

**資料 46-2-2**

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  
調査・安全小委員会  
(第46回) R5.5.19

**イプシロンロケット6号機打上げ失敗の原因究明に係る  
調査・安全小委員会 報告書（案）**

令和5年5月〇〇日  
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  
調査・安全小委員会

## 目次

1. 調査審議の経緯	1
2. 調査審議の概要	2
(1) 原因究明作業の流れ	2
(2) 直接要因	3
(3) 直接要因対策及び水平展開	3
(4) 背後要因	4
(5) 背後要因対策及び水平展開	5
(6) 今後の対策に向けた留意事項	6
3. まとめ	6

## 1. 調査審議の経緯

イプシロンロケット6号機（以下「イプシロン6号機」という）は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という）により、令和4（2022）年10月12日9時50分43秒（日本標準時、以下同じ）、JAXA内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられたが、2/3段分離可否判断の時点で目標姿勢からずれ、地球を周回する軌道に投入できないとの判断から、9時57分11秒にロケットに指令破壊信号が送出され、打上げは失敗した。

これを受け、同年10月13日、宇宙開発利用部会及び調査・安全小委員会は、イプシロン6号機打上げ結果についてJAXAから報告を受け調査審議を開始し、以降、調査・安全小委員会及び宇宙開発利用に係る調査・安全有識者会合<sup>1</sup>（以下、両会合をあわせて「小委員会」という）は、計8回にわたり、JAXAが機体システムメーカーやサブシステムメーカー、部品・コンポーネント供給業者とともに行った、フライトデータに基づく事象の把握、フライトデータの分析、製造・検査データの調査・確認、追加の解析、地上検証試験の結果等を基に、専門的見地からの調査検討を実施した。最終的に、JAXAから提案された直接要因及び背後要因、並びにそれらの要因への対策の妥当性について小委員会として確認し、背後要因対策及び水平展開については、JAXAと委員との意見交換も通じて再発防止策が策定されるに至った。また、この間、宇宙開発利用部会においても、JAXAから適時に原因調査状況報告を受けた。

小委員会の開催状況は以下の通りである。

- (1) 令和4年10月13日 第40回小委員会（第69回宇宙開発利用部会と合同開催）
  - ・打上げ結果についての確認を行った。
- (2) 令和4年10月18日 第41回小委員会
  - ・フライトデータに基づき、第2段ガスジェット装置（RCS）を原因箇所として特定し、要因の絞り込み状況を確認した。
- (3) 令和4年10月28日 第42回小委員会
  - ・フライトデータ及び製造・検査データに基づき、要因の更なる絞り込み状況を確認した。
- (4) 令和4年11月11日 第43回小委員会
  - ・フライトデータ及び製造・検査データに基づき、要因を「ダイアフラム」又は「推進薬遮断弁（パイロ弁）」に絞り込んだ状況を確認した。
  - ・この段階で一旦水平展開を行い、H3ロケットについては、H-IIAロケットのパイロ弁と交換することで懸念が排除されること、H-IIAロケットについては懸念が排除されることについて、妥当であると評価した。
- (5) 令和4年12月16日 第44回小委員会
  - ・推定故障シナリオを確認した。

---

<sup>1</sup> 令和5年2月14日に第11期小委員会の設置期間が終了し、同年4月28日に第12期小委員会を設置されるまでの間、文部科学省研究開発局で開催した有識者会議

(6) 令和5年2月3日 第45回小委員会

- ・追加検証試験結果等に基づき、故障シナリオを特定した。

(7) 令和5年4月18日 宇宙開発利用に係る調査・安全有識者会合

- ・追加検証試験結果等に基づき、不具合の直接要因を「ダイヤフラムシール部からの漏洩」に特定するとともに、直接要因のイプシロンSロケットへの是正処置及び衛星への水平展開は妥当であると評価した。また、背後要因分析及び対策の方向性について検討を行った。

(8) 令和5年5月19日 第46回小委員会

- ・背後要因分析及び対策（水平展開含む）は妥当であると評価するとともに、報告書を取りまとめた。

## 2. 調査審議の概要

小委員会での調査検討を通じて整理されたJAXAの原因究明結果及び対策内容の要約は、以下の通りである。（詳細は、別添「イプシロンロケット6号機打上げ失敗の原因究明に係る報告書」（JAXAイプシロンロケット6号機原因究明チーム）を参照。）

### (1) 原因究明作業の流れ

- ・イプシロン6号機では、2系統ある2段RCSの1系統（+Y軸側）の下流配管圧力がタンク圧力まで上昇せず、RCSとして機能しなかったため目標姿勢からずれ、地球を周回する所定の軌道に衛星を投入できないと判断された。これについて、フライトデータに基づく事象把握を行った結果、1段モータ燃焼中の推力方向制御（TV C制御）及び固体モータサイドジェット（SMS J）による姿勢制御は正常に行われ、2段モータ燃焼中のTV C制御も正常であったが、その後、RCSによる制御のみになった際に、3軸全ての姿勢角誤差がRCS制御終了まで拡大し続けたことが明らかとなった（2段燃焼終了後姿勢異常）。
- ・2段燃焼終了後姿勢異常に対してFTA<sup>2</sup>（Fault Tree Analysis）を実施した結果、2段RCSの片方が機能していない（片方の+Y軸側の下流配管圧力がタンク圧力まで上昇していない）ことが原因であると特定した（原因箇所の特定）。
- ・2段RCS（+Y軸側）異常に対する詳細なFTAを展開し、①計測異常、②信号系統の異常、③パイロ弁の開動作不良、④推進薬供給配管の閉塞の4つの要因に分解した上で、フライトデータ及び製造・検査データに基づき、①及び②は要因ではないと判断した。
- ・フライトデータで取得した「+Y軸側下流配管圧力」において、パイロ弁点火信号送出後に1分解能の圧力上昇及び推進薬弁開動作中の圧力保持が見られたことの検証に基づき、「③パイロ弁の開動作不良」は要因ではないと判断し、追加検証試験を実施した結果、「④推進薬供給配管の閉塞」における故障シナリオを「ダイヤフラムがタンク出口（液ポート）に近接し、パイロ弁

<sup>2</sup> 事象から始め、それにつながる因果関係を洗い出し、原因を特定する解析手法

開動作時にダイアフラムが液ポートに引き込まれて閉塞した。閉塞までの間に推進薬がわずかにパイロ弁下流に入り込んだ。」と特定した。

- ・更なる追加検証試験等を実施し、イプシロン6号機打上げ失敗の直接要因を「ダイアフラムシール部からの漏洩」と特定した。その上で、なぜなぜ分析<sup>3</sup>を実施した結果、背後要因は「フライト実績品に対する確認不足」と識別した。

## (2) 直接要因

- ・イプシロン6号機打上げ失敗の直接要因は、2段RCSのダイアフラム式タンクにおける、「ダイアフラムシール部からの漏洩」と特定した。このダイアフラム式タンクは、イプシロンロケット強化型（2号機以降）から採用された推進薬タンクである。
- ・ダイアフラムをタンクに組み込む際に、ダイアフラムがリング間隙間（赤道リングとダイアフラム固定リングの隙間）に噛み込み、その後の溶接工程等でその噛み込んだ部分が破断・損傷すると、推進薬がタンク内で液側からガス側に漏洩する。この場合、ダイアフラムが液ポートに覆い被さり、パイロ弁開動作時にダイアフラムにより閉塞する可能性があることを確認した。
- ・また、追加検証試験等により、製造時の検査では漏洩を検出できない可能性があることを確認した。
- ・これらにより、打上げ失敗の直接要因となる故障シナリオが説明されることとなった。

## (3) 直接要因対策及び水平展開

### ① イプシロンSロケットへの是正処置

- ・現在開発中のイプシロンSロケットに対する開発リスクを抑えつつ信頼性を確保するため、大幅な設計変更なく適用可能な、以下の2案の対策を検討してトレードオフを実施し、イプシロンSロケットの設計に反映する。

【案1】現タンク設計変更案（ダイアフラム組込時にシール部の噛み込みが発生しない設計・製造工程、シール部からの漏洩を確実に検知する方法等）を検討するとともに、充填推進薬量増加などダイアフラムによる閉塞リスクを排除する対策を検討した上で、タンクを再開発。）

【案2】H-IIAタンク活用案（H-IIAロケットのダイアフラム式タンクは、ダイアフラム組込時にシール部の噛み込みが発生しない設計・製造工程となっており、タンク液ポートに閉塞防止用の機構を有していることから、当該タンクへの置き換えに伴う設計変更を実施。）

### ② 衛星への水平展開

- ・ダイアフラム式タンクを採用している一部のJAXA衛星のうち、イプシロン6号機と類似設計であるX線分光撮像衛星（XRISM）及び小型月着陸実証機（SLIM）について水平展開（影響評価）を実施した。

<sup>3</sup> 「なぜこの事象が起きたのか」という問いかけを繰り返すことで、本当の原因を探っていく分析手法

- ・XRISMの推進システムに搭載しているタンク・ダイアフラムはイプシロン6号機に搭載しているものと同一のものであるが、実機の疑似推薬（水）を用いた振動試験結果等を基に技術評価を実施し、問題ないことを確認した。
- ・SLIMの推進システムに搭載しているタンク・ダイアフラムはイプシロン6号機に搭載しているものとサイズ、形状が異なるが、シール部やダイアフラム材料等の一部の設計が類似している。このため、実機のダイアフラム組込後のリーク試験結果等を基に技術評価を実施し、問題ないことを確認した。

### ③ H3ロケット及びH-IIAロケットへの水平展開

- ・H3ロケット及びH-IIAロケットに関しては、令和4（2022）年度の打上げスケジュールを考慮し、直接要因を「ダイアフラム」又は「パイロ弁」のいずれかに絞り込んでいた段階で水平展開を行った。
- ・H3ロケットに関し、ダイアフラムについては、液ポート閉塞の可能性はなく、推進薬のリークやダイアフラムの破損、脱落が発生しないよう管理し、製造異常も確実にスクリーニングできるプロセスとなっていることから、懸念は排除されると評価した。一方、パイロ弁については、H3ロケットとイプシロンロケットとで製品としては異なるものの、作動原理が同じであり、懸念が排除できない可能性を踏まえ、試験機1号機に向けてはH-IIAロケットのパイロ弁と交換することとした。
- ・H-IIAロケットに関し、ダイアフラムについては、H3ロケットの評価と同様、懸念は排除されると評価した。パイロ弁については、仕組みが異なり、製造異常も確実にスクリーニングできるプロセスとなっていることから、懸念は排除されると評価した。

## （4）背後要因

- ・なぜなぜ分析を実施した結果、背後要因は「フライト実績品に対する確認不足」と識別した。
- ・イプシロンロケットは、M-VロケットとH-IIAロケットで培った技術を最大限活用する方針としつつ、一部は機体仕様に応じて、新規開発やフライト実績品を適用した開発を実施した。M-VロケットとH-IIAロケットの技術を活用した範囲は、新規開発品と同様、約20年来の基幹ロケットの信頼性向上の取組を踏まえた設計・製造工程・品質保証方法の確認を実施している。他方、今回不具合が生じた2段RCSはフライト実績品を適用したものであり、信頼性向上に係る開発の目が入っていなかった。
- ・2段RCSのダイアフラム式タンクは、元々宇宙機で使用するために開発されたものであり、適用開発時には、使用条件の違いを考慮した機械環境試験や耐圧試験等のタンク構造としての確認は実施していたものの、ダイアフラムシール部等のタンク内部についてはフライト実績を重視し、使用条件の違いを含め設計の考え方・作動原理等を十分理解した上での確認が不足していた。

## (5) 背後要因対策及び水平展開

### ① イプシロンSロケットへの対策

- ・イプシロンSロケットの信頼性を向上させるため、今後の詳細設計の中で、フライト実績品に対する十分な確認を実施する。
- ・フライト実績品を使用すること自体は問題ではないが、フライト実績品の使用条件が想定とは異なる場合はもちろん、20年来の信頼性向上に係る開発の目が入っていない場合は、開発当時の設計の考え方や使用条件の根拠、製造工程・品質保証方法に立ち返って確認を実施する。また、過去の設計等に立ち返る場合には、平成15(2003)年のH-IIA6号機打上げ失敗以降、基幹ロケットとして取り組んできた信頼性向上の観点(i. 不具合事象への対応、ii. メカニズム・動作余裕の確認、iii. 製造・検査・整備作業の改善、iv. 連鎖事象への対応、v. 安全に係る対応)を十分に考慮して、抜けのないように確認を実施する。

### ② 他プロジェクトへの水平展開

- ・JAXAの既存プロジェクト及び今後の新規プロジェクトに対し、フライト実績品を使用する場合は、以下のi.～iii.の問題提起を共有し、各プロジェクトのマイルストーン審査等において評価を行うとともに、独立的な評価やモニタを行っている第三者部門(安全・信頼性推進部等)が当該評価結果を確認する。(ただし、各部門の裁量で実施される比較的小規模なプロジェクトやシステム開発を伴わない研究開発を行うプロジェクトについては、その目的や意義に照らし、個別に評価要否を検討する。)
  - i. フライト実績品のうち、信頼性確保に係る開発の目が入っていないもの、かつ不具合を生じた際のミッションへの影響度が大きいものについて、管理すべき対象品目として識別できているか。
  - ii. 識別された品目の適用について、十分な根拠をもって開発されているか、実績が十分かなど、信頼性の評価に必要な技術情報の取得や、ベンダー等との情報授受を行うための体制が整っており、得られる情報に基づく評価が請負業者等において適切に行われた結果を入手できているか。
  - iii. 技術情報の取得やベンダー等との情報授受の体制が整っていない場合は、対象品目の使用の是非を含め、リスク管理(リスクが許容できる状態にすること)ができているか。

### ③ 経験・知識継承の取組

- ・JAXAでは、プロジェクト活動で得られた知見・教訓をデータベース(知識共有システム(LINKS<sup>4</sup>))に蓄積し、ナレッジシェアとして組織内に共有する取組を進めており、当該データベースに今回の事例を登録し、今後のプロジェクトに向けて確実な継承を図る。また、プロジェクトのマイルストーン審査において、過去のLessons Learnedの取り込み状況を審査することとしており、今回の事例を重要なLessons Learnedのリストに含め、今後の審査において確

<sup>4</sup> Lessons, Intelligence and Knowledge Sharing System

実に評価されていることを確認する。

- ・ J A X A では、プロジェクト業務を行う職員に対し、システムズエンジニアリング／プロジェクトマネジメント（S E / P M）及び安全・ミッション保証（S & M A）に関し必要な知識を有する人材を育成するために、様々な研修を企画・運営しており、今回の事例をこれらの研修において教訓事例として取り上げ、得られた教訓の浸透を図る。

## （6）今後の対策に向けた留意事項

小委員会の調査検討を通し指摘された留意事項は以下の通り。

- ・ 宇宙分野のプロジェクトには、予算・人員その他のリソースや、スケジュールの制約は付きものである。また、フライト実績品の使用自体は問題でなく、むしろ有効活用できる利点があるものの、今後のプロジェクトの立案・推進に当たって、リソース配分やスケジュール策定に関わる意思決定者は、今般の再発防止策を含む各種の開発上の考慮が無理なく適切になされるよう、プロジェクトの実情に十分配慮して、リソース配分等の決定を都度行うべきである。
- ・ 今回、フライトデータにおける1分解能の圧力上昇という微細な情報に原因究明上重要な意味があったり、原因究明に当たり非常に多くの製造・検査データの調査分析が必要となったりする場面が見られた。ロケットの特性に応じた的確にデータ計測を行っていくことはもちろん、データの計測や解析に、実効的な範囲で計算・シミュレーション技術やA I 技術等の活用を図っていくことが、ロケットの信頼性向上のみならず、作業者の負荷軽減にもつながると考えられることから、情報科学的手法を活用したシステムの整備・向上に取り組んでいくことや、必要となる人材育成・研修の充実を図っていくことを期待したい。
- ・ 宇宙分野の原因究明作業には、技術的事象に対して謙虚であることや、徹底した姿勢等が必要とされると同時に、民間企業を含む世界の宇宙開発は、顧客のニーズやスピードを重視し、失敗しても短期間に再開し、打上げ頻度を高くすることで信頼性を増す傾向が見られることから、原因究明及び対策検討作業については、合理的にスピード感を持って当たることが重要と考えられる。

## 3. まとめ

- ・ イプシロン6号機打上げ失敗に係る直接要因について、J A X A から、詳細なフライトデータ、製造・検査データ、追加解析・地上検証試験結果を含む調査結果の提出を受け、委員との間の質疑応答を経て、J A X A の報告の内容は、合理的な説明がなされており妥当であると認めた。また、直接要因の後継機（イプシロンSロケット）への是正処置及び他機種へのJ A X A の水平展開についても妥当であると認めた。
- ・ さらに、背後要因分析及び対策について、J A X A からの提案を基に、委員との間で意見交換を行った結果、今般の事象を受けた再発防止策として合理的なものであり妥当であるとの心証に至った。
- ・ フライト実績品であっても、設計の考え方・作動原理等を十分理解しないまま活用した場合、



リスクを有することを認識できたことは大きな教訓である。再発防止策の確実な実行を通じて、今回の教訓の反映を如何に実効的なものとし、継続的に取り組んでいくかが極めて重要と考える。

- 文部科学省、JAXA及び関連する企業においては、原因究明結果に基づく再発防止策に万全を期して取り組んでいただきたい。宇宙開発利用部会及び小委員会としても、取組の実施状況をしっかりとフォローアップしていく。また、2.(6)に記載したように、今回の調査審議を通じて、リソース配分や情報科学的手法の活用といった今後の留意事項も得られた。宇宙分野全般の関係者も含めて、今回の教訓はもちろん、こういった観点も今後活かしていただくことを期待する。
- このイプシロン6号機の原因究明中に、H3ロケット試験機1号機の打上げ失敗があり、係る原因究明作業は途上である。小委員会として、両基幹ロケットの打上げ失敗に共通するような背後要因がないかといった観点も勘案しながら、H3ロケット試験機1号機の原因究明作業を進め、その結果を踏まえ、背後要因分析に関して更なる検討を加えることも排除せずに臨みたいと考えている。
- 最後になるが、今回の調査審議に当たって、JAXAはもちろん、関係する企業が、非常に真摯に協力していただいたことに対し感謝の意を表したい。

以上