

文部科学省 宇宙開発利用部会

－ 文部科学省における宇宙分野の推進方策の議論 －

「宇宙輸送技術に関する提言」

有人宇宙システム株式会社

常務取締役

前村 孝志

2012年10月25日(木)



(Courtesy of JAXA)

提言内容

1. 我が国が独自の輸送システムを保持する意義
2. 輸送技術に対する基本的考え方
3. 自律的持続可能な宇宙輸送システムの在り方
4. 長期的な方向性

参考資料

1. H-II Aが安心して打上げられない理由
2. 安心して打上げるために(打上従事者の苦労)
3. 次期輸送システムの目指す道
4. 先進国輸送系の開発事例
5. 有人輸送系の実現に向けたシナリオ(一案)

1. 我が国が独自の輸送システムを保持する意義

1. 宇宙活動実現の大前提

- ・国家安全保障、国際プレゼンス、先進国外交の交渉力、目に見える国力
- ・宇宙活動の基本的インフラストラクチャ
- ・自在な宇宙活動の第一歩（人類が宇宙にアクセスできる唯一の手段）
- ・「技術維持」には「開発」が必要

2. 開発なくして技術の維持は困難

- ・技術レベルの維持、伝承は運用のみでは困難
- ・運用でKNOW-HOWは蓄積されるがKNOW-WHYは散逸
- ・開発(考えること)と運用(規定を順守)は技術維持の両輪
- ・定期的Improve Programにより保持されるもの

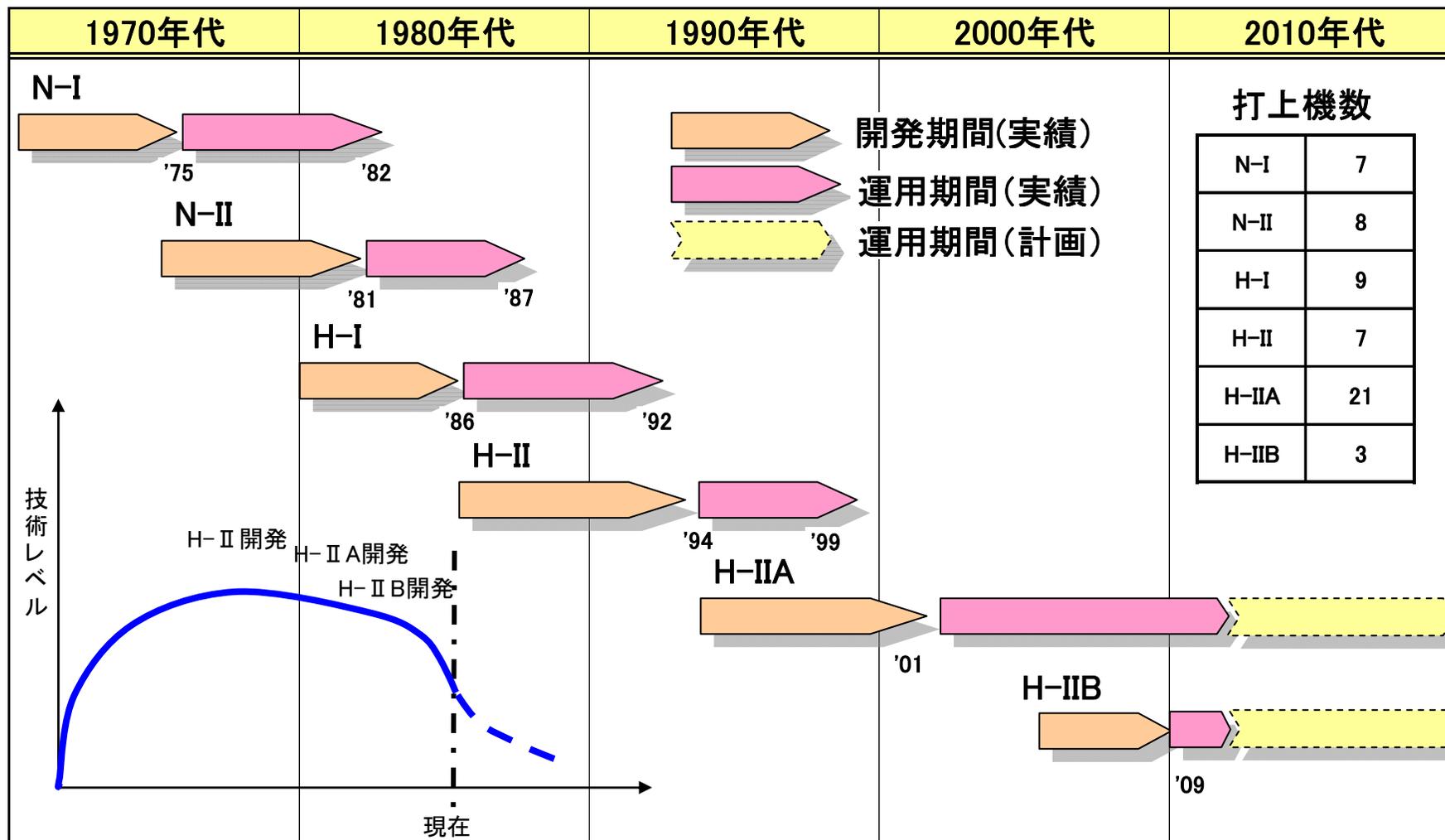
(参照:図1-1)

⇒他山の石とすべき事項

- V字チャート : システムエンジニアリング
- 伊勢神宮式年遷宮 : 20年毎の開発による技術伝承
- 国産航空機開発 : 50年の空白による開発の苦しみ

1. 我が国が独自の輸送システムを保持する意義

図1-1: 我が国輸送系の技術保持と運用の事例



2. 輸送技術に対する基本的考え方

1. H-II A/Bロケット – 現状認識 と分析

(a) 現状認識

・関係者の一般認識

- ＞ 打上げ成功率95.2%、世界トップレベルの信頼性
- ＞ 国際競争力低、商業受注困難、産業基盤弱体化
- ＞ 民間移管済み

・打上げ従事者の認識

- ＞ 機体、設備とも改善項目多数有
- ＞ 打上げ成功継続は「人海戦術」に依存

(b) 分析: 民間移管による陽と陰

・陽

- ＞ 打上げ成功率向上(含むON-TIME打上げ率)
- ＞ プライム会社と関連会社間の技術情報共有と製造一元化による信頼性向上
- ＞ 生産性、運用性、整備性の要求を反映した開発の必要性を習得

・陰

- ＞ JAXA技術者の現場離れ(ロケット製造、打上げ現場への参画機会減少)
JAXAは国の宇宙技術推進の中核実施機関
- ＞ 輸送系は 国家基幹技術であることの意識希薄化

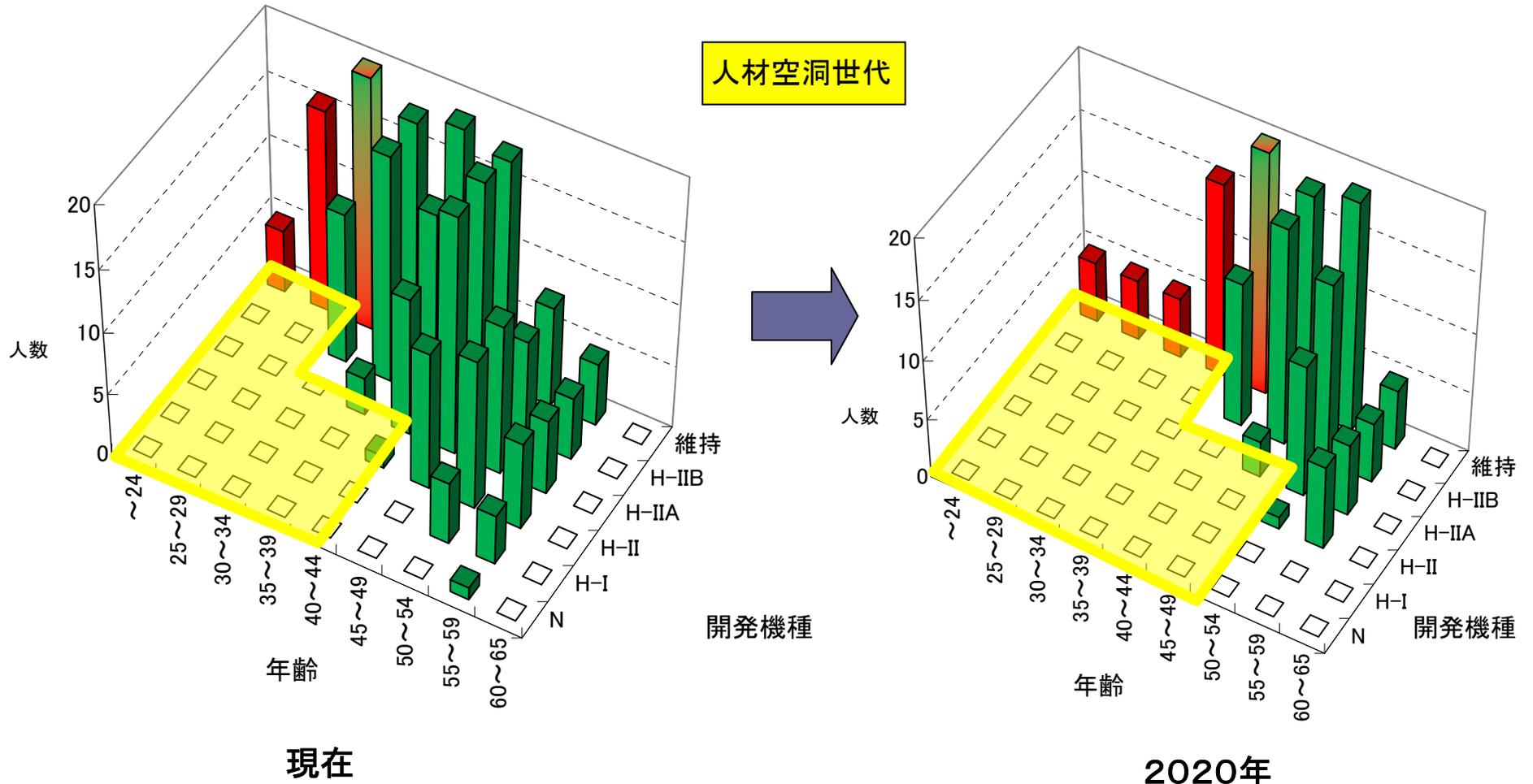
2. 輸送技術に対する基本的考え方

2. 日本の輸送技術は確立したか？ ⇒YESとは言えない

- ・H-II A/Bロケットは「安心して」打上げられない(参考資料1)
 - ・世界レベルからみても後塵を拝す
 - ＞冗長系装備不十分、衛星搭載環境等
 - ・継続中の打上げ連続成功(信頼性確保)は人海戦術に依存
 - ・根源は開発当時の知見・経験不足
 - ＞開発コストミニマム最優先
 - ＞余裕の少ない設計仕様と運用に依存した開発
 - ＞量産打上げロケットの運用(我が国で10機以上打上はH-II Aが初)
 - ・コスト的にも現状以上の改善は困難
 - ・今後の成功継続はこれまで以上の人的努力に依存、何時まで続くか…？(参考資料2)
 - ＞2020年にはH-II A開発経験者はほぼ企業をretire (参照:図2-1)
- ⇒信頼性、コスト含め世界で圧倒的競争力を有する輸送系の確保が急務

2. 輸送技術に対する基本的考え方

図2-1: 開発設計者の年齢構成



(出典: MHI資料)

前提: H-III等の新しい開発がない

3. 自律的持続可能な宇宙輸送システムの在り方

1. 次期基幹ロケットH-Ⅲ(仮称)の早期開発着手

・世界で圧倒的競争力を有する輸送系を日本独自で開発

＞輸送コストH-ⅡAの1/2

＞失敗確率1/1000以下

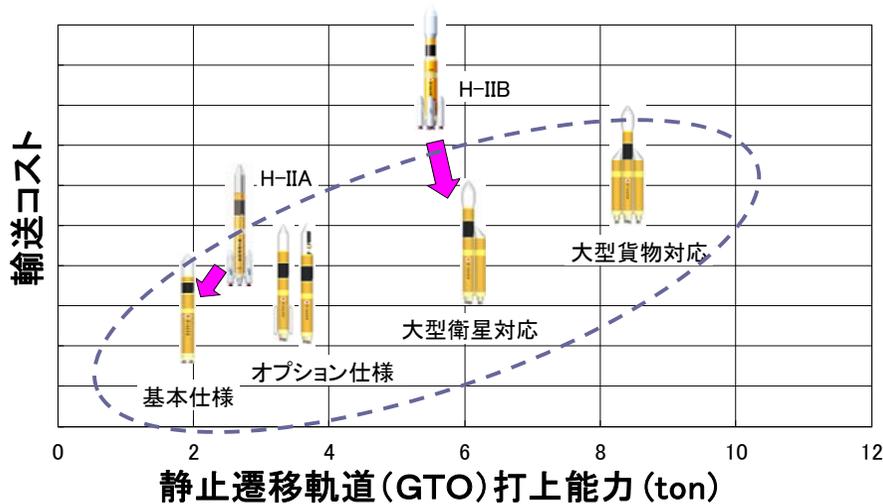
＞有人ミッションへの効率的対応

・H-Ⅱ A/Bロケット、HTV(有人対応仕様)開発のLessons Learnedを活用

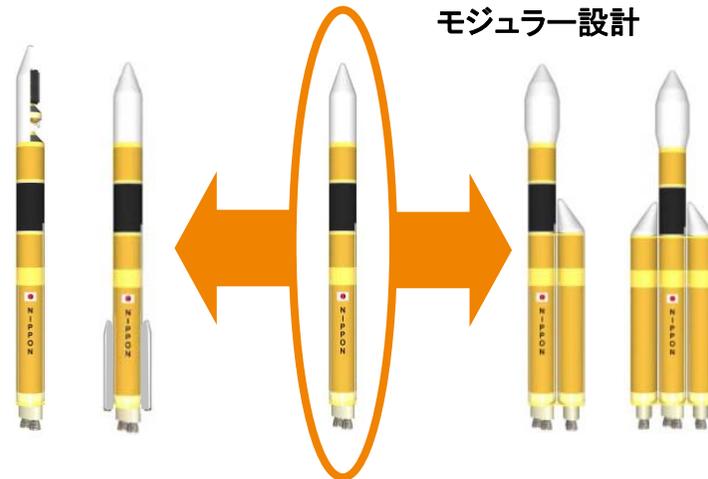
＞安心設計(余裕確保、冗長系装備)、モジュラー設計 (参考資料3)

＞多数機打上げを考慮した運用重視設計と大量生産によるコストダウン

＞先進国事例でも輸送系は段階的改良開発により輸送系を進化(参考資料4)



(出典:MHI資料)

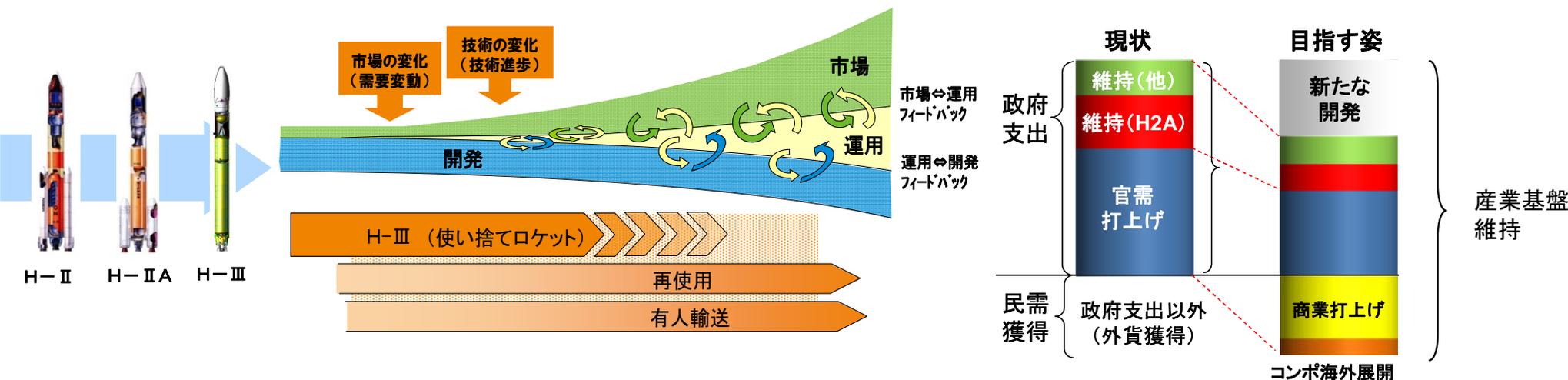


(出典:文科省資料に基づく)

3. 自律的持続可能な宇宙輸送システムの在り方

2. H-IIIロケット(仮称)で期待される効果

- ・我が国の先進的輸送システム確保、それに要する総コスト半減
 - ＞産業界競争力確保と政府支出低減をパッケージで実現
 - ＞限られたリソースで自律的持続可能な宇宙輸送システムの実現
- ・有人輸送等将来の発展性と環境(市場、技術)の変化に柔軟に対応



(出典: MHI資料)

(出典: 文科省資料に基づく)

4. 中長期的な方向性

1. 次期輸送系について（仮称：H-Ⅲロケット）

- ・求められるもの
 - ＞国の輸送コスト低減、国際競争力、技術・産業基盤の維持、将来技術への発展性
- ・我が国独自の輸送系確保
 - ＞宇宙活動の多様な発展に不可欠
 - ＞先進国外交の交渉力確保としても有効
 - ＞国際協働宇宙探査参画等への自在性確保からも有効

2. 有人輸送系の実現に向けて

- ・有人輸送系を目標とすることは輸送系技術を最先端レベルに引き上げる
- ・有人計画の実現に必要な環境整備：「国際協力」、「産業界の協力」
 - ＞限られたリソースで、実現に向けた活動を官民協働で進める
 - ＞日本独自の有人輸送計画が日米宇宙協力実現に向けたきっかけとなる可能性……
- ・更なる民間活力利用によるISS計画コスト削減と次期有人プログラム計画立上げ
- ・H-Ⅲは有人輸送系への技術波及も視野に入れ効率的開発を目指す
- ・有人宇宙船はHTVの技術資産を活用してその発展性を検討
- ・輸送系の実績積み重ねによる信頼性の実証が必要
- ・国家基幹技術として開発（米・欧・露・中も同様）
 - ＞米国有有人輸送系は結果的に全て国家予算による開発
- ・実現に向けた施策案等（参考資料5に一案を示す）

参考資料1： H-II Aが安心して打上げられない理由

安心して打上げるために考慮すべき開発条件は ①開発仕様＞運用仕様 と ②冗長系設計適用

1. ロケット開発試験の特徴

- ・飛行条件を全て網羅した確認は地上では不可能
コア機体・SRB-A同時燃焼時の環境条件、動圧、加速度、真空中条件(無重力、熱、放射線等)
- ・製造時のバラツキを全て反映した確認は困難
使用材料特性、製造工程条件等
- ・既存データベース/知見 V.S 飛行中物理現象の乖離可能性
ターボポンプキャビテーション、振動、液体推進薬挙動等

2. H-II A開発時の分析

飛行中に遭遇する可能性のある不慮の事象に対してミッション成功確率を増す最も確実、安心な策は

① 開発仕様 > 運用仕様 然るに、H-II Aではコストダウンが最優先

☛ マージン ≡ コストダウン対象 ☛ 開発仕様 ≡ 運用仕様 と設定

マージンを確保できる開発環境になかった。

② 冗長系設計適用

信頼性確保: 設計仕様(冗長系装備)で確保、人に依存は限界有

・冗長系装備は世界の標準仕様化

アリアン5は誘導制御系機器は全て冗長化、アトラス5も同様

・搭載機器単一故障によるミッション喪失回避

One Fail SafeからOne Fail Operativeへ、リフトオフ後は指令破壊信号のみが地上操作

・設備起因の打ち上げ機会損失は回避

H-II Aではコストダウンが最優先

☛ 冗長系 ≡ コストダウン対象

☛ 冗長系設計採用は最小限

冗長系を採用できる開発環境になかった。

参考資料2: 安心して打上げるために(打上従事者の苦勞)

H-IIA16号機打上げ1週間前の前村(打上執行責任者)のメールより

同じH-IIAロケットでも、ペイロード、ミッションにより変わるところもある。H-IIBとの切り替えもある。同じようで、すべてが同じではない。

設備にもトラブルが起こる。打上でのリスクを最低限に抑える。

だから毎号機、徹底的に、網羅的に確認をして打つ。



(出典:MHI資料)

本日以降、今後の発射整備作業で初めて実施または確認する事項

- ・今シーズ初めて使用する設備、治具
- ・初めて機体に取り付ける部品
- ・今シーズ初めてその機能を使う設備 (ないはずですが・・・)
- ・H-II Bで使用したLP2と、今回使用するLP2との共通部分での問題点有無、液封箇所はないか?

等は整理されていて全て事前検証は完了していますか?

過去の事例からは、電気系接続装置、配管接続装置、機体GOXベンチポートなど、不適合発生時のバックアップ品や交換用シール類の確保なども確認済みかな?

加えて:

- ・技術者は各人何を確認すべきか、またその結果は? 絶対に見落とし、残置物ないか、火工品結線等
- ・CDCB品目、CDCB対象となっていないが取り外すべき品目 (2段エンジン配管注油等)
- ・H-II Bとの勘違いはないかどうかとも要チェック

機体移動準備/移動:

- ・火工品トーチの結線、遮蔽板取り外し
- ・地上ベンチ供給ML3との相違
- ・フェアリング空調移動車はずっとアイドル回転運転中だが本番で問題ないか
- ・汎用のML運搬台車は動くか? (唐突な質問ではあるが)
- ・船舶関連設備は毎回問題を起こしてきたが、今回大丈夫という保障は何か?
- ・電気系接続装置、LOX/LH2/水接続装置、設備ベンチ、ベンチポート等の健全性はいつ誰が確認したか
- ・他社所轄設備、JAXA所轄設備に問題ないことは、どう確認したか
- ・その他色々

総員退避:

- ・最終確認項目は? 忘れてでは現場に戻れない、一日延期数千万円の出費となること認識
- ・H-II B水ベンチの反省は生かされているか? 類似ベンチ数個あったはずだがその確認はきちんとされるのか?
- ・設備ベンチの調圧圧力で「はらはらどきどき」は勘弁願いたいだが対策は?

推進薬充填

- ・リフトベンチ(機体、設備)健全性と万一不調時の対応策徹底、逆圧印加防止、ベンチ教育などなど
- ・H-II Bとの相違は使用する設備も含めて関係者に再周知されているかな?

ベンチ稼働テスト:

- ・X-270秒から作動する各ベンチ項目が正常に実施されるか再確認
- ・設備系のend-to-end確認はいつどのように実施されたか?
- ・機体系は? 熱電池、エンジン着火、FLIベンチは確信持っているよね?
- ・機体支持装置、キック離脱のバックアップ系統確認、コックピット取り外しはCDCB7台目?

フライト:

- ・各重要ベンチ信号のend-to-end確認結果
- ・フライト用OBS
- ・衛星フェアリング H-II Bの反映が悪影響ないこと再確認
- ・衛星分離ベンチの設定と位置 (当方既に確認済みですが)
- ・画像取得ベンチ
- ・H-II Bで問題あったベンチは・・・

参考資料3: 次期輸送システムの目指す道

H-II A : 成功への道は狭い、一歩踏み外すと失敗が待っている

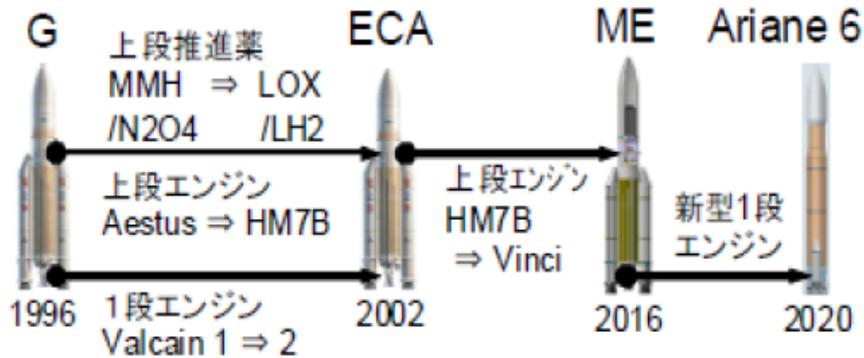
H-III (仮称) : 成功へ余裕を確保した広い道、一歩踏み外しても限界内の仕様設計



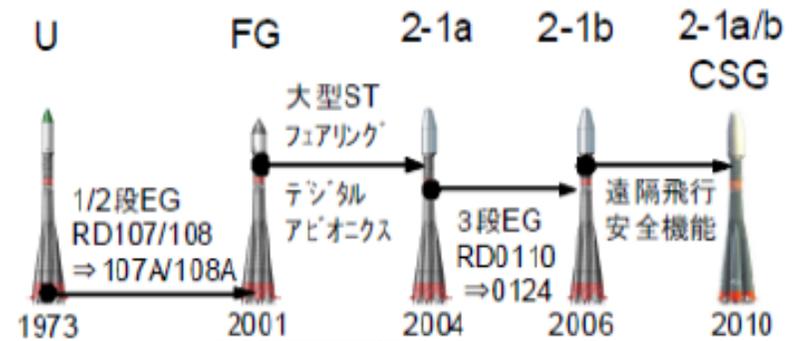
(出典: MHI資料)

参考資料4: 先進国輸送系の開発事例

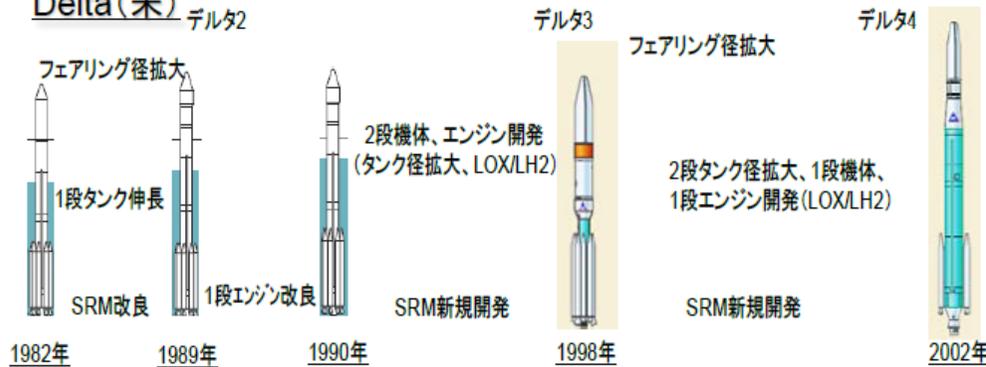
Ariane (欧)



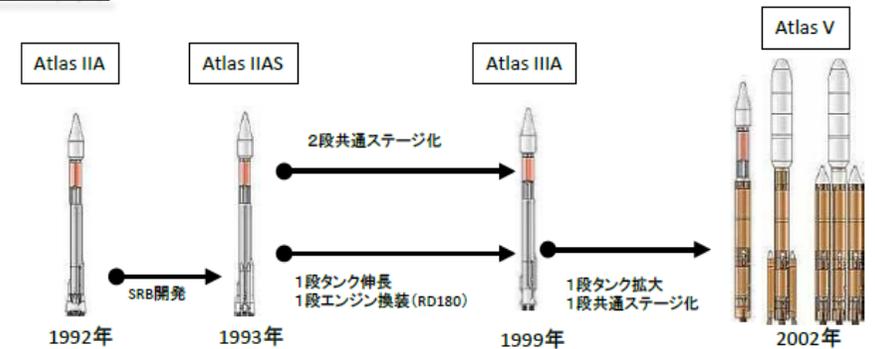
Soyuz (露)



Delta (米)



Atlas (米)



(出典: JAXA資料に基づく)

参考資料 5 : 有人輸送系の実現に向けたシナリオ (一案)

