

H-II B ロケット試験機プロジェクトの 事後評価

質問に対する回答

平成 22 年 10 月 1 日

宇宙航空研究開発機構

【本資料の位置付け】

本資料は、平成22年9月21日（火）に開催された第4回推進部会における H-II B ロケット試験機プロジェクトの説明に対する構成員からの質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の回答をまとめたものである。

● 評価項目 1（成果（アウトプット, アウトカム, インパクト））に関連する質問

1-1	ペイロードインタフェースの正弦波振動について	3 ページ
1-2	タンクドームの国産化による価格低下について	4 ページ
1-3	経済波及効果の詳細データについて	5 ページ

● 評価項目 2（成否の原因に対する分析）に関連する質問

2-1	新規開発技術の割合について	6 ページ
2-2	横推力について	7 ページ
2-3	衛星フェアリングについて	8 ページ

● 評価項目 3（効率性）に関連する質問

3-1	リスク評価に対するその後の運用及び成果、その評価、今後の活用について	9 ページ
3-2	開発リスク低減のための方策について	12 ページ
3-3	反省すべき点、反映すべき点について	13 ページ
3-4	官民合同の開発方式について	17 ページ
3-5	官民共同開発に関して	18 ページ
3-6	試料の解析について	19 ページ
3-7	3社共同点検体制の構築について	21 ページ

評価項目 1（成果（アウトプット, アウトカム, インパクト））に関連する質問

【質問番号 1-1】 ペイロードインタフェースの正弦波振動について

【質問内容】

正弦波振動で事前解析を上回る周波数があると記載されているが、具体的に何か？

【資料の該当箇所】

推進 4-2-2 16 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

衛星分離部で計測している加速度について、インタフェース条件は満足していますが、リフトオフ後 30～40 秒の秒時で 5.1 Hz と 8.5 Hz、リフトオフ後 46 秒～72 秒の秒時で 2 Hz 付近の周波数で解析結果を逸脱しました。

データ評価の結果、衛星分離部の加速度計取付部の局所的な振動応答を計測したものであり、HTV の環境条件としては問題ないと評価しています。

【質問番号 1-2】タンクドームの国産化による価格低下について

【質問内容】

タンクドームを国産化することにより、海外品の購入と比較して価格は下がったのか？

【資料の該当箇所】

推進4-2-2 21ページ

【回答者】三菱重工業株式会社

【回答内容】

H-II Aにおいて、タンクドーム調達に対する以下の課題があり、主に供給・品質・価格の安定を目的としてH-II Bでは国産化に踏み切りました。

海外調達する場合は、流用可能な直径5mのタンクドームは存在しないため、海外調達においても新規開発となり、現時点製品費が設定できないことから、価格比較は困難です。

なお、H-II Aの1段ドーム国産化について、検討しており、海外調達より低コスト化を図れる目途があることから、一定のコスト低減は図れているものと考えています。

- ①Export Licenseによる情報制限、EL不許可への不安。
- ②2社独占（ボーイング社（米）、マン社（独））および経営状況による価格変動。
- ③不適合発生時の迅速な対応が困難。

【質問番号 1-3】 経済波及効果の詳細データについて

【質問内容】

経済波及効果について、詳細なデータを提示すること。必要に応じて該当ページを削除する等考慮すること。

【資料の該当箇所】

推進4-2-2 25ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

経済波及効果として実施した産業連関分析については、以下の条件により分析を実施しました。

(1) 計測対象範囲

2004年～2010年までの民間負担分含むH-II B総開発費（約270億円）

(2) 複数年に亘る開発費の貨幣価値統一

GDP年度デフレーター（内閣府経済社会総合研究所）での2005年度を基準とした貨幣価値として換算。

2009年度以降の値は未公開のため、2008年の値を使用。

年度	FY2005基準
2004	101.29
2005	100.00
2006	99.25
2007	98.39
2008	97.96

(3) 業種分類

開発費を費用内訳を基に32部門に分類。分類結果概要を以下に示す。

H-IIB：一般機械、建設、化学製品、教育・研究 等

(4) 効果推計

上記データから総務省統計局が発行する「産業連関表」により経済波及効果を算出。

評価項目 2（成否の原因に対する分析）に関連する

【質問番号 2-1】新規開発技術の割合について

【質問内容】

新規開発技術は全体の中で、どれくらいの割合なのか？

【資料の該当箇所】

推進 4-2-2 28 ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

新規開発アイテムは、機体全体のシステム設計や機体全体を確認する C F T / G T V 試験等のように、新規開発アイテムと既存成果を活用した部位とが一体となった作業等があり、明確に切り分けることは困難ですが、以下の項目を新規開発アイテムとして、総開発費に対する割合で整理すると、約 4 割が新規開発アイテムのための費用と考えられます。

- ① エンジンのクラスタ化を行った推進系開発
- ② 1 段タンクおよび構造部の直径 5 m 化を行った構造系開発（製造設備の整備含む）

上記開発作業は、サブシステム設計、各種サブシステム単位での開発試験（厚肉タンクステージ燃焼試験や構造系実機大強度試験など）からなる。

【質問番号 2-2】横推力について

【質問内容】

27 頁に記されているエンジンの横推力の問題について、原因の分析と対処法を少し詳しくご説明下さい。

【資料の該当箇所】

推進 4-2-2 27 ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

<原因>

横推力（油圧アクチュエータ軸力荷重）は大気中でのエンジン起動・停止時に発生するノズル内面からの流れの剥離に起因し、エンジンが横方向に応答するために発生します。

従来から行っているエンジン単体での燃焼試験時と、1 段厚肉タンクステージ燃焼試験（B F T）では、エンジンの支持方法が異なり動特性が異なるため、結果的に横推力がエンジン試験より増加（約 1.3 倍）したと推定しています。

<対処法>

横推力は油圧アクチュエータに軸力として作用します。B F T 試験結果からデータのバラツキを考慮して最大軸力を予測すると、油圧アクチュエータの許容軸力を超える可能性が判明しました。

このため、油圧アクチュエータに対し、所定の安全率は確保したままで設計余裕を見直し、設計を変えずに許容軸力を大きくする事としました。油圧アクチュエータには机上評価が難しいと考えられるピストンシールなどの部位もあるため、要素試験として油圧インパルス試験を実施し、問題ない事を確認しました。

また、この後、C F Tにおいて、実機コンフィギュレーションでも問題ないことを確認しました。

【質問番号 2-3】 衛星フェアリングについて

【質問内容】

衛星フェアリングの開発では構造部材が非線形的に変形することが判明とすることで何度か設計変更が行なわれたようですが、一般的にも構造物が破壊する直前には非線形的に変形が増大します。衛星フェアリングの場合には何か特別な要因があったのでしょうか？また H-IIA ではペイロードに合わせて衛星フェアリングには種々のコンフィギュレーションがありますが、H-II B は1つのコンフィギュレーションですか、或いはH-II A で開発されたフェアリングも使用可能ですか？

【資料の該当箇所】

推進4-2-2 27ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

HTV用フェアリング（5S-H型）は全長が3m延長されたこと等により、H-II A の5mフェアリングに比べて荷重が約1.5倍になりました。このため、主構造であるハニカム構造のスキン板厚の増加等を行いました。分離機構についてはH-II A のものを流用可能と判断して実機大強度試験を実施しました。その結果、終局荷重付近で、分離ナット金具の破壊、分離機構（ノッチボルト）の破断等が発生しました。

分離ナット金具の破壊の原因は、試験後の再現解析・部分構造試験結果により、大きな曲げを伴う荷重負荷とともに、結合面の接触範囲が減少（局所面当たりが発生）し、ボルト孔周りの歪が非線形に増大し材料強度を超える引っ張り曲げ応力が生じたことです。

分離機構については、H-II A と共通で、その上下の構造の強度・剛性を増やしたため、相対的に分離機構部の剛性が低くなったこと、構造形態から生ずる引張荷重に伴う半径方向荷重（キックフォース）により、制限荷重の約50%以降、分離機構の変形に伴い軸力と曲げモーメントが非線形に増加し、終局荷重付近で破断することが再現解析・部分構造試験で明らかになりました。

以上に対し、試験機については、40ページの開発経緯に記した対策を実施しました。

また、H-II B ロケットで現状使用できるフェアリングはHTV用フェアリングのみです。H-II A で開発されたフェアリングを使用する場合には、H-II B の荷重条件に合わせて補強等の設計変更が必要です。

評価項目 3（効率性）に関連する

【質問番号 3-1】 リスク評価に対するその後の運用及び成果、その評価、今後の活用について

【質問内容】

開発開始段階でリスク評価が充実していることが評価されていますが、その後の運用および成果はどうでしたか。リスク評価を継続実施するにはかなりのロードが掛かると思いますが、リスク評価を充実した成果に関してはどのような評価をしていますか。また今後の開発プログラムに対しては、この経験をどのように活かしてゆくべきと考えますか？

【資料の該当箇所】

推進 4-2-1 13 ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

抽出した開発リスクに対する検証計画を定めるとともに、検証状況を把握する手法として「リスク検証表」を導入しました。

この「リスク検証表」により、各審査会において、進捗状況を報告すると共に、射場作業開始以降はホームページ上に最新情報を掲載して、進捗状況の把握を行う運用を行いました。

※「リスク検証表」(約600件)の概要については添付を参照

「リスク検証表」の運用により、抽出したリスクの検証計画の立案とその進捗が共有化できる点で効果があった。ただし、抽出できなかったリスクがあった点やリスク検証表の維持の負荷が大きかったことから、今後の開発プログラムに対しては、改善することを検討中です。

リスクベース管理



開発に伴うリスクを事前に抽出し、検証計画に基づき開発を進めることによって、短時間で信頼性の高い開発を行うことを目的として、「リスク検証表」を作成してリスク管理を実施した。

■ フォームA 「リスク検証表」(一例)

※3 AA=実機大試験により検証できる項目、A=解析のみでの検証となる項目

主要サブシステム	H2A204形態からの変更点※1 (何をどのようになぜ変更したのか) <出来るだけ詳しく正確に>	変更区分※			変更により考えられるリスク事象・問題点	H2A204形態との類似性 (実績として利用可能な事項)	(リスク事象・問題点に対する)検証計画				検証レベル評価※3	検証レベルAの項目の確実化策
		機能追加対応	環境変化対応	その他対応			解析 or 図面	要素試験 or 単体試験	実機大試験 (BFT、システム試験、 組合せ試験)	実機検査 or GTV/CFT		
コア機体 構造系 1段	LOX/LH2タンク	タンクドーム(スピニング成形)の国产化	● 5m 径		強度不足による破壊	・基本構造様式に変更なし	強度剛性解析 ・FEM解析によりドーム各部の応力を導出し、許容応力との比較により全ての部位の強度余裕が正であることを検証する。 →結果: 構造系001 強度解析の結果、ドーム部は強度余裕を確保できており問題なし。 JX-PSPC-160501 H-IIBロケット機体開発試験-構造系- 4.3.1.3(1)項、4.3.1.4(1)項	タンクドーム工作試験 ・工作試験にて製造した供試体から切り出した試験片により機械的特性を取得し、強度要求を満足することを検証する。 →結果: 構造系001 工作試験供試体からのT/P試験により、ドームが要求される機械特性を有することを確認。 JX-PSPC-160501 H-IIBロケット機体開発試験-構造系- 4.3.1.2項	耐圧・強度試験(QT) ・耐圧・強度試験で計測したドーム各部の歪を解析結果と比較評価し、強度解析モデル/手法の妥当性を評価する。 →結果: 構造系001 LOXタンクQT結果良好。今後LH2タンクQTを経て最終評価予定。 JX-PSPC-160501 H-IIBロケット機体開発試験-構造系- 4.3.1.3(1)(3)項、 4.3.1.4(1)(3)項	NDI ・素材段階でのUTおよびドーム成形後のPTにより有害な欠陥のないことを確認する。 ・成形後のドーム板厚および形状が要求を満足することを確認する。 耐圧(ブルーフ)・漏洩試験 ・制限圧力×ブルーフファクタの圧力で耐圧することを確認 →結果: 構造系001 実機検査として形状、NDIは良好。今後ブルーフ試験にて最終評価予定。	AA	-

変更点毎に、変更の理由とそれによって考えるリスク事象を抽出

リスク事象に対するフェーズ毎の検証計画を事前に整理(契約に対応する項目があることも明記)

色分けにより作業進捗管理にも使用

リスクベース管理

リスク検証表及び検証状況は、適宜維持改訂するとともに、進捗状況はグラフ化しJAXA社内ホームページで見える化を図った。<https://www.in-jaxa/fw/dfw/iwlx/h-2b/>

■ JAXAホームページでの表示例(開発中の進捗状況)



【質問番号 3-2】 開発リスク低減のための方策について

【質問内容】

開発リスクを低減するために行ったもっとも重要な方策についてお示し下さい。

【資料の該当箇所】

【回答者】 J A X A

【回答内容】

開発リスクを低減するために、以下の方策が重要であったと考えています。

- ① H-I I Aの既存技術を最大限活用し、新規開発要素を1段エンジンのクラスタ化とタンク直径の大型化に絞り込んだこと。
- ② 新規開発要素であるクラスタ推進系開発の中で、厚肉タンクステージ燃焼試験（B F T）において、可能な限り実機を模擬した形態で、機器のばらつきを考慮した試験とするなどの事前検証の充実。
- ③ 他事業（基幹ロケットの維持発展・ロケットインフラの維持）で新規整備する地上設備「打上げ制御システム」をC F Tに間に合わせたこと。

【質問番号 3-3】 反省すべき点、反映すべき点について

【質問内容】

開発プログラムはほぼスムーズに進んだと理解しますが、反省すべき点或いは今後の開発プロジェクトに反映すべき Lesson-Learned があったら説明して下さい。

【資料の該当箇所】

【回答者】 J A X A

【回答内容】

Lessons-Learnedとして、システムエンジニアリング推進室が取りまとめている「知識共有システム」にH-II B開発に関わる教訓を登録し、J A X A 全社で共有化を図ると共に、「H-II B ロケット試験機 開発報告書」を作成し、開発経緯、開発結果、教訓をまとめ、以降の開発に対して知見・経験の有形化を実施しました。

知識共有システムに登録した教訓（7件）の一部を以下に示します。

	教訓	内容
1	メカニズムが分からない事象をそのままにしない	大型フェアリングの開発において、強度試験で終極荷重条件未達成の不適合が発生した。 打上げまでのスケジュールプレッシャーの下で、運用制限をかけて、そのまま使用することも考えられたが、自分たちの納得できないことをそのままにすることはできないと考え、メカニズムを把握でき、解析にのる構造になるまで設計改善を実施した。これにより打上げを成功させることが出来た。
2	問題解決のキーとなる責任者同士のコミュニケーションがメーカーの現場を動かす鍵	製造フェーズで3ヵ月程度のスケジュール遅延が生じたが、スケジュール挽回のためにJ A X A /メーカーでの週例会を行い、キーとなる製造を担うメーカー工作部のロケット責任者にも出席してもらい、両者が協力してどうすれば間に合わせる事が出来るかのコミュニケーションを密に取った。 それが功を奏したのかメーカー工作部の意欲、団結力、パフォーマンスが目を見張るほど高く、スケジュールの遅れを取り戻すことが出来た。

KAD-10010

社外開示制限

H-II B ロケット試験機開発報告書



平成22年7月

独立行政法人

宇宙航空研究開発機構

宇宙輸送ミッション本部
H-II B プロジェクトチーム

目 次 (1/2)

第1章	プロジェクト概要	1
1.1	H-IIBロケット概要	1
1.2	開発経緯	2
1.3	開発の目的と範囲	3
1.4	開発方針	8
1.5	開発計画	9
1.6	開発体制	11
1.7	開発費	17
1.8	開発スケジュール	19
第2章	システム設計概要	
2.1	システム選定	21
2.2	HTVインタフェース	43
2.3	システム設計解析	64
2.4	飛行安全	113
2.5	システム安全	124
第3章	サブシステム開発概要	
3.1	構造系	132
3.2	推進系	264
3.3	アビオニクス系	344
3.4	ペイロードインタフェース系	371
3.5	固体ロケットブースタ系	414
第4章	射点設備開発概要	
4.1	射点施設設備システム	422
4.2	打上げ作業管理システム	464
4.3	飛行安全管理システム	469
4.4	射場系システム	474
第5章	総合試験(CFT/GTV)	
5.1	試験目的	481
5.2	試験コンフィギュレーション	481
5.3	実施体制	482
5.4	スケジュール	483
5.5	試験の成立条件	483
5.6	試験結果	483
5.7	発生不具合のまとめ	495
5.8	改善事項	495

目 次 (2/2)

第6章	打上げ	497
6.1	射場整備作業	497
6.2	発射整備作業	501
6.3	カウントダウンフロー	504
6.4	技術管理	525
6.5	発生不具合のまとめ	525
6.6	改善事項	526
第7章	飛行後評価	
7.1	飛行結果概要	527
7.2	飛行後評価	527
7.3	技術課題	527
第8章	管理計画	
8.1	資金管理	534
8.2	進行管理	537
8.3	コンフィギュレーション管理	538
8.4	信頼性管理	538
8.5	品質管理	539
8.6	リスク管理	540
8.7	安全管理	540
8.8	資産管理	541
8.9	リスク検証表	541
8.10	対外対応	541
参考1	H-IIAロケット改良開発の経緯	547
参考2	H-IIA増強型ロケットについて	561
まとめ		563
付録1	執筆担当一覧	
付録2	略語集	
付録3	開発年表	
付録4	記録写真	

【質問番号 3-4】官民合同の開発方式について

【質問内容】

新しい試みである官民合同の開発方式は上手く運営されたようですが、今後の作業体制は明確になっていますか？

- ・ 基本設計までは JAXA の責任で行なわれ、詳細設計以降はプライムメーカーの責任で設計が行なわれているようですが、その受け渡し時の文書体系と今後の維持
- ・ 今後の JAXA - プライムメーカー間の文書体系とその維持ルール（設計変更および重要不具合の取扱い）
- ・ 2号機以降の打上げ作業体制（H-II A の場合と同様か？）

【資料の該当箇所】

推進4-2-2 38、39ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

- ・ 基本設計の結果は、プライムメーカーの提案を元に J A X A が制定したシステム開発仕様書に集約され、本仕様書が詳細設計段階への受け渡し文書に該当します。システム開発仕様書は機体の系統ごとに6つに分かれた文書となっています。
試験機を含む製造プライム契約で基本設計に戻る変更が生じた場合には、J A X A の文書変更ルールに従ってシステム開発仕様書の維持を行っています。打上げ輸送サービス契約化以降のシステム開発仕様書の維持については、輸送サービス契約化協議の中で必要性も含めて検討中です。
- ・ 試験機を含む製造プライム契約の設計変更や不具合への対応は、基本的に製造／詳細設計起因は M H I 責、基本設計起因は J A X A 責にて行っています。打上げ輸送サービス契約化以降に必要な、設計変更・不具合時の扱いについて定める J A X A - プライムメーカー間の文書内容は、現在協議中です。
- ・ 2号機など製造プライム契約での打上げ作業体制は、試験機と同様に J A X A 指揮による打上げ作業体制となります。今後、打上げ輸送サービス契約化された後には H - II A と同様な体制で打上げていく計画です。

【質問番号 3-5】官民共同開発に関して

【質問内容】

36 頁の分析結果の中に、「既存のシステムをベースにした開発では・・・責任の一元化という点では不完全・・・」とあります。部会で質疑がありましたが、あらためて、この記述の意味を少し具体的にご説明いただけませんか。今後への対処方針もお示し下さい。

【資料の該当箇所】

推進4-2-2 36ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

H-II Bの開発においては、H-II Aの資産を最大限活用しております。このため、機器の多くが、H-II Aの開発時に、JAXAが当該開発メーカーと直接開発を進めたものをベースにしています。このため、H-II B開発時には、その詳細な設計仕様はノウハウとしてMHIに対しては開示されず、これら機器については、MHIはシステムインテグレーションの中で、購入品としてインタフェース仕様の確認を進めた形になっております。このように、海外機器の購入の場合と同様、不具合が発生した場合などにおいて、MHIはその細部の不具合解析を行うことができず、デザインオーソリティを持つJAXAが関与することが必要な状況が残っており、完全な意味での「責任の一元化」が難しいということになっております。

今後の開発に対しては、今回の教訓を踏まえて別途検討する計画です。

【質問番号 3-6】 独立評価組織について

【質問内容】

34 頁に「理事長直轄の独立評価組織を設置」とあります。

- ・プロジェクトが、実際に、この組織からどのような評価を受けたか、経過と内容の概略をお示し下さい。
- ・そこでは、民の分担分はどのように評価されたのでしょうか。

【資料の該当箇所】

推進4-2-2 34 ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

(評価経緯)

平成18年5月のJAXA理事会議において、プロジェクト資金の超過について課題として識別され、チーフエンジニアオフィス（理事長直轄の独立評価組織）が評価を実施することとされました。

(評価手法)

チーフエンジニアオフィスが、プロジェクトチームとの間で情報のやり取り、ヒアリング等を実施し、「追加経費の妥当性評価」、「今後想定されるリスク評価」を実施しました。

(評価の視点)

- ・これまでの開発経緯に対する評価
- ・今後必要とされる経費算定根拠の評価
- ・今後のリスク考慮と判定プロセスの評価

(評価結果概要)

①開発経費の妥当性

- ・プロジェクト立上げに対する資金制約の中で、ステージ燃焼試験計画（試験回数）等コスト削減計画に関する是非が十分議論されないままに開発着手した。開発着手後、コスト削減計画を変更し、コストマージンがないまま計画が進行したことが大きなコスト超過要因である。
- ・現状（平成18年9月）は、新規開発要素（国産タンクドーム成型加工等）の要素開発試験が完了し、また地上設備改修の仕様・契約内容が確定している段階である。
- ・コストも最新の仕様に基づいてメーカーとの一次調整が終了していることから、開発に必要な経費は妥当である。

②今後想定されるリスクとその対応の考え方

- ・現在開発の中盤にさしかかったところであり、燃焼試験における不具合、特別点検

など今後いくつかの項目でリスクが顕在化する可能性がある。

- ・これに対応する経費については開発費には含まれていないのでリスク対応が必要である。

なお、民の分担分（製造設備の整備）についても、上記評価の中で説明を行い、評価を受けました。

【質問番号 3-7】 3社共同点検体制の構築について

【質問内容】

JAXA/MHI/KHI の3社共同点検体制の構築についてもっと詳しく説明して下さい。

【資料の該当箇所】

【回答者】 J A X A

【回答内容】

フェアリング開発は、H-II A 増強型対応として詳細設計審査まで完了していたことを踏まえ、H-II B用フェアリングは、引き続きJAXAとKHIで開発を実施しました。

その後、フェアリング不適合の発生に伴い、より確実に開発を進めるため、点検作業に、構造設計の専門家としてMHIの支援を受けたものです。