

H-ⅡBロケットの開発・運用の成果について

2020年11月17日

宇宙航空研究開発機構

理事 布野 泰広

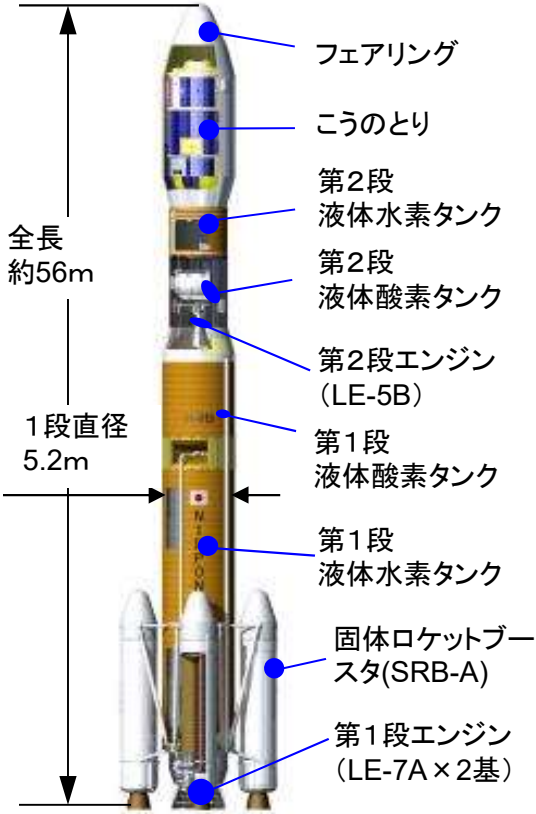
宇宙輸送技術部門 事業推進部長 佐藤 寿晃

(1)H-ⅡBロケットについて(概論)

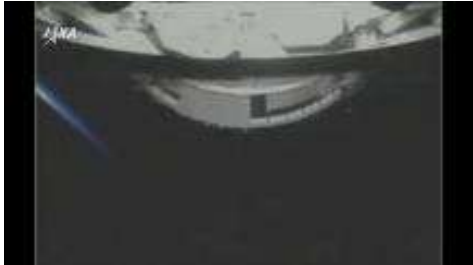
H-ⅡBロケット(以下、「H-ⅡB」とする)は、日本で最大級の打上げ能力を持つロケット。民間の主体性・責任を重視した体制とする等、**官民が協力して開発を進め**、諸外国と比較しても**短期間(プロジェクト化から試験機打上げまで4年間)・低コスト(約271億円)**で開発を完了した。この官民協力の貴重な経験は、更に民間の役割を拡大させつつ、官民が協力して進めているH3ロケットの開発の体制につながっている。

H-ⅡBはJAXAによる3号機までの打上げの後民間移管を行い合計9機が打ち上げられ、**打上げ成功率「100%」**を達成し、日本の**基幹ロケットの高い信頼性を示す**とともに、国際宇宙ステーションの維持・運用に不可欠な「**こうのとり**」の確実な打上げにより**国際宇宙ステーション計画へ大きく貢献**した。

開発で獲得した技術や開発に携わった人材は、**現在開発中の新型基幹ロケットであるH3ロケットに引き継がれており**、我が国の基幹ロケットの維持・発展に重要な役割を果たしている。



		H-ⅡBロケット	H-ⅡA204型 (参考)
全 長 全備質量		約57m 約530㍥	約53m 約445㍥
第1段	タンク直径	5.2m	4m
	推進薬質量	176㍥	100㍥
	エンジン 推力	LE-7A×2基 112㍥×2	LE-7A×1基 112㍥
第2段	タンク直径	4m	同左
	推進薬質量	16.7㍥	
	エンジン 推力	LE-5B×1基 14㍥	
SRB-A	推進薬質量 装着基数	66㍥/本 4本	同左



(2) H-II Bの開発・運用により得られた成果(開発フェーズ)

H-II B開発により獲得された主な技術を下記に示す。

① エンジンクラスタ化技術

クラスタ燃焼状況(H-II B)



我が国の大型ロケットとして初めてエンジンクラスタ化を採用。液体ロケットエンジンの大推力化は技術的観点や試験場の確保など困難が伴うが、複数を束ねて使用するクラスタ化により、既存のエンジンを使用しながら、大推力の液体エンジンと同等な性能を得ることが可能となった。

② 大型第1段機体製造技術

H-II Bでは推進薬を増量するために、H-II Aから第1段タンクの直径を大きくしており($\phi 4.0\text{m} \rightarrow \phi 5.2\text{m}$)、この大型タンクの開発にあたっては、新たな溶接技術(摩擦攪拌接合)を獲得するとともに、タンクドームの一体成型技術を国産化し、タンク製造における自在性・自立性を確保。

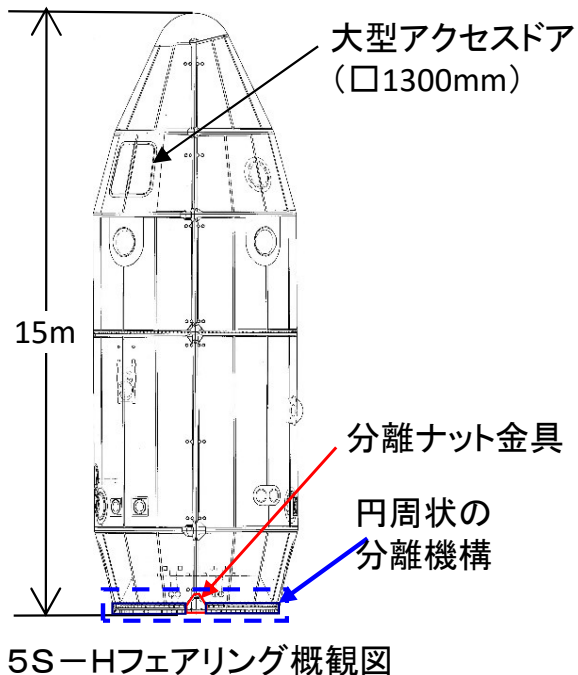


(2) H-II Bの開発・運用により得られた成果(開発フェーズ)

③ 大型フェアリングの開発技術



5S-Hフェアリング
強度試験供試体



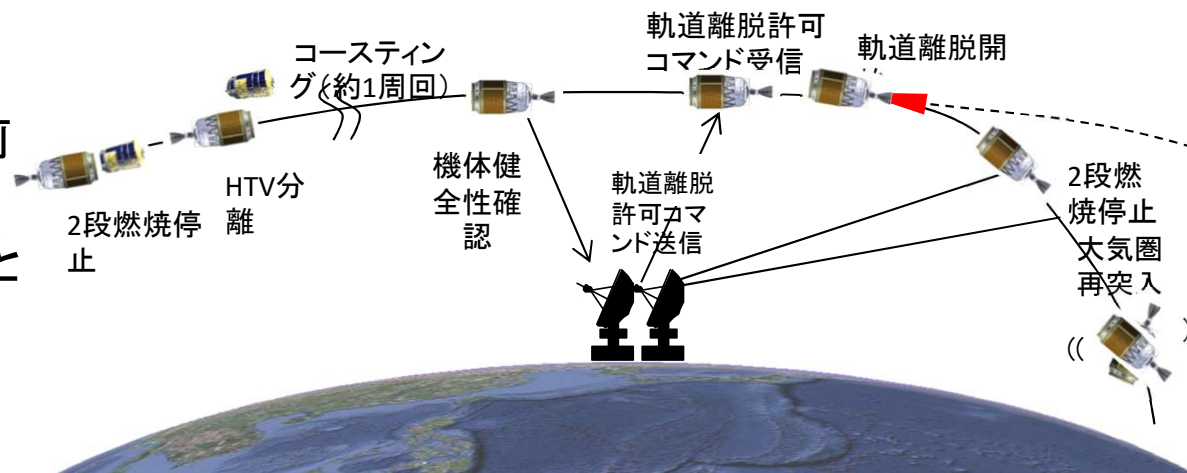
これまでで最大のペイロードである「このとり」に対応するために、H-IIAロケットで用いているフェアリング(5S型)を3m伸ばし、これまで国内で開発された中で**最大の内容積を持つフェアリング(5S-H型)を開発**。既存の分離機構を用いることで短期間、低コストで開発することと、大型化に伴って増加した空力荷重に耐荷することを両立できる構造設計を行った。

また、打上げ直前まで「このとり」に物資等を積み込めるよう、これまでで最大の大きさを持つレイトアクセス用ドアを装備した。

④ 第2段機体再突入技術

ミッション終了後のロケットの第2段機体を事前に設定した海域に制御して落下させる技術を獲得。**この技術の獲得は世界で米欧に続く3番目**となった。

世界中で問題意識が高まっている**スペースデブリ対策**に向けた日本の先導的立場を示した。

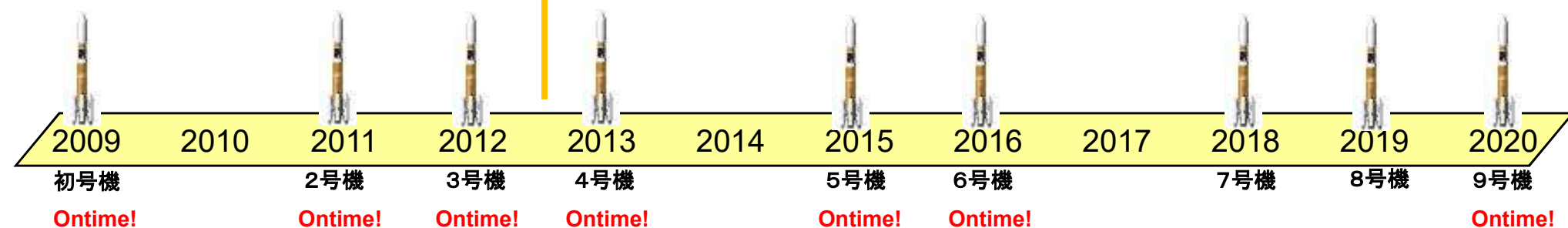


(2) H-ⅡBの開発・運用により得られた成果(運用フェーズ)

基幹ロケット(H-ⅡA/B)の信頼性を向上させ、安定した打上げを維持すべく、JAXAは民間移管以降も毎号機の打上げデータを評価し、運用で明らかになった技術課題への対応(下記具体例参照)を実施。また、メーカーの撤退等により枯渇した部品・材料の再開発に取り組み、**長期的に安定した運用に貢献した**。

これに加えて天候制約の緩和や海上警戒区域の縮小など**打上げ運用の不断の改善**を行い、H-ⅡBの**打上げの成功(100%)**、**高いオンタイム打上げ率(78%)**を実現した。

打上げ実施主体: JAXA ◀ ▶ MHIによる打上げ輸送サービスでの打上げ
(JAXAは技術基盤の維持や、打上げ時の安全監理業務の実施等で貢献)

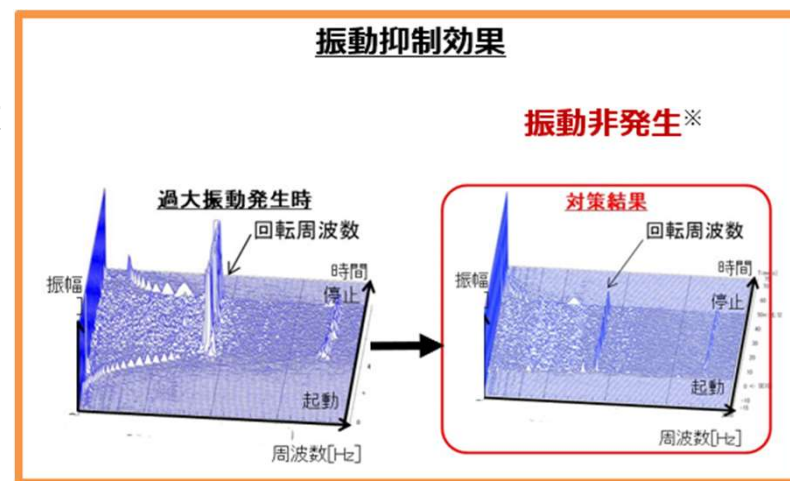


技術課題対応開発や部品枯渇再開発を実施し、安定的なロケット製造に貢献

【技術課題への対応の事例】

H-ⅡA/Bの第2段エンジンのLE-5B-2エンジンでは、地上での領収試験において**重要部品**である**ターボポンプのロータ**が軸方向に過大に振動する事象が発生するケースが過去複数回、発生。この事象が発生すると、エンジン作動点調整等の**追加作業が必要**となり、従来工程に対し**製造スケジュールが2～3か月程度長くかかる**ことから同時期に多数機向けのエンジン製造が必要なケースにおいては課題であった。

この軸振動事象に対しては、H3ロケットの研究開発を通じて得られた理論および膨大な試験データの分析結果により評価手法及び抜本的な対応策を確立。同手法でLE-5B-2を評価したところ事象の原因が究明されたため、対応策をH-ⅡA/Bに先行適用した。これにより製品特性の安定化と振動低減を図り、H-ⅡB 8号機にて、その効果を確認。これにより、**H-ⅡBのみならずH-ⅡAのより安定的な打上げに貢献**。



※振動の原因となっていた部分に起因する周波数成分

(2) H-ⅡBの開発・運用により得られた成果(運用フェーズ)

【安定したH-ⅡBの運用によるISS国際協力への貢献】

国際標準ペイロードラック(ISPR)や、ISSの運用に欠かせないバッテリーのような大型貨物はスペースシャトルの引退後は「こうのとり」でしか運べず、この「**こうのとり**」を打ち上げられる**唯一の輸送手段**として、かつ、それを前ページに示したように**高いオンタイム率(78%)**で打ち上げることで、ISSの**安定的な運用に大きく貢献**してきた。

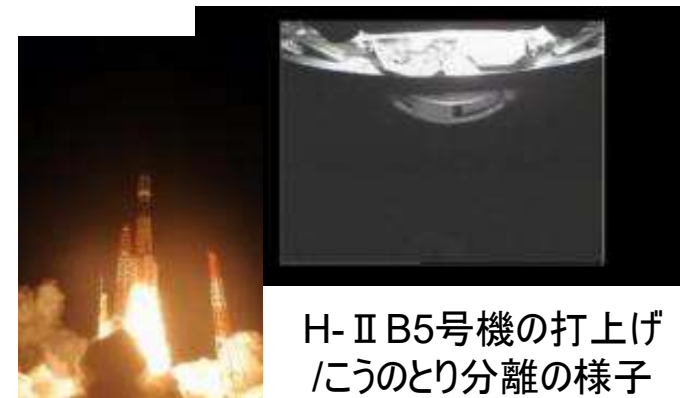
その中でも、2015年8月19日に打ち上げられたH-ⅡB5号機は、米露によるISSへの補給の失敗が続く中での打上げとなった。このため、一部貨物を「こうのとり」に急遽乗せて打上げを行う(下写真参考)等、**失敗が許されない状況の中での打上げとなったが無事にオンタイムでの打上げに成功した。**



種子島に到着したNASAの輸送機



輸送機から物資を運搬する様子



H-ⅡB5号機の打上げ
/こうのとり分離の様子

(3) H3ロケット開発への継承

現在開発中の新型基幹ロケットのH3ロケットには、H-ⅡBで成熟した技術も活用している。

① 第1段エンジンクラスタを2基から3基にしたH3-30形態を開発



LE-7Aエンジン×2基(H-ⅡB)

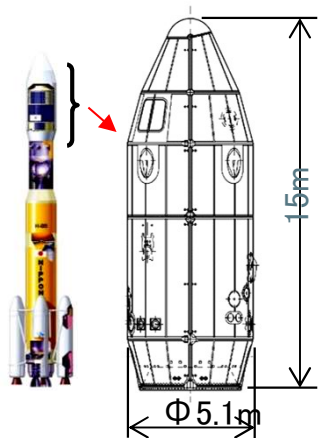


LE-9エンジン×2基または3基(H3)

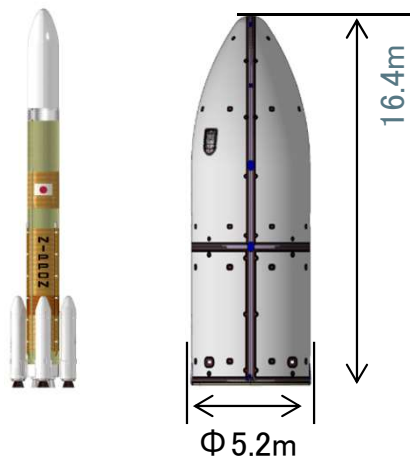


H3イメージ図

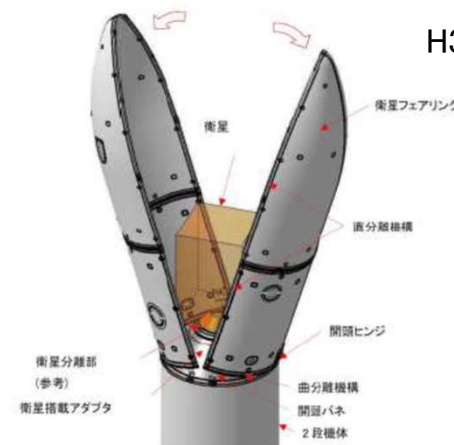
② H-ⅡBではこのとりを搭載するために大型フェアリングを開発。H3ロケットでは様々な衛星需要への対応のため、より**大型のフェアリングを開発**している。この開発に当たってはH-ⅡBで培った技術や不具合の経験を活かしつつ、新規技術(例:炭素繊維複合材の自動積層等)を適用して、**コスト低減**や**打上げ能力の向上**を図り、**大きな不具合なく開発を完了**できた。



H-ⅡB 5S-H型



H3ロケット ロング形態



H3ロケット用フェアリング分離・放てき試験の様子



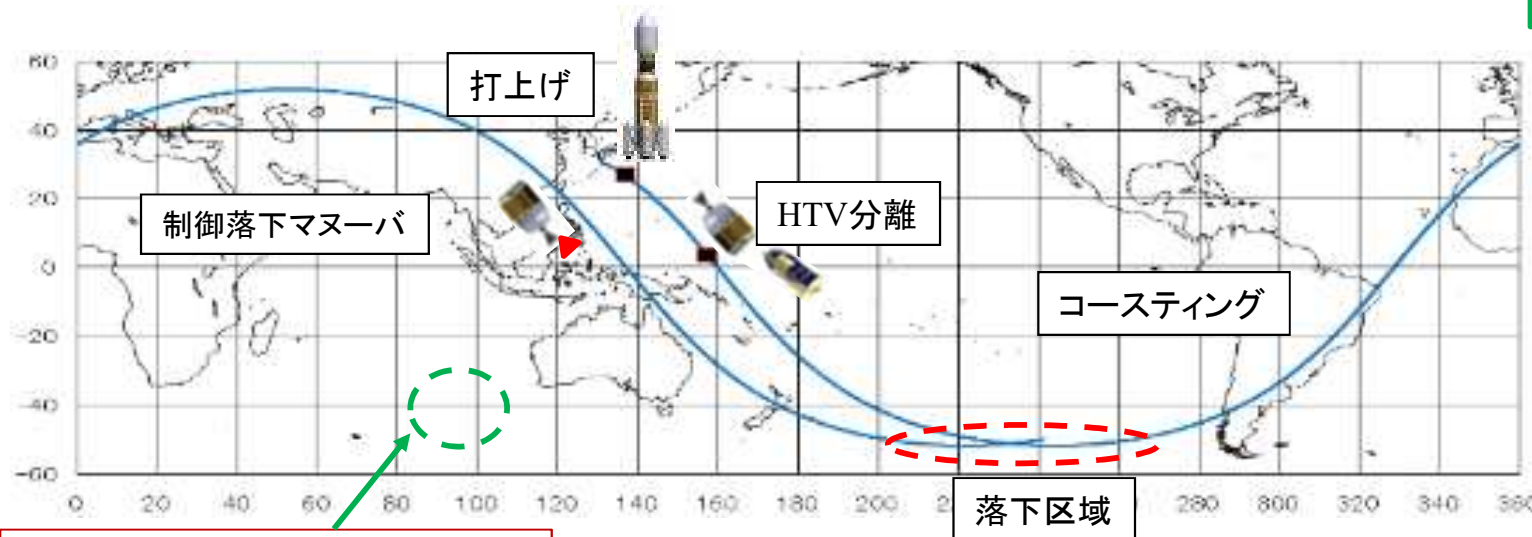
(3) H3ロケット開発への継承

③ デブリ化防止対策の拡充(第2段再突入実施ミッションの拡大等)

H-II Bでは第2段機体の制御再突入を実現するための機体及び地上設備の改修を行い、2号機から9号機まで合計8回の制御再突入に全て成功し、運用経験を蓄積することができた。

H3ロケットでは、この技術と経験を基に、HTV軌道やSSO軌道からの制御再突入や、またはSSO軌道やGTO軌道から、国際ルールである25年以内に自然落下させる軌道への遷移に対応できるようにもする開発を行い(第2段エンジンLE-5B-3のアイドル燃焼秒時の増加(88秒→250秒)、新たな海域への落下にかかる技術検討等)、第2段機体のデブリ化防止の対策範囲を拡大する。

SSO	自然に25年以内に落下 制御再突入 $\xrightarrow{\text{実施しない時}}$ 近地点高度遷移により25年以内に落下
GTO	近地点高度遷移により25年以内に落下 or 保護領域外へ投入
HTV	制御再突入



H3ロケットのSSOミッションで新たに落下させる予定の海域

H-II BのHTVミッションにおける落下域

主な軌道におけるデブリ化防止対応策※

※どの方策により国際ルールに対応するかはミッションによる。



LE-5B-3エンジン

(3) H3ロケット開発への継承

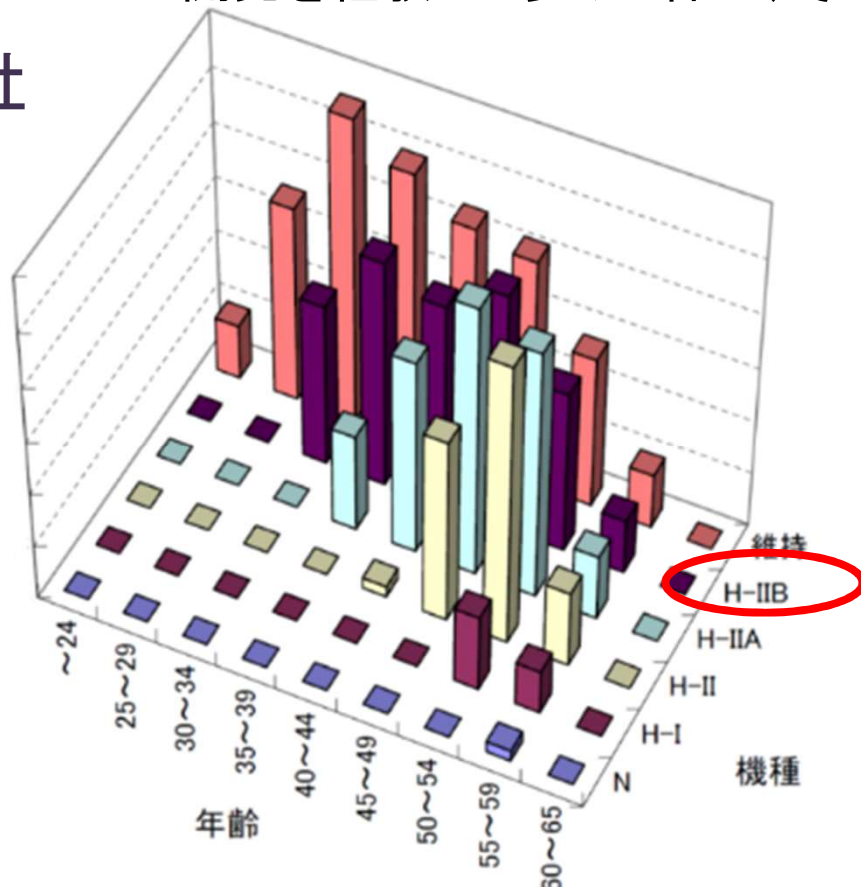
【人材育成への貢献】

下図は2012年に在職していた者で各ロケットの開発に携わった人材の年齢分布をまとめたもの。

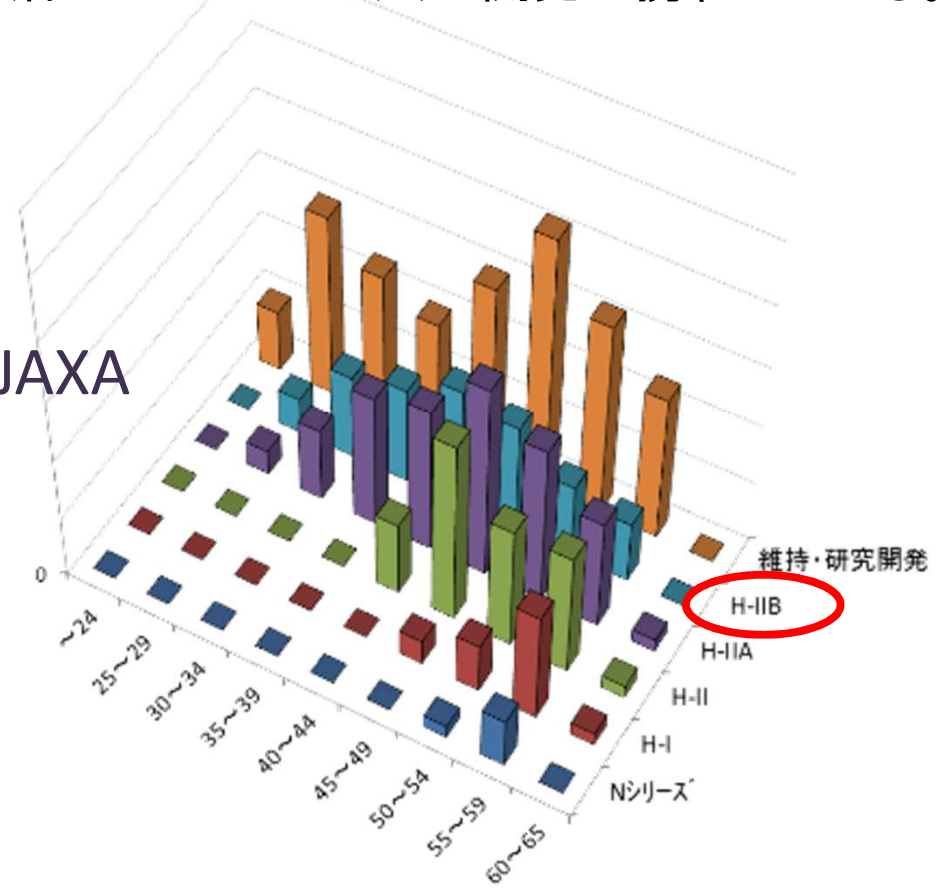
H-II Bの開発により、多くの若手技術者が既存ロケットの維持ではなく、ロケット開発の実経験を積むことができた。H-II Aロケットの開発着手は1996年であり、H-II Bがなかった場合、H3ロケットの開発着手の2014年まで約20年の開発の空白期間が空くこととなり、技術伝承がより困難になったと考えられる。

現在H-II Bの開発を経験した多くの者が、その経験を活かしつつH3ロケット開発に携わっている。

A社



JAXA

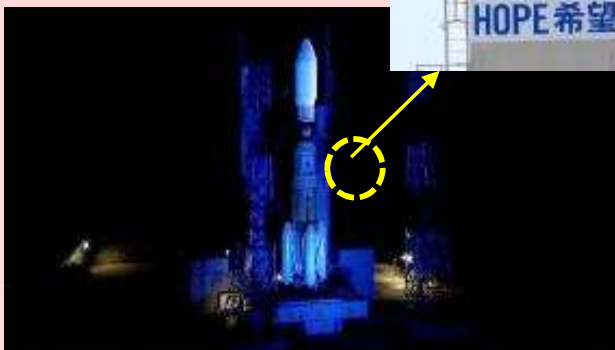


まとめ

H-ⅡBの開発・運用により、ISSの安定運用に貢献すると共に、宇宙輸送に関する技術力の向上、官民の力を結集し発揮するための開発体制の構築を含めたマネジメント力の向上、そして、将来を担う人材の育成など**貴重な知見・経験を得ることができた。**

これらをH3ロケット、そして、さらにその先の基幹ロケットの発展へ引き継ぎ、**我が国の宇宙輸送、ひいては宇宙開発利用の自立性の確保に引き続き貢献していく。**

移動発射台に
表示されたメッセージ



ブルーにライトアップされたH-ⅡB 9号機

2020年5月21日に打ち上げられたH-ⅡB9号機の
ライトアップと感謝のメッセージについて

H-ⅡBの最終号機となる9号機の打上げは、コロナ禍での打上げとなり、打上げの実施に向けて、常にも増して多くの関係者の協力を得ながらの作業となった。

これを踏まえ、地元や医療従事者等に向けた感謝を伝えるメッセージとして移動発射台にメッセージを表示するとともに、打上げ前夜、機体移動後のロケット機体を中心としてブルーにライトアップした。