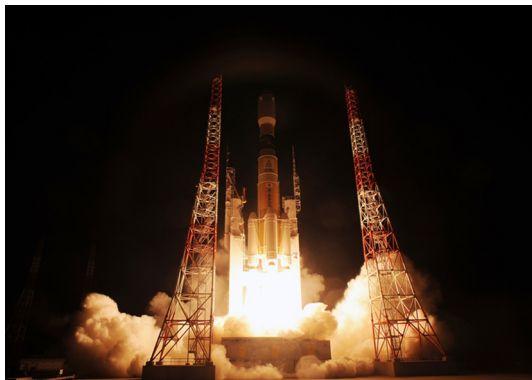


日本の基幹ロケットへの貢献(1)

— H-II A 打上げ連続成功, H-II B 打上げ輸送サービス化 —

Contribution to Japan's Flagship Launch Vehicle - part 1

- Continuously H-II A successful launch & H-II B launch service privatization -

二村 幸基*¹
Koki Nimura秋山 勝彦*²
Katsuhiko Akiyama渥美 正博*³
Masahiro Atsumi野間 崇*⁴
Takashi Noma田村 篤俊*⁵
Atsutoshi Tamura

2013年8月4日、宇宙ステーション補給機(HTV4)を搭載したH-II B ロケット4号機は、計画通り午前4時48分46秒に種子島宇宙センターから打ち上げられ、HTV4を所定の軌道に投入し、打上げは成功した。今回の打上げでH-II A/B ロケットは20機連続で成功した。またH-II B ロケットが打上げ輸送サービス化となった初号機であり、この面でも円滑に業務を遂行した。本稿では、H-II A/B ロケットの信頼性を支える活動の一端を紹介する。

1. はじめに

日本の基幹ロケットであるH-II A/B ロケットのファミリーを図1に、打上げ実績を表1に示す。

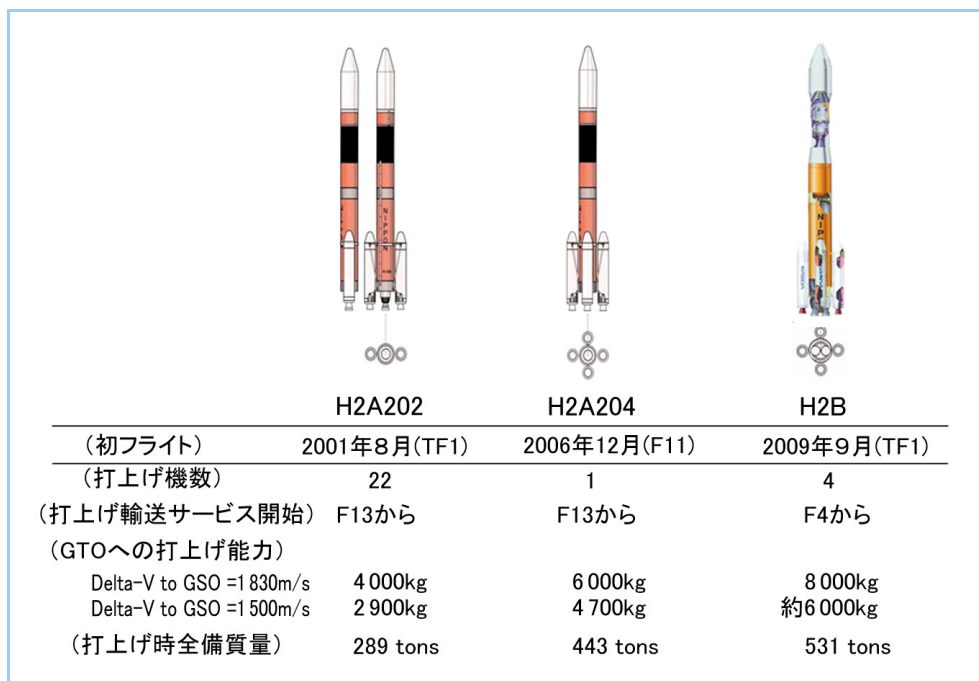


図1 H-II A/B ロケットファミリー

*1 防衛宇宙ドメイン宇宙事業部 副事業部長

*2 防衛宇宙ドメイン宇宙事業部 主席チーム統括

*3 防衛宇宙ドメイン宇宙事業部宇宙システム技術部 部長

*4 防衛宇宙ドメイン宇宙事業部宇宙システム技術部装備設計課 主席

*5 防衛宇宙ドメイン宇宙事業部宇宙システム技術部 次長

表1 H-IIA/B 打上げ実績

成功率 H-IIA 及び H-IIB:96.2%

機種	号機	打上げ日	ミッション	投入軌道	備考
H-IIA	TF1	2001.8.29	LRE	GTO	成功
H-IIA	TF2	2002.2.4	MDS-1/DASH	GTO	成功
H-IIA	F3	2002.9.10	DRTS/USERS	GTO/LEO	成功 On Time
H-IIA	F4	2002.12.14	ADEOS-II/小型衛星	SSO	成功 On Time
H-IIA	F5	2003.3.28	Classified	-	成功 On Time
H-IIA	F6	2003.11.29	Classified	-	失敗
H-IIA	F7	2005.2.26	MTSAT-1R	GTO	成功 On Time
H-IIA	F8	2006.1.24	ALOS	SSO	成功
H-IIA	F9	2006.2.18	MTSAT-2	GTO	成功 On Time
H-IIA	F10	2006.9.11	Classified	-	成功 On Time
H-IIA	F11	2006.12.18	ETS-VIII	GTO	成功 On Time
H-IIA	F12	2007.2.24	Classified	-	成功 On Time
H-IIA	F13	2007.9.14	SELENE	月遷移軌道	成功 On Time
H-IIA	F14	2008.2.23	WINDS	GTO	成功
H-IIA	F15	2009.1.23	GOSAT/小型衛星(7基)	SSO	成功 On Time
H-IIB	TF1	2009.9.11	HTV1	ISS	成功 On Time
H-IIA	F16	2009.11.28	Classified	-	成功 On Time
H-IIA	F17	2010.5.21	PLANET-C/IKAROS 他	金星遷移軌道	成功 On Time
H-IIA	F18	2010.9.11	QZS	準天頂軌道	成功 On Time
H-IIB	F2	2011.1.22	HTV2	ISS	成功 On Time
H-IIA	F19	2011.9.23	Classified	-	成功
H-IIA	F20	2011.12.12	Classified	-	成功 On Time
H-IIA	F21	2012.5.18	KOMPSAT-3/GCOM-W1 他	SSO	成功 On Time
H-IIB	F3	2012.7.21	HTV3	ISS	成功 On Time
H-IIA	F22	2013.1.27	Classified	-	成功 On Time
H-IIB	F4	2013.8.4	HTV4	ISS	成功 On Time

・MHIによる打上げ
輸送サービス
H-IIA:F13以降
H-IIB:F4以降

GTO:静止遷移軌道
SSO:太陽同期軌道
LEO:地球周回低軌道
ISS:国際宇宙ステーション
に向かうHTV軌道

H-IIA ロケット6号機以外の 25 機で打上げが成功している。各国のロケットの打上げ成功率と比較した結果を図2に示す。H-IIA ロケットの成功率は世界トップレベルの 95.5%に達した。また、当初計画した時刻に打ち上げた割合を示すオンタイム打上げ率の推移を図3に示す。最近4年間は 92%と高い割合であり、かつ 2000 年以降上昇し続けている。更に、種子島射場で発生した不適合件数を図4に示す。製品としての品質が向上し不適合件数が減少していることが分かる。ここでは、H-IIA/B ロケットの高い信頼性を支える活動について紹介する。

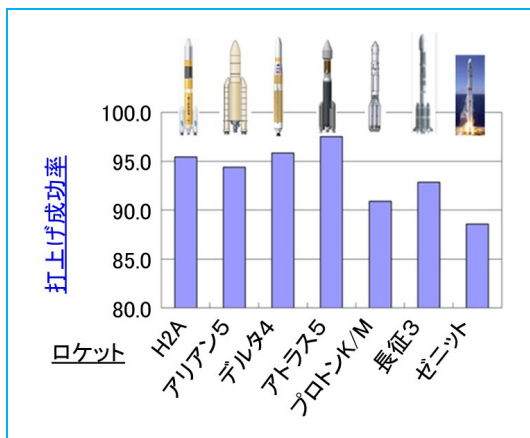


図2 打上げ成功率の比較

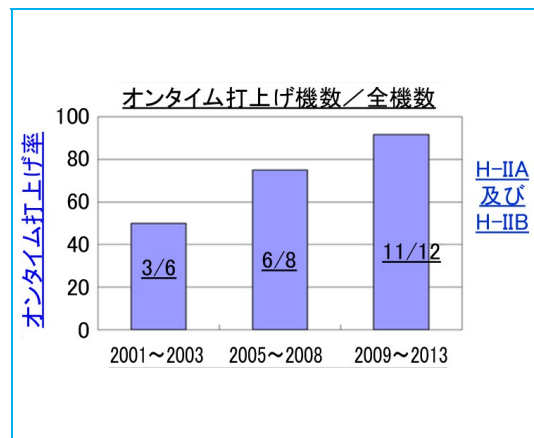


図3 オンタイム打上げ率

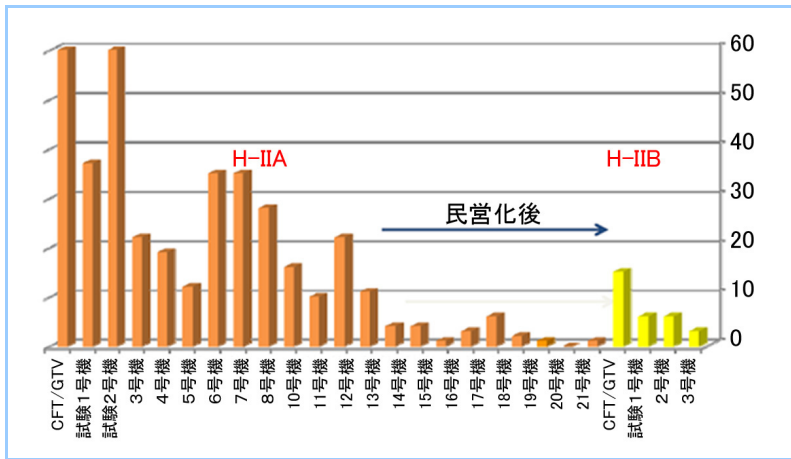


図4 種子島射場発生不適合数

2. 製品の信頼性を支える活動

製品の信頼性を考える上で、我々が重要視している活動が2つある。データトレンド評価活動(2σ評価)と品質評価活動である。

2.1 データトレンド評価活動

データトレンド評価活動の概要を図5に示す。機器メーカー生産時～当社工場(名航)～種子島射場までの機能点検データを時系列で整理し、データが【過去実績値の平均値±2σのばらつき】範囲内であるかを評価する活動である。通常、【平均値±2σのばらつき】の値は規定値(SPEC値)よりも小さい値である。本活動では、規定値内であっても【平均値±2σのばらつき】を外れる場合には、工程内に何らかの変化が生じたと想定し原因と影響を徹底的に追及している。同じ点検データの各号機間のばらつきも評価の対象としている。この活動を地道に続けることが不適合の芽の早期発見につながると考えている。

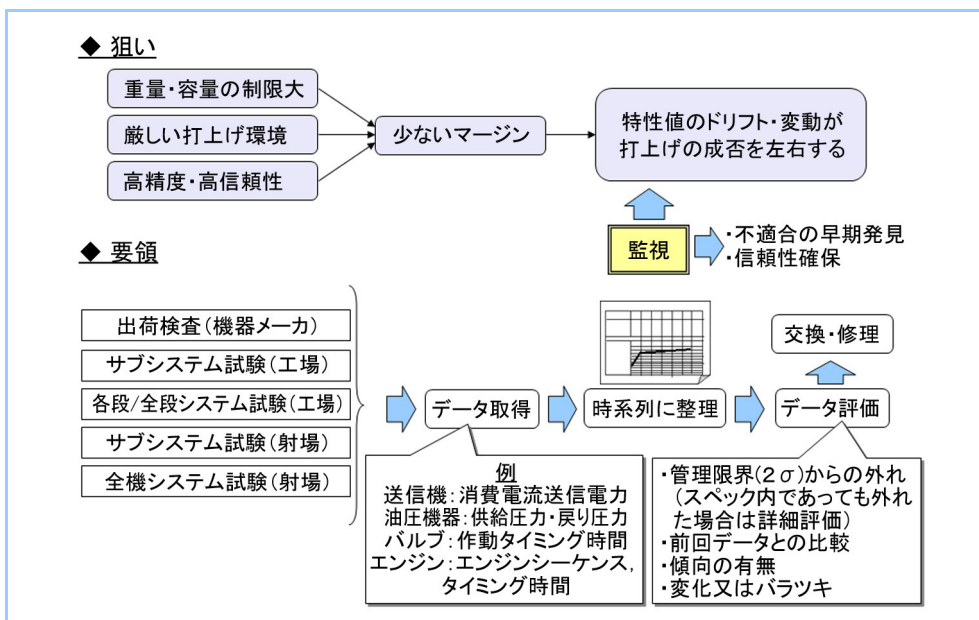


図5 データトレンド評価活動(2σ評価)概要

H-IIA ロケットでは、約 5000 点のデータをトレンド評価している。これまでに、トレンド評価で2σのばらつきを超えたため原因調査した結果、設計あるいは製造上の不適合を発見できたケースは8ケース以上に上る。ここではそのうち2例を紹介する。

1番目の例を図6に示す。これは、2段推進系機能試験で評価しているある閉空間の圧力降下率データが対象であり、規定値内であるが【今までの号機の平均値+2σばらつき】を上回った

一例である。調査の結果、圧力低下率が大きい原因は系統に用いていた逆止弁に異物がはさまり閉空間のガスが外部に漏れたためと判明した。異物の発生原因は逆止弁上流の手動弁の設計不良であった。直ちに手動弁の設計変更着手し、対策品を製作、交換し無事打上げに供した。

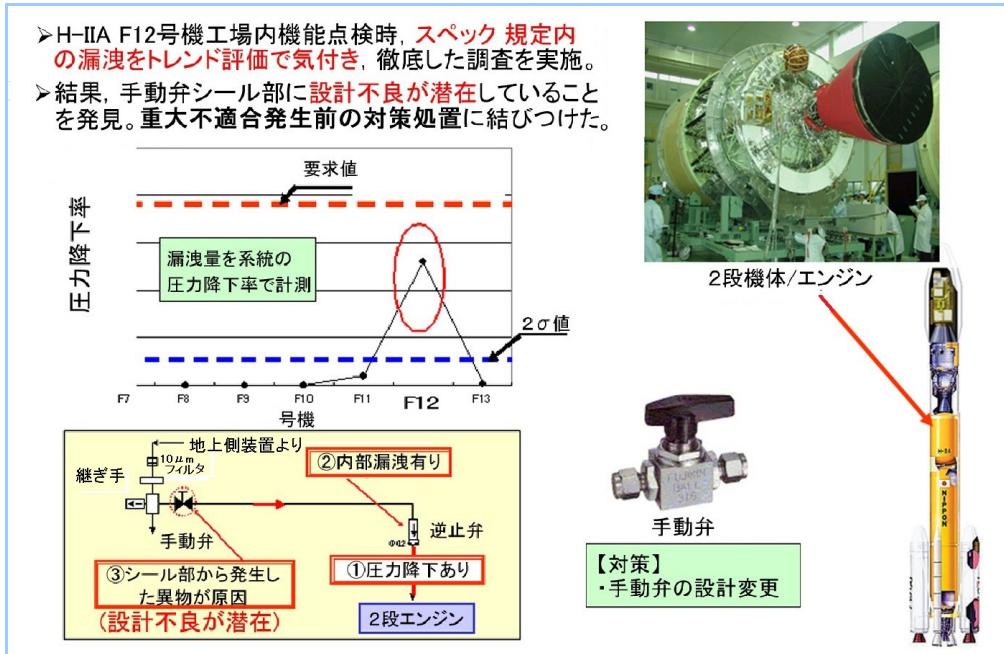


図6 データトレンド評価活動 成果の例(1)

2番目の例を図7に示す。これはエンジンバルブの作動タイミングが5%遅くなっていたため原因調査したところ、設備から機体へ供給されるバルブを駆動するヘリウムガスに約3%の窒素ガスが混入していたためと判明した例である。

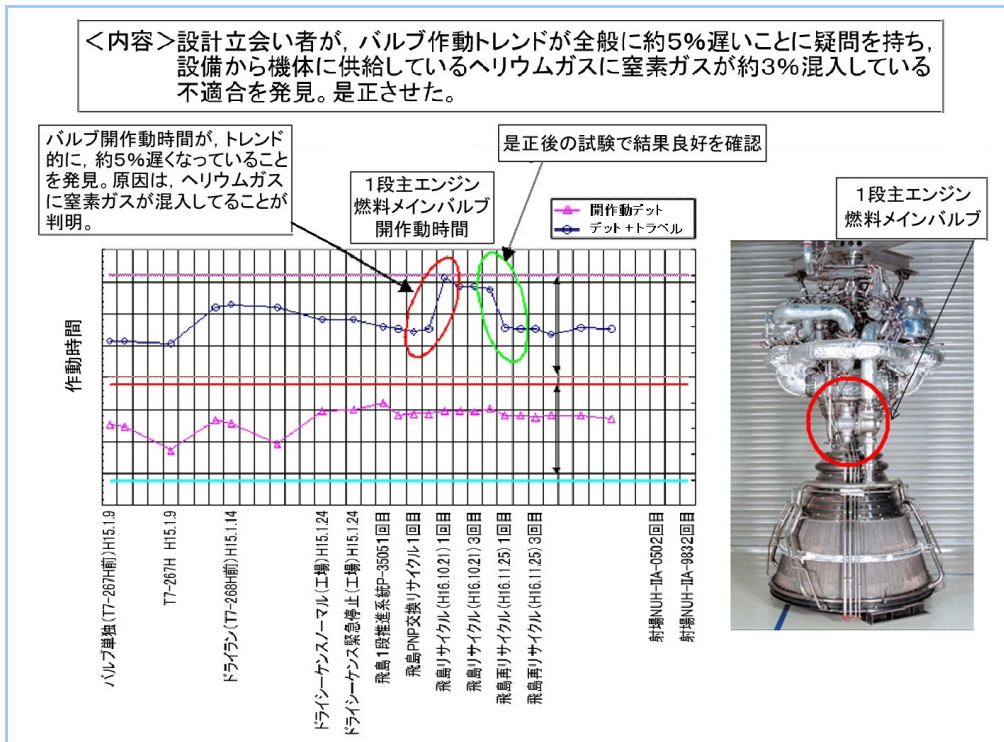


図7 データトレンド評価活動 成果の例(2)

2.2 品質評価活動

品質評価活動の概要を図8に示す。通常製品の品質は、技術部門が決定した図面/SPEC に基づき、製造/品質保証部門の製造/検査により保証される。ロケットでも同様であるが、H-IIA/Bロケットでは H-IIA ロケット6号機の失敗以降、品質評価活動という技術部門中心の活動を続け

てきた。品質評価活動は、上記の通常工程とは別に、各系統の責任者が設計内容～製造条件～検査結果～打上げ条件までロケットの品質を網羅的に再評価する活動である。評価の主な視点は以下の3点である。

- ① 設計/工程変更内容確認
- ② データのトレンド変化傾向確認
- ③ 不適合の水平展開状況確認

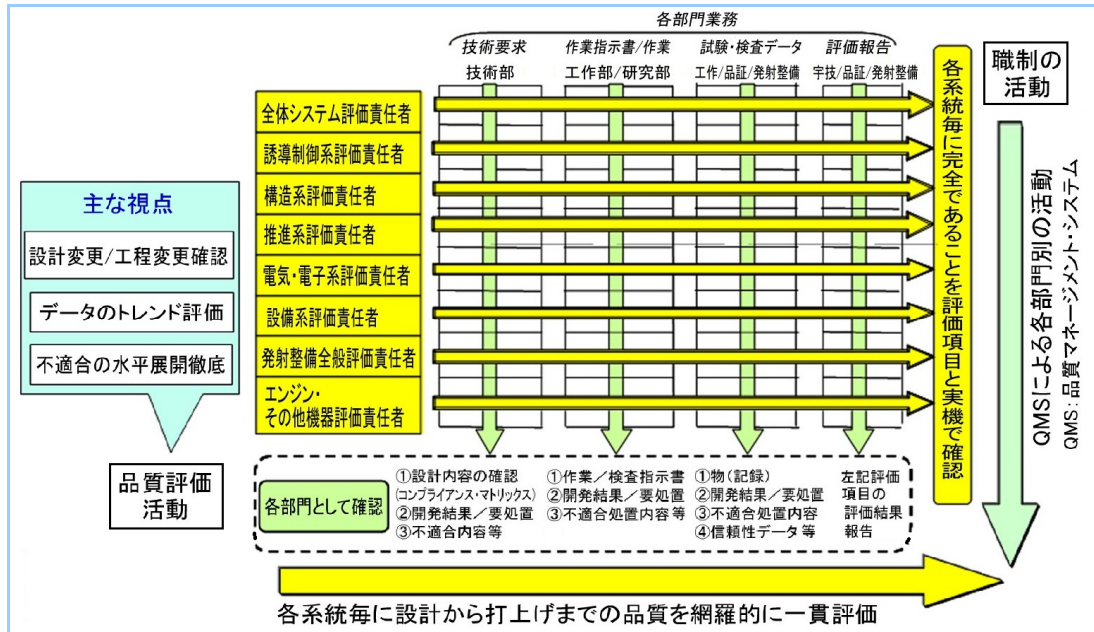


図8 品質評価活動 概要

不適合は変更起因することが多い。我々は様々な変更点に対する評価に最も注意を払っており、ここでは①の視点について紹介する。

H-II A ロケットは 22 機、H-II B は 4 機を打上げている。H-II A/B ロケットは既に設計的には枯れていて同じ設計で淡々と製造したものを淡々と打上げているイメージがある。しかし、実際には最近打ち上げた H-II A ロケット 22 号機、及び H-II B ロケット 4 号機でさえ以下の数の変更点がある。(細かい変更点を入れた総数)

- ・設計/工程/手順変更 : H-II A_22 号機 137 件
H-II B_4 号機 207 件
- ・製造治具変更 : H-II A_22 号機 87 件
H-II B_4 号機 118 件

再評価の際には、これらの変更点自体の妥当性だけでなく、変更がその他の系に与える影響まで丁寧にかつ定量的に評価し、打上げへの影響有無を判断している。

3. 人間の能力を育成/維持する活動

2項で製品の信頼性を支えている活動について述べた。一方、打上げ事業全体の信頼性を維持する上で人間の能力を育成/維持することは重要である。例えば、1項で紹介したオンタイム打上げ率には人間の能力が大きな影響を与える。ロケットの打上げ日には機体、設備に毎号機いろいろな不適合が発生する。オンタイムで打ち上げるためには、不適合のデータを集め、原因分析、処置を短時間で完了しなければならない。あるいは、原因が完全に明確にならない場合でも、その不適合はロケットのミッションに悪影響を与えないと短時間で判断し、打上げを決断する必要がある。その能力を持つエンジニアを育成し、維持する活動が重要と考えている。

我々はその活動として、種子島での“執行リハーサル”，また、当社名古屋大江工場での“模擬トラブル訓練”を実施している。

“執行リハーサル”は、打上げに対応するメンバーが種子島射場に集結し、打上げ日を想定した訓練を行う、まさにリハーサルである。実際に打上げ時データを見るメンバーが打上げ管制室に入りリハーサルは開始される。そこで、周到に準備された“模擬トラブル”がメンバーに提示される。この“模擬トラブル”に対してトラブルシュートを行い、原因探究、打上げに向けての処置を限られた時間の中で提案、報告する訓練である。この中で、短時間で適切な判断をするために必要な能力を培っている。実際の“執行リハーサル”でのトラブルシュート風景を図9に示す。“執行リハーサル”は毎号機1回行う訓練である。これだけでは能力育成、維持には不十分なので、我々は名古屋大江工場でも“模擬トラブル訓練”と称して同様の訓練を行っている。これは若手エンジニアの教育を兼ねている。



図9 “執行リハーサル”での管制室内トラブルシュート風景

最も最近のロケット開発は、H-II B 開発で4年前(2009年)に完了した。H-II A ロケット開発は2001年に完了である。H-II A/B ロケットはH-II ロケットを土台とした改良版であり、ゼロからの開発としては1994年に完了したH-II ロケットまで遡らなければならない。上述した短時間で適切に判断する能力は、このH-II ロケット開発試験経験により当時の若手エンジニアに培われてきたが、以降初度からの開発が無い状況となっており、現在の若手は短時間で判断を求められるような緊迫した瞬間を経験できない状況にある。一方で、H-II A/B ロケットは失敗が絶対に許されない環境にあり、打上げ直前の瞬時判断に当たっては経験者が前面に立つ場面が多く、若手に大きな判断の機会が与えられることは少ない。このため、若手エンジニアの判断経験を重ねさせることを目的に、種子島の実際の打上げと同じ条件下で“模擬トラブル”を提示し、若手だけで判断するという教育訓練プログラムを実践している。この訓練を通じ、若手に自分の今の実力を認識させることができ、自ら学ぼうとする動機付けに役立たせると同時に、個々の要員のスキルレベルを把握して適材配置に役立っている。

こういった活動を地道に続け、若手を含む人間の判断力を育成/維持することが、実際に打上げ日に不適合が発生した際にも迅速な判断、決断を可能にし、結果としてオンタイム打上げ率向上につながると思っている。

4. まとめ

打上げ成功率、オンタイム打上げ率に代表される信頼性を支える活動の一端を、製品、及び人間の観点で紹介した。これらの活動は、ロケット開発、打上げに直接携わってきた先輩及びベテラン社員がどうしたら成功を続けられるのかを真剣に考え編み出してきたものである。H-II A/B ロケットは今後少なくとも7年は運用し続けるロケットであり、これらの活動を質を落とさずに更に効率的に行う仕組みの構築を進めている。H-II A/B ロケットの後継である新型基幹ロケットの開発が議論されているが、宇宙輸送機に求められるものは低コストで、かつ高い信頼性を保有することである。我々が今経験し実行している評価をいかに簡略化できるよう設計するか？が我々に与えられた次なる課題である。