



資料47-1

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47回) 2023.5.25

H3ロケット試験機1号機 打上げ失敗原因調査状況

2023年5月25日

宇宙航空研究開発機構

宇宙輸送技術部門

事業推進部 部長 佐藤寿晃

H3プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ 岡田匡史

目次

0. 本日の報告内容

1. H3ロケット試験機1号機 概要(再掲)

1-1 打上げ結果概要(再掲)

1-2 機体諸元(再掲)

1-3 打上げ結果(再掲)

1-4 発生事象の内容(再掲)

2. 原因究明の状況

2-1 FTA

2-2 FTA3.2の中(3次要因)の絞り込み

2-3 FTA3.2.3(PSC2から電源供給している下流機器の過電流)の調査

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-1 シナリオ抽出の検討

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

2-3-1-3 対策設定

2-3-2 H3ロケット固有の要因

3. H-IIAロケットへの水平展開

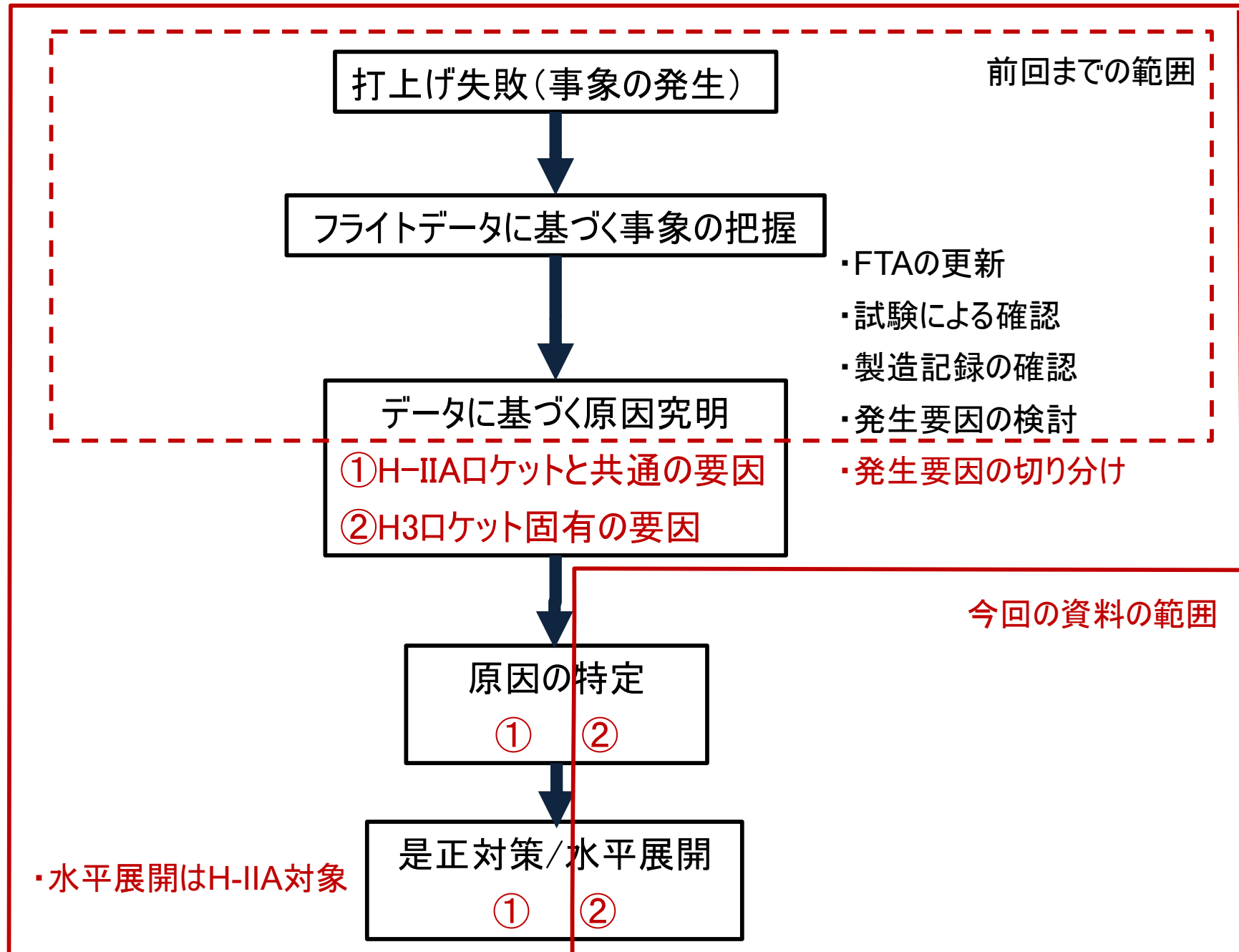
3-1 H-IIAでの評価

3-2 打上げ再開に向けた評価

4. まとめと今後の進め方

参考資料

0. 本日の報告内容



原因究明体制

赤字: 前回報告からの更新

H3ロケット試験機1号機対策本部

本部長 : 理事長 山川 宏
本部長代理: 副理事長 鈴木 和弘
本部員 : 理事、理事補佐等

原因究明チーム

- H3ロケット試験機1号機対策本部の下、データ収集・分析、原因の特定、是正対策、水平展開を実施

チームリーダー : 理事 布野 泰広
チームリーダー代理: 宇宙輸送技術統括 藤田 猛
事業推進部長 佐藤 寿晃

チームメンバー:

H3プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ 岡田 匡史

宇宙輸送安全計画ユニット

宇宙輸送系基盤開発ユニット

H3プロジェクトチーム

鹿児島宇宙センター

研究開発部門(電気系の専門家含む)

第一宇宙技術部門(電気系の専門家)

有人宇宙技術部門(電気系の専門家)

環境試験技術ユニット

独立評価組織(電気系の専門家)

S&MA総括

安全・信頼性推進部

チーフエンジニア室

連携

三菱重工業
原因究明チーム

システム設計部門

電子機器設計部門

エンジン設計部門

製造部門

独立評価部門

研究部門(電子機器の専門家を含む)

開発当時の設計担当者(OBを含む)

電気系等に関わる専門家が参加

(外部有識者、OBも参加)

1. H3ロケット試験機1号機 概要(再掲)

1-1 打上げ結果概要

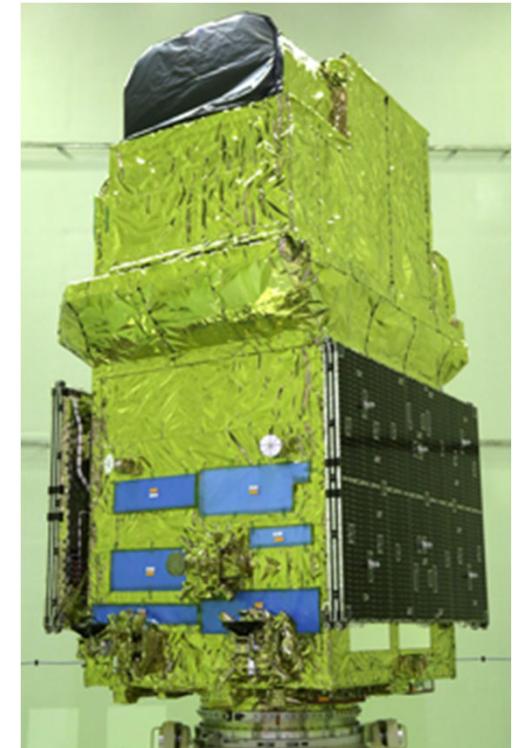
■ 打上げ日時

- 打上げ日 : 2023年3月7日(火)
- 打上げ時刻 : 10時37分55秒(日本標準時)
- 打上げ場所 : 宇宙航空研究開発機構 種子島宇宙センター

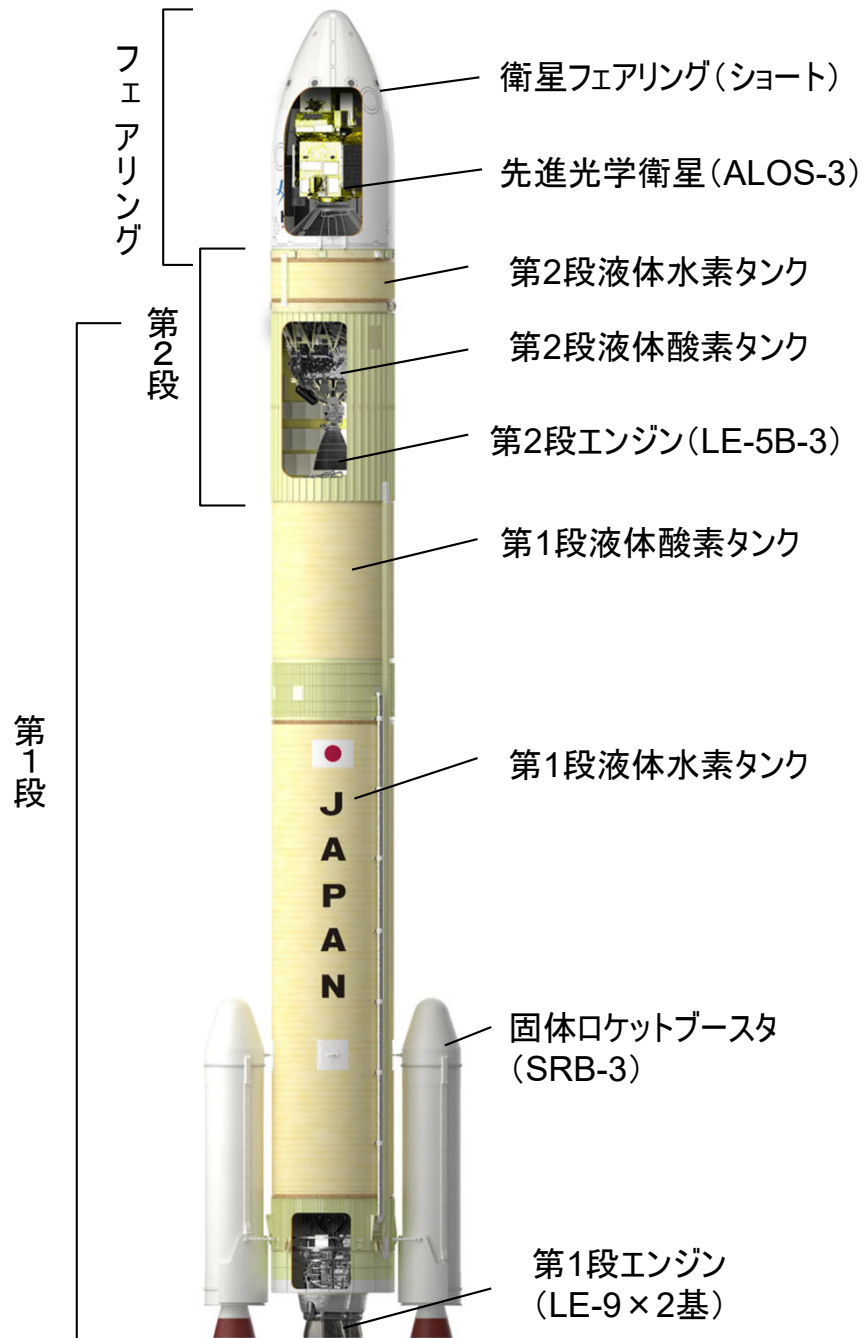
■ 搭載衛星

● 先進光学衛星「だいち3号」(ALOS-3)

「だいち3号」は、陸域観測技術衛星「だいち」(2006～2011年)の光学ミッションを引き継ぐ地球観測衛星で、「だいち」と比べ大型化・高性能化したセンサを搭載することにより、「だいち」の広い観測幅(直下70km)を維持しつつ、さらに高い地上分解能(直下0.8m)のセンサを搭載。



1-2 機体諸元(再掲)

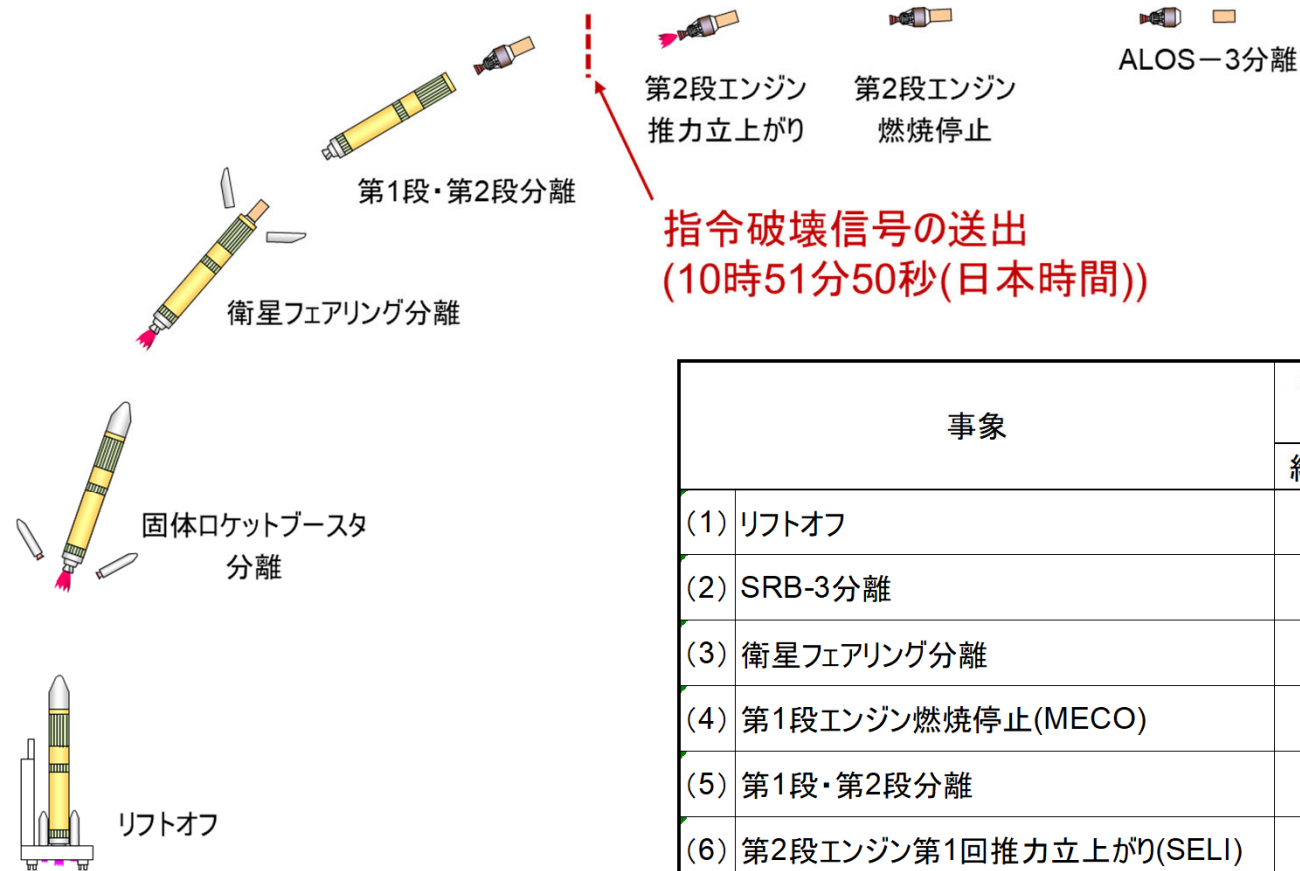


主要諸元

全段				
名称	H3ロケット試験機1号機			
全長	約57m			
全備質量	約422t(人工衛星の質量は含まず)			
各段	第1段 (LE-9)	固体ブースタ (SRB-3)	第2段 (LE-5B-3)	フェアリング (ショート)
全長	約37m	約15m	約12m	約10.4m
外径	約5.2m	約2.5m	約5.2m	約5.2m
質量	約240t	約152.4t (2本分)	約28t	約1.8t
推進薬質量 (最大値)	225.7t	134.4t (2本分)	24.6t	-
推進薬種類	液体水素/ 液体酸素	コンポジット 推進薬	液体水素/ 液体酸素	-
推力(真空中)	約2942kN (2基分)	約4600kN (2本分) (最大推力)	約137kN	-
燃焼時間	約300s	約110s	約694s	-
姿勢制御	ジンバル	-	ジンバル ガスジェット装置	-

1-3 打上げ結果(再掲)

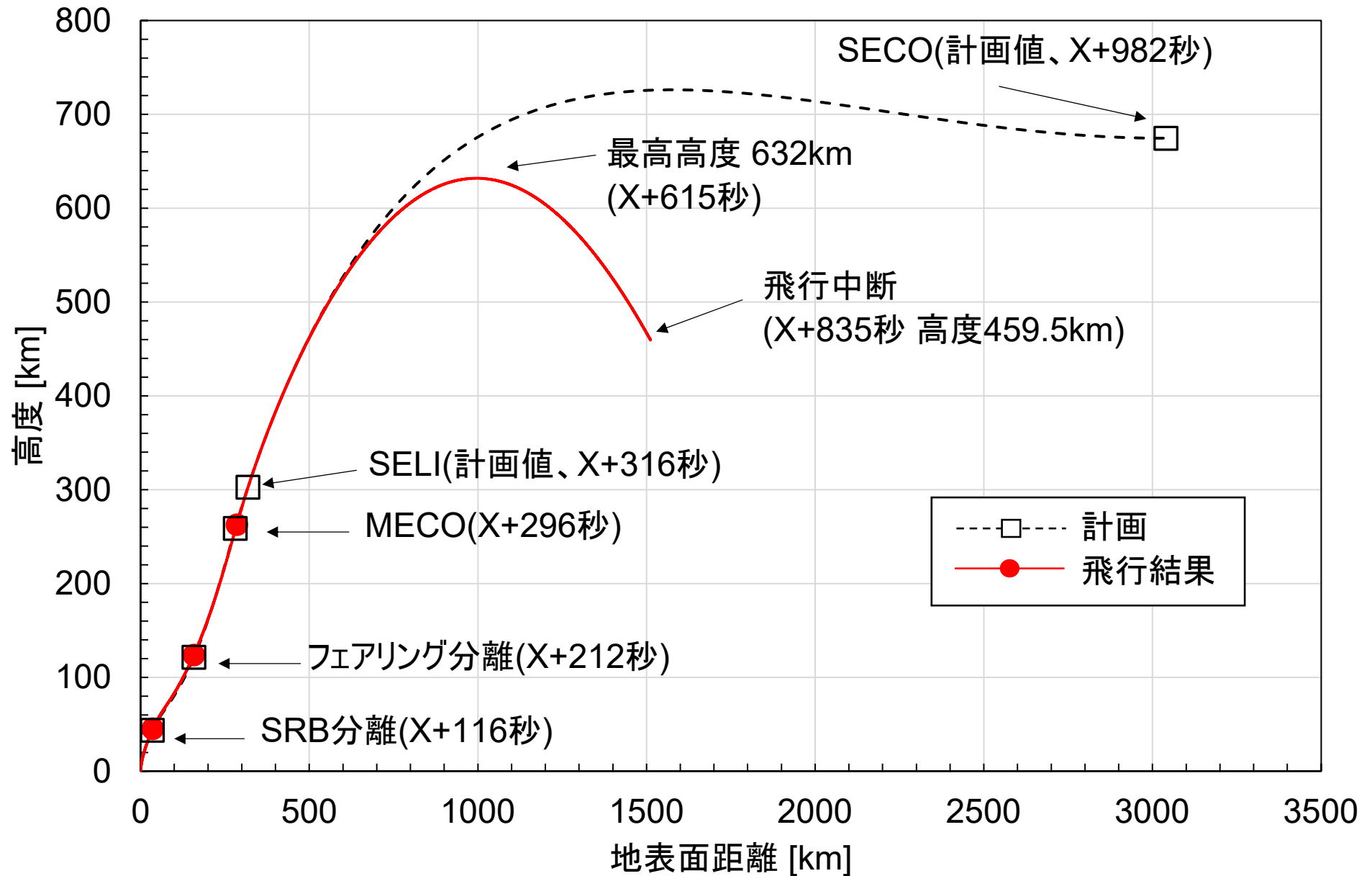
- 2023年3月7日10時37分55秒(日本標準時)に、H3ロケット試験機1号機を打ち上げた。
- 第2段エンジンが着火しなかったことにより、所定の軌道に投入できる見込みがないことから10時51分50秒にロケットに指令破壊信号を送出し、打上げに失敗した。
- ロケットは第1段・第2段分離まで、計画どおり飛行した。



打上げ時刻(10時37分55秒(日本時間))

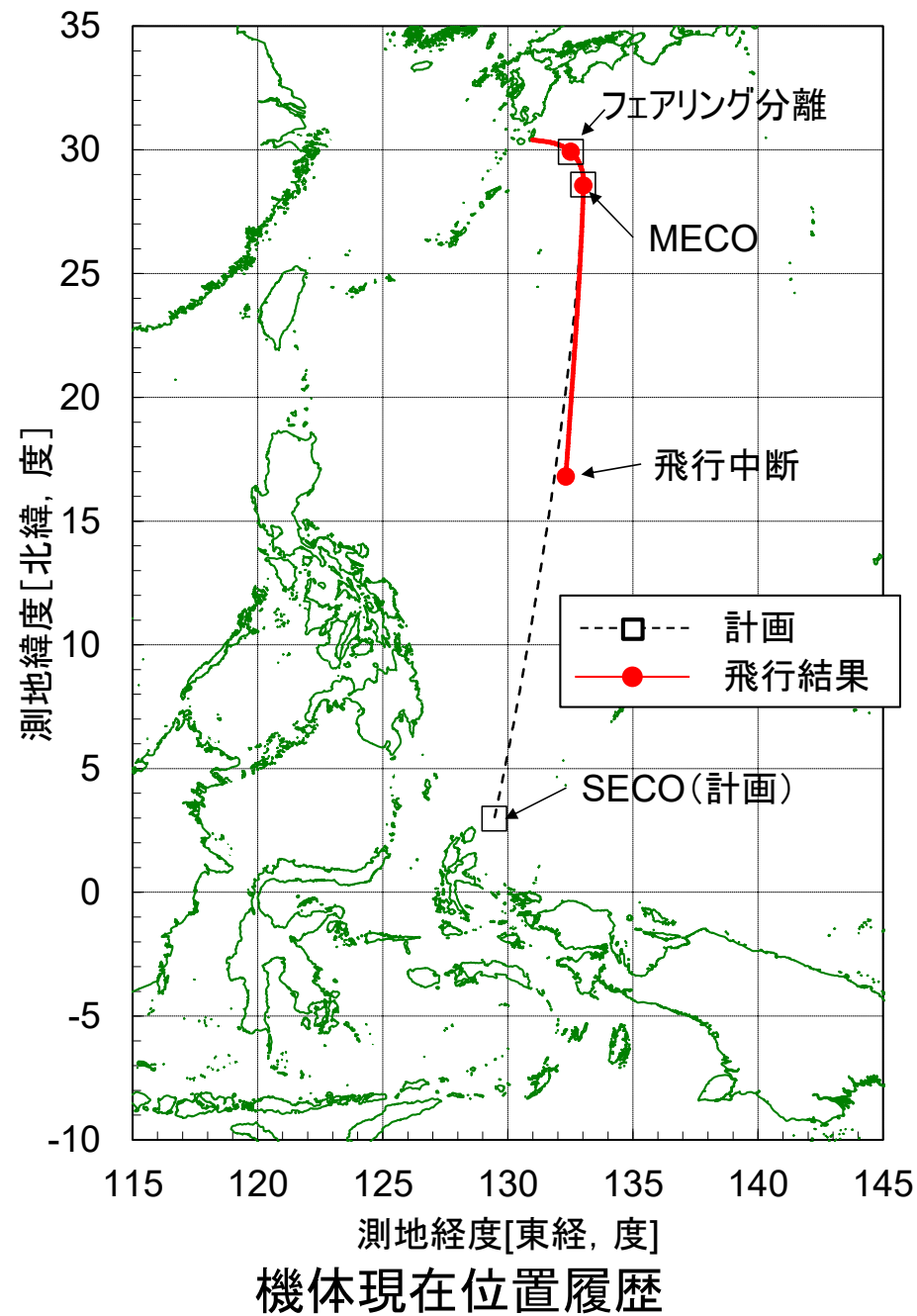
事象	打上後経過時間 (フライト結果)			(参考)予測値		
	経過秒	分	秒	経過秒	分	秒
(1) リフトオフ	0	0	0	0	0	0
(2) SRB-3分離	116	1	56	116	1	56
(3) 衛星フェアリング分離	212	3	32	211	3	31
(4) 第1段エンジン燃烧停止(MECO)	296	4	56	296	4	56
(5) 第1段・第2段分離	304	5	4	303	5	3
(6) 第2段エンジン第1回推力立上がり(SELI)	-	-	-	316	5	16
(7) 飛行中断	835	13	55	-	-	-

1-3 打上げ結果(再掲)



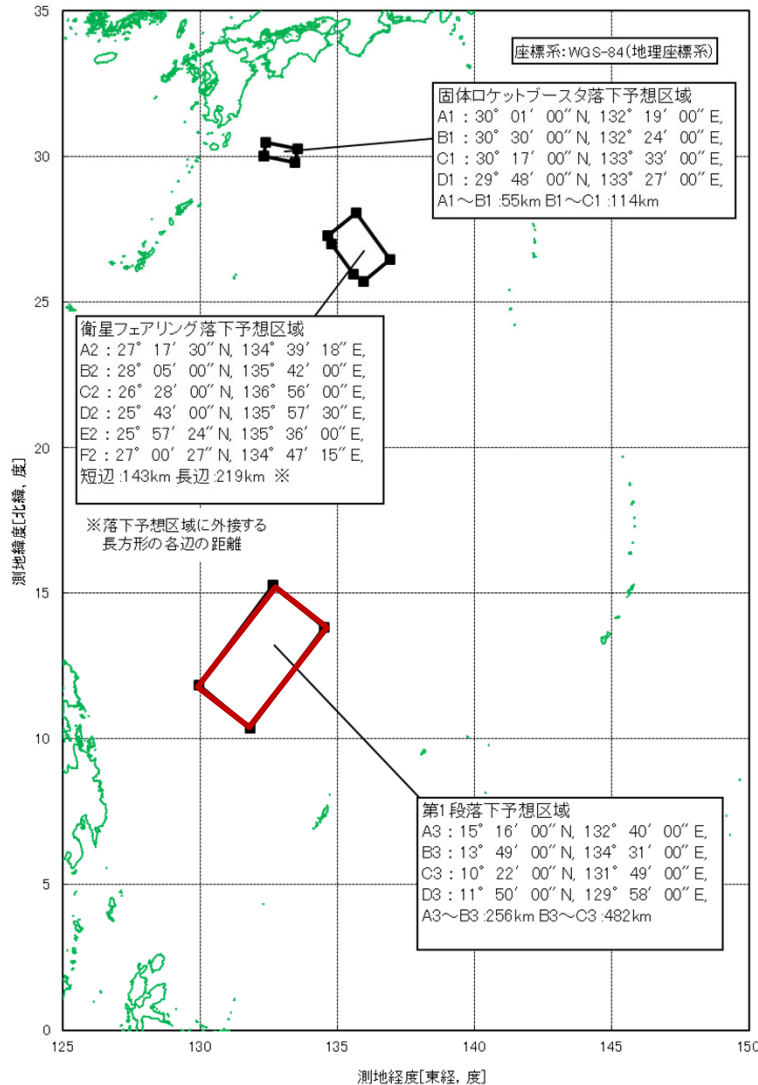
高度履歴

1-3 打上げ結果(再掲)



1-3 打上げ結果(再掲)

- 指令破壊後の破片は、予め計画された第1段落下予想区域内に落下したものと解析。



※ 落下予想区域は、打上げに係る情報の一部として国土交通省および海上保安庁等に対して事前に通知しているエリアであり、通知先各機関により、航空機および船舶に対する安全確保に係る対応(航行規制および規制情報の周知)を実施頂いているエリアである。

飛行計画に基づく投棄物落下予想区域

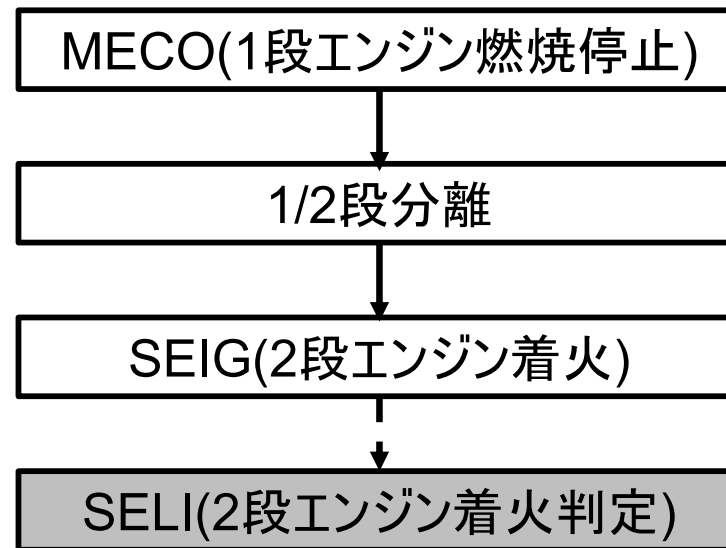
1-4 発生事象の内容(再掲)

■ 2段エンジン着火シーケンス

- 2段エンジン着火にかかるシーケンスを下図に示す。

■ テレメータデータ確認状況

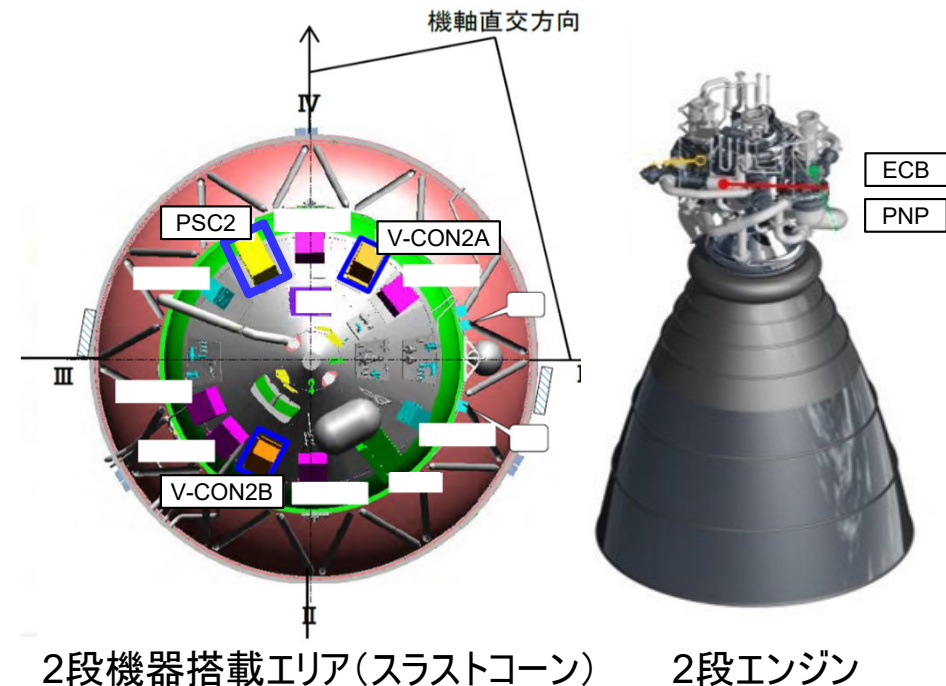
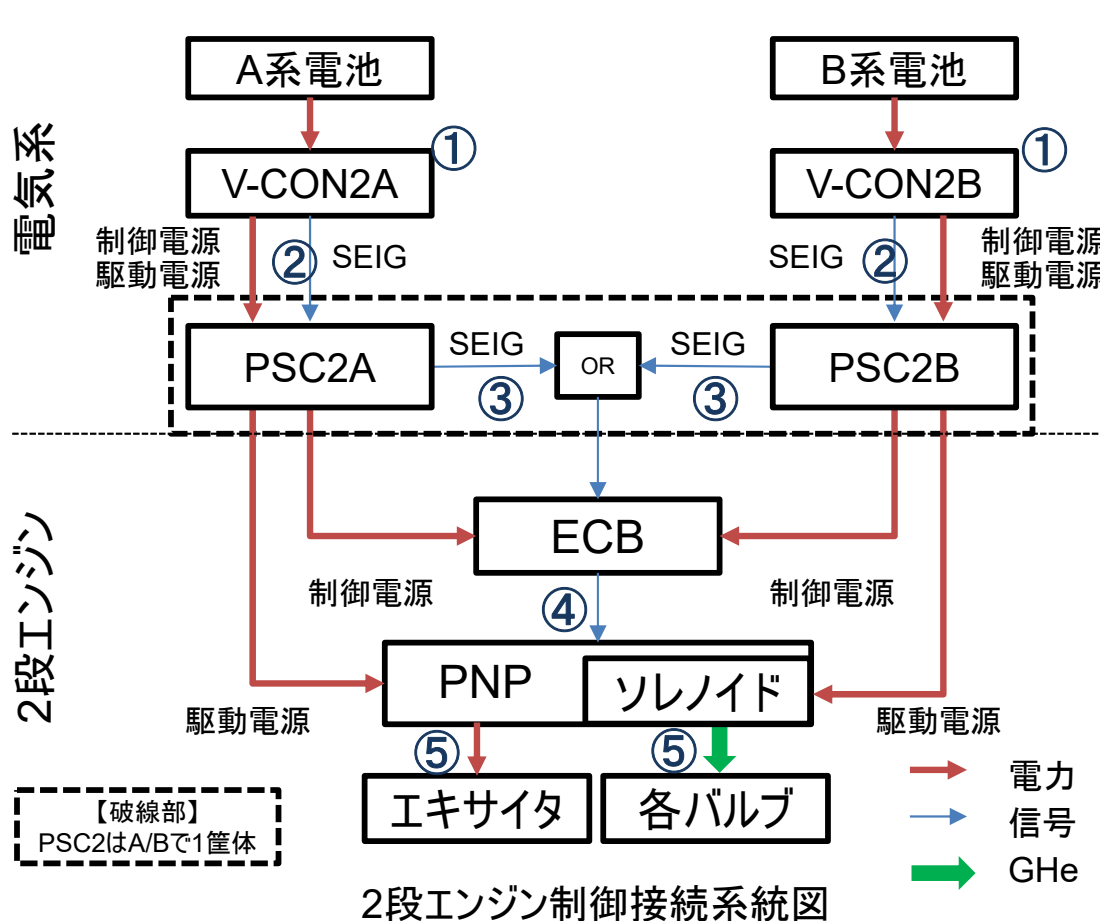
- 1段/2段分離を検知したのち、機体側から2段エンジンへ着火指示(SEIG)を送り、2段エンジン側がSEIGを受信したことを確認した。
- SEIG付近で、電源システムの異常を確認した(機体側かエンジン側の要因かは調査中)。



1-4-1 1段/2段分離後の2段エンジン着火シーケンス(再掲)

■ 基本動作

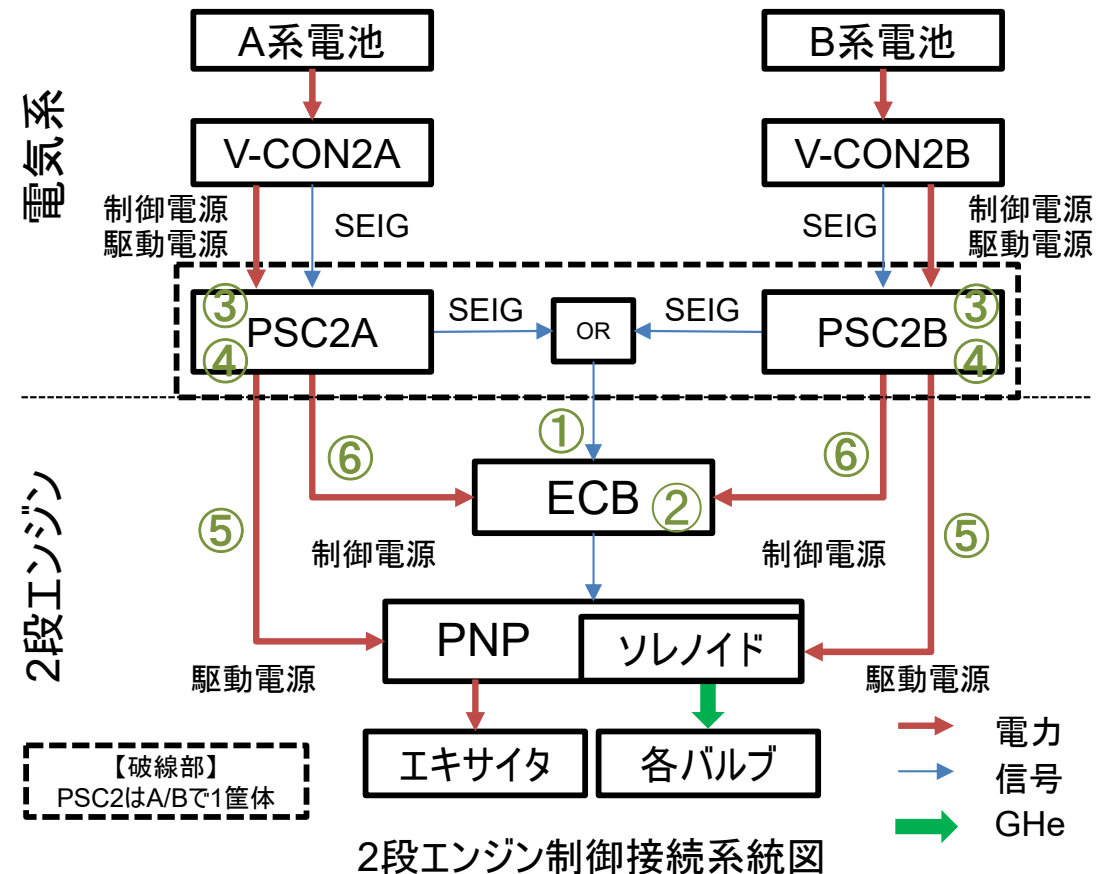
- ① 2段機体制御コントローラ(V-CON2A/2B)が1段/2段分離を検知
- ② その後、2段推進系コントローラ(PSC2)へ2段エンジンの着火信号(SEIG)を出力
- ③ PSC2はそれを受けて2段エンジンのコントロールボックス(ECB)へSEIGを出力
- ④ ECBがSEIGを受けた後、ニューマティックパッケージ(PNP)に駆動を指示
- ⑤ PNPは指示に基づき、各エンジンバルブおよび点火器のエキサイタスパークプラグを駆動



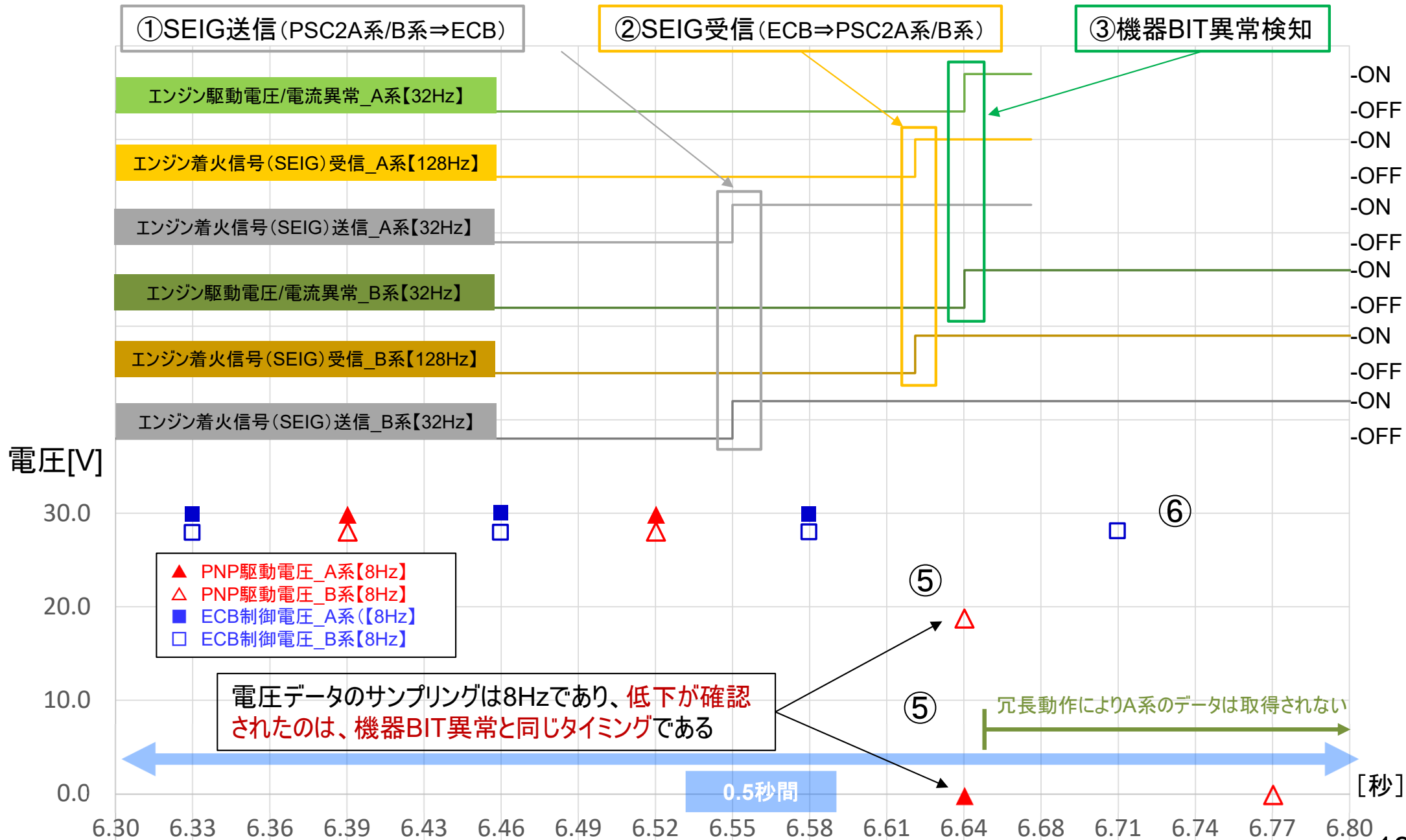
PNP: エンジンバルブ駆動用ヘリウムガスの供給や点火器エキサイタスパークプラグの駆動を制御する装置
 ソレノイド: エンジンの各バルブの駆動に必要なヘリウムガス(GHe)を供給する電磁弁(ソレノイドバルブ)
 エキサイタ: エンジン点火器のエキサイタスパークプラグ

1-4-2 SEIG近傍のテレメータデータ確認状況(再掲)

- テレメータデータにより以下を確認
 - SEIGまでECB/PNP経由の各バルブの制御は正常。
 - PSC2がECBに対してSEIGを送信【①】。その後ECBがPSC2からSEIGを受信したことを確認【②】。
(ここまでは正常動作)
 - ECBがSEIGを受信した直後、PSC2でA系/B系共にエンジン駆動電圧/電流異常を示す機器BIT (Built-In Test:組込み自己診断プログラム)において異常【③】を検知したため、下流機器への電源供給を遮断【④】。
 - 同時にA系からB系に冗長切替
 - 同時にPNPに対して供給する駆動電圧がA系、B系共に下降【⑤】した(なお、ECBの制御電圧は正常【⑥】)。
 - その後エンジンバルブの作動は確認されず、エンジンは着火しなかった。

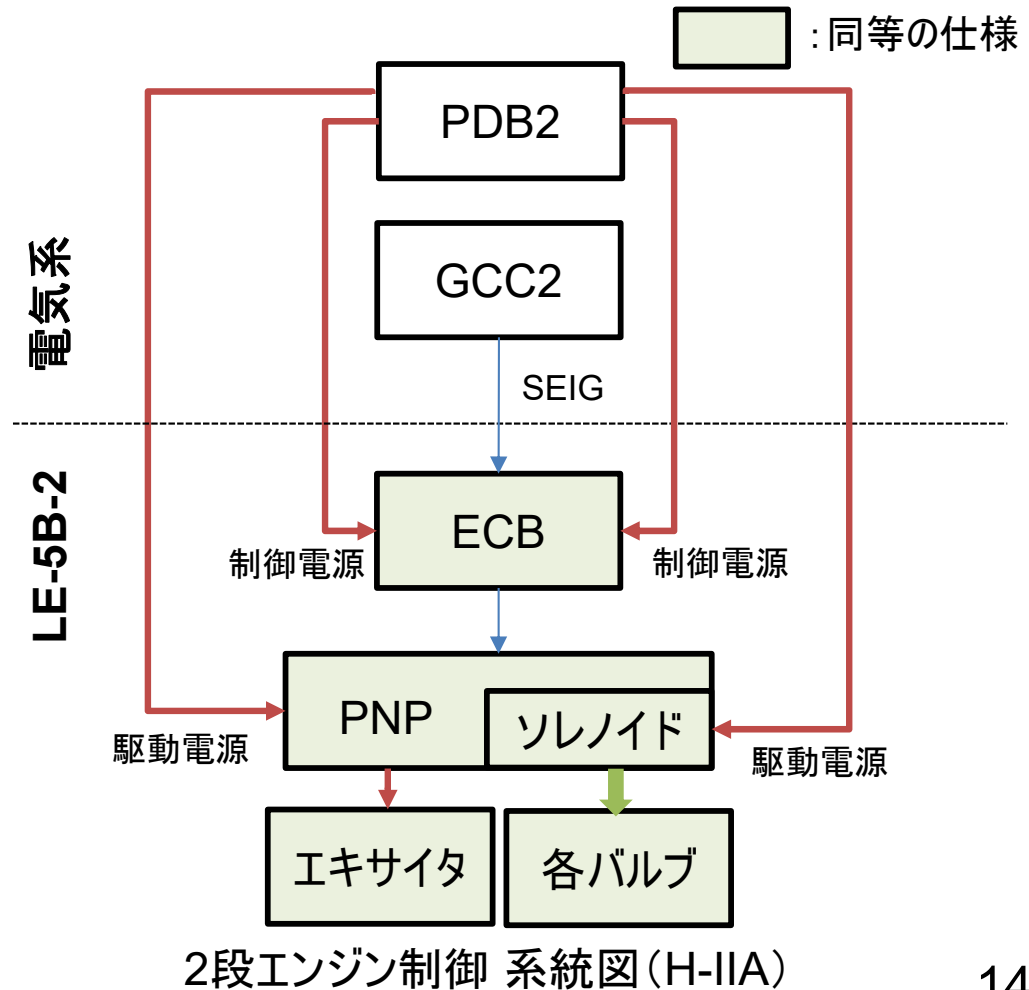
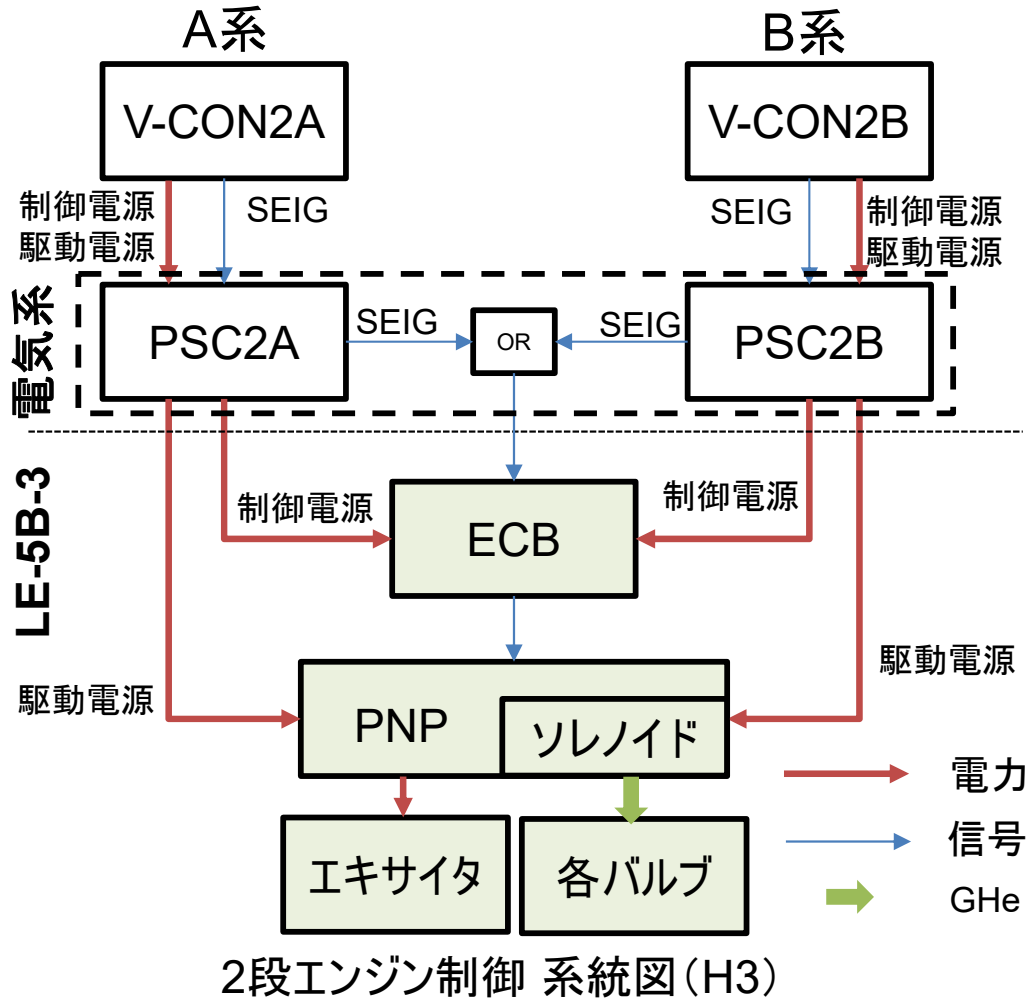


1-4-3 SEIG近傍のテレメータデータ確認状況(再掲)



2. 原因究明の状況

- 故障シナリオについて検証試験により確認し、原因の絞り込みを行う中で、2段エンジン制御システムのH3ロケットとH-IIAロケットの違い（ハードウェアの違いだけでなく、同等仕様の部分についての使い方やフライト環境の違い）に着目しつつ、FTAの各要因を①H-IIAとの共通の要因と②H3固有の要因に識別して原因調査を進めている。



2. 原因究明の状況

2-1 FTA(Fault Tree Analysis※1)

赤字: 前回報告からの更新

- FTAについて、フライトデータとその後の再現試験(次頁にサマリを示す)等から行った現時点での評価を下図に示す。評価の詳細をP16以降に示す。

TOP事象	事象	1次要因	2次要因	3次要因	共通性	フライトデータおよび地上での試験からの評価				
TOP事象	2段エンジン不着火	1. 制御電源喪失			H3 固有	×	電池(A系/B系)、機体制御コントローラ(V-CON2A/2B)、推進系コントローラ(PSC2)からの制御電源の供給電力は正常。2段エンジンコントロールボックス(ECB)のモニタ信号により、供給電力が正常であったことが確認できている。			
						2. 制御信号喪失	2.1 2段エンジンコントロールボックス(ECB)への2段エンジン着火信号(SEIG)不出力	H3 固有	×	機体制御コントローラ(V-CON2A/2B)からの2段エンジン着火信号(SEIG)指示後、推進系コントローラ(PSC2)から2段エンジンのコントロールボックス(ECB)へSEIGが出力されている。
							2.2 2段エンジンコントロールボックス(ECB)が2段エンジン着火信号(SEIG)不受信		×	2段エンジンコントロールボックス(ECB)のモニタ信号にて、ECBがSEIGを受信したことを確認した。
		2.3 2段エンジンコントロールボックス(ECB)からニューマチックパッケージ(PNP)への制御信号不出力	×	SEIGまで、2段エンジンコントロールボックス(ECB)/ニューマチックパッケージ(PNP)経由でのバルブ駆動が正常に実施されていることを確認。SEIGをECBが正常に受信したことを確認した。						
		3. 駆動電源喪失			3.1 電池もしくは機体制御コントローラ(V-CON2)からの駆動電源喪失	H3 固有	×	機体制御コントローラA系(V-CON2A)は冗長動作によりテレメトリデータ更新を停止するためデータ確認ができないが、機体制御コントローラB系(V-CON2B)の駆動電源供給バス電圧は正常であり、2段エンジン不着火の事象には至らない。		
					3.2 推進系コントローラ(PSC2)からニューマチックパッケージ(PNP)への電源遮断		3.2.1 PSC2過電流誤検知(遮断機能の設計不良)	△ ↓ ×	PSC2内部品の単品故障では、A系/B系の両系統のエンジン駆動電源は遮断されない。過電流で下流機器への電源供給を遮断する機能の動作確認とデータ取得を行い、PSC2の遮断機能は設計通り機能することを確認した(2-2-2項(前回))。フライトデータの詳細確認および再現試験から誤検知の可能性はないことを確認した(2-2項)。	
							3.2.2 PSC2の消費電流過大(正常な機器動作範囲)	×	2段エンジン着火(SEIG)時に、エンジンバルブ/エンジン点火用のエキサイタ等が同時動作する際の消費電流を機器レベルおよびシステムレベルの試験にてデータ取得し、機器の正常な範囲では異常検知に至るような過電流は発生しないことを確認した。	
							3.2.3 PSC2から電源供給している下流機器(PNP系統)の過電流 ※2	△	フライト中にPNP系統の機器内部の部品もしくはハーネスが短絡または地絡し、2段エンジン着火(SEIG)時に当該箇所でも過電流を生じる可能性がある(2-3項(前回))。また、当該系統に過電流を生じる要因について、FTA上に残っている故障モードの蓋然性(確からしさ)に基づく評価を継続中(2-3項)。	
							3.2.4 PSC2から電源供給している下流機器(RCS系統)の短絡または地絡	×	RCS系統のBITが異常を検知していないことをフライトデータから確認した(2-2-4項(前回))。	
		3.2.5 PSC2内の電圧過大	×	推進系コントローラ(PSC2)に供給している電圧は正常、PSC2内部の電圧はSEIG前は正常。SEIG信号を受けてPSC2内の電源供給機能は動作しないため電圧過大となるモードはない。						

※1 FTA: 事象から始め、それに繋がる因果関係を洗い出し、原因を特定する解析

※2 短絡もしくは地絡に至った要因について、あらゆる可能性を検討した結果、「短絡または地絡」から「過電流」に見直すこととした。

2. 原因究明の状況

2-1 FTA(Fault Tree Analysis※1)

赤字: 前回報告からの更新

2段エンジン内の短絡・地絡のFTA

3次要因	4次要因	5次要因	6次要因	共通性	フライトデータおよび地上での試験からの評価
3.2.3 PSC2から電源供給している下流機器(PNP系統)の過電流 ※2	3.2.3.1 エキサイタ系統またはソレノイド弁4個(SEIGで作動する弁)系統の短絡/地絡(22頁②もしくは④)	3.2.3.1.1 H3のフライト環境の影響	3.2.3.1.1.1 機械的環境(衝撃)	H3固有/H-IIA共通	△ エキサイタまたはSEIGのタイミングで駆動するソレノイド弁(B群)の系統は、SEIGのタイミングで作動するため、SEIGまでに短絡もしくは地絡していた場合に、SEIGのタイミングで過電流を生じる可能性がある(22頁)。
			3.2.3.1.1.2 機械的環境(ランダム振動)	H3固有	△ フライト時の音響環境に起因するランダム振動環境による影響で短絡/地絡に至った可能性があり、詳細評価を実施中。
			3.2.3.1.1.3 放射線環境	H3固有	× 放射線による部品の誤動作が発生したとしても、短絡/地絡の事象には至らない。
			3.2.3.1.1.4 真空環境	H3固有	△ PNP電源ON時またはSEIG時にグロー放電が発生し短絡/地絡が起こった可能性や、フライト中の機器の帯電によりPNP、エキサイタが誤作動した可能性を懸念していたが、真空環境下での作動試験によって、トランス内部でグロー放電は発生せず、内部の損傷や過電流が生じないことを確認した。(2-3-1-2項 No.13)
			3.2.3.1.1.5 熱環境	H3固有	× 取得できているフライトデータではフライト中の熱環境は設計想定内であった。H-IIAとH3の差異としてエンジン予冷で放出する酸素のノズル方向の差異の影響をフライトデータ/解析から評価し、要因ではないと判断した。
			3.2.3.1.1.6 電磁気干渉	H3固有	× 工場・射場での全機EMC試験により、他の機体構成要素からの伝導/放射による感受性はないことを確認済である。
			3.2.3.1.1.7 極低温環境	H3固有	× エキサイタ、PNP表面温度は常温を維持。ワイヤーハーネスのコネクタ部は多層断熱材(MLI)(製造記録確認済)で養生されており空流入の可能性はない。
		3.2.3.1.2 製造の特異性	3.2.3.1.2.1 通常の検査工程不備	H-IIA共通	× TF1で用いた2段エンジンは定められた試験、検査を経て機体に搭載されており、製造記録を確認した結果、特異性は確認されていない。
			3.2.3.1.2.2 製造ばらつき、環境、仕様による複合要因	H-IIA共通	△ 上記フライト環境や電源(PSC2)と負荷(PNP内ソレノイドもしくはエキサイタ)のIFに起因する負荷に対する耐性が弱く、製造ばらつきにより短絡/地絡に至った可能性がある。
			3.2.3.1.2.3 H3TF1射場整備の特異性	H3固有	× 製造後、フライトまでの期間が長かったことによるコネクタ腐食の可能性について、後続号機や20年以上種子島で保管している機種のコネクタを確認したが腐食はなかったため要因ではないと判断した。なお、地上で当該系統の健全性を確認して以降、アクセス床を設置していなかった。また、射場で工具紛失等はなかった。
		3.2.3.2 ソレノイド弁3個(予冷関連)系統の短絡/地絡(22頁③)	H-IIA共通	× SEIGまでの2段エンジンの予冷弁(A群)のバルブ駆動は正常であったことを確認した。ただし、SEIG時にバルブOFFするシーケンスであり、エンジン駆動電源遮断時にもOFFとなるため、指示に従ったのか、エンジン駆動電源が遮断されたのか区別はつかない(22頁)。	
		3.2.3.3 ソレノイド弁2個(上記以外)系統の短絡/地絡(22頁⑤)	H-IIA共通	× その他のソレノイド弁(C群)は、SEIGのタイミングで作動させないため、SEIGのタイミングで過電流を生じる可能性がない(22頁)。	
		3.2.3.4 テープヒータ系統の短絡/地絡(22頁①)	H-IIA共通	× テープヒータにはPNPへの電力供給時、常時ONされており、SEIGのタイミングでON/OFFするものではない(22頁)。	
		3.2.3.5 電源供給しているPSC2と下流機器の連成による過電流 ※2	H3固有	△- 当該系統(PNP系統)とシステムの連成により、SEIGのタイミングで必然性のある故障シナリオや、A系B系の両系統の故障に至るシナリオで過電流を生じる可能性について評価する。(2-3-2項)	

※1 FTA: 事象から始め、それに繋がる因果関係を洗い出し、原因を特定する解析

※2 短絡もしくは地絡に至った要因について、あらゆる可能性を検討した結果、FTA3.2.3を「短絡または地絡」から「過電流」に見直し、FTA3.2.3.5を追加。

2-2 FTA3.2の中(3次要因)の絞り込み

■ PSC2過電流誤検知(FTA3.2.1)

- フライトデータの詳細確認および再現試験の結果から、TF1のフライト時に誤検知が生じた可能性はないことを確認した。
- フライトデータではサンプリング周波数が低く、トランジェントな挙動の詳細データは得られていないものの、PSC2よりも上流にあるV-CON2において、A系からB系に切り替わる途中の電流データに有意な挙動があることを確認した。
- フライトにおいて誤検知が発生したと仮定した場合に、フライトで得られているA系電流データから切替タイミングが推測でき、同タイミングで切替えた後のB系電流データは再現試験や解析評価によるデータと矛盾する。

- 以上より、PSC2の過電流誤検知はFTA上で「×」と評価し、3次要因については「PSC2から電源供給している系統の過電流」(FTA3.2.3)に絞り込みを完了し、原因の特定を進める。

2-3 FTA3.2.3 (PSC2から電源供給している下流機器の過電流)の調査

検討の優先度付け(再掲)

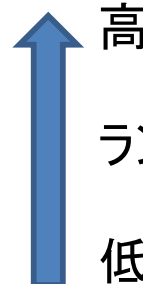
■ 故障モードの蓋然性(確からしさ)による検討範囲と優先度の考え方

- FTA上識別された**全ての故障モードにつき、何らかの否定根拠(軽重あり)があり、故障モードの特定には至っていない。**
- 各故障モードに対し、それらの**否定根拠を以下の通り分類した。**各根拠は**蓋然性(確からしさ)の順に並べられており、(相対的に)①が最も確実で信用でき、逆に⑤が根拠として最も弱い。**

- ① 「その故障モードではなかった」という明確な証拠がフライトデータ中に存在する。
- ② その故障モードであった場合、発生した事象の一部を説明できない。
- ③ その故障モードであった場合、同時に二重故障が発生しないと事象を説明できない。
- ④ その故障モードであった場合、発生タイミングがSEIGの瞬間であったことを説明できない(タイミングが偶然SEIGと一致したことになる)。
- ⑤ その他(その故障モードが発生しないよう、製造時に検証されている等)

- 上記の否定根拠①～⑤のどれで否定されているかにより、**故障モードを以下の通りランク分けした。**高ランクのものから優先的に検討を進めており、**R5に該当する事象の検討を優先し、並行してR4/R3の可能性も排除せずに検証、評価を継続中。**

- R5: 根拠⑤でしか否定できない
- R4: 根拠④、⑤でしか否定できない
- R3: 根拠③～⑤でしか否定できない
- R2: 根拠②～⑤でしか否定できない
- R1: 根拠①で否定できる



高

ランク＝検討優先度

低

2-3 FTA3.2.3(PSC2から電源供給している下流機器の過電流)の調査

検討の優先度付け(再掲)

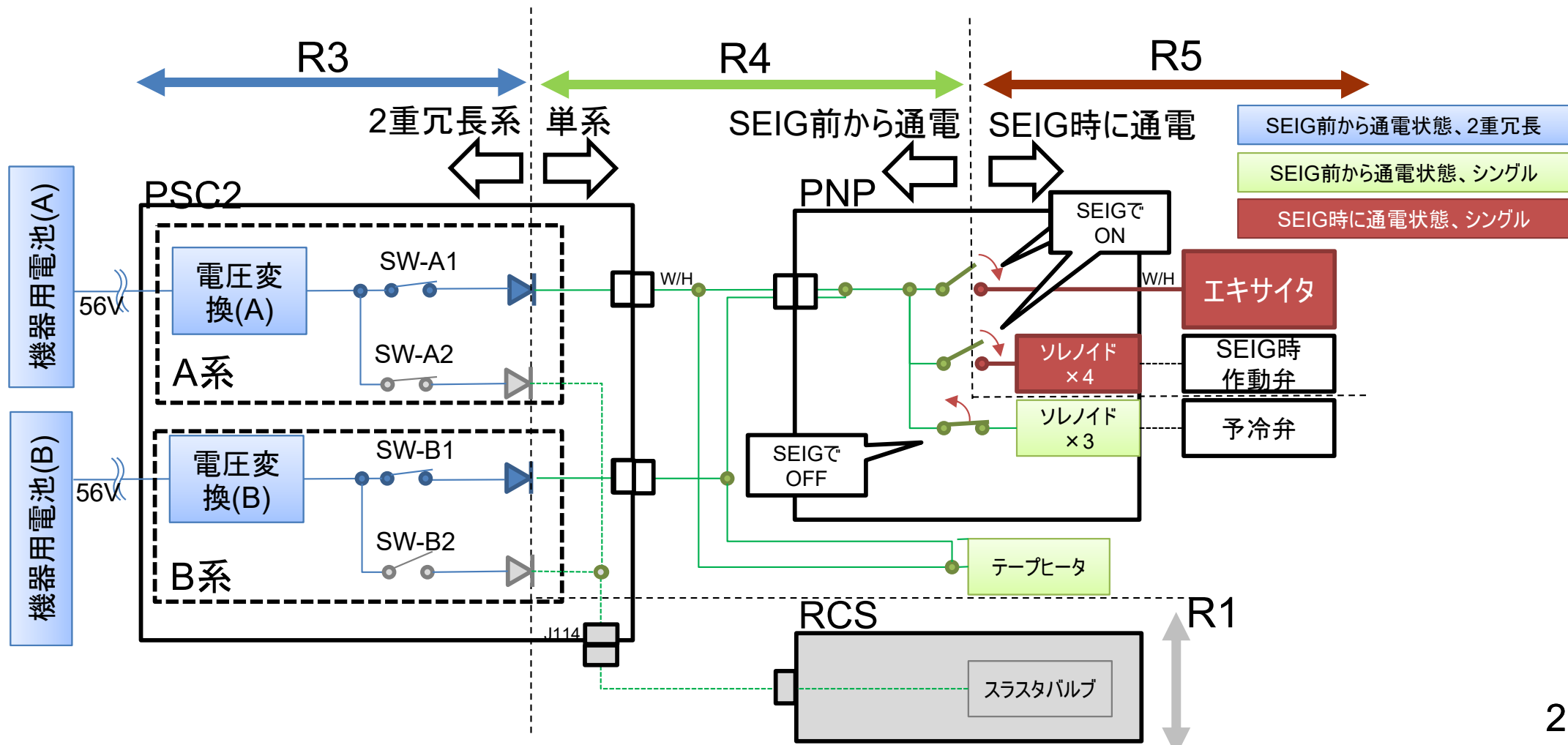
■ 各ランクのシナリオ代表例と調査・検討の進め方

- R5: 推定原因として**最有力の候補**であり、**優先的に調査・検討**を実施中
- R4/R3: 発生した**可能性はR5に比べ小さい**が、引き続き**調査対象から排除せず検討**
- R2/R1: フライトデータ中にそれを**否定する直接的・間接的証拠**があり、**原因ではない**と判断可能

ランク/ FTA評価		故障シナリオの例	否定の 証拠	故障 許容度	SEIGとの 同時性
R5	△	エキサイタまたはソレノイド(単一故障点)が、フライト中の機械的環境(振動、衝撃)や真空環境(グロー放電)の影響等により地絡・短絡し、SEIG時に同箇所に通電し過電流に至った。	なし	単一故障 で発生	SEIG時に発 現した理由を 説明可能
R4	△-	それまで正常に動作していたPNP内部の回路やPSC2下流のハーネス(単一故障点)が、 偶然 SEIGとほぼ同じタイミングで、断線や部品故障によって短絡・地絡した。	なし	単一故障 で発生	説明モデルなし (偶然)
R3	△-	それまで正常に動作していたPSC2内部のA系/B系両回路が、 偶然 SEIGとほぼ同じタイミングで、部品故障やノイズによって過電流/過電圧を誤検知し、供給電源を遮断(二重故障)した。	なし	二重故障 で発生	説明モデルなし (偶然)
R2	×	ECBからPNPへのSEIG信号不出力またはPNPでの不受理により、2段エンジン不着火に至った。 (※実際にはPSC2内で異常検知していることが説明できない)	あり	—	—
R1	×	PSC2からのSEIG信号不出力またはECBでの不受理により、2段エンジン不着火に至った。 (※実際にはECBがSEIGを受信できていたことが、フライトデータで判明している)	あり	—	—

2-3 FTA3.2.3 (PSC2から電源供給している下流機器の過電流)の調査

- R5の範囲は、H-IIAとの共通要因であり、部品の単品故障で事象に至ることから、部品単位で要素ごとにシナリオを立てて、検証に取り組んできた。結果を2-3-1項「H-IIA共通要因」に示す。
- また、前回、引き続き検討することとしたR3, R4 (下図に示す範囲)については、偶然ではなく、H3システム (H3固有部分とH-IIAとの共通部分の組合せ等)として必然的に発生した要因が潜んでいないかについて検討しFTA3.2.3.5として評価する。検討状況を2-3-2項「H3固有要因」に示す。



2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-1 シナリオ抽出の検討(再掲)

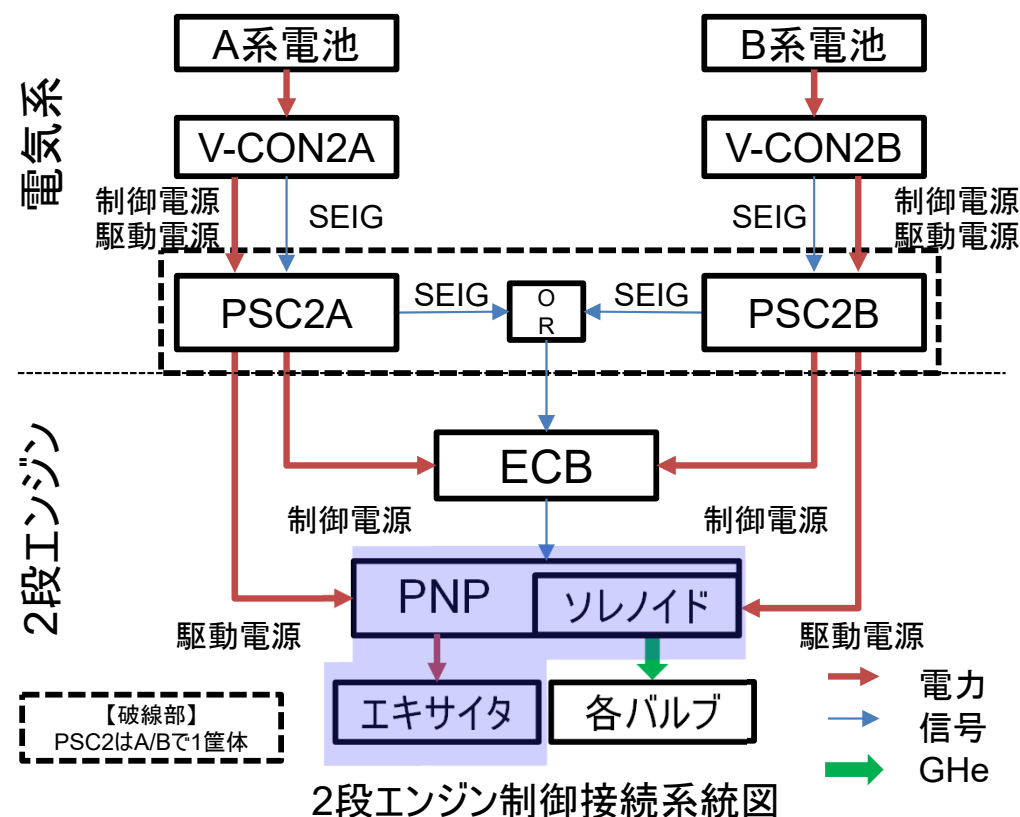
■ 故障シナリオの検討と原因究明の進め方

- H3TF1の不具合は3月2日の地上点検までは正常であり、その後、SEIG時に過電流を生じている特徴がある。
- このため、要因として絞り込まれた全ての部品について、**製造・点検から不具合事象に至るまでに複合する要因によって説明可能な故障シナリオを抽出し、検証する。**

<進め方>

FTA3.2.3.1 エキサイタ系統またはソレノイド弁4個系統の短絡・地絡(FTA 4次要因)

- ① **エンジン電気系コンポの部品レベルでの要因の絞り込み**
短絡・地絡事象に至る可能性のある部品の絞り込み
- ② **故障シナリオの抽出**
複合要因により説明可能な部品の故障シナリオの抽出
- ③ **故障シナリオの検証**
故障シナリオを試験等により検証し原因を特定



2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-1 シナリオ抽出の検討(再掲)

①エンジン電気系コンポーネントの部品レベルでの要因の絞り込み(1/4)

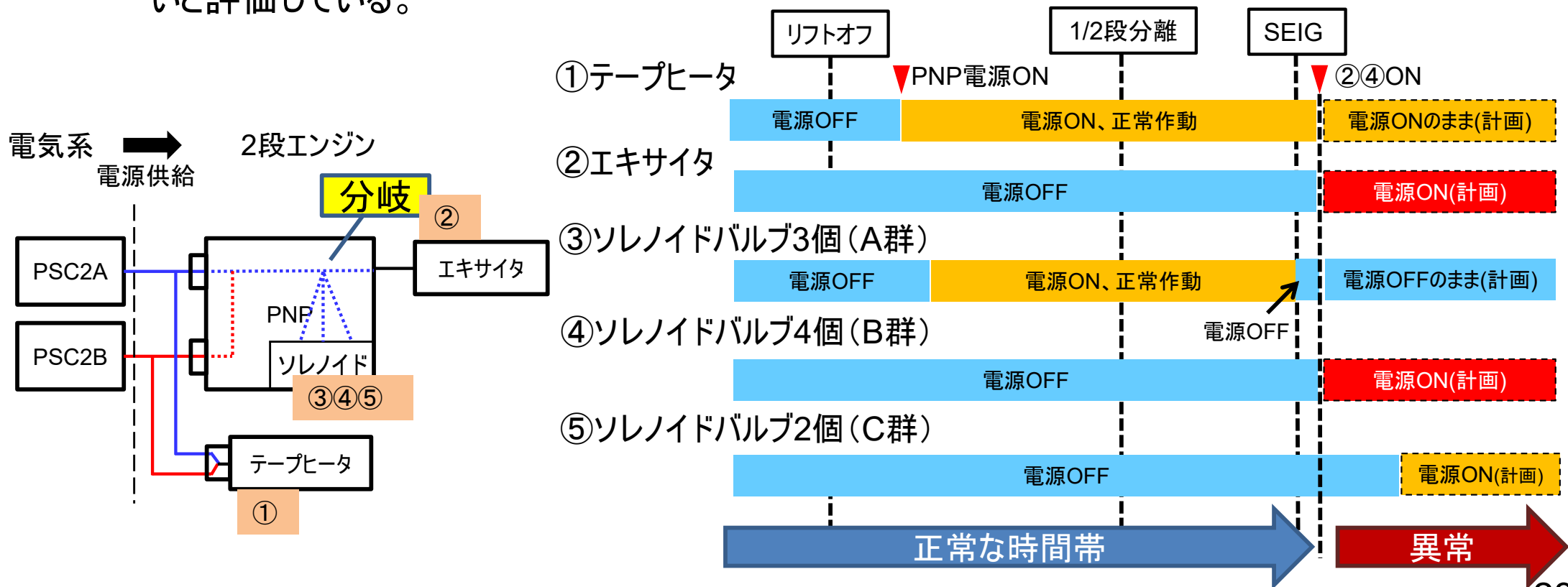
- FTAで絞り込んできた推定要因(△)である**短絡・地絡事象**について、エンジン電気系コンポーネント(PNP(ソレノイド)、エキサイタ、ワイヤ・ハーネスを構成する**部品レベルに細分化**した。
- 部品リストに対し、主に以下の観点から**短絡・地絡事象に至る可能性のあるものを絞り込んだ**。
 - a. フライトデータから要因として否定できるものは排除した(次頁参照)
 - b. 当該部品の故障によって過電流に至るものを抽出した
 - (例)コンデンサは、短絡すると大電流が流れるため該当。ある抵抗器は、短絡しても回路上の抵抗値の変化は小さく大電流は流れないため非該当。
 - c. 製造上や寸法上、短絡・地絡に至るリスクがあるものを抽出した
 - (例)ハーネスは、何らかの要因によりケース等と接触して組立られると擦れて損傷することで地絡に至るため該当。基板に実装された部品のはんだ部は、樹脂でモールドされているため短絡・地絡の可能性は無く非該当。
 - d. 過去に不具合事例があるものを抽出した
 - (例)コイルは、収納方法の不良により被覆が損傷して地絡させた例があるため該当。トランジスタは、はんだの接合不良により絶縁不良に至った例があるため該当。

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-1 シナリオ抽出の検討(再掲)

①エンジン電気系コンポーネントの部品レベルでの要因の絞り込み(2/4)

- フライトデータから要因として否定できるもの
 - 2段エンジン内の各負荷の作動シーケンスと異常発生タイミングから短絡もしくは地絡が発生した可能性の高い箇所の絞り込みを実施した。
 - 機器BIT異常検知したタイミングで電源ONとなる計画であった系統は2か所ある(下図②, ④)。この2か所のいずれかで短絡もしくは地絡していたものが、電源ONと共に顕在化した可能性が高いと評価している。



2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-1 シナリオ抽出の検討(再掲)

① エンジン電気系コンポーネントの部品レベルでの要因の絞り込み(3/4)

- エンジン電気系のコンポーネント(PNP、エキサイタ、機器間ワイヤ・ハーネス)について、**回路図**から短絡・地絡事象(故障モード)を引き起こす可能性のある内部部品を**網羅的に抽出**し、各部品についてFTA上識別された不具合要因である**フライト環境の影響**や**製造の特異性との関連性**(下表の○印)を整理した。本整理に基づき環境要因と特異性を組合わせた**故障シナリオ**を抽出する。

コンポーネント	内部部品	故障モード			要因			
		FTA3.2.3.1(4次要因) エキサイタまたはPNPの短絡・地絡			FTA3.2.3.1.1(5次要因) フライト環境の影響			FTA3.2.3.1.2 (5次要因) 製造の特異性
		開放	短絡	地絡	衝撃	振動	真空	製造・組立
PNP	MOS-FET	—	—	○	○	○	—	○
	リード線	—	○	○	—	○	—	○
ハーネス	シールド結線部	—	○	○	○	○	—	○
	コネクタ	—	○	○	○	○	—	○
エキサイタ	コンデンサ	—	○	○	○	○	—	○
	貫通フィルタ	—	—	○	○	○	—	○
	トランジスタ	—	○	○	○	○	—	○
	トランス	1次	—	○	—	—	○	—
		2次	—		—	—		—
	ダイオード	○	—	—	○	○	—	○
	フィルタ組立	—	—	○	○	○	—	○
発振回路部	—	○	○	—	○	—	○	

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-1 シナリオ抽出の検討

赤字: 前回報告からの更新

①エンジン電気系コンポーネントの部品レベルでの要因の絞り込み(4/4)

- 製造時に内在する可能性のある短絡・地絡しやすい状態を以下に列挙する。

A) PNP内部部品

- MOS-FET (トランジスタの一種) : 取扱時にドレインピン損傷
- リード線 (FET、ソレノイド) : 振動摩耗・組立時挟み込み

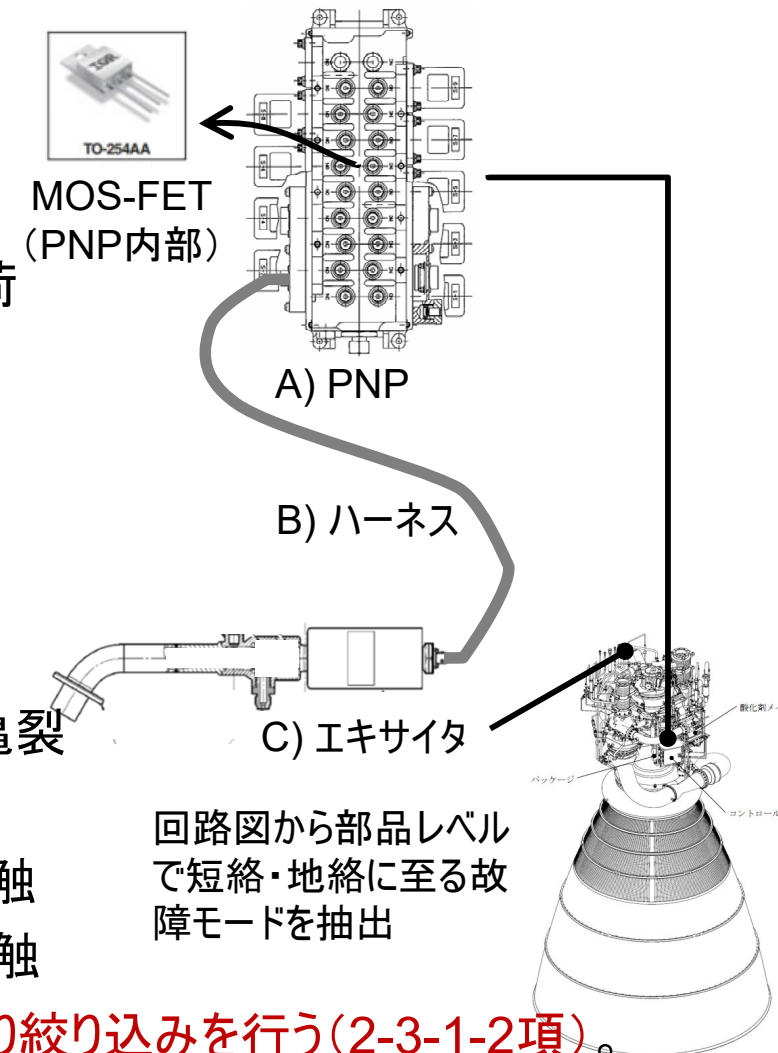
B) PNP-エキサイタ間ハーネス

- シールド結線部 : 製造時入熱損傷・低温劣化・負荷
- コネクタ : 勘合時にメッキが剥がれてジャンパ

C) エキサイタ内部部品

- コンデンサ : 取扱時損傷・リード線とケース接触
- 貫通フィルタ : 取扱時に損傷
- トランジスタ : リード線接触・製造時入熱損傷
- トランス : グロー放電を誘発するポッティング亀裂
- ダイオード : 取扱時に損傷しオープン故障
- フィルタ組立 : 組立不良によるコイルとケースの接触
- 発振回路部 : 異物による地絡・1次/2次コイル接触

- これらが環境要因と複合した故障シナリオを抽出し、検証により絞り込みを行う(2-3-1-2項)。



2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

② 故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(1/6)

- 前頁に整理した短絡・地絡事象を引き起こす可能性のある部品に対し、**H3TF1の不具合事象を複合する要因によって説明し得る故障シナリオを網羅的に検討した**。抽出した各故障シナリオに対して検証内容を検討し、**検証試験等によって短絡・地絡が発生する可能性を評価中**である。
 - 前回の報告後、本日までの検証作業の主な進捗は以下の通りである。
- 前回報告した17個の故障シナリオに加え、原因究明の過程でエキサイタ作動時にエキサイタ内部のトランジスタに定格電圧(120V以下)を超えるサージ電圧(約190V)が繰り返し印加されることが新たに判明した。本事象はH3固有では無く、H-IIAから発生していた共通事象であり、**故障シナリオとして1個(No.18を)追加した**。
 - 検証試験等によって、**18個のうち9個の故障シナリオ(No.1,2,4~7,12~14)については、TF1の不具合事象の発生に至る可能性を排除した(FTA上「×」と評価した)**。
 - **残る9個の故障シナリオは現時点で短絡・地絡が発生する可能性を排除できない(FTA上「△」と評価)ことから、全てについて対策を設定した**。

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

赤字: 前回報告からの更新

② 故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(2/6)

No.	故障部位		シナリオ	検証内容	原因特定への進捗
1	PNP	MOS-FET (トランジスタの一種)	取扱不良でドレインピンの素線が外れかけて部品の金属部と距離が近くなり、打上げ前までは地絡しかけていたものが、打上げ時の振動・衝撃で完全に外れて金属部と接触し、SEIG時に地絡。	ドレインピンの素線が脱落した場合に金属部に接触し得る長さになっているか、部品の分解点検またはX線CT検査により 確認 。	・X線CT検査によって内部構造を調べたところドレインピンの素線の長さは短く、仮に脱落したとしても複数の金属部へ同時に接触することはないことを確認した。 (△→×)
2		FET リード線	リード線が基板やケースに接触した状態で組立され、単体振動試験やエンジン試験、打上げ時の振動でリード線被覆が摩耗、素線が露出してケース等の金属部と接触し、SEIG時に短絡または地絡。	振動によりリード線の被覆が短絡または地絡を起こし得る程度に摩耗するか、数千秒のエンジン試験(振動環境)に供した開発残品の分解点検により 確認 。	・数千秒のエンジン試験に供したPNPを分解点検した結果、FETリード線とケースに擦れ痕が無く、短絡または地絡に至る可能性がないことを確認した。(△→×)
3		ソレノイド リード線	リード線が基板やケースに接触した状態、角部と接触、または挟まれた状態で組立され、単体振動試験やエンジン試験、打上げ時の振動でリード線被覆が摩耗、素線が露出してケース等の金属部と接触し、SEIG時に短絡または地絡。		・数千秒のエンジン試験に供したPNPを分解点検した結果、ソレノイドのリード線に接触痕が確認されたため、現時点では可能性は否定できない。(△)

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

赤字: 前回報告からの更新

② 故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(3/6)

No.	故障部位	シナリオ	検証内容	原因特定への進捗
4	ハーネス (PNP- エキサイタ間)	はんだ付けしている結線部の被覆がはんだ付け時の入熱で損傷。打上げ時の振動・衝撃で完全に被覆が損傷し、SEIG時に配線同士で短絡またはケースと地絡。	はんだ付け時の入熱による結線部の被覆損傷が発生し得るか、開発残品・新規製作品のX線CT検査により 確認 。	・X線CT検査や艤装状態模擬した振動試験によって、被覆損傷が発生しないことを確認した。(△→×)
5		予冷戻り配管に近接している箇所がCFTや打上げ時に低温化して被覆が劣化。打上げ時の振動・衝撃で完全に被覆が損傷し、SEIG時に配線同士で短絡またはケースと地絡。	被覆の低温化による劣化が起こり得るか、ハーネスの当該部を液体窒素で低温化させた上で分解点検を行い 確認 。	・検証試験によって低温化による被覆の劣化がないことを確認した。(△→×)
6		ハーネスの曲げ・ねじり・固定の仕方により結線部やコネクタに負荷がかかった状態となり、打上げ時の振動で結線部やコネクタが外れ、SEIG時に配線同士で短絡またはケースと地絡。	ハーネスの曲げ・ねじり・固定の仕方を実機と同じ状態に模擬して振動試験を行い、結線やコネクタの状態変化がないかを 確認 。	・実機を模擬した荷重負荷試験や振動試験後のX線CT検査によって、結線部やコネクタの状態変化がないことを確認した。(△→×)
7		コネクタ結合時にコネクタ内部に混入した導電性のコンタミが打上げ時の振動・衝撃で移動し、ピン間に付着・ブリッジしてSEIG時に短絡または地絡。	コネクタの結合作業工程においてコンタミが混入する可能性を詳細に評価する。	・短絡または地絡に至るためには1mm以上の長さのコンタミが必要だが、結合作業は清浄度管理されたエリアで行われたこと、1mm以上であれば結合前の目視点検で確実に識別できることなどから可能性はないと評価した。(△→×)

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

赤字：前回報告からの更新

② 故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(4/6)

No.	故障部位	シナリオ	検証内容	原因特定への進捗
8	エキサイタ	コンデンサ 取扱不良で誘電体が損傷し、打上げ前までは短絡しかけていたものが、打上げ時の振動・衝撃で完全に損傷し、SEIG時に短絡。	取扱いや打上時の振動衝撃で誘電体が損傷し短絡・地絡が発生し得るか、部品レベルの振動試験等による確認を検討中。	・現時点では可能性は否定できない。(△)
9		コンデンサ 組立時にリード線とケースが近接状態となってしまう、打上げ前までは接触していなかったが、打上げ時の振動・衝撃で接触し、SEIG時に地絡。	リード線がケース等と接触した状態で加振を行い、リード線の損傷度合いと短絡可否を検証すること等を検討中。	・現時点では可能性は否定できない。(△)
10		貫通フィルタ 取扱不良で誘導体等内部部品が損傷し、打上げ前までは地絡しかけていたものが、打上げ時の振動・衝撃で完全に破損し、SEIG時に地絡。	取扱い、地上試験、打上時の振動衝撃で内部部品が損傷し地絡が発生し得るか、部品レベルの振動試験等による確認を検討中。	・現時点では可能性は否定できない。(△)
11		トランジスタ 組立時にコレクタリード線とケースが近接状態となってしまう、打上げ前までは接触していなかったが、打上げ時の振動・衝撃で接触し、SEIG時に地絡。	リード線がケース等と接触した状態で加振を行いリード線の損傷度合いと短絡可否を検証すること等を検討中。	・現時点では可能性は否定できない。(△)

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

赤字：前回報告からの更新

② 故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(5/6)

No.	故障部位		シナリオ	検証内容	原因特定への進捗
12		トランジスタ	組立時に2回はんだ付けを実施しており、はんだ付けの熱負荷過大により損傷し、打上げ前までは短絡しかけていたものが、打上げ時の振動・衝撃で完全に損傷し、SEIG時に短絡。	トランジスタの損傷が熱負荷によって進行する場合スパークレートが低下するため、TF1用エキサイタの製造後から打上げまでのデータを確認。	・TF1用エキサイタの製造後から打上までのデータでは、スパークレートの低下傾向がないため、損傷の可能性はないと評価した。 (△→×)
13	エキサイタ	トランス	打上後123秒時点(真空環境)のPNP電源ON時に一瞬にエキサイタまで通電し、グロー放電が発生。放電エネルギーによりトランス内部を損傷して短絡回路を形成し、SEIG時に通電した際に過電流発生。	真空環境下でエキサイタとPNPの作動試験を行いグロー放電および短絡発生の可能性を確認。	・真空環境下での作動試験によって、トランス内部でグロー放電は発生せず、内部の損傷や過電流が生じないことを確認した。 (△→×)
14		ダイオード	組立時の絶縁シート固定時に取扱不良で損傷し、打上げ時の振動・衝撃で完全に破損しオープンとなった。その後のエキサイタON時に一次回路が発振できず電圧が継続的に上昇、過電流発生。	ダイオード(トランスの2次側にある部品)のオープン故障模擬試験を行い、1次側の回路に電圧上昇の発生有無を確認。	・ダイオードを含むトランスの2次側部品のオープン故障模擬試験によって、1次側の回路に電圧が継続的に上昇することはなく、過電流が生じないことを確認した。 (△→×)

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

赤字: 前回報告からの更新

② 故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(6/6)

No.	故障部位	シナリオ	検証内容	原因特定への進捗	
15	エキサイタ	フィルタ組立	組立時にコイル・ケース間の絶縁保護シートがずれ、コイルとケースが接触。組立作業中の取り扱いや打上げ時の振動・衝撃でコイル表面のエナメル被覆が剥がれ、コイル素線とケースが接触し、SEIG時に地絡。	コイル用被覆電線がケース等と接触した状態で加振を行い電線の損傷度合いと短絡可否を検証すること等を検討中。	・現時点では可能性は否定できない。(△)
16		発振回路部	不適合対策(トランジスタ交換作業)に伴い摩耗粉が発生。打上げ時の振動で摩耗粉が絶縁シートを貫通し、摩耗粉を介してトランジスタとボルトが接触し、SEIG時に地絡。	摩耗粉を噛みこんだ状態を模擬した状態で加振を行い地絡可否を検証すること等を検討中。	・現時点では可能性は否定できない。(△)
17			組立時に絶縁テープに傷をつけ、打上げ時の振動で絶縁シートが損傷、1次/2次コイルが接触し短絡、SEIG時に過電流が発生。	絶縁テープに傷がある場合はスパーク開始電圧の変化やノイズ重畳が生じるため、TF1用エキサイタの製造後から打上げまでのデータを確認。	・現時点では可能性は否定できない。(△)
18		トランジスタ	【新規追加】エキサイタ点火時にトランジスタの電圧(Vce)が定格を超過し損傷、短絡による過電流が発生。	トランジスタに定格を超える電圧を印加し、損傷可否を確認。	・現時点では可能性は否定できない。(△)

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

■ 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.2】PNP内部のMOSFETリード線の故障

● シナリオ詳細

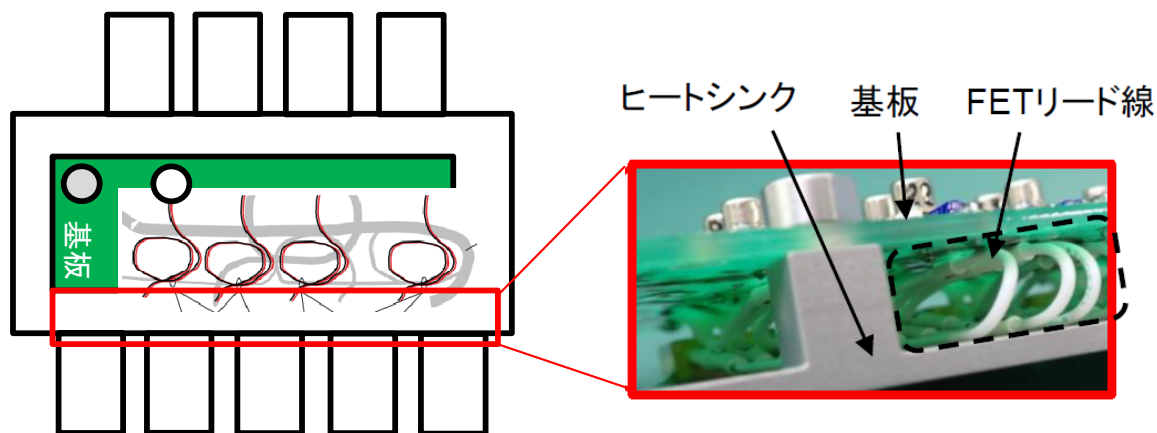
- リード線が基板やケースに接触した状態で組立され、単体振動試験やエンジン試験、打上げ時の振動で被覆が摩耗、素線が露出してケース等の金属部と接触し、SEIG時に短絡または地絡した。

● 検証方法

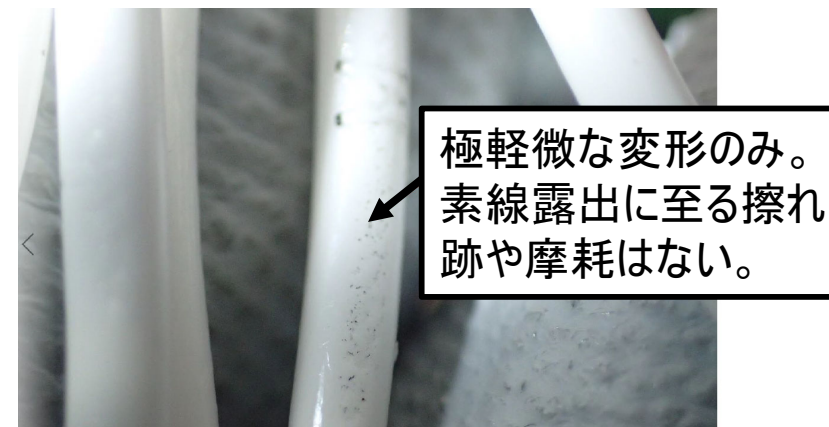
- 数千秒のエンジン試験(振動環境)に供した開発残品を分解点検し、リード線の摩耗状況を確認。

● 検証結果

- **開発残品の分解点検の結果、リード線被覆及び金属部に擦れ痕(損傷形跡)はないことから、本シナリオは発生しない。**



PNP内部のMOSFETリード線(イメージ)



開発残品の摩耗状況確認結果

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

■ 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.4, 5, 6】PNP-エキサイタ間ハーネスの故障

● シナリオ詳細

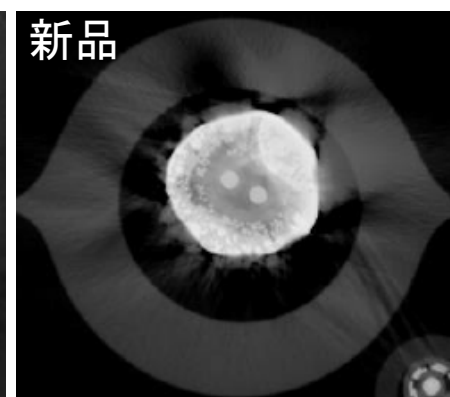
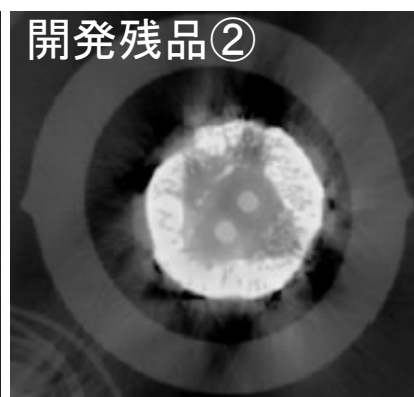
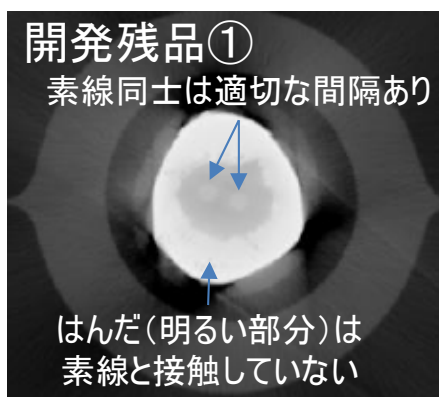
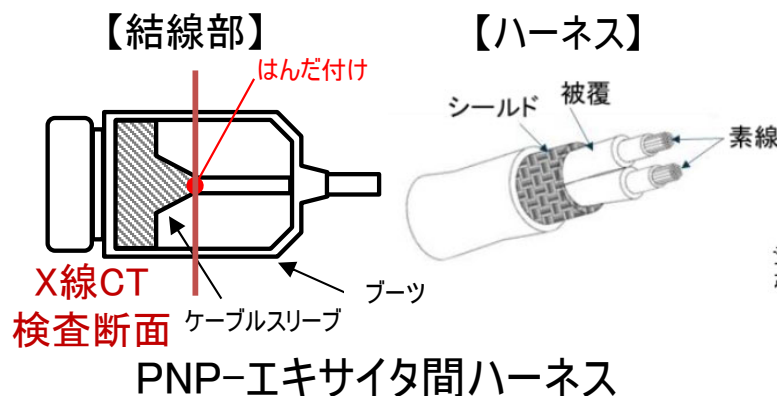
- はんだ付け時の入熱・予冷時の低温化・固定時の負荷応力等により結線部の被覆が損傷。打上げ時の振動・衝撃で完全に被覆が損傷し、SEIG時に配線同士で短絡またはケースと地絡した。

● 検証方法

- X線CT検査により開発残品及び新品の結線部の素線がはんだ付け部と接触していないことを確認。
- 射場での予冷時の低温化を模擬してLN2に浸した後に曲げ負荷を印加し結線部に損傷がないことを確認。
- X線CT検査により応力負荷状態の素線同士が適切な距離を確保しているかを確認。
- 実機でのケーブル固定状態を模擬して振動試験を行い、加振中に地絡・短絡が発生しないことを確認。

● 検証結果

- 上述の検証の結果、結線部の素線ははんだ付け部と接触していないこと、低温下による劣化がないこと、応力負荷状態の素線同士が適切な距離を確保していること、加振中に地絡・短絡が発生しないことを確認できたことから、本シナリオは発生しない。



応力負荷状態の結線部のX線CT検査

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

■ 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.7】PNP-エキサイタ間ハーネスコネクタの故障

● シナリオ詳細

- コネクタ結合時にコネクタ内部に混入した導電性のコンタミが打上げ時の振動・衝撃で移動し、ピン間に付着・ブリッジしてSEIG時に短絡または地絡した。

● 検証方法

- コンタミが入るリスクがあるかを工程上確認する。

● 検証結果

- 工程確認の結果、コネクタ結合は清浄度管理されたエリアで実施されており、コネクタ最終接続直前にコンタミがないことを確認の上、写真撮影を行い、接続している。H3 TF1に関するコンタミが混入されていないことを写真にて確認できたことから、本シナリオは発生しない。



コネクタ構造とコンタミ付着による短絡・地絡のイメージ

TF1の写真記録

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

■ 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.12】エキサイタ内部のトランジスタ(ダイ)の故障

● シナリオ詳細

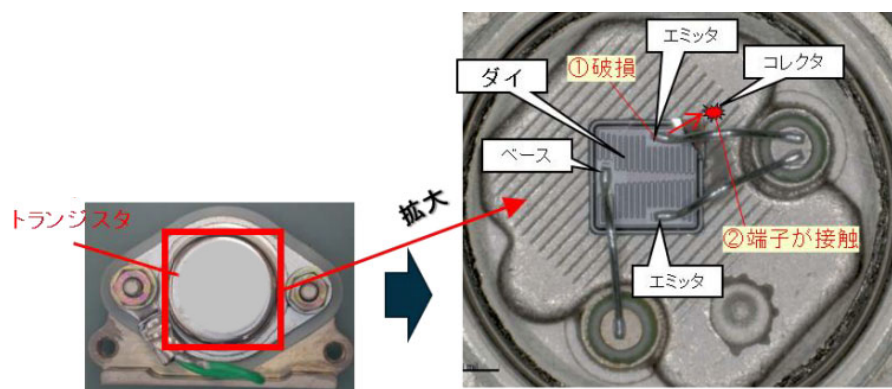
- 他号機不具合の水平展開としてTF1品はトランジスタ(ダイ)を交換したため、組立時に2回トランジスタのはんだ付けを実施した。はんだ付けの熱負荷が大きいことによりトランジスタ内部のダイが損傷し、打上げ前までは短絡(エミッタ・コレクタ端子の接触)しかけていたものが、打上げ時の振動・衝撃で完全に損傷し、SEIG時に短絡。

● 検証方法

- ダイの損傷による兆候(スパークレート低下)の有無をTF1品のスパークレートのトレンドにより評価する。

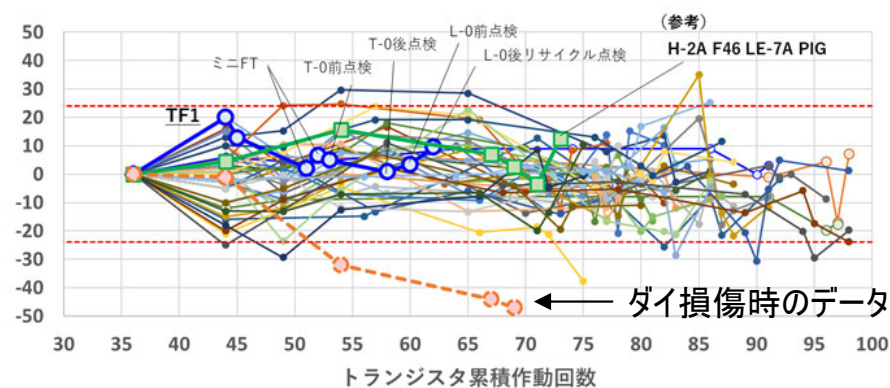
● 検証結果

- スパークレートのトレンド評価の結果、スパークレートの異常な低下は無く、ダイの損傷がないことを確認できたことから、本シナリオは発生しない。



トランジスタ内部写真と故障シナリオのイメージ

初回作動からのスパークレート変動(Hz)



TF1品のスパークレート(青太線)は正常範囲で推移(ダイ損傷時に見られる異常な低下はない)

スパークレートトレンド評価結果

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

■ 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.13】エキサイタ内部のトランスの故障

● シナリオ詳細

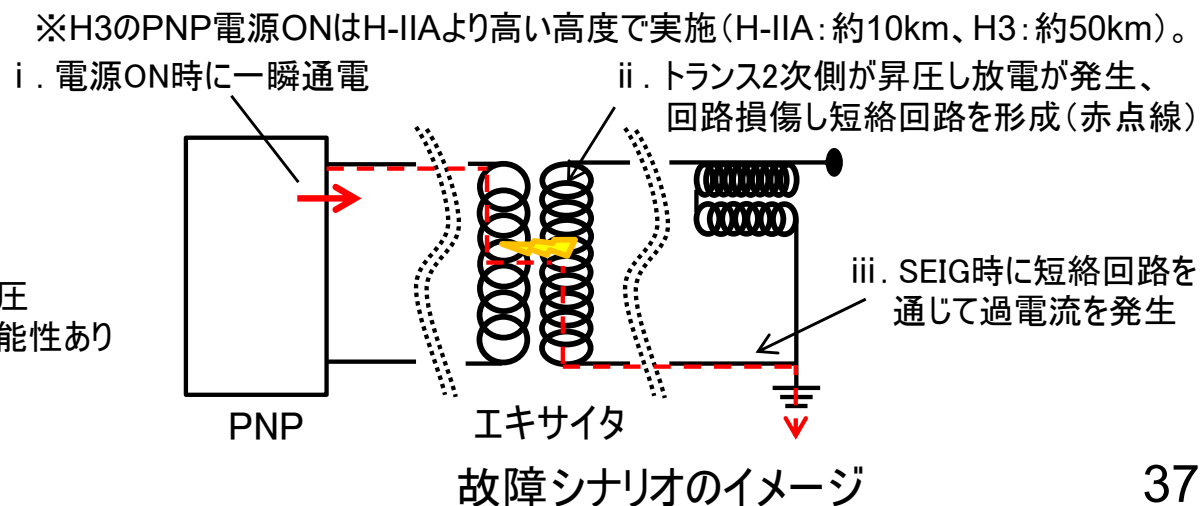
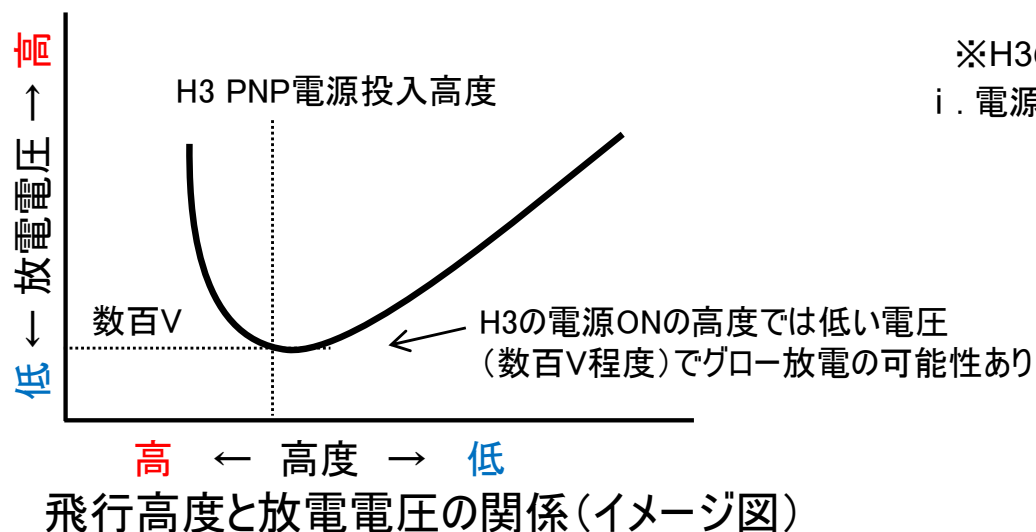
- 打上後123秒時点(真空環境)のPNP電源ON時に一瞬エキサイタまで通電し、グロー放電が発生。放電エネルギーによりトランス内部を損傷して短絡回路を形成し、SEIG時に通電した際に過電流発生。

● 検証方法

- H3のフライト中にPNP電源をONにする時点と同等の真空環境下でエキサイタとPNPの作動試験を行いグロー放電および短絡の可能性を検証する。

● 検証結果

- 真空試験(累積500回以上のON/OFF)の結果、PNP電源ON時にエキサイタ内部でグロー放電は発生せず、放電による損傷や短絡による過電流が生じないことを確認できたことから、本シナリオは発生しない。



2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

■ 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.14】エキサイタ内部のダイオードの故障

● シナリオ詳細

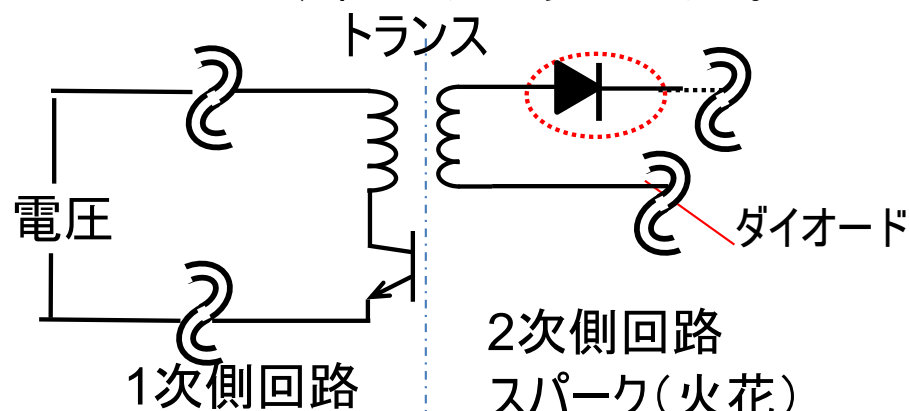
- エキサイタのトランス2次側回路のダイオードやその他の2次側回路部品が組立時の絶縁シート固定時に取扱不良で損傷し、打上げ時の振動・衝撃で完全に破損しオープンとなった。その後のエキサイタ通電時にトランス1次側回路が発振できず電圧が継続的に上昇し、過電流が発生。

● 検証方法

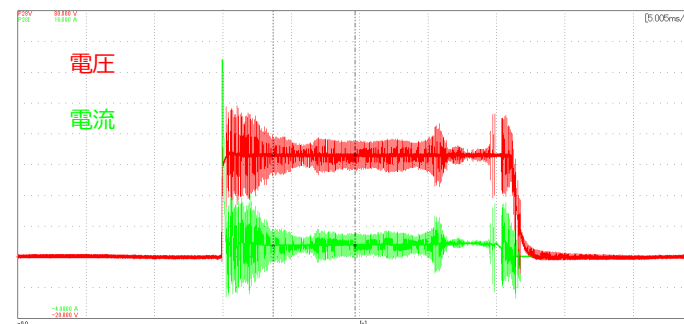
- ダイオードやその他の2次側回路部品のオープン故障で1次側に過電流が発生するか検証試験用のエキサイタを用いたオープン故障模擬試験にて確認する。

● 検証結果

- オープン故障模擬試験の結果、2次回路部品のオープン故障では1次側に過電流が生じないことを確認できたことから、本シナリオは発生しない。



オープン故障模擬試験対象部位(イメージ)
(2次側回路のオープン故障を模擬)



1次側に過電流の閾値以上の電流が流れないことを確認

オープン故障模擬試験結果の例(ダイオード)

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-2 故障シナリオの検証状況

■ 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.18】エキサイタ内部トランジスタの故障

● シナリオ詳細(時系列)

- i. 地上点検時、SEIG(エキサイタ電源ON)時に、エキサイタ内部の電氣的発振動作により、内部で使用されているトランジスタに絶対最大定格以上の電圧が印加される。
- ii. 上記を繰り返すことにより、徐々にトランジスタを損傷し、電圧耐性が低下。
- iii. フライト中のSEIG(エキサイタ電源ON)にてトランジスタが定格以上の電圧に耐えきれず降伏(短絡)し、過電流に至る。

● 検証方法(実施中)

- 回路モデルに基づく電圧波形シミュレーションにより評価を行う。
- エキサイタ内部でのトランジスタ印加電圧波形を計測する。
- トランジスタの実力としての耐圧量を、部品単体試験により調査する。また最大定格を超過する電圧を印加した場合の故障の様態を調査する。
- エキサイタとしての耐性確認試験を実施する(試験用エキサイタを実際に故障するまで連続動作させる)。

● 検証結果(一部)

- 回路モデルに基づくシミュレーションの結果、最大定格以上の電圧を印加している可能性があることが判明。
- エキサイタ内部の電圧波形を実測したところ、実際にトランジスタの最大定格を超過する電圧が印加されていることが判明。これらから、現時点では本シナリオが発生した可能性は否定できない。

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 故障シナリオに対する対策

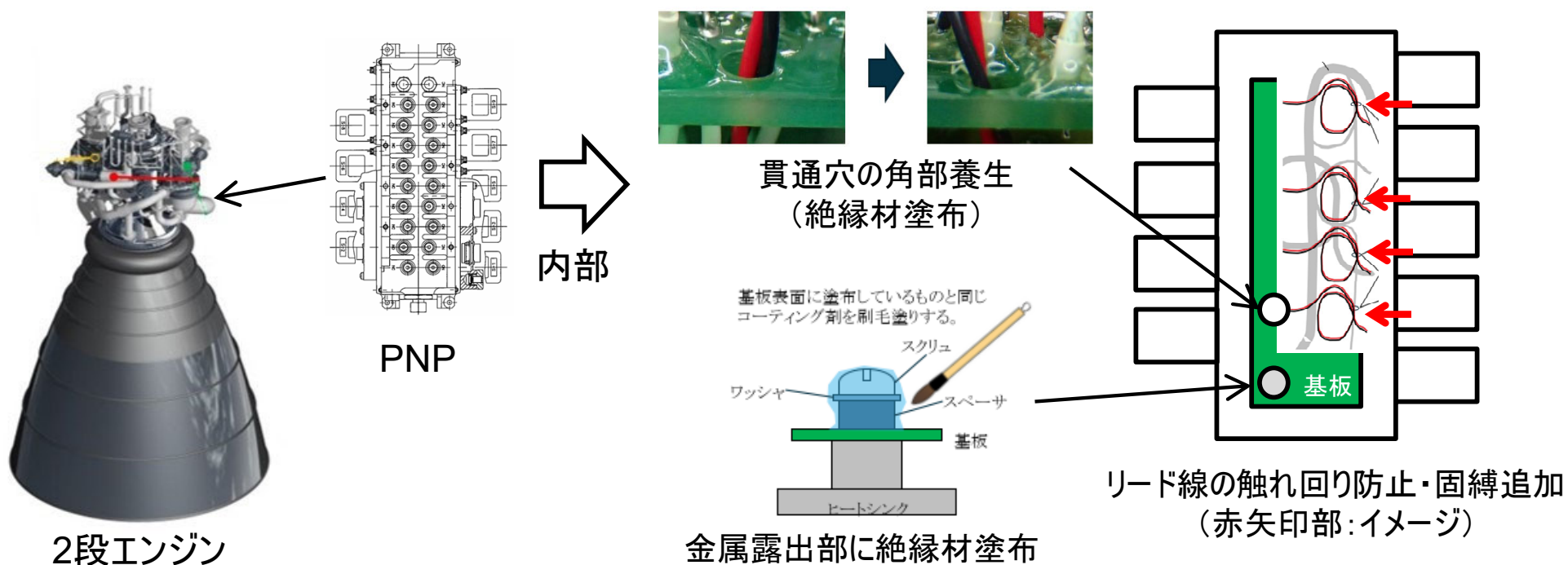
- 残る9個の故障シナリオは現時点で短絡・地絡が発生する可能性を排除できない(FTA上「△」と評価)ことから、全てについて対策を実施する。
- 対策に関する基本的な考え方は以下の通りである。
 - リード線や基板等が接触して短絡・地絡する可能性がある箇所に対して、可能性を排除する絶縁処置を実施する(故障シナリオ No.3,9,11,15)。【絶縁強化】
 - リード線や基板等が接触して短絡・地絡する可能性があるものの、絶縁強化の処置が難しい箇所に対しては、接触の可能性を排除する十分な隙間があることをX線CT検査によって確認する(故障シナリオ No.8~11,15,16)。また製造後のデータを検査することによって損傷の兆候がないことを確認する(故障シナリオ No.17)。【検査強化】
 - 原因究明の過程で判明したエキサイタ作動時のトランジスタに定格電圧(120V以下)を超えるサージ電圧(約190V)の対応については、定格電圧を超過しない条件となる特性の部品を選別する(故障シナリオ No.18)。【部品選別】
- 以上により、2段エンジン(FTA3.2.3項)に関しては不具合原因を1つに絞り込めていないものの、9個の対策を全て講じることによって「H3/H-IIA共通要因」である2段エンジン機器の懸念を排除できる(3項)。

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.3】 PNP内部のソレノイドリード線故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
3	PNP	ソレノイド リード線	リード線が基板やケースに接触した状態、角部と接触、または挟まれた状態で組立され、単体振動試験やエンジン試験、打上げ時の振動でリード線被覆が摩耗、素線が露出してケース等の金属部と接触し、SEIG時に短絡または地絡。	<絶縁強化> <ul style="list-style-type: none"> ・リード線の振動を低減するため、リード線の固縛を追加する。 ・金属部の露出のあるスクリュに絶縁剤を塗布する絶縁処理を追加する。 ・金属ケースの内面に保護テープを追加する。 ・基板貫通穴の角部を滑らかにするため、絶縁剤の塗布を追加する。

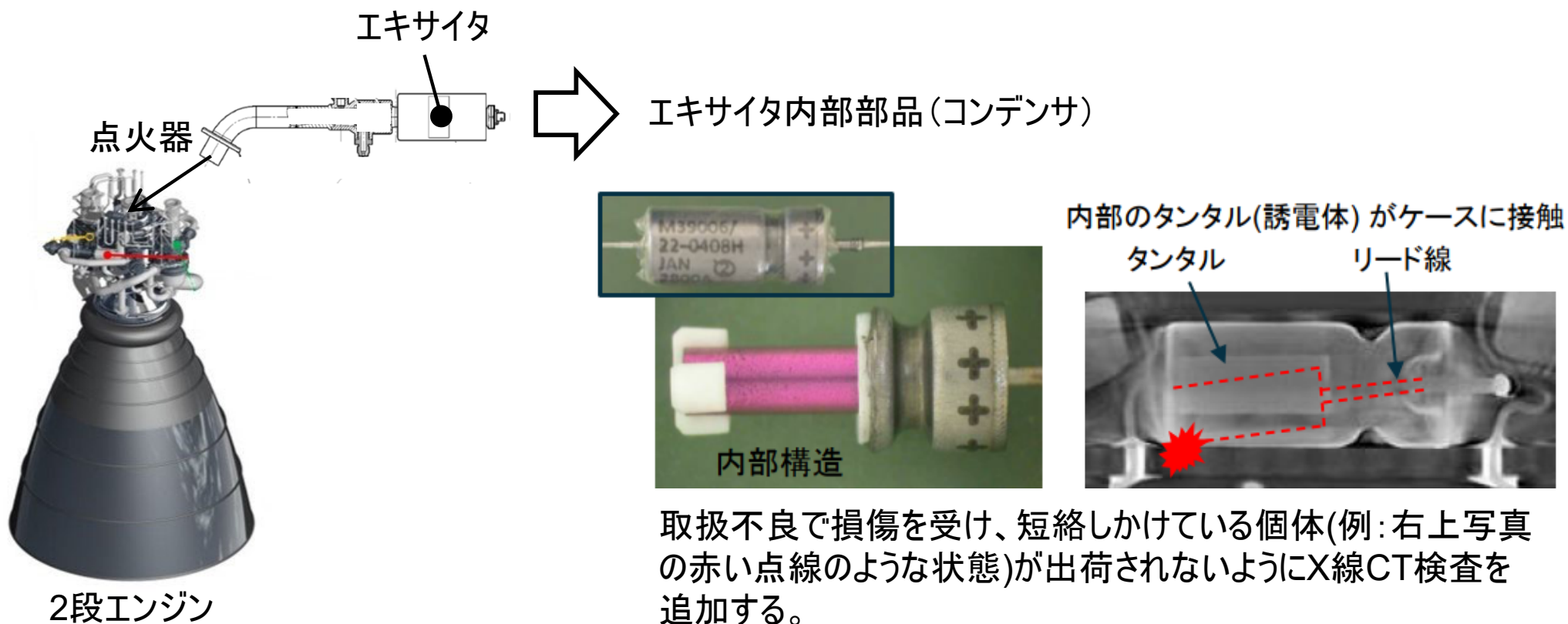


2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.8】エキサイタ内部のコンデンサ(誘電体損傷)故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
8	エキサイタ	コンデンサ	取扱不良で誘電体が損傷し、打上げ前までは短絡しかけていたものが、打上げ時の振動・衝撃で完全に損傷し、SEIG時に短絡。	<検査強化> ・エキサイタの製造検査に X線CT検査を追加 し、コンデンサのリード線/タンタルの損傷(曲がり)がないことを確認する。

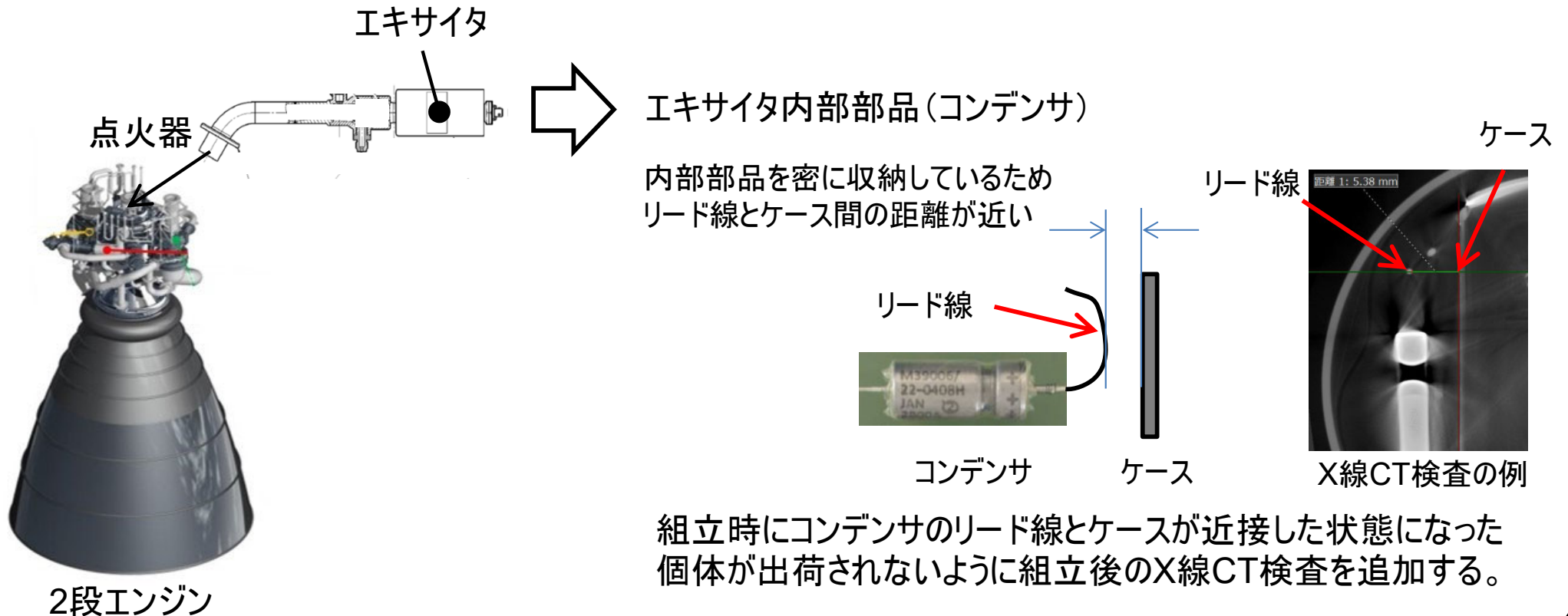


2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.9】エキサイタ内部のコンデンサ(リード線接触)の故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
9	エキサイタ	コンデンサ	組立時にリード線とケースが近接状態となってしまう、打上げ前までは接触していなかったが、打上げ時の振動・衝撃で接触し、SEIG時に地絡。	<絶縁強化および検査強化> ・リード線に保護テープを追加する。 ・エキサイタの製造検査に X線CT検査を追加 し、リード線とケースが近接状態になっていないことを確認する。

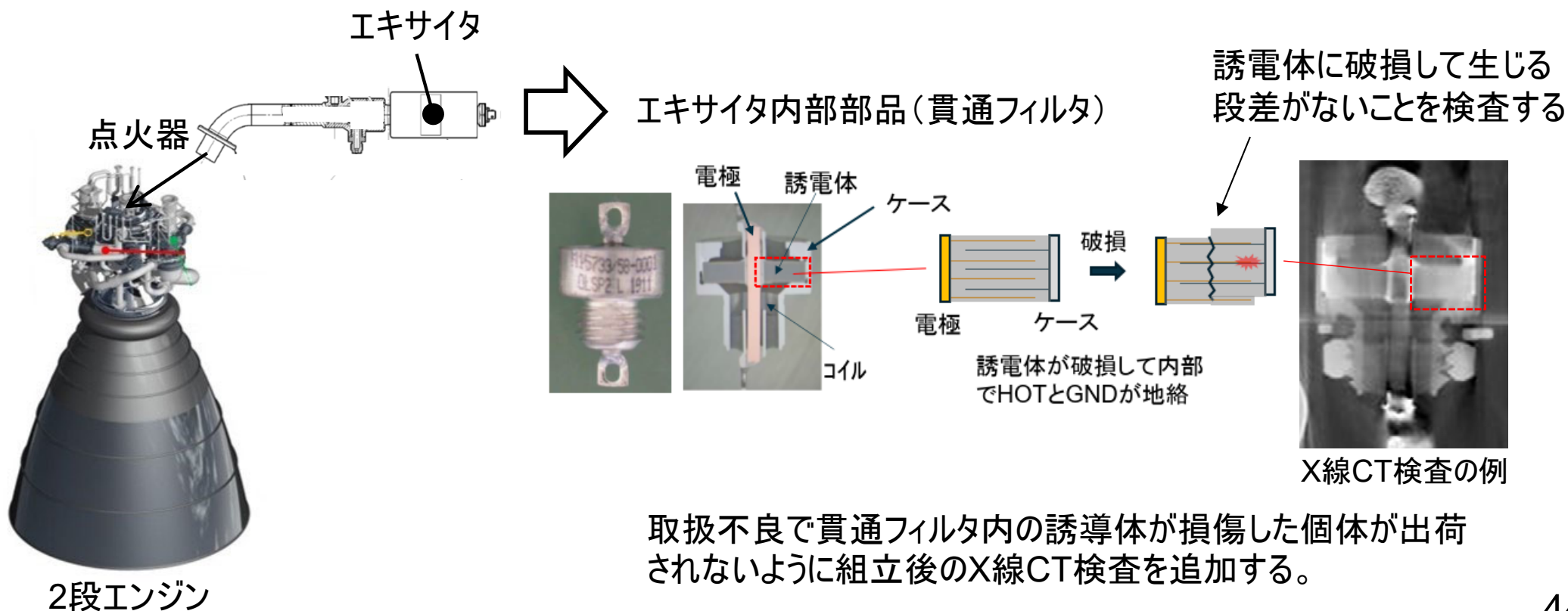


2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.10】エキサイタ内部の貫通フィルタ故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
10	エキサイタ	貫通フィルタ	取扱不良で誘導体等内部部品が損傷し、打上げ前までは地絡しかけていたものが、打上げ時の振動・衝撃で完全に破損し、SEIG時に地絡。	<検査強化> ・エキサイタ製造検査に X線CT検査を追加 し、貫通フィルタに地絡に至る損傷がないことを確認する。

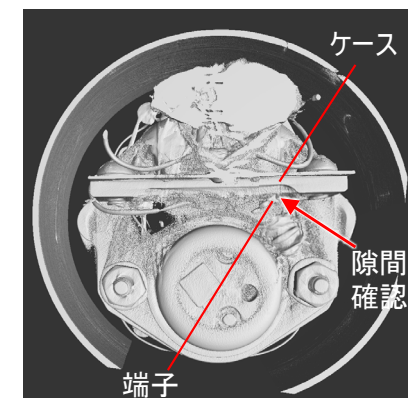
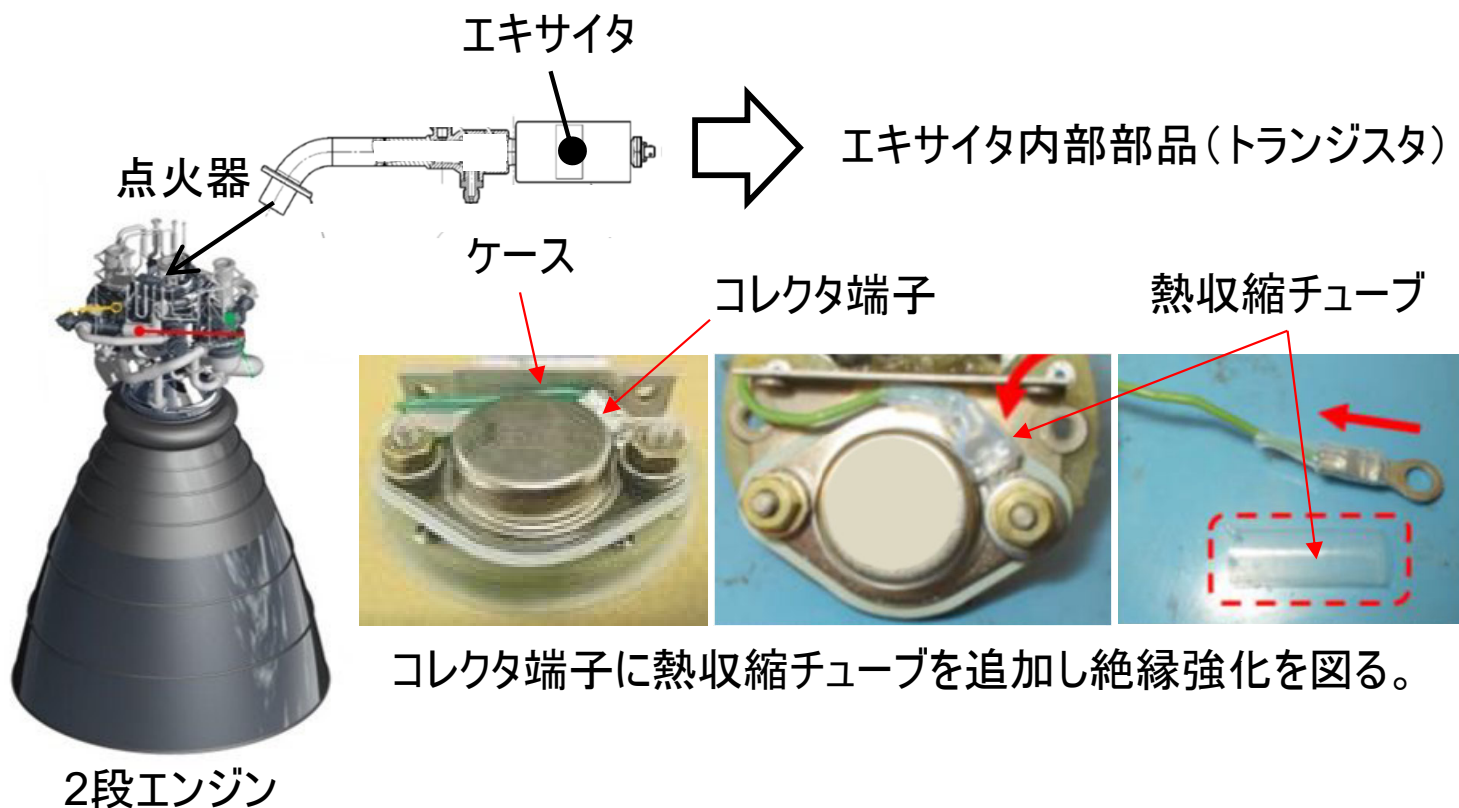


2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.11】エキサイタ内部のトランジスタ(リード線接触)故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
11	エキサイタ	トランジスタ	組立時にコレクタリード線とケースが近接状態となってしまう、打上げ前までは接触していなかったが、打上げ時の振動・衝撃で接触し、SEIG時に地絡。	<絶縁強化および検査強化> <ul style="list-style-type: none"> ・コレクタリード線に熱収縮チューブを追加する。 ・エキサイタ製造検査にX線CT検査を追加し、リード線とケースが近接状態になっていないことを確認する。



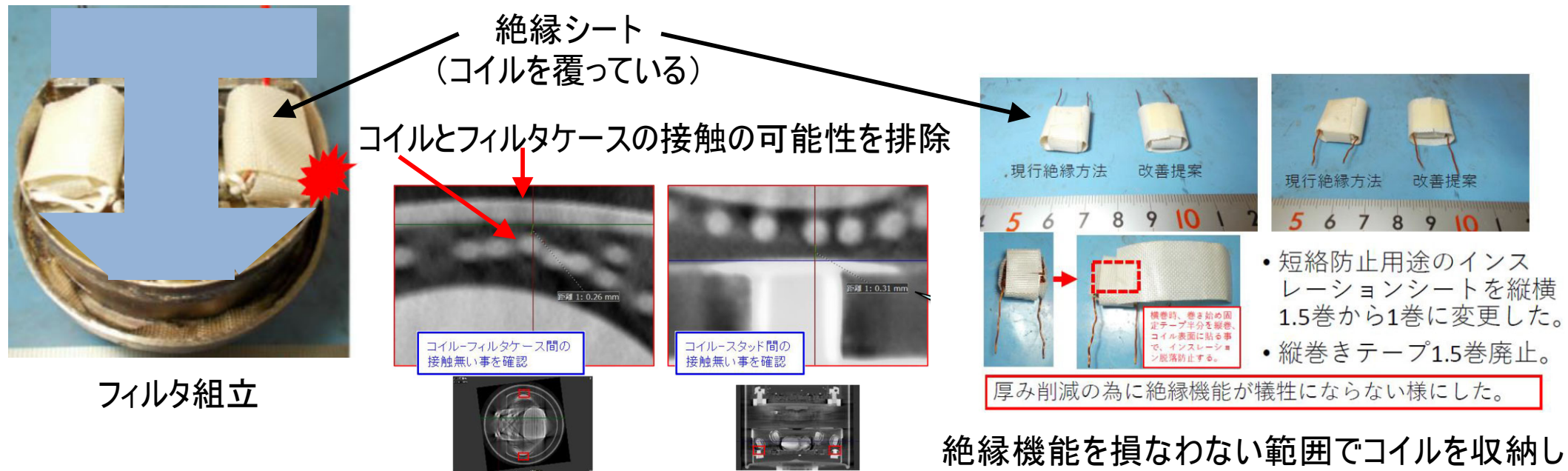
リード線とケースが近接した状態の個体が出荷されないように組立後のX線CT検査を追加する。

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.15】エキサイタ内部のフィルタ組立故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
15	エキサイタ	フィルタ組立	組立時にコイル・ケース間の絶縁シートがずれ、コイルとケースが接触。組立作業中の取り扱いや打上げ時の振動・衝撃でコイル表面のエナメル被覆が剥がれ、コイル素線とケースが接触し、SEIG時に地絡。	<絶縁強化および検査強化> <ul style="list-style-type: none"> ・エキサイタ製造検査にX線CT検査を追加し、コイルとフィルタケースの接触がないことを確認する。 ・コイルの絶縁シートの巻き数を1.5巻→1巻に変更して厚みを減らし、コイルをケースに収納し易くしてクリアランスを改善する。 ・コイルリード線にRTVゴム、コネクタ基板間ケーブルに熱収縮チューブを追加し摩耗に対する保護を強化する。



フィルタ組立

コイルとケースが接触した状態の個体が出荷されないように組立後のX線CT検査を追加する。

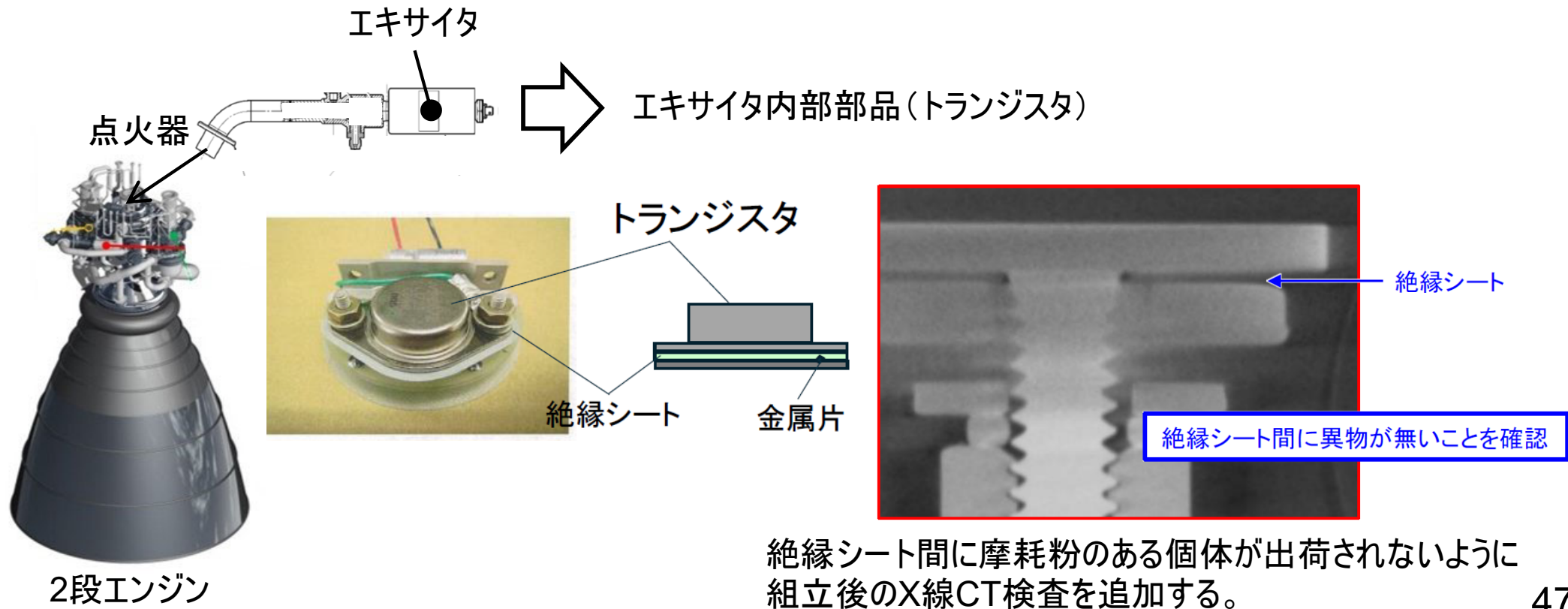
絶縁機能を損なわない範囲でコイルを収納しやすくするために絶縁シートの巻き方を変更する。

2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.16】エキサイタ内部の発振回路部(トランジスタ)故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
16	エキサイタ	発振回路部	不適合対策(トランジスタ交換作業)に伴い摩耗粉が発生。打上げ時の振動で摩耗粉が絶縁シートを貫通し、摩耗粉を介してトランジスタとボルトが接触し、SEIG時に地絡。	<検査強化> ・エキサイタ製造検査に X線CT検査を追加 し、トランジスタとケース間の絶縁シートに摩耗粉(金属片)がないことを確認する。

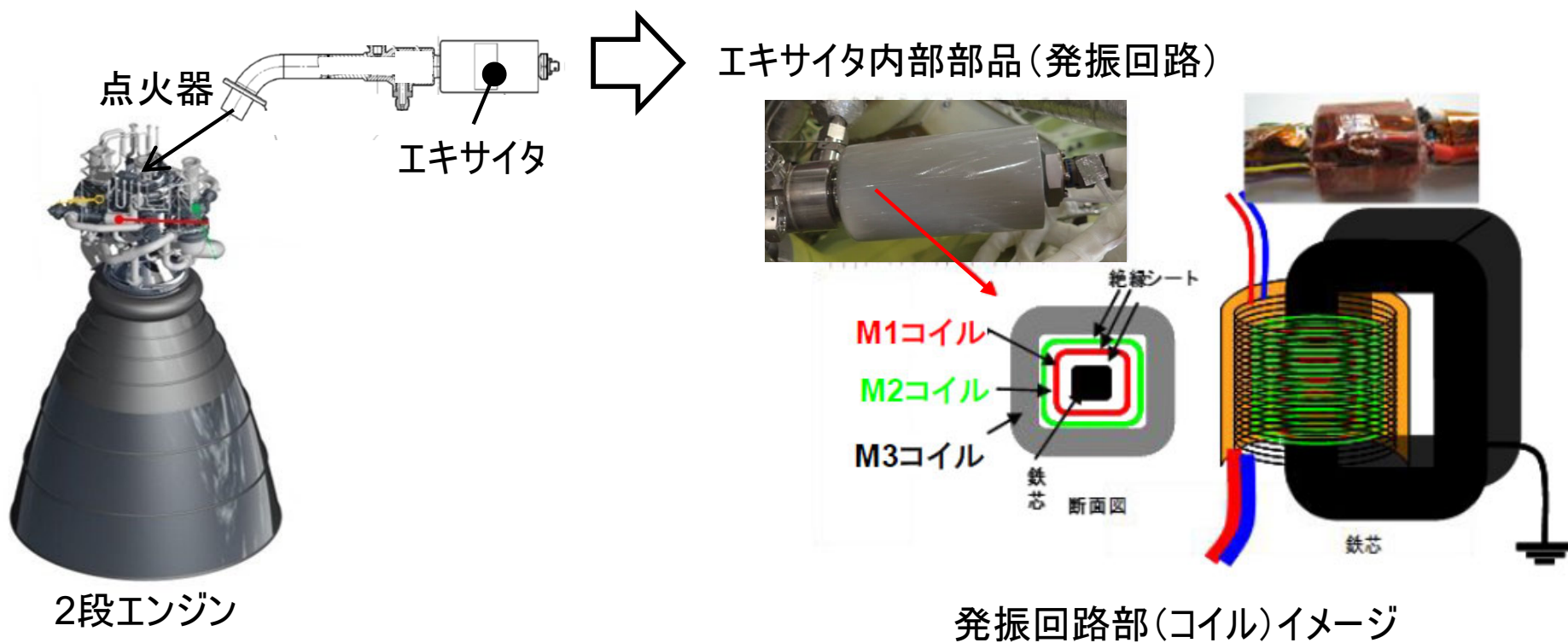


2-3-1 H-IIA共通要因

2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.17】エキサイタ内部の発振回路部(コイル)故障に対する対策

No.	故障部位		シナリオ	対策
17	エキサイタ	発振回路部	組立時に絶縁テープに傷をつけ、打上げ時の振動で絶縁シートが損傷、1次/2次コイルが接触し短絡、SEIG時に過電流が発生。	<検査強化> 絶縁テープに傷がある場合、スパーク開始電源電圧が異常値となり、かつスパーク中の電圧にノイズが観測される。このため、 スパーク開始電源電圧の検査 とスパーク作動時に 電圧にノイズがないことを検査 することによって絶縁テープに傷がないことを確認する。

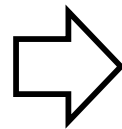
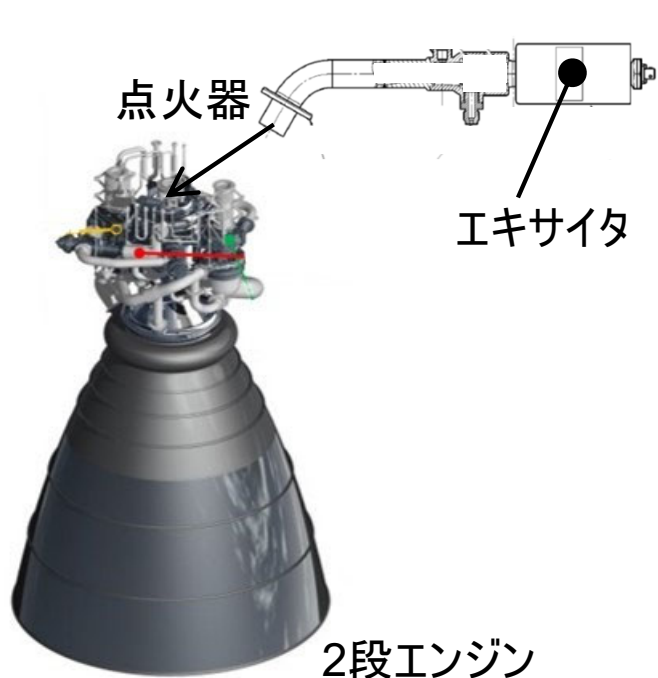


2-3-1 H-IIA共通要因

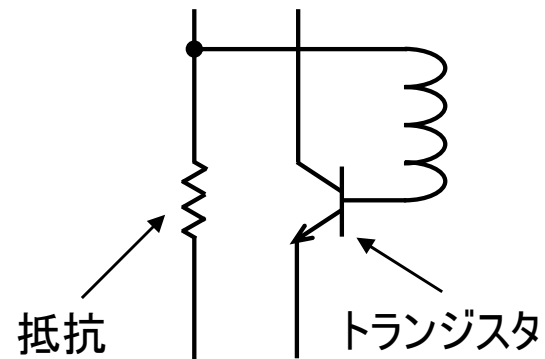
2-3-1-3 対策設定

■ 【シナリオNo.18】エキサイタ内部のトランジスタ(電圧超過)故障に対する対策

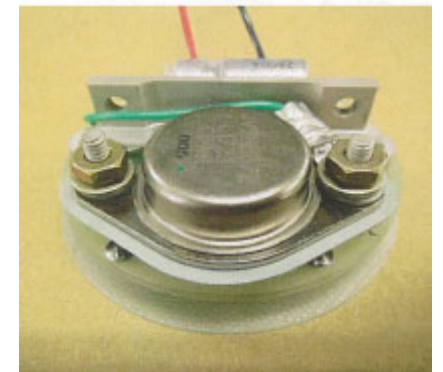
No.	故障部位		シナリオ	対策
18	エキサイタ	トランジスタ	エキサイタ点火時にトランジスタの電圧(Vce)が定格を超過し損傷、短絡による過電流が発生。	<部品選別> トランジスタに印加される電圧が定格内となるトランジスタと抵抗値の組合せとする(従来からエキサイタのスパークレートの調整のために組合せを選別していたが、目的を変えて電圧調整のための選別とするもの)。電圧を下げる選別によってスパークレートが低下するが、過去の開発試験でエンジン着火に影響がないことを確認した範囲であるため許容可能と評価した。



エキサイタ内部部品(トランジスタ)



トランジスタと抵抗値の組合せを変更



トランジスタ

トランジスタに印加される電圧が定格電圧を超過しない条件となる特性の部品を選別

2-3-2 H3ロケット固有の要因

- PSC2から電源供給しているシステムの過電流(FTA3.2.3)については、当該システムに過電流を生じ得る要因を故障モードの蓋然性(確からしさ)に基づき、前項に示したH-IIAとの共通要因となるR5に該当する事象の検討を優先しつつ、並行してH3ロケット固有の要因であるR3,R4の可能性を検証、評価してきた。本項ではR3,R4に関する検討状況をまとめる。
- R3,R4については、偶然ではなく、H3システム(H3固有部分とH-IIAとの共通部分の組合せ等)として、必然的に発生した要因が潜んでいないかについて検討することとする。
すなわち、H3ロケット(TF1)のシステムが偶然以外に、「①SEIG時に発生する」「②A/B系の二重故障」を生じる故障モードを網羅的に抽出し、想定されるシナリオの可能性を評価する。
- 個々のシナリオの検討に加え、未知の故障シナリオの抽出と検証を兼ね、下記に示すシステムレベルの試験を行う。
 - PSC2とPNP/エキサイタを組合わせた真空試験やエキサイタ耐久試験
 - 実機大の1/2段分離試験
- 今後の評価結果に応じ、真にR3,R4にあたると判断できる要因については、発生確率が低いことから棄却することとする。

2-3-2 H3ロケット固有の要因

■ 「①SEIG時に発生する」故障モードの評価方針

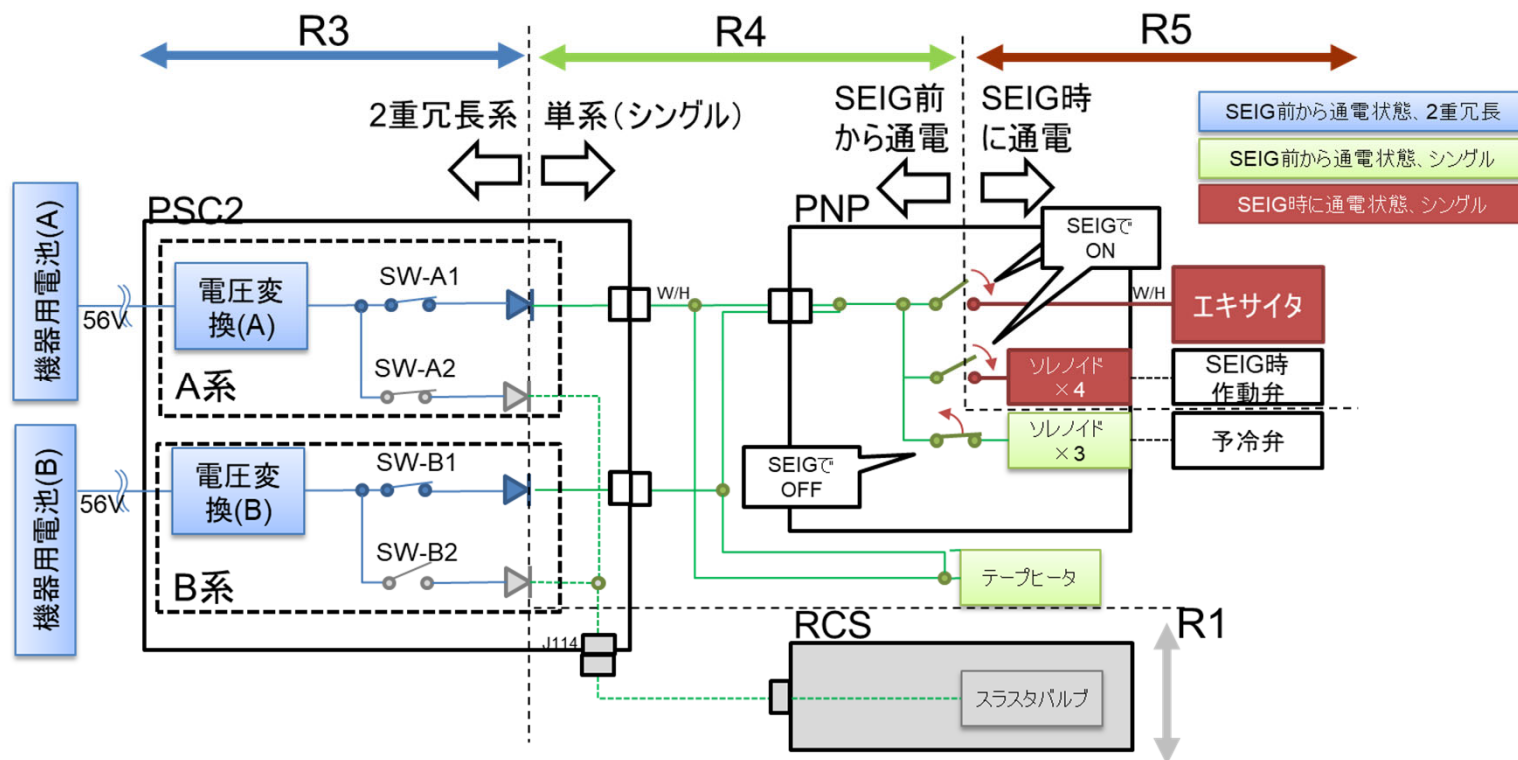
- TF1飛行時のシーケンス・オブ・イベント(SOE)を基に、SEIG時の前後の動作で状態が変化する要素を網羅的に抽出
- 状態変化の影響により説明可能なシナリオを抽出し、フライトデータ、解析、試験等にて検証

No.	SEIGで変化するもの	想定する影響(シナリオ)と今後の評価
1	制御信号ラインの状態変化	SEIGを出力するまでは電位が不定だったラインと駆動電源ラインの短絡が発生していて、SEIGで制御信号ラインをONした際に、駆動電流がグランドに流れる。今後、回路ベースで詳細評価を実施し、対象となる部位を特定し検討する。
2	電流の増加	SEIG以前の電流では機能していた電気部品が電流増加(含むラッシュ電流影響)により機能喪失する。(大電流が流れたことをきっかけに降圧回路が故障する等)。今後、降圧回路の安定性評価を実施する。
3	電流変化率大	電流値の変化により発生する過渡的なグランド変位(ノイズ)が大きくなり、誤動作を起こす。今後、誤動作を起こしうるノイズレベルと発生ノイズを評価する。
4	エキサイタ/ソレノイド弁への通電	SEIG以前にフライト環境等で損傷していたものが通電により過電流に至る。FTA3.2.3.1の評価に加え、H3システム動作(PSC2とPNP/エキサイタの組合せ等)として過電流に至りうる故障モードの評価を進める。
5	予冷弁のOFF	予冷弁(PNPのソレノイド弁)OFFによる電流・電圧変化で電気部品が破損する。今後、予冷弁OFF時に損傷する電流・電圧変化が発生するかを回路に基づき評価する。
6	アクチュエータ作動	SEIGにより制御を開始した2段エンジンジンバル用アクチュエータが作動し、振動や荷重、変位により電気部品が機械的な負荷を受け損傷する。フライトデータからSEIG時の操舵は十分小さいことを確認しており、要因とは考えにくい。

2-3-2 H3ロケット固有の要因

■ 「②A/B系の二重故障」故障モードの評価方針

- 二重故障のモードを以下に分類し網羅的に抽出
 - 同一要因(設計が同一)でA/B系の故障が生じるモード
 - 連成要因でA/B系の故障が生じるモード
 - » PSC2と電氣的に繋がっている系統内の連鎖
 - » 上記以外の外部も含む連鎖
- 故障モードを説明可能なシナリオを抽出し、フライトデータ、解析、試験等にて検証



2-3-2 H3ロケット固有の要因

■ 「②A/B系の二重故障」故障モードの評価方針

No.	想定するモード	想定する影響(シナリオ)と今後の評価
1	同一設計/同一仕様 部位の破壊	A系とB系の 同一設計部位が、単一要因(例:衝撃環境)で損傷 することは考えられるが、それがSEIGの時点で発生or顕在化することは考えにくい(①のSEIG時に発生する蓋然性で評価)。
2	PSC2のA/B系突合せ部の下流を介した連鎖	【下流の想定外事象が、A系異常/遮断⇒B系異常/遮断が発生】 PSC2出口端にはダイオードが実装されており、下流の影響は受けないと評価しているが、 ダイオードが故障していた場合に、系統間のアイソレートができずA/B間が干渉し、連成により故障が発生した可能性 がある。
		【下流の想定外事象が、A系異常/遮断⇒B系異常/遮断が発生】 (PNP発振) 下流PNPが回路不安定で発振。電流変動の影響が上流(PSC2)に影響を与え、降圧回路が不安定となる(①No.2で評価)。
		【A系異常が下流故障を誘発⇒その結果B系の異常/遮断が発生】 A系降圧回路の異常⇒過電圧で下流のエキサイタで部品破壊⇒B系切替後は下流短絡により過電流で切替え(①No.2で評価)。
3	PSC2内部を介した連鎖	A系/B系で 共通で使用している部位(筐体等)を介し連成 する可能性と故障モードを評価する。
4	PSC2外部も含めたA系→B系連鎖事象	影響を与えうる要因と影響を受け得る部位(PSC2/PNP等)をマトリクス形式で評価する。

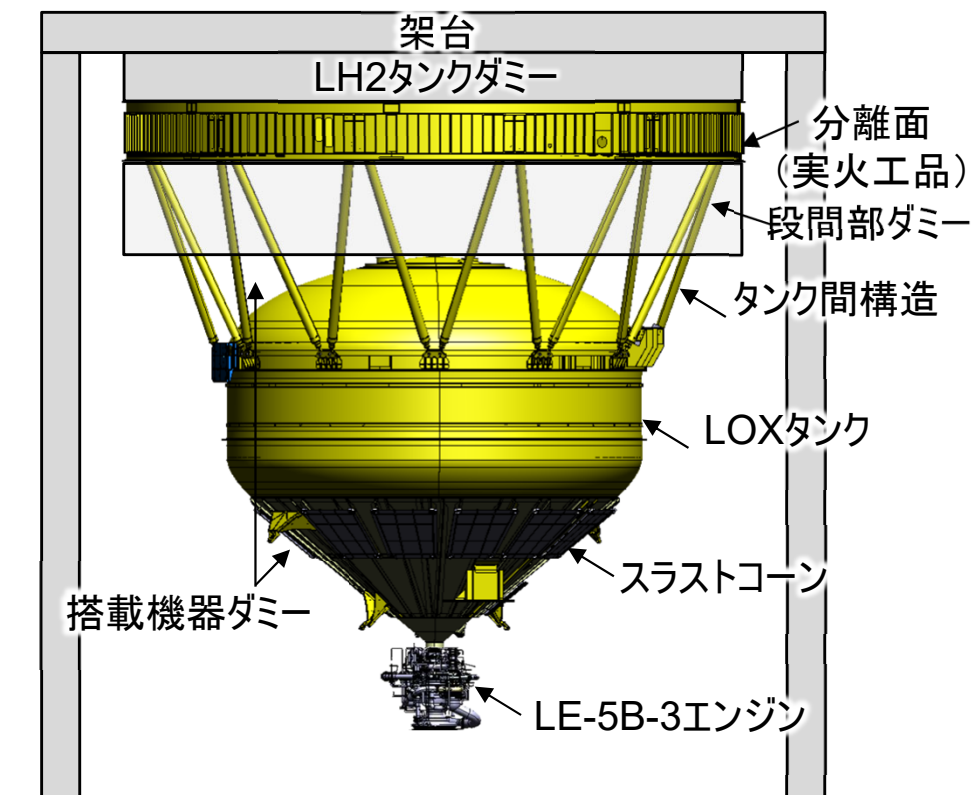
(注)故障シナリオは、原因究明活動の進捗によって新たに得られた知見に基づき、追加または見直していく。

2-3-2 H3ロケット固有の要因

■ 実機大1/2段分離試験

- フライト時の1/2段分離時の衝撃レベルが、分離面（衝撃源）では規定値内であったが、2段機体各部で計測した衝撃レベルが、環境条件規定値を超過
- フライトデータおよび実機の2段機体を用いた衝撃伝達特性の検証試験結果をもとに推算したエンジン電気系コンポーネントの衝撃レベルは開発時の衝撃レベル以下であり、1/2段分離時の衝撃が、単独で短絡・地絡の原因となったとは考えにくい状況である。ただし、衝撃レベルや分離に伴う事象の詳細な検証について継続して検討してきた。
- 検討の結果、開発時には実施していなかった、タンク間構造以下の構造体を含めた実機相当の2段機体及び実火工品を使用した1/2段分離試験を行い、以下を直接確認することとした。
 - ① 実火工品作動時の2段各部の衝撃レベル
 - ② システムレベルの1/2段分離関連の故障モード（未知の故障シナリオの抽出と検証を含む）

なお、本試験の結果も踏まえ、搭載機器への衝撃緩和対策等を行うことが考えられることから、その検証のため、搭載機器ダミーを増やすなど模擬度を向上させた実機大1/2段分離試験の実施も計画している。



試験コンフィギュレーション

(参考)機体グラウンディングの考え方

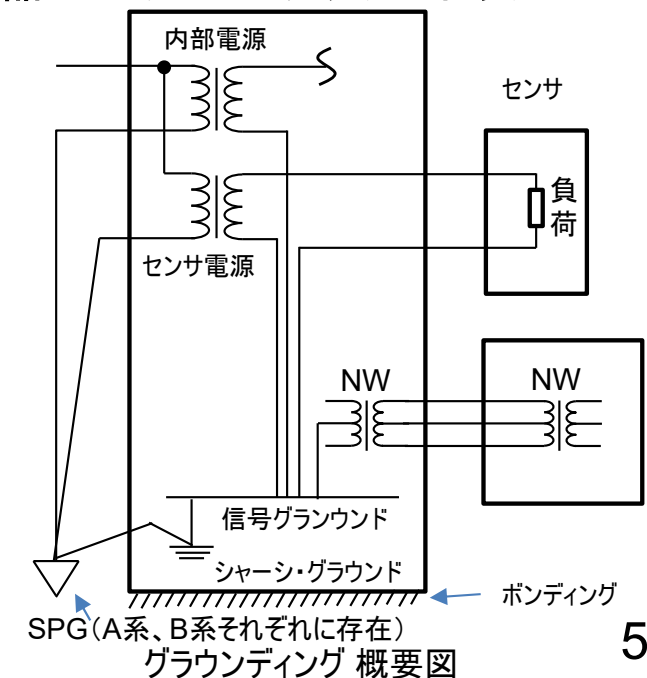
■ H3ロケット グラウンディングの基本方針

- 搭載機器間または搭載機器と地上設備間に**グラウンドループを形成しない**。やむなく形成される場合は機体システムに対し影響が最小限となる対策を施す。
- **強電系と弱電系のリターンを分離する**。
- 上記の方針のもと、各コンポーネント単位でEMC(電磁適合性)試験を実施した後、ロケットシステム全体でのEMC試験を行い、**ノイズ耐性を有することを検証済**。

■ H3とH-IIA/Bとの相違点

- **電源系統はH-IIA/Bと同じ考え方を踏襲**。
→電源リターンをシングル・ポイント・グラウンド(SPG)へ集約し、機器のシャーシ・グラウンド及び信号リターンと分離。
- H3とH-IIA/Bの相違点及びその対応を下表に示す。

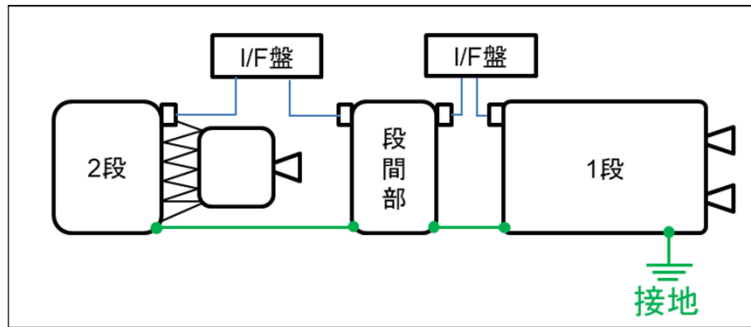
相違点	対応
搭載機器の冗長化	<u>搭載機器がA系 / B系の冗長仕様化</u> ・一次電源系のSPGは各系統1か所とする ・A系機器-センサ/バルブ-B系機器間で電源/信号リターンがループしないようにする
電池数の削減	<u>機器用電源(制御)、動力電源(エンジンなど)の電池共通化</u> ・リターンは機器用と動力用で分ける
ネットワーク通信化	<u>搭載機器間の信号系をネットワーク化</u> ・電源系統と信号系統のリターンが分離されていることから、機体内のシャーシ・グラウンドと信号グラウンドを接続



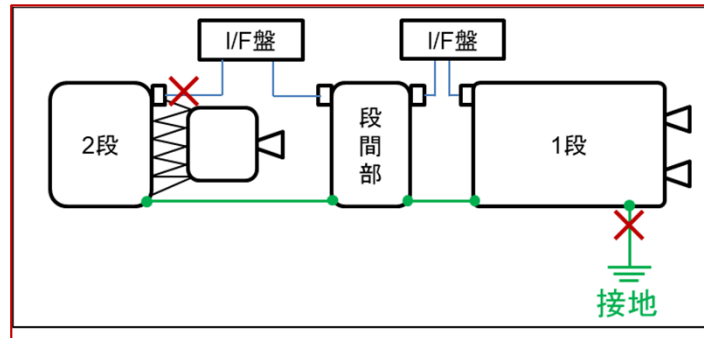
(参考) 接地していない状態での検証状況

■ 接地していない状態での検証状況

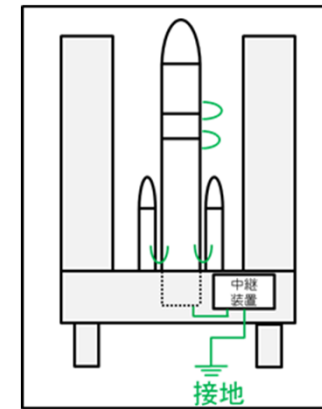
- 基本的に機体を壊さない観点から接地状態で試験を実施（機能試験（工場）、射場）。
- EMC試験（工場）では、フライト状態模擬を優先して機体を接地しない状態でシーケンス点検を実施→接地なしで電氣的に正常動作することを確認。



機能試験接地系統@工場



EMC試験接地系統@工場



射場接地系統

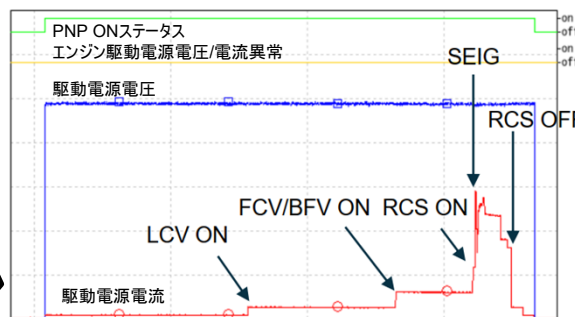
↑ 打上げ前に実施

↓ 打上げ後に実施

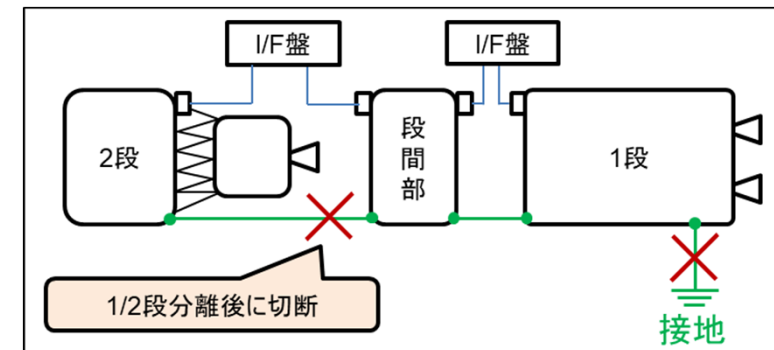
- 打上げ後に再現試験（右図）を実施。EMC試験と同様に正常であることを確認。

再現試験結果

- ・電流電圧：短絡・地絡を示す傾向無し
- ・28V駆動系電源：負荷変動に応じて変動（＝フライトデータと同等）
- ・シーケンス：計画したシーケンスが実施されたことをテレメトリデータから確認
- ・異常：シーケンス終了まで異常がないことを確認



再現試験TLMデータ



再現試験接地系統@工場

3. H-IIAロケットへの水平展開

3-1 H-IIAでの評価

- 2項のH3原因究明において「**H3/H-IIA共通の要因**」と識別した内、△が残るFTA
3.2.3.1.2.2「**製造ばらつき、環境、仕様による複合要因**」について**H-IIAでの評価を実施**した。
- 2-3-1-3項のH3/H-IIA共通機器の対策をそのまま適用することで、2段エンジン機器の懸念を排除でき、これを反映することで**H-IIAに関する懸念は排除できる**と評価した。
- なお、H-IIA/Bの過去フライトデータ評価で**過電流等の異常がない**ことを再確認している。

故障内部部品		内在する可能性のある 短絡・地絡しやすい状態 (シナリオNo.を○数字で表示)	2-3-1-3項 対策設定との対応		
機器	部品		絶縁強化	検査強化	部品選別
PNP	ソレノイドリード線	③振動摩耗	○(③)		
エキサイタ	コンデンサ	⑧取扱時損傷、⑨リード線とケース接触	○(⑨)	○(⑧⑨⑩⑪⑮⑯) エキサイタ完成状態で X線CT検査	
	貫通フィルタ	⑩取扱時に損傷			
	トランジスタ	⑪リード線接触、⑰電圧超過	○(⑪)		○(⑱)
	フィルタ組立	⑮組立不良によるコイルとケースの接触	○(⑮)	○(⑰) エキサイタ作動データ (ノイズ等)の確認強化	
	発振回路部	⑯異物による地絡、⑰1次/2次コイル接触			

3. H-IIAロケットへの水平展開

3-2 打上げ再開に向けた評価

- H3原因究明状況を踏まえH-IIAへの水平展開を実施した結果、2-3-1-3項のH3/H-IIA共通機器の対策をそのまま適用することで、2段エンジン機器の懸念を排除でき、これを反映することで**H-IIAに関する懸念は排除できる**と評価した。
- また、2段エンジン機器と共通設計の1段エンジン機器について以下の対応をとる。
 - フライト環境で作動するPNPについては2段エンジンと同様の対策を適用する。
 - フライト前の作動のみのエキサイタ(主燃焼室用とプリバーナ用の2式)については、環境等との複合要因としての故障が考えにくいこと、万一故障が発生してもリフトオフ前に緊急停止すること等から従来品を適用する。(対策品はミッションクリティカルな2段用エキサイタへ優先的に適用する)
- なお、今回の検討結果に基づき最終号機まで本対策(1段エンジン含む)を適用するが、H3原因究明の進捗により要因ではないことが明確になった場合等は対策を再評価し、要すれば反映を行う。

4. まとめと今後の進め方

■ これまでの技術検討結果を踏まえた現時点の評価

- 要因を①H-IIAロケットと共通な要因 ②H3ロケット固有の要因 に識別した。
- フライトデータの詳細確認からFTAの要因の絞り込みを進め、3次要因までの特定を完了した。
- 4次要因よりも詳細な原因について、H-IIAロケットと共通仕様の範囲について、網羅的なシナリオを抽出し、検証結果から要因の絞り込み、対策を設定した。
- H3ロケット固有の要因については、一見すると偶然タイミングが一致する場合や二重故障でしか発生しない範囲が残るが、これらに対してTF1のフライトで発生した必然性を持つシナリオについて検討を進めている。

■ H-IIAロケットに対する評価

- 3項に示すとおり、H-IIAロケットと共通な要因全てに対策を設定することで、H3と共通である2段エンジン機器および2段と共通設計の1段エンジン機器についてH-IIAロケットの懸念は排除できる。（仮にH3ロケット固有の要因が原因だった場合にも、上記対策がH-IIAロケットの品質向上につながる。）

■ H3ロケットに対する今後の進め方

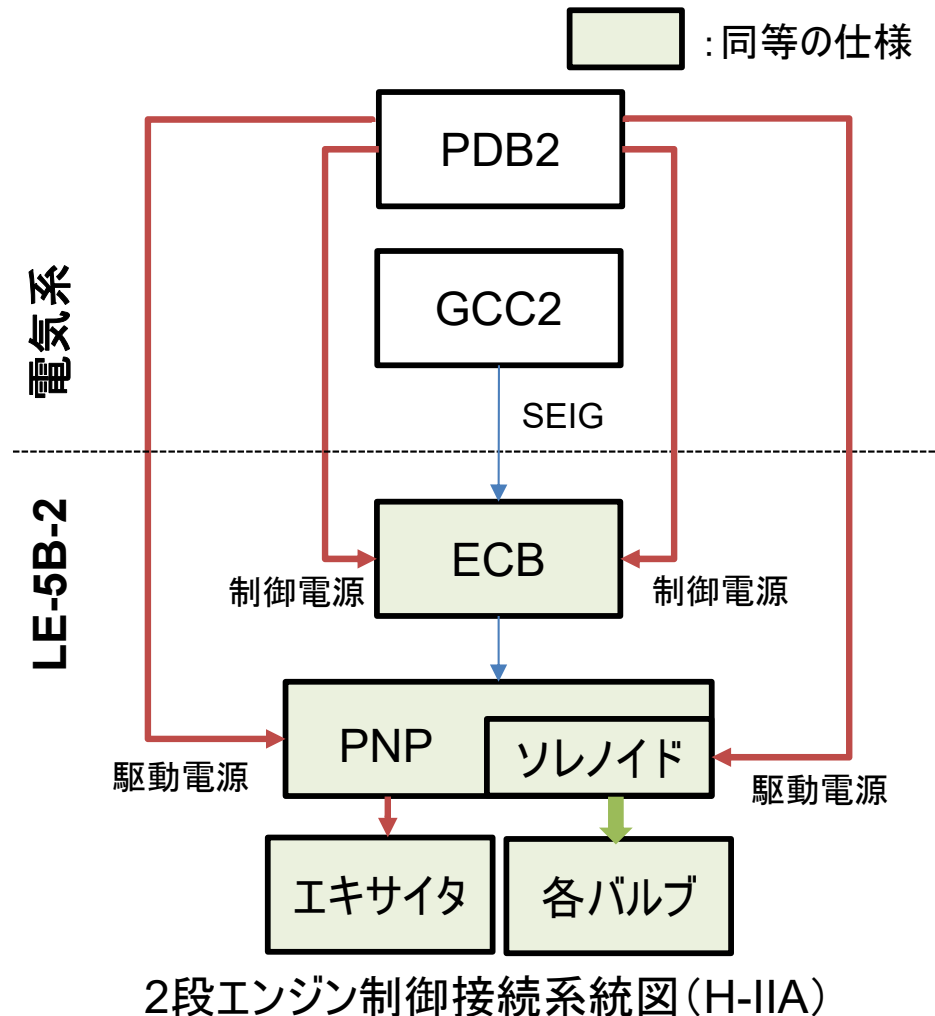
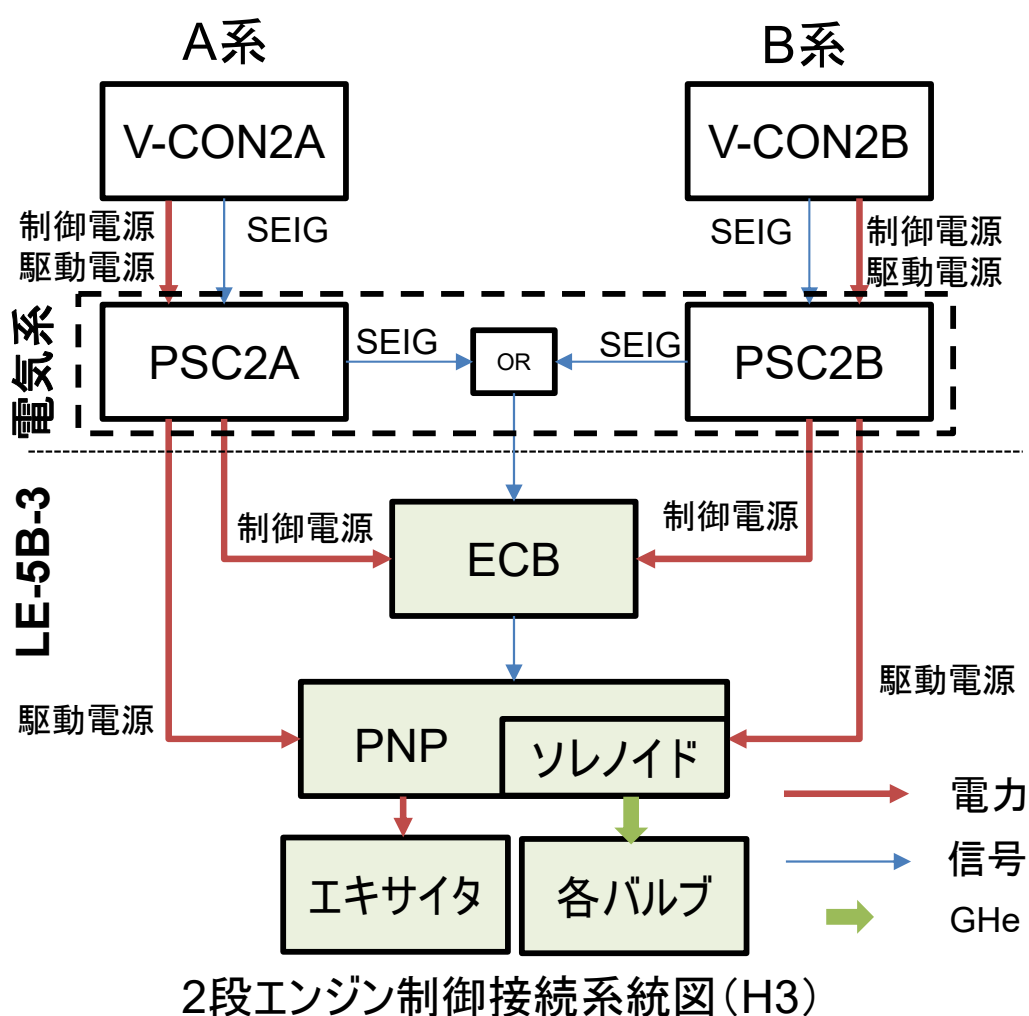
- ①H-IIAロケットと共通な要因については対策を設定済み。
- ②H3ロケット固有の要因について、H3システム（H3固有部分とH-IIAとの共通部分の組合せ等）として必然的に発生した要因の検討を進め、対策を確定させる。

參考資料

H3ロケットとH-IIAロケットの電気系統の違い

■ 機体電気系統含めた変更点

- H3ロケットでは第2段の制御系を冗長構成(A系/B系)にしている。
- H-IIAロケットは機器はシングル構成であるが、機器間のラインを冗長にしている。電力分配器(PDB2)に下流機器の電圧・電流の異常検知機能はない。

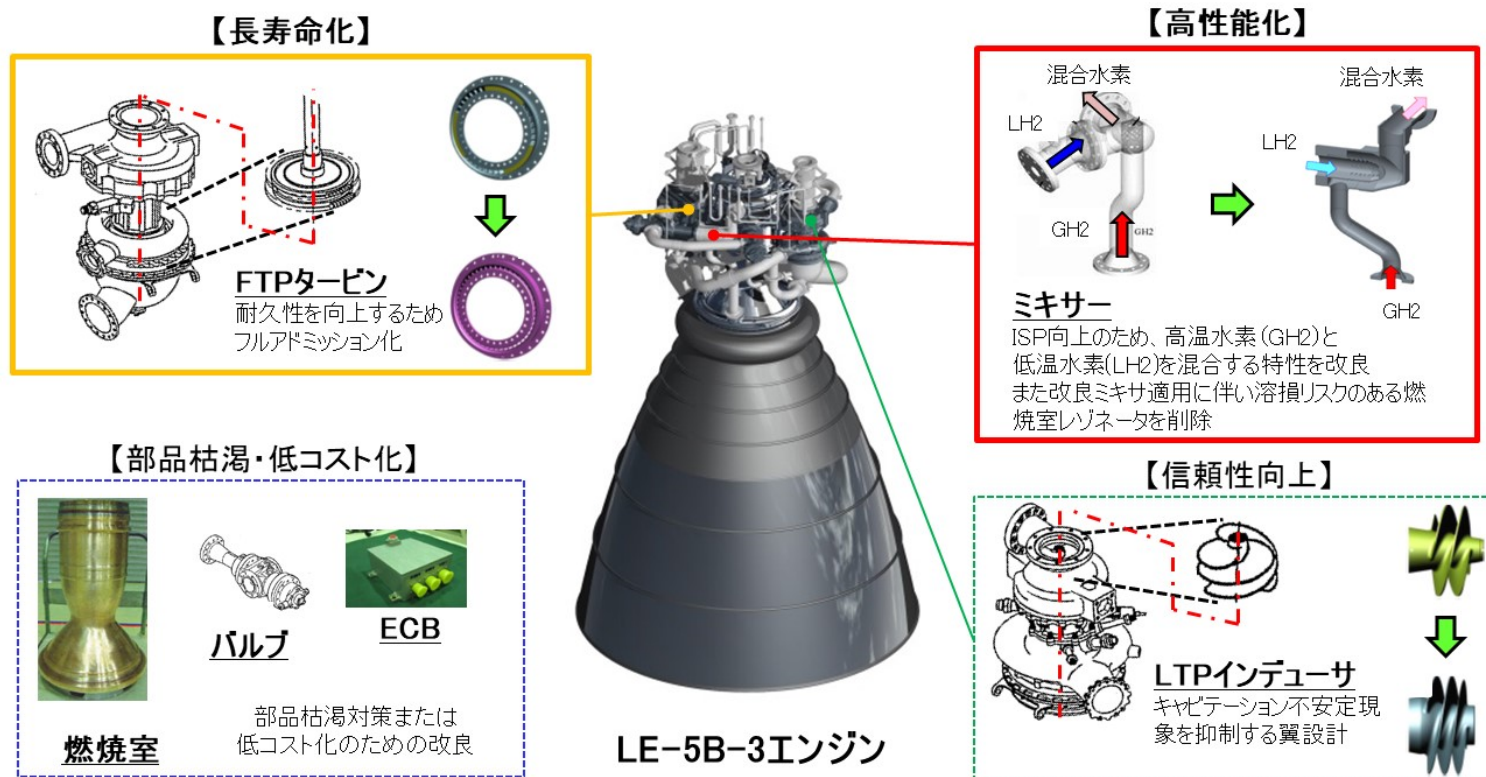


□ : 同等の仕様

LE-5B-2とLE-5B-3の違い

■ LE-5B-3改良サマリ(LE-5B-2からの変更点)

- H3用2段エンジン(LE-5B-3)は、ロケットシステムからの要求に応えるため、H-IIA用2段エンジン(LE-5B-2)に対して**性能および寿命の向上**を図る改良型である。
- その他、開発費とリスクを極力増加させない範囲で信頼性向上・部品枯渇対策等を目的とした各コンポーネントの改良を行う。
- **エンジンの搭載機器は基本的に同等**である。



略語集

略語	日本語名称	説明
V-CON2A V-CON2B	2段機体制御コントローラ	ロケットの飛行制御を司る計算機。自身の位置・速度・姿勢情報をもとにエンジン制御・ガスジェット制御・エンジン舵角制御等の機体制御信号を生成し、各サブシステムコントローラへ指示を行う
PSC2A PSC2B	2段推進系コントローラ	V-CON2からの指示を受け、タンク圧制御、エンジン制御、ガスジェット制御等の推進系サブシステム制御を行う
ECB	エンジン・コントロール・ボックス	エンジンの始動停止時にバルブの開閉タイミングを決定する制御装置
PNP	ニューマティック・パッケージ	エンジンバルブ駆動用ヘリウムガスの供給や点火器エキサイタスパークプラグの駆動を制御する装置
RCS	2段ガスジェット装置	PSC2からの電力供給及び制御信号に基づき、ロケットの姿勢制御及びアレッジ制御を行う装置
MECO	1段エンジン燃焼停止	1段エンジンの推力低下・燃焼停止のこと。またはその検知信号
SEIG	2段エンジン着火	2段エンジンを着火すること。またはそのためのコマンド信号
SELI	2段エンジン立ち上がり検知	2段エンジンの推力が立ち上がり、定常燃焼に移行すること。またはその検知信号
BAT	電池	内部電源。充電式リチウムイオンバッテリー
GCC2	2段誘導制御計算機	H-IIAの飛行制御を司る計算機
PDB2	2段パワーディストリビューションボックス	H-IIA第2段の各機器への電力供給、推進系バルブの駆動を行う装置
BIT	Built-In Test	組込み自己診断プログラム
EMC試験	電磁適合性試験	電気・電子機器等において、他の機器の動作を妨げる不要な電磁波を出さないことや、他の電磁妨害からの耐性を有することを評価する試験のこと