

H-IIロケット8号機の打上げ計画にかかる準備状況

平成11年11月2日
宇宙開発事業団

1. 経緯

- (1) 当初打上げ予定日(9月10日)の打上げ準備作業中に衛星フェアリングの空調キャリアが脱落してフェアリングが損傷し、補修のために打上げを9月12日に延期した。
- (2) その後、打上げ予定日(9月12日)に1段液体水素枯渇検知センサー不具合が発生し、打上げの再延期を決定した。確実な打上げに向けて万全を期すために、現場技術者自らによる現場特別点検及び独立評価チームによる現場特別点検実施結果の評価を実施することとした。
さらに、管理的及び制度的側面からの不具合要因検討を行うこととした(図-1)。
- (3) 機体状況の日常点検(9月15日)にて第2段制御用電池の出力電圧の異常が発見された。このため、対策処置を講じた電池の新製作を行い、搭載(11月10日予定)することとして、作業を進めている。
- (4) 1段液体水素枯渇検知センサー非作動に対する処置結果の確認及び現場特別点検の一環として、10月6日に種子島宇宙センターにおいて1段および2段の極低温点検を実施し、全系統が正常に機能することを確認した。

2. 打上げに影響した不具合処置状況

打上げに影響した上記1. (1), (2)及び(3)の不具合の処置状況は以下の通りである(表-1)。

(1) 衛星フェアリング空調キャリア脱落

打上げ当日(9月10日)にフェアリング空調キャリアが脱落し、落下時にフェアリングに損傷を与えた。フェアリングキャリアを離脱するための駆動ガスラインを確認したところ、誤ったライン(キャリアパーズライン)が接続されていることが判明した。当該ラインについては正規の接続状態に修正し、フェアリングを補修した。

(2) 第1段エンジン液体水素枯渇検知センサー非作動

9月12日の打上げ作業において、第1段タンクへの液体水素充填中作業中に、3個ある「液体水素枯渇検知センサー」の1つが非作動となった。タンク内部の点検により、センサーとセンサー取付金具が極低温状態で接触し当該センサーが非作動となっていたことが判明したため、当該センサーの位置を修正し、極低温点検(10月6日)にて正常機能を確認した。

(3) 第2段制御用電池の出力異常

機体状況の日常点検(9月15日)において、第2段制御用電池の出力電圧の異常が発見された。当該電池中の不具合セルを製造工場に送って分解調査を実施したところ、負電極端部の変形(反り)が絶縁体(セパレータ)を損傷し短絡に至ったものと判明した。このため、負電極部のエッジに反り、変形が生じないように縁取りをする対策を講じた電池を新製作することとした。

3. 極低温点検時等の主要不具合処置状況

極低温点検及びその後の点検作業において発生した不具合のうち、主要なものについては以下のとおりである(表-2)。

(1) 第1段水素系地上設備(アンビリカルサービスポッド)内の水素漏洩

極低温点検の第1段水素タンクへの液体水素充填時に、アンビリカルサービスポッド内の1段水素予冷戻り系まわり(図-2)で漏れが発生していることが明らかになった。7号機打上げ用の予冷戻り系統を現8号機用と交換し、万が一の漏洩再発に備えて、安全に逃気できる対策をとり、水素キャリア漏洩確認試験を実施(10月26日)し、漏れがないことを確認した。なお、

本試験中に1段水素注排弁に逆圧が印可されたため、シール機能低下に伴う内部漏洩が生じ、当該弁の交換を行うこととしている。

(2) 段間部空調流量異常

極低温点検時に段間部空調流量がステップ状に増加した。断間部空調配管(図-3)の1段/2段分離面のゴムシールが配管内部に脱落しており、隙間から吹き出した空調ガスにより近傍のタンク間トラス部多層断熱材の表層が破れているのが発見された。ゴムシールの設計変更(図-4)、破損した多層断熱材については補修を実施し、窒素空調試験にて正常機能を確認した。

(3) 段間部空調入口温度異常

極低温点検時に当該空調機体入口温度に計測系統の異常と考えられる現象が発生し、その後正常に復帰した。当該計測系統を点検し異常は見られなかったものの、その後も現象が再発した。段間部で計測している他の温度センサーにより間接的なモニターが可能であることから、本不具合が再発しても打上げ作業への影響はないと判断した。

(4) 補助エンジン弁駆動用電磁弁の作動遅れ

極低温点検実施後の弁作動データ傾向評価と詳細点検にて、当該弁を空圧にて駆動するための電磁弁の開作動遅れが判明した(同型式の他電磁弁についても類似現象)。内部に用いているOリング(図-5)に通常より大きな変形と表面荒れが見られたため、同一型式の電磁弁について、Oリングを全数新品と交換するとともに、弁の駆動力を向上するためにスプリングの調整を行う。

4. 現場特別点検実施状況

(1) 現場特別点検の目的

現場技術者自らが、手順書、仕様書、図面等の点検を実施することにより、現場作業等の確実性向上と、現場技術者(NASDA/企業)、現場作業者の意識向上をめざし、現場特別点検を実施している。

(2) 現場特別点検の実施状況

● 現場作業等の確実性の向上

衛星フェアリング空調キャリア脱落不具合については、作業要求が不完全であるため十分な確認がなされず、かつトータルシステムとしての健全性が打上げ当日にまで確認されないという要因が重複的に発生したものである。これに鑑み、以下の着眼点で要求(技術要求書・図面)、作業手順(手順書・改訂指示書)、作業記録(点検データ・不具合記録)を網羅的に点検した。

- (a) 機体と設備のトータルシステムとして末端間(End-to-End)の検証もれはないか？
- (b) 機体と設備が打上げ時点の状態から一時的に変更されたものは、確実に復旧され検証されたか？
- (c) 作業手順は明確で、検査・確認事項に不足はないか？

また、過去発生した不具合のみならず、幅広い見地で以下の着眼点にて、網羅的に点検した。

- (d) 問題点発生 of 処置が適切か？また、同様の問題発生 of 可能性が他に潜在していないか？
- (e) 設備について他の工事の影響が及んでいないか？
- (f) 弁等の機器類データに前兆的なデータの傾向はないか？

上記点検の結果抽出された問題点について、8号機の打上げに向けて処置を実施した(表-3)。

● 現場技術者の意識の向上

宇宙開発事業団及び企業の現場技術者に対し、以下を実施してきた。

- ・ 不具合事例教育
- ・ 不安要因及び意見の抽出
- ・ 打上げ時まで作業クルーを固定することによる責任意識向上と技術習熟

(3) 今後の現場特別点検作業

今後の8号機打上げ作業中についても、作業の進捗に対応した同様の特別点検を並行実施し、また現場技術者の意識の向上に繋がる活動を継続実施することにより、打上げに万全を期することとしている。

5. 独立評価チームによる評価

(1) 独立評価の目的

H-II ロケット8号機の打上げに確実に期すため、H-II ロケット8号機打上げ整備作業における不具合の対策に関して、打上げ隊から独立なチームを構成して評価を行っている。

(2) 現場特別点検結果の評価

独立評価チームは現場特別点検の報告会(10月2日、21日)の評価メンバーとして種子島宇宙センターにて、実施計画書類、源泉資料の不具合報告書類、提示資料についての点検・評価を行い、この中で、現場特別点検作業に対して処置の実施を指示した。

これまでのところ、点検は良好に実施されたと評価されている。

6. 不具合要因検討状況について

(1) 不具合要因検討

個々の不具合発生事象の根深いところに共通的に存在する要因をつきとめ、管理面・制度面の改善として反映することで不具合防止を目指す。

以下のようなアプローチで作業を進めている。作業は平成12年3月までの予定で継続中である。

- ① H-II ロケット8号機の打上げ作業等において発生した不具合について、種子島宇宙センターや関連メーカの管理者及び作業担当者にインタビューを行い、事実関係を確認する。
- ② 個々の不具合に対して、発生原因や背景要因の分析を行い、共通因子を抽出する。

③ 管理面・制度面における共通的対策の検討・提言を行う。

(2) H-II ロケット8号機打上げへの反映事項

以下に示す事項を8号機打上げ作業に反映した。なお、作業への反映をより徹底するため、10月28日に種子島宇宙センターにおいて品質管理教育を実施した。

【反映1: 作業確認】

- ① 作業にあたっては、事前に作業の意味・目的と手順書の内容について再確認し、理解の徹底を図る。(現場特別点検で実施済み)
[第1段エンジン液体水素枯渇検知センサの取付作業不具合 及び 衛星フェアリング空調キャリア離脱不具合]
- ② 作業員が行う作業を検査員が点検する際の、確認項目及びタイミングを再確認し、手順書に反映する。(現場特別点検で実施済み)
[衛星フェアリング空調キャリア離脱不具合]

【反映2: 異常／不具合処置】

- ① 作業中に少しでも心に引っ掛かることがあるときは、作業記録に記載するとともに、関係技術者(作業指示者、検査員、設計者等)に報告し、確認を必ず受ける。(品質管理教育にて周知)
[衛星フェアリング空調キャリア離脱不具合]

【反映3: 変更処置】

- ① 検査員が確認を完了した設備に変更を行う場合は、変更の影響範囲について十分な検討を行い、変更後に確実な点検を実施するとともに、その変更管理を確実に行う。(品質管理教育にて周知)
[衛星フェアリング空調キャリア離脱不具合]

7. まとめ

9月12日以降発生した不具合については対策を講じ、必要に応じて試験(極低温点検、水素キャリア漏洩確認試験、フライト・シミュレーション等)を

実施することにより処置の妥当性を確認した。

また、現場特別点検、独立評価チーム及び不具合要因検討による多角度からのレビューを実施し、8号機打上げ作業に反映すべき事項の抽出、これを受けての処置を実施し、万全を期した。

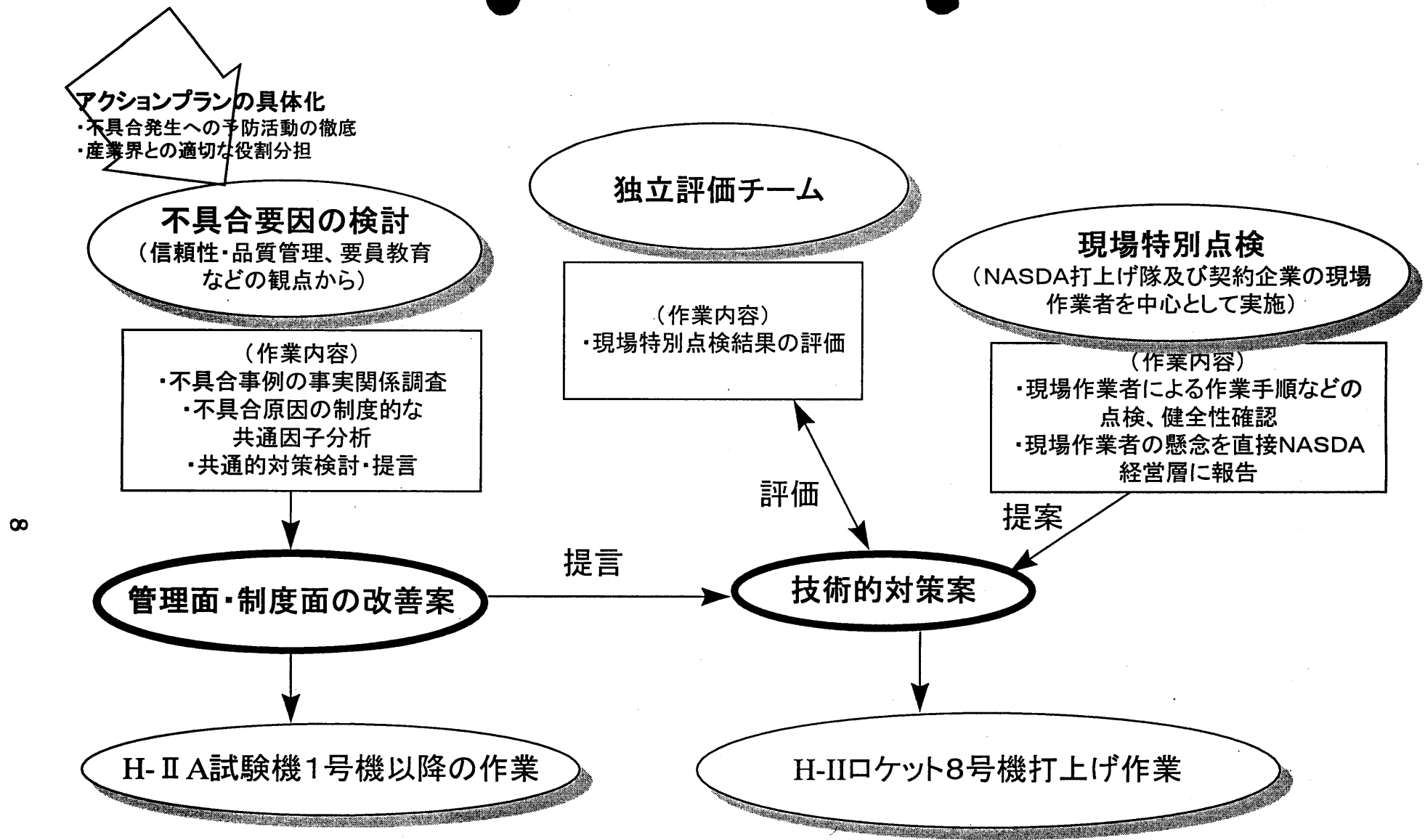
酸化銀亜鉛電池及び弁の取付復旧作業は一部残っているものの、再打上げ作業へ移行し、作業進捗に応じ現場特別点検により確認を強化することで、確実な打上げが行えるものと判断している。

8. 今後の作業について

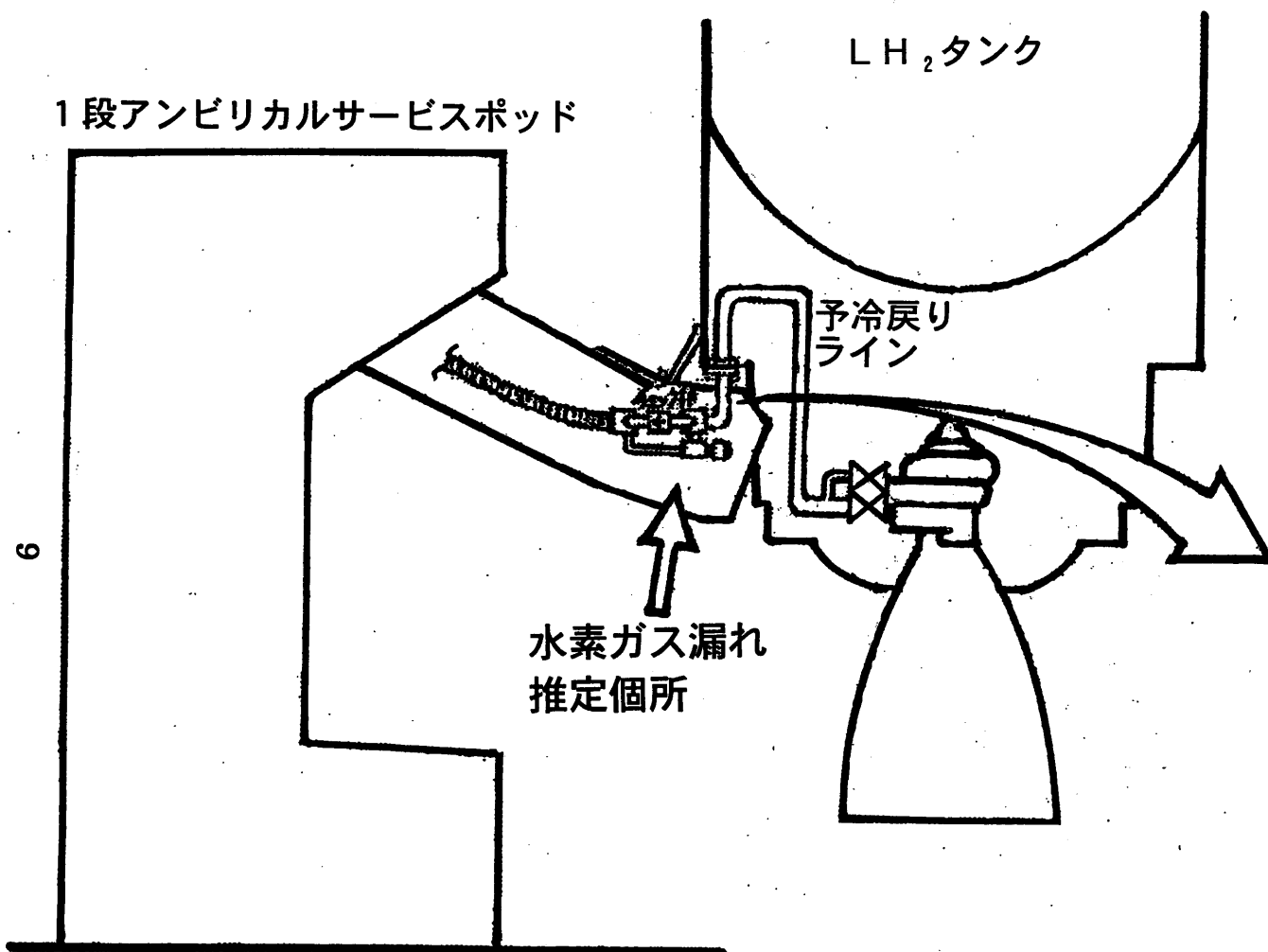
作業計画を図－6に示す。打上げ日を11月15日として、所要の作業をすめる。

今後の主要作業の実施予定日は以下の通りである。

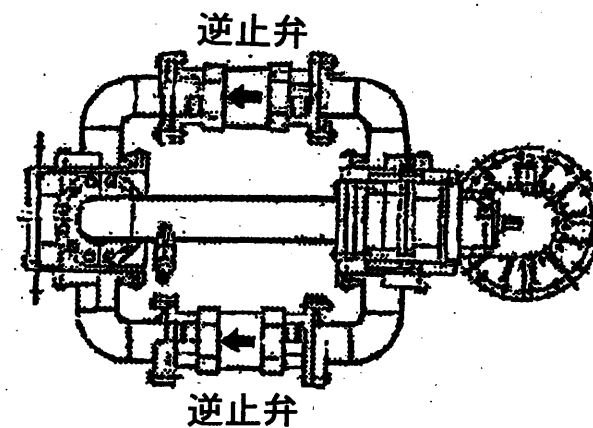
11月 2日:	1段水素注排弁取付及び確認(4日まで)
11月 8日:	電磁弁搭載及び確認
11月10日:	酸化銀亜鉛電池搭載
11月11日:	最終確認審査
11月12日:	カウントダウン作業開始
11月15日:	最終カウントダウン及び打上げ



図－1 H-II8号機不具合対策・改善等の総合的な実施体制



[平面図：下方より見た図]



[側面図]

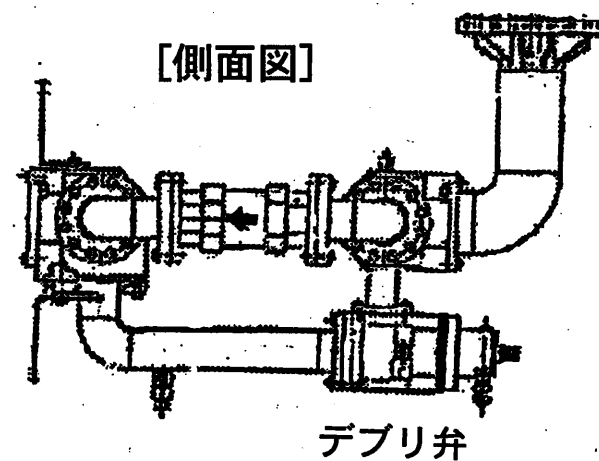
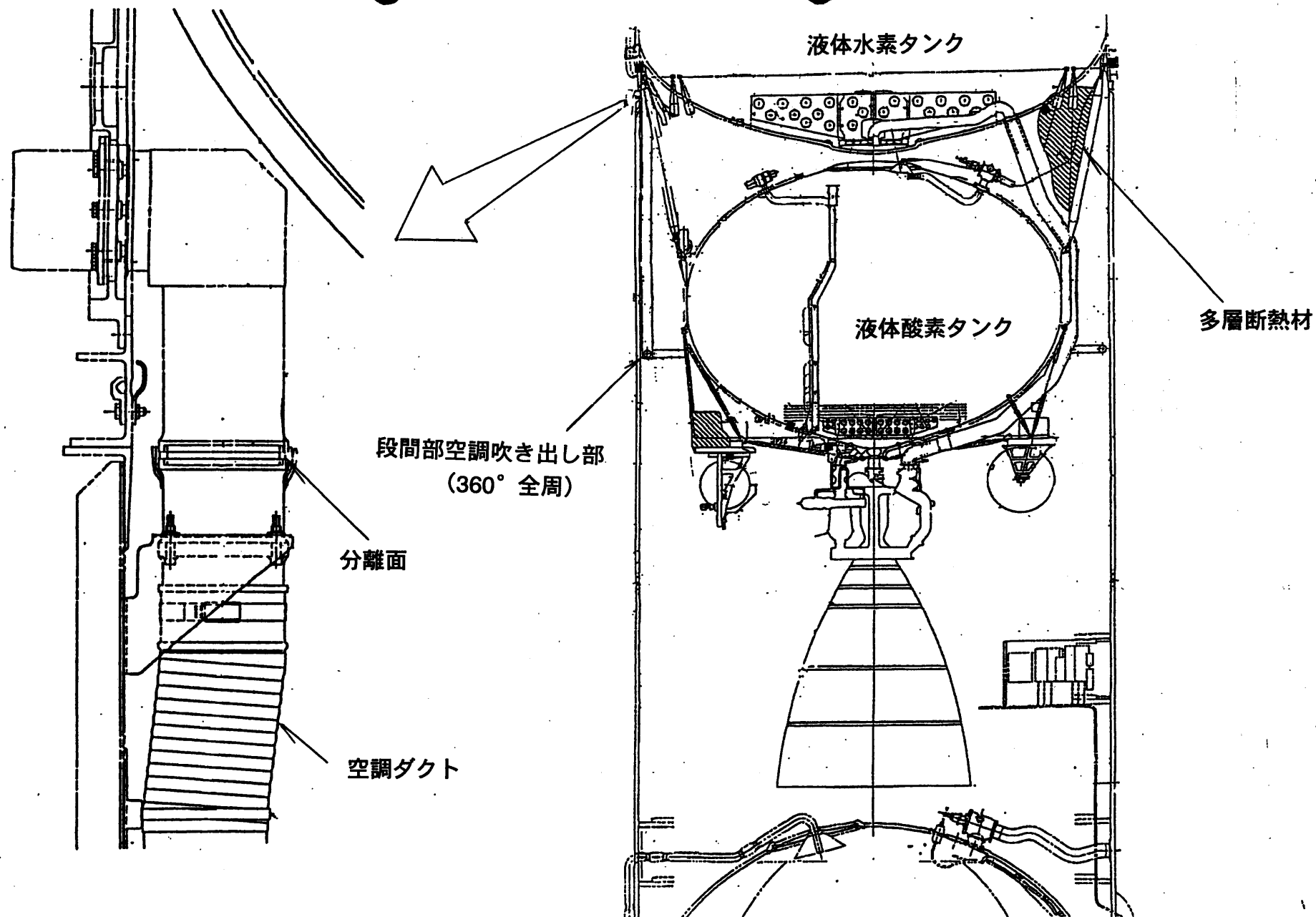
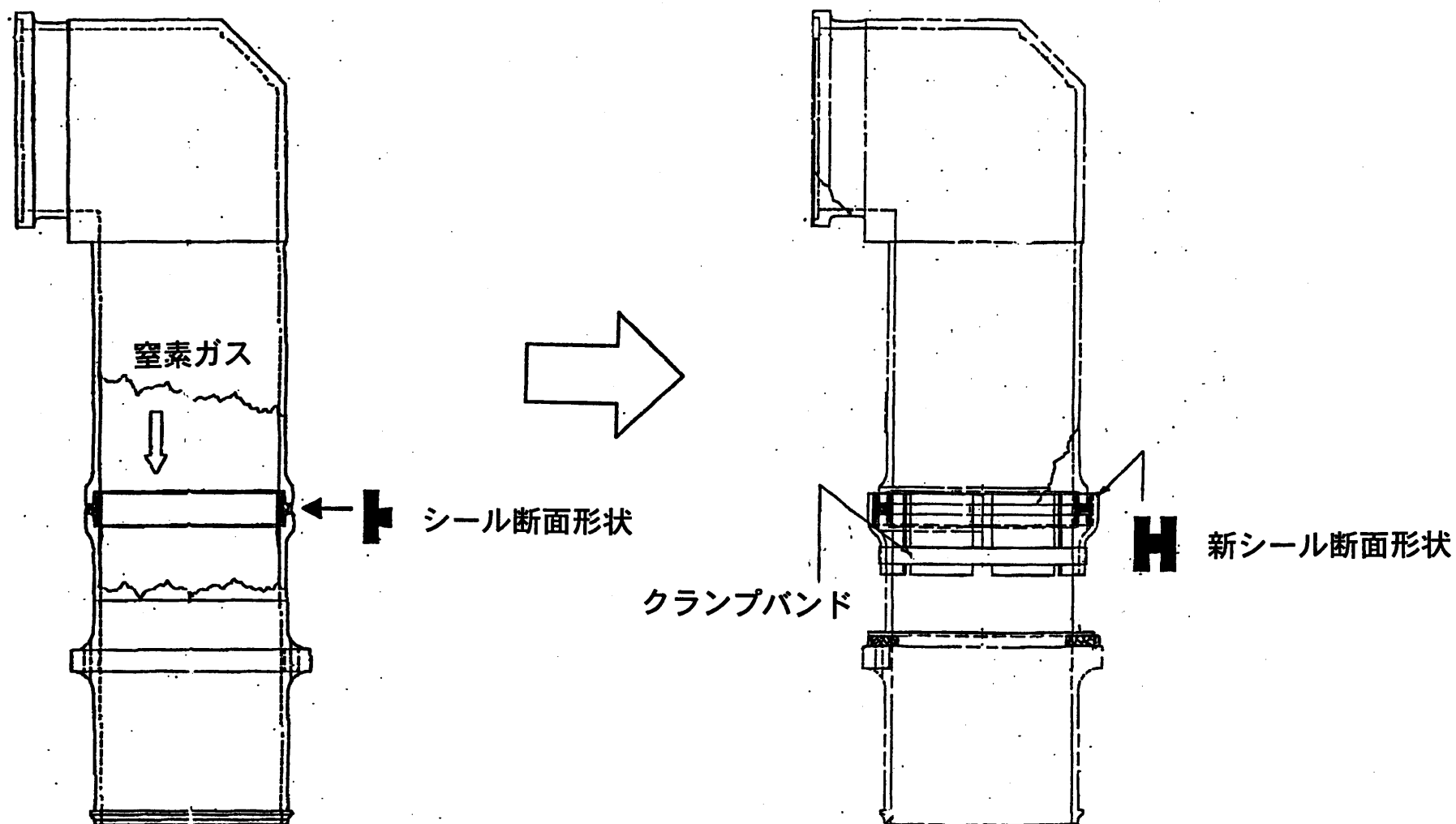


図-2 第1 段アンビリカルサービスポッド予冷戻りライン概要



図－3 段間部空調供給配管概要



図－４ 段間部空調供給配管接続部シール設計変更

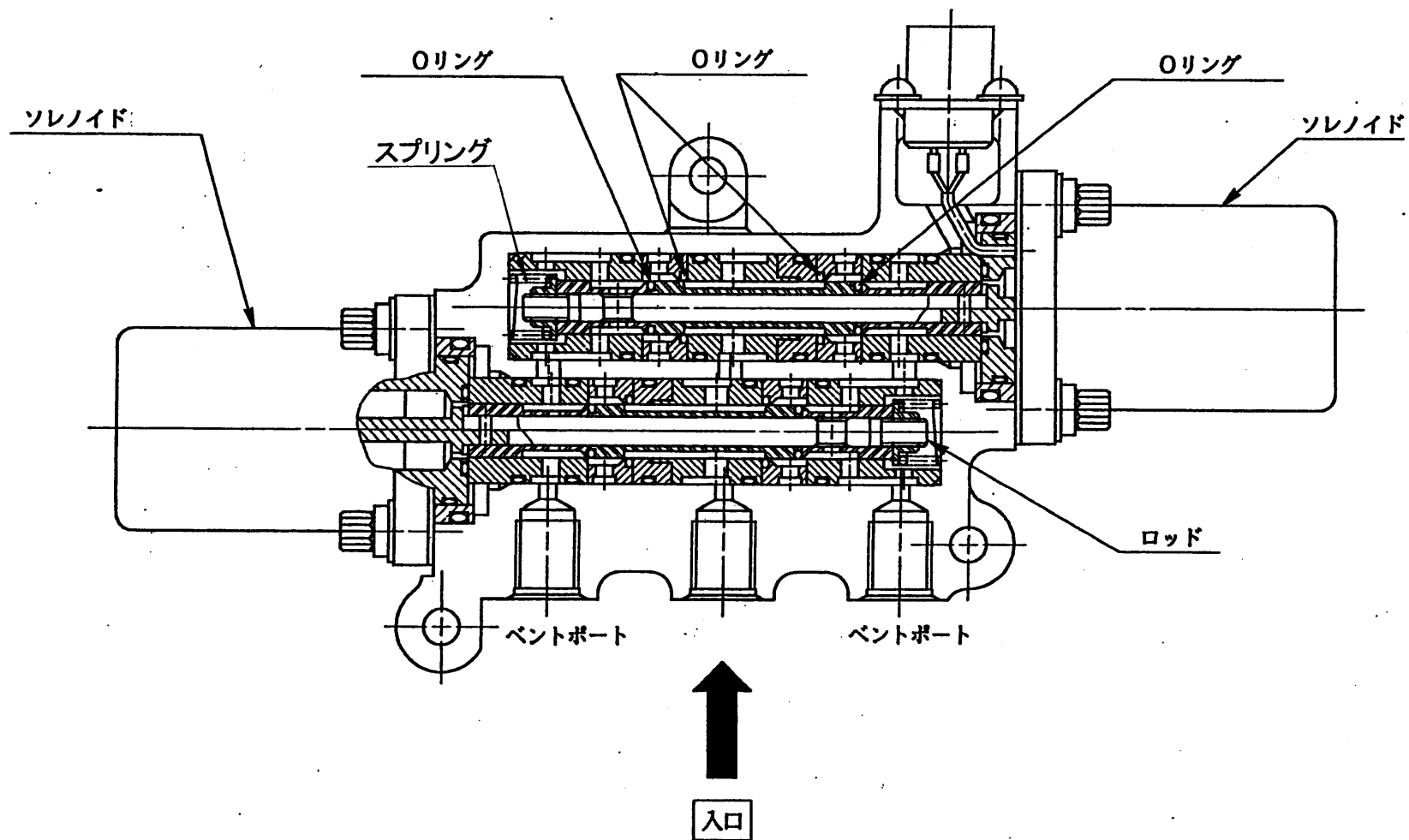
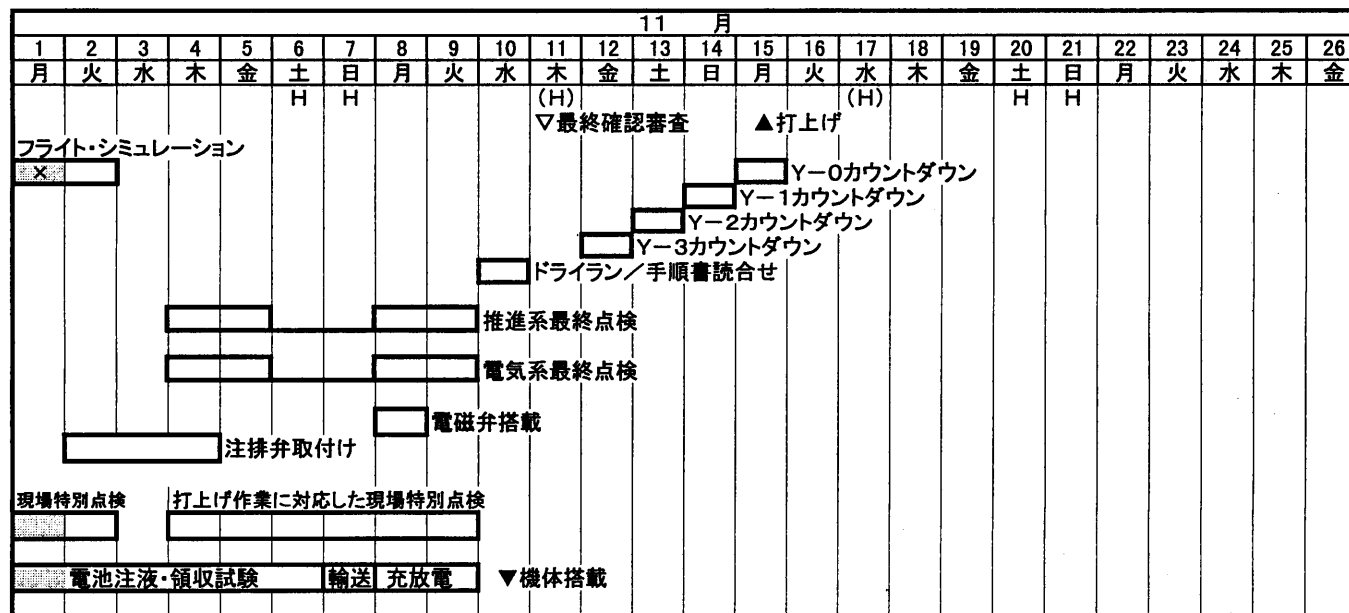
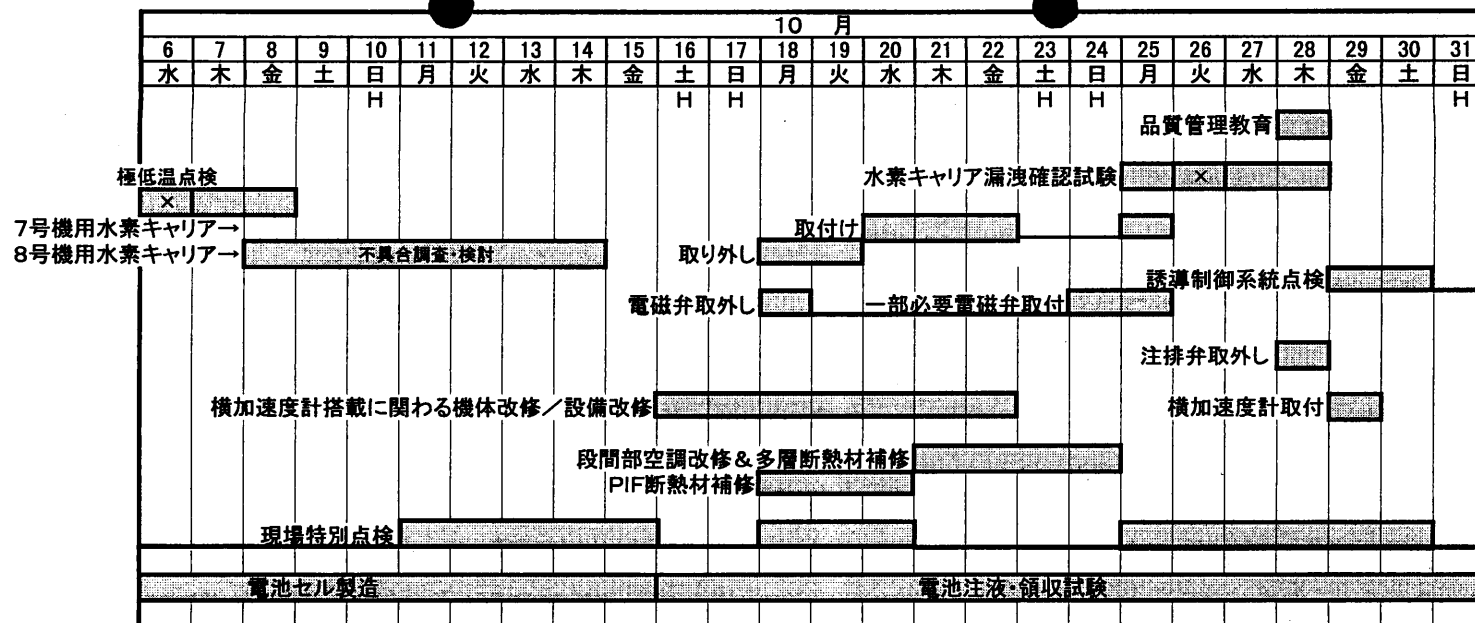


図-5 補助エンジン作動用電磁弁



：作業終了を示す。但し、塗りつぶし範囲は必ずしも厳密ではない。作業完了時に、全て塗りつぶされる。

図-6 H-118号機作業スケジュール(極低温点検以降 11月1日現在)

表－１ 打上げに影響した不具合

	現象	推定原因	処置
衛星フェアリング空調キャリア脱落	打上げ当日(9月10日)作業中に衛星フェアリング空調キャリアが脱落し、フェアリングに損傷を与えた。	当該キャリアを離脱するための駆動ガスラインに、誤った(キャリアパージ用)ラインが接続されていた。ラインの誤接続に関しては当該作業に関する作業及び点検要求が不完全であるため接続状態が十分確認されなかったこと、及びトータルシステムとしての健全性(末端間(End-to-End)あるいは、部分的検証の積み上げによる確認等)が打上げ当日にまで確認されないという要因が重複的に発生したものであると考えている。	(1)誤接続されていたラインを正規の接続状態に修正するとともに、他の同様な全てのラインについて誤接続がないことを確認した。 (2)本不具合が衛星に影響を与えていないことを確認した。
第1段エンジン液体水素枯渇検知センサー非作動	第1段タンクへの液体水素充填作業中に3個ある「液体水素枯渇検知センサー」の1つが非作動であることが確認された。非作動の原因が特定できないため、打上げを再度延期した(液体水素タンク内の1つのセンサーが故障したまま打ち上げた場合、万一残りのセンサーの内の1つが故障すると衛星を軌道に投入できなくなるリスクがあると判断した)。	(1)常温では液体水素枯渇検知センサー(No.2)とセンサー取付金具の隙間が小さい状態であった。 (2)液体水素を充填した際、タンク下部が極低温状態となった。 (3)センサー本体の材質(ステンレス製取付ボルト、3フッ化エチレン樹脂製絶縁体等)と取付金具の材質(アルミニウム)の熱収縮率の違い等により、センサーの電極と取付金具が接触状態となり、液体水素が充填状態にも関わらず、枯渇指示となった。	(1)極低温状態でもセンサーとブラケットが接触しないよう、センサー位置をかさ上げた。 (2)極低温点検にてセンサーの正常機能を確認した(10月6日)。
第2段制御用電池の出力異常	打上げ再延期に伴う機体状況の日常点検において、9月15日に2段制御用電池が規定の電圧より素電池(セル)1個分低下していることが確認された。	負極板は銀板に小さな穴を多数開けた構造(パンチングメタル)となっており、銀板の端が半円状に切断されてできた突起状の形状部が反ってセパレータを傷つけ、その部分に導電性の析出物が付着して成長し、短絡に至ったものと推定される。	(1)負極板パンチングメタル端部のエッジ部を加工し、パンチングメタル端部の縁取りを圧接加工することにより、エッジ部に反り/変形が生じないようにした。 (2)新製作の電池については、11月10日(予定)に機体に搭載する。

表-2 極低温点検時等の主要不具合

	現象	推定原因	処置
第1段水素系地上設備(アンピリカルサービスポッド)内の水素漏洩	第1段水素タンク初期予冷/充填時に、当該部の水素ガス検知器濃度が4%(上限)を越え1段水素予冷戻り系まわり(図-2)で漏れが発生していることを確認した。	常温での点検(目視点検、常温ヘリウムガス漏洩点検、配管溶接部の浸透探傷検査)及び低温時における配管の熱変形解析を実施したが、漏洩箇所は特定できなかった。	(1) 7号機打上げ用の予冷戻り系統を現8号機用と交換し、万が一の漏洩再発に備えて、安全に逃気できる対策(漏洩の可能性のある継手部分についてパージバックで覆い、窒素パージで十分希釈した後、管で導いて大気中に排出する)をとった。 (2) 種子島宇宙センターにて水素キャリア漏洩確認試験を実施(10月26日)し、水素漏れがないことを確認した。 (3) 本試験中に1段水素注排弁に逆圧が印可されたため、シール機能低下に伴う内部漏洩が生じ、当該弁の交換を行うこととした。
段間部空調入口温度異常	機体への推進薬充填作業時、段間部の窒素空調風量切替後に当該空調機体入口温度に計測系統の異常と考えられる現象(40℃から瞬時に72℃[オーバースケール]に変化)が発生し、その後正常に復帰した。	当該計測系統を点検し、異常は見られなかったものの、2段の窒素空調試験(10月26日)において現象が再発したため、調査を継続する。	他の部位の温度により間接モニターが可能であることから、本不具合が再発しても打上げ作業への影響はない。
15 段間部空調流量変動	段間部の窒素空調風量を切替後、段間部空調流量がステップ状に増加(52Sm ³ /min → 58Sm ³ /min)した。 試験後に段間部内を点検したところ、断間部空調配管(図-3)の1/2段分離時分割面のゴムシールが配管内部に脱落しており(当該ゴムシールはその後下流配管を一部取外して回収)、隙間から吹き出した空調ガスにより近傍のタンク間トラス部多層断熱材の表層が破れているのが発見された。	・ 推進薬の充填に伴う機体の変形により空調供給配管の分割面に隙間が生じ、ゴムシールが脱落したものと考えられる。	(1) ゴムシールについて形状、装着方法等の設計変更を実施した(図-4)。破損した多層断熱材については補修を実施した。 (2) 水素キャリア漏洩点検時に2段の窒素空調試験を行い、ゴムシールを含めて空調供給配管は正常に機能していることを確認した。
補助エンジン弁駆動用電磁弁作動遅れ	補助エンジン弁について、極低温点検後に弁作動データ傾向評価と詳細点検を実施したところ、補助エンジン弁作動用の電磁弁の開作動遅れ(規定: 24Vの駆動電圧において100ms以下の規定に対し、200ms以上)が判明した。また、他の補助エンジン弁用電磁弁についても類似現象が見られた。	左記電磁弁を機体より取り外し、分解点検を実施したところ、内部に用いているOリング(図-5)に通常より大きな変形と表面荒れが見られた。Oリングの経時変化等による塑性変形が直接原因と考えられる。	当該電磁弁及び同一型式の電磁弁も合わせて(計6台)、Oリングを全数新品と交換するとともに、弁の駆動力を向上するためにスプリングの調整を行う。

表-3 現場特別点検状況

		着眼点	主要結果
現場作業進捗に応じた点検	極低温点検	データの傾向評価	作動遅れが認められた1段補助エンジン弁類の他は、得意な傾向は見られなかった。
		監視項目と設定値の評価	打上げ作業時の監視項目と設定値について点検評価を行い、見直しを行うことが妥当である項目を抽出し、極低温点検で新たな設定値が妥当であることを確認済。
		トータルシステムの末端間(End-to-End)の総合確認	(1)大半の機能に機体から設備・装置までの総合確認を実施した。 (2)確認できなかった項目についても、個別の検証あるいは打上げ作業期間中に別の作業により健全性を確認済。
	現場巡回点検	8号機で使用しない設備等との分岐・末端処置の確認等	極低温点検前に実施し、問題ないことを確認した。カウントダウン前にも実施する計画としている。
	横加速度計測装置の点検	コンフィギュレーション変更が適切に行われたことの確認	横加速度計測装置の搭載を完了し、単体での機能確認を行った。フライトシミュレーション点検にて、総合的な機能確認を実施した。
現場作業とは独立した別の観点からの点検	フライト・シミュレーション点検	トータルシステムの末端間(End-to-End)の総合確認	フライトシーケンスを作動させ、飛行プログラム、慣性誘導計算機及び機体を組み合わせた総合的な機能確認を実施した。データのさらに詳細な検討については、継続実施中。
	通常打上げ作業	データの傾向評価	今後実施する。
		監視項目と設定値の評価	
		トータルシステムの末端間(End-to-End)の総合確認	
	初回品目の点検	開発結果に基づく射場整備作業結果の点検	新規開発品目(第2段、第2段エンジン、フェアリング系、通信系機器等の各系)について、開発担当者が開発資料等をもとに射場整備作業で取得されたデータを点検した。その結果、不具合を起こした酸化銀亜鉛電池以外に、問題がないことを確認した。
技術文書の点検	射点施設設備	通常手順では使用しないが使用可能性のある系統の点検	フェアリング空調については故障時の代替系統がないため、代替系統(機体空調)を流用する緊急対応の手順を確立し、手順書を作成した。
		計測器類校正期限についての点検	打上げ延期に伴い計測器類の校正期限が切れた機器につき、NASDA内の処理要領に基づき問題なく処置されていることを確認した。
	発生した問題点の処置の妥当性評価		機体及びフェアリングの空調について、打上げ時期変更に伴う空調切換(冷房→暖房等)についての事前点検を実施したところ、設備工事による誤配線が3件発見されたため、修正の上追加確認を実施した。
	手順書の点検		わかりやすい手順書という観点で極低温点検の手順書を大幅に見直し、それに基づき極低温点検作業を実施した。この結果、手順書の見直しが良好であったことを確認した。
	技術変更指示文書の点検	指示内容及び処置結果の妥当性評価	発行された指示文書について内容に問題はなく、処置が適切に行われていることを確認した。
	射場作業記録の再点検	不具合記録・不具合報告書	発生した不具合について問題なく処置されていることを確認した。
		その他の作業記録	極低温点検以降の手順書変更指示について、妥当性の点検を継続的に実施中である。