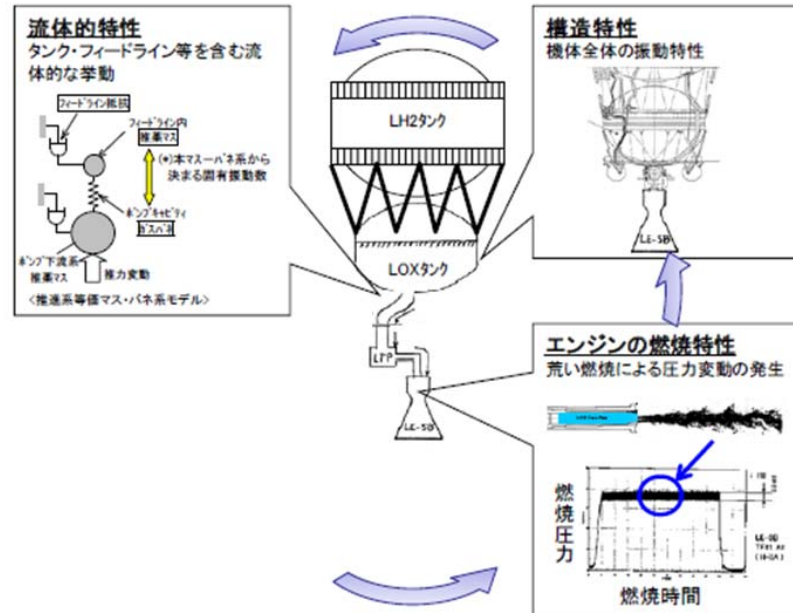
○ロケット開発・運用トラブルへの対応にH-II開発経験者が不可欠だった例

(事例2)ロケットの衛星搭載部の振動への対応

○H-IIA 9号機の飛行時に衛星搭載部に規定を超える振動が発生したため、H-II開発を経験した技術者を中心に対応

○次号機打上げまでの7カ月の間に原因究明を行い振動を問題ないレベルまで低減し、10号機に搭載

○「振動の問題は構造を直すべき」と短絡的な思考ではなく、H-II開発経験から特有の縦振動を熟知した技術者の提案により、タンク圧力増加による振動抑制という適切な対応策をとることができた。もし構造変更を実施した場合生じたであろう数年に及ぶ遅延が回避できた。新規ロケット開発の経験のない技術者は、本事例のように多系統にまたがる技術課題の解決は困難であり、本事象の解決には、H-II開発経験者の知見が不可欠であった。



3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(2) 技術基盤維持へのロケット開発の貢献

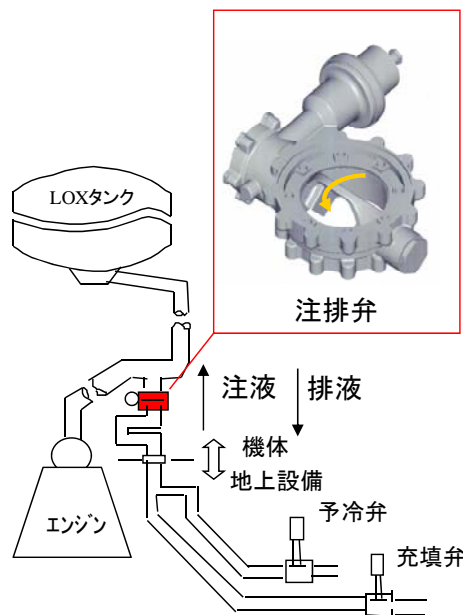
○ ロケット開発・運用トラブルへの対応にH-II開発経験者が不可欠だった例

(事例3)バルブ不具合の解決

○H-IIAの第1段機体のタンクへの液体酸素の注排弁に、地上での運用時に耐圧性能を超える加圧が多発(射場整備作業の遅れ(数千万円)、打上延期(数億円))したため、H-II開発を経験した技術者を中心に対応

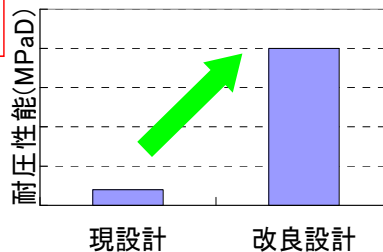
○当初想定していなかったバルブの剛性などを見直し、耐圧性能を10倍に向上させることで、当該不適合発生を根絶

○H-II開発経験者がH-IIAの設備の設計に関与しなかったため、バルブの耐圧性能を超える圧力が加わる設計に変更されたことに気がつかなかったが、H-II開発経験者の知見により原因が究明され、根本解決が可能になった。



【用途】

- ・ロケットのタンクに推進薬を注入、排出を制御
- ・ロケットのフライト中は、タンク内の推進薬を保持



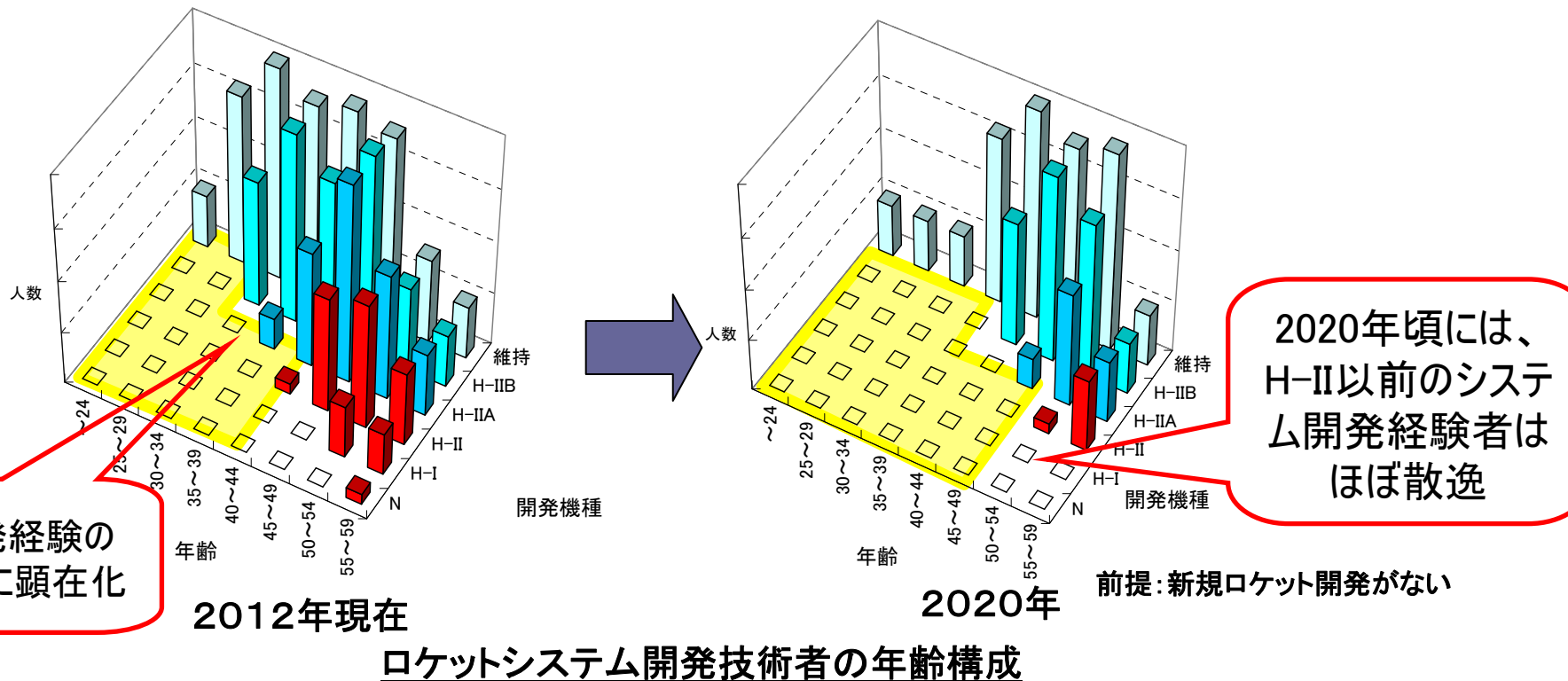
3. 今後の基幹ロケット運用についての考察

(3) 技術基盤維持の必要性

- ロケット開発には、過去ロケット開発経験者によるシステムインテグレーションの統率が不可欠
- 次期基幹ロケットの新規開発には約8年が必要
- 一方、H-IIロケット新規開発経験者は現在45歳以上。2020年にはほぼ退職の見込み



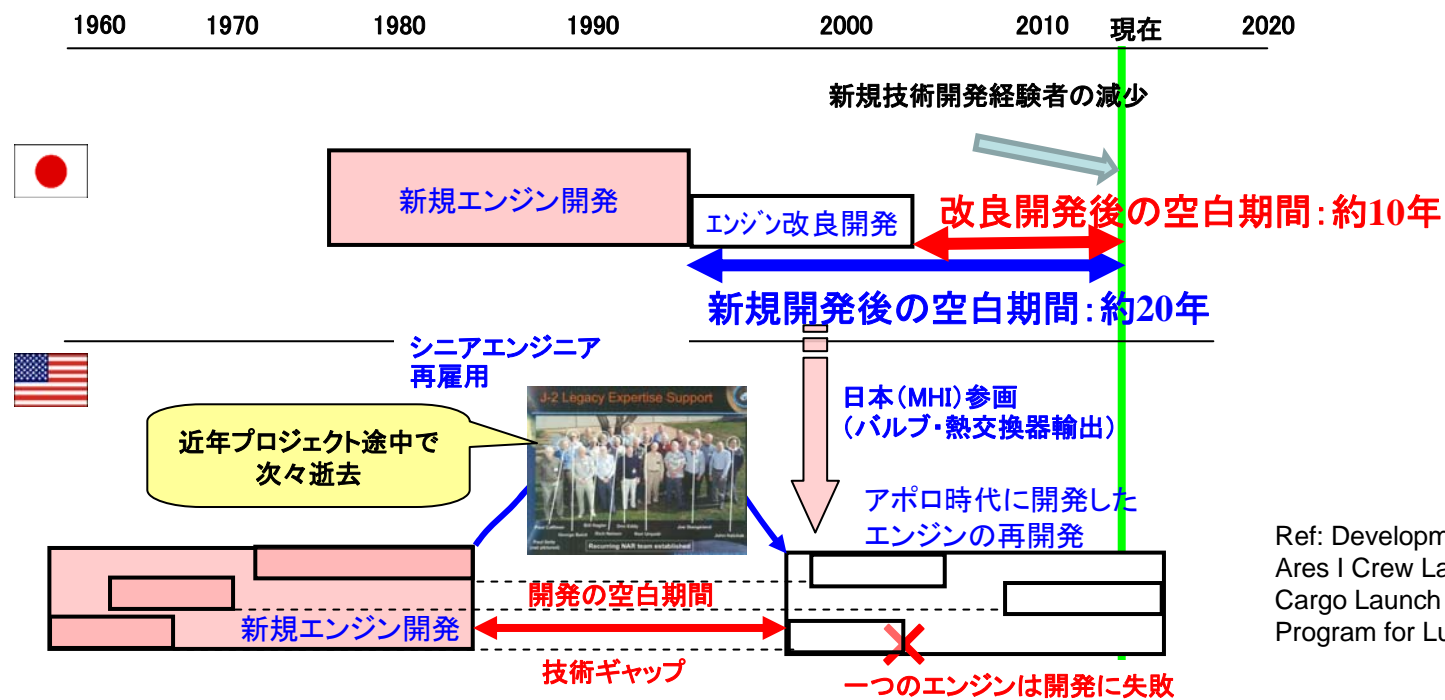
これまで獲得した技術を継承しロケット技術基盤を確保するため、H-II以前のロケット開発経験者がいる間でない、次期ロケット開発は極めて困難となる。



3. 今後のロケット運用についての考察

(3) 技術基盤維持の必要性

- 米国では、ロケットエンジン開発の空白期間が10年に達する状況が生じ、新規エンジンの開発が困難な状況
 - 米国が現在開発中のエンジンはアポロ時代で開発したエンジンの再開発(シニアエンジニアの再雇用で対応)
 - 既存エンジンの改良や再開発では、安全性の大幅向上や低コスト等の新たな価値を持つ新規エンジンの開発は困難
- 日本では、H-II以降すでに約20年の新規エンジン開発の空白期間があり、改良開発も10年前に終了しており、技術基盤の維持は差し迫った課題
 - 1990年代には既存ロケットエンジンの改良開発を実施したが、2000年代には新規エンジン開発がなく、既に米国に近い状況に陥りつつある。開発能力を喪失すると取り戻すことは困難



Ref: Development of the J-2X Engine for the Ares I Crew Launch Vehicle and the Ares V Cargo Launch Vehicle: Building on the Apollo Program for Lunar Return Mission, NASA.

4. 今後のロケット開発のあり方

4. 今後のロケット開発のあり方

(1) 基本的考え方

① 宇宙輸送に関する自律性の確保

必要な時に、必要な場所に、日本の力で宇宙輸送が実現できる自律性の確保が重要
→ 自律性確保のためには技術基盤の維持が不可欠

② 宇宙開発利用のためのコスト削減

長期的視野を持って国の宇宙開発利用を効率的に進めることでコストを削減することが重要
→ コスト削減という直接的効果に加え、商業衛星の打上受注の増加による技術基盤維持、すなわち、自律性の確保にも貢献

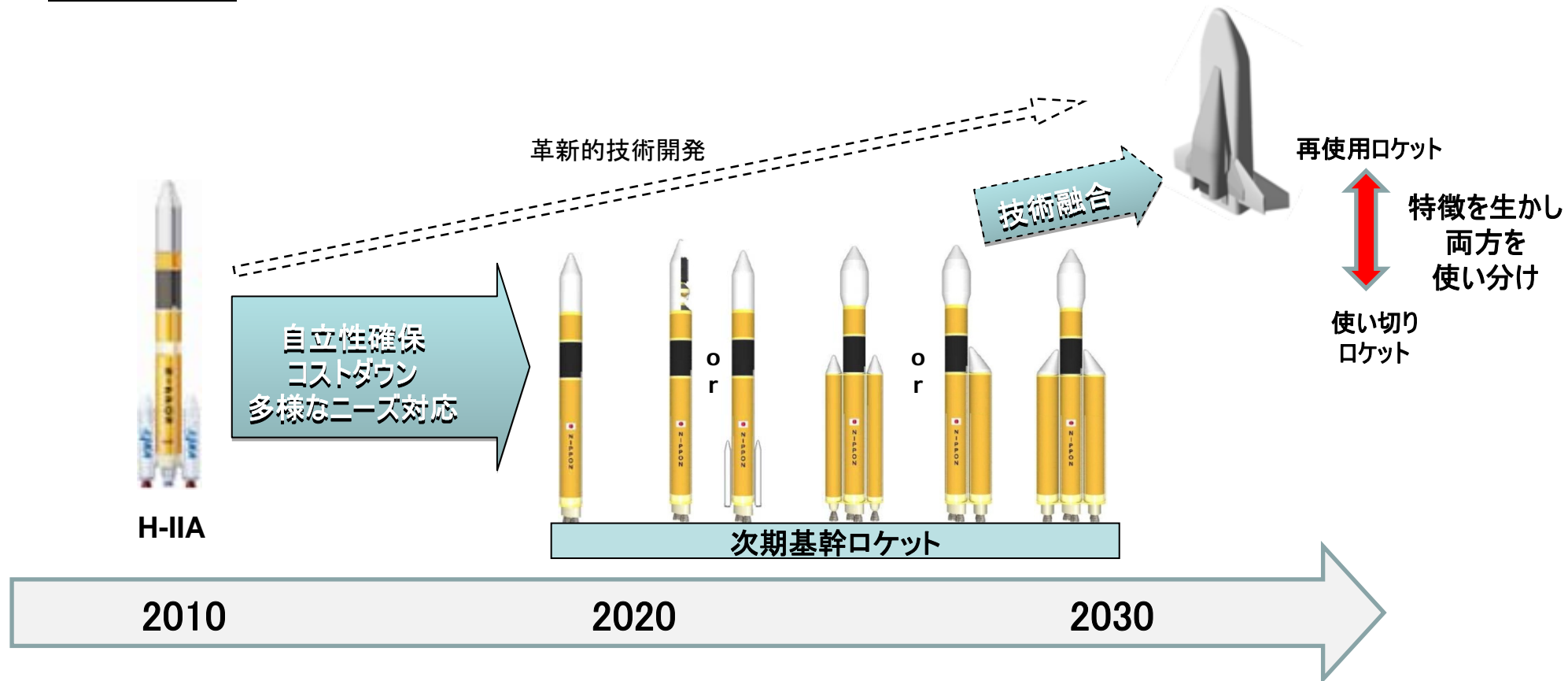
③ 液体ロケット及び固体ロケットの必要性

- 自律性のために必要な打上能力として、宇宙科学・宇宙探査のための小型衛星と中型の政府系衛星等の両方への対応が求められる。
- この観点から、効率的な打上げのために、
 - － 中型以上の衛星に対応する液体ロケット(基幹ロケット)
 - － 小型衛星に対応する固体ロケットが必要

4. 今後のロケット開発のあり方

(2) 目指すべき姿30年後の姿

- 使い切りロケットは打上げ能力が高く、高エネルギー軌道(GTO以遠)でも打上げ可能。ただし技術的には成熟しており、コスト1/10など著しい低コスト化は困難
- 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、再使用ロケットは低軌道への高頻度輸送を目標とするのが適切



4. 今後のロケット開発のあり方

(3) 中期的な姿

① 次期基幹ロケットの早急な開発着手の必要性

○次期中期計画中に次期基幹ロケットの開発に着手しない場合、H-IIロケット開発以降培われた技術の継承が困難となり、国内で新規のロケットを開発する能力が失われ、宇宙輸送の自律性が失われる。

○次期基幹ロケットの開発により、製造コストや地上設備の維持費の大幅な低減を図り、長期的な視野で財政負担の軽減を図ることが重要。

→ 早急な検討の上、JAXAの次期中期目標期間内に次期基幹ロケット開発に着手すべき
その際、多様な衛星打上需要に対応できるよう容易に輸送能力拡大できる設計とすべき

② 固体ロケットの発展

○科学衛星など国内で今後利用拡大が見込まれる500kg級の小型衛星の効率的な打上げ手段を確保し、日本独自の低コストな固体ロケット技術を維持する。

2020年頃の輸送系ラインアップ(例)



共通ロケット機体・固体補助ロケットを適切に組み合わせ、中型から超大型衛星まで最適化された打上げ機体で対応