



資料50-1
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50回) 2023.8.23

H3ロケット試験機1号機 打上げ失敗原因調査状況

2023年8月23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. 原因究明結果とそれに応じた対策設定

2-1 FTA

2-2 検討の網羅性の確認

2-3 原因究明結果と対策

2-3-1 ①エキサイタ内部で軽微な短絡、SEIG後に完全に短絡

2-3-2 ②エキサイタへの通電で過電流状態が発生

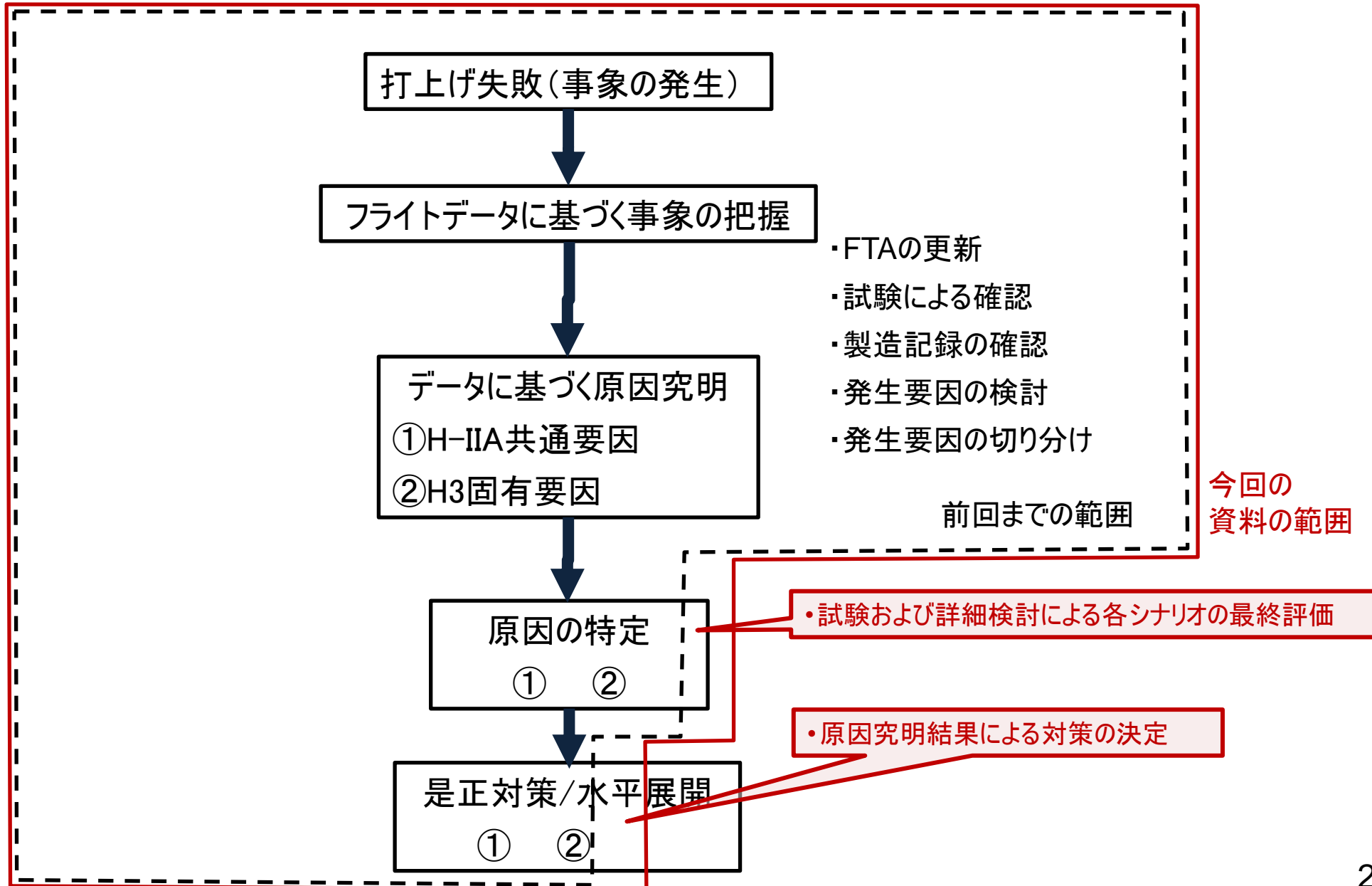
2-3-3 ③PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬

2-4 システム検証

3. まとめ

参考資料

0. 本日の報告内容



原因究明体制(再掲)

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

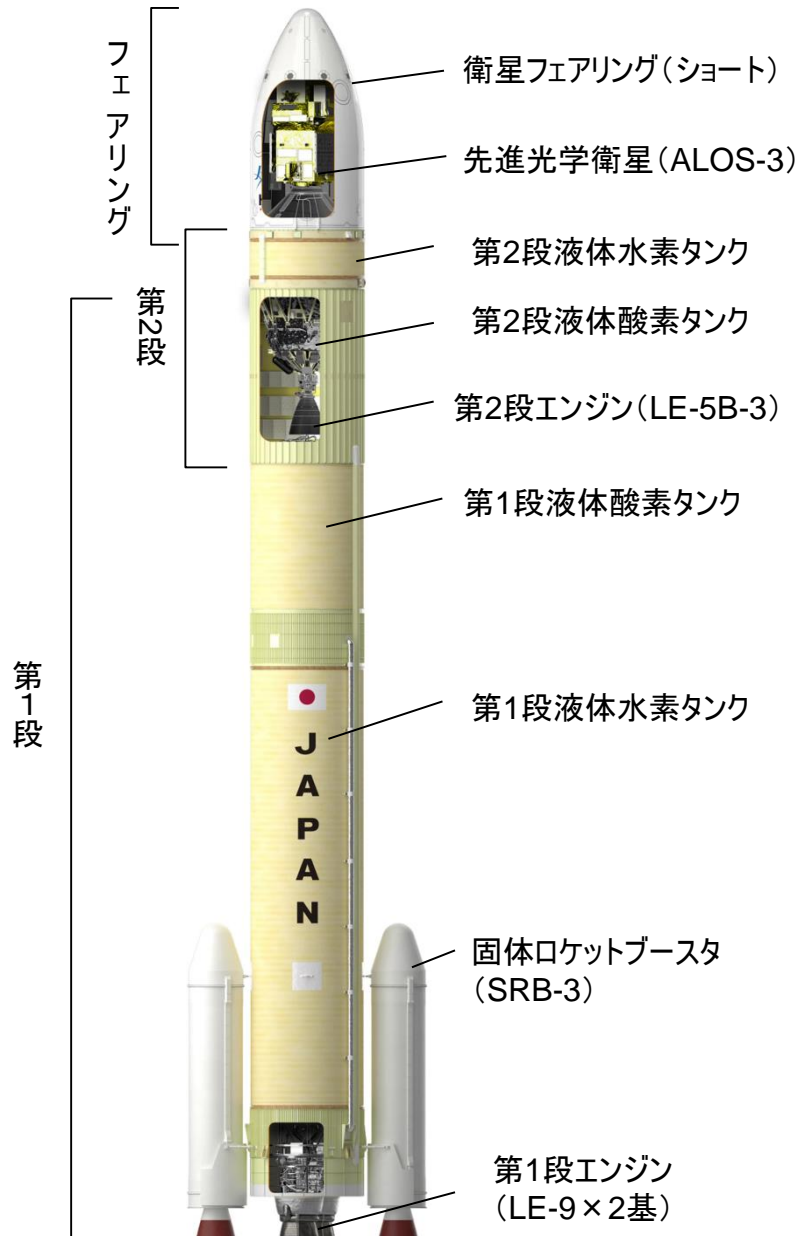
■ 搭載衛星

● 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)

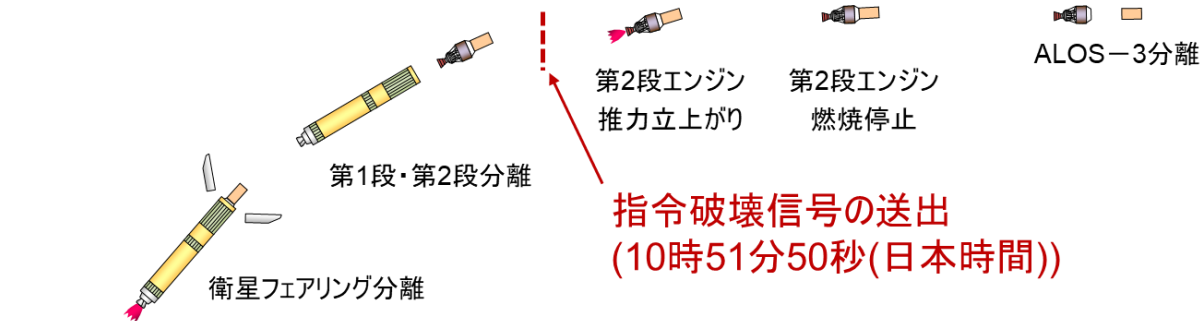


主要諸元

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。

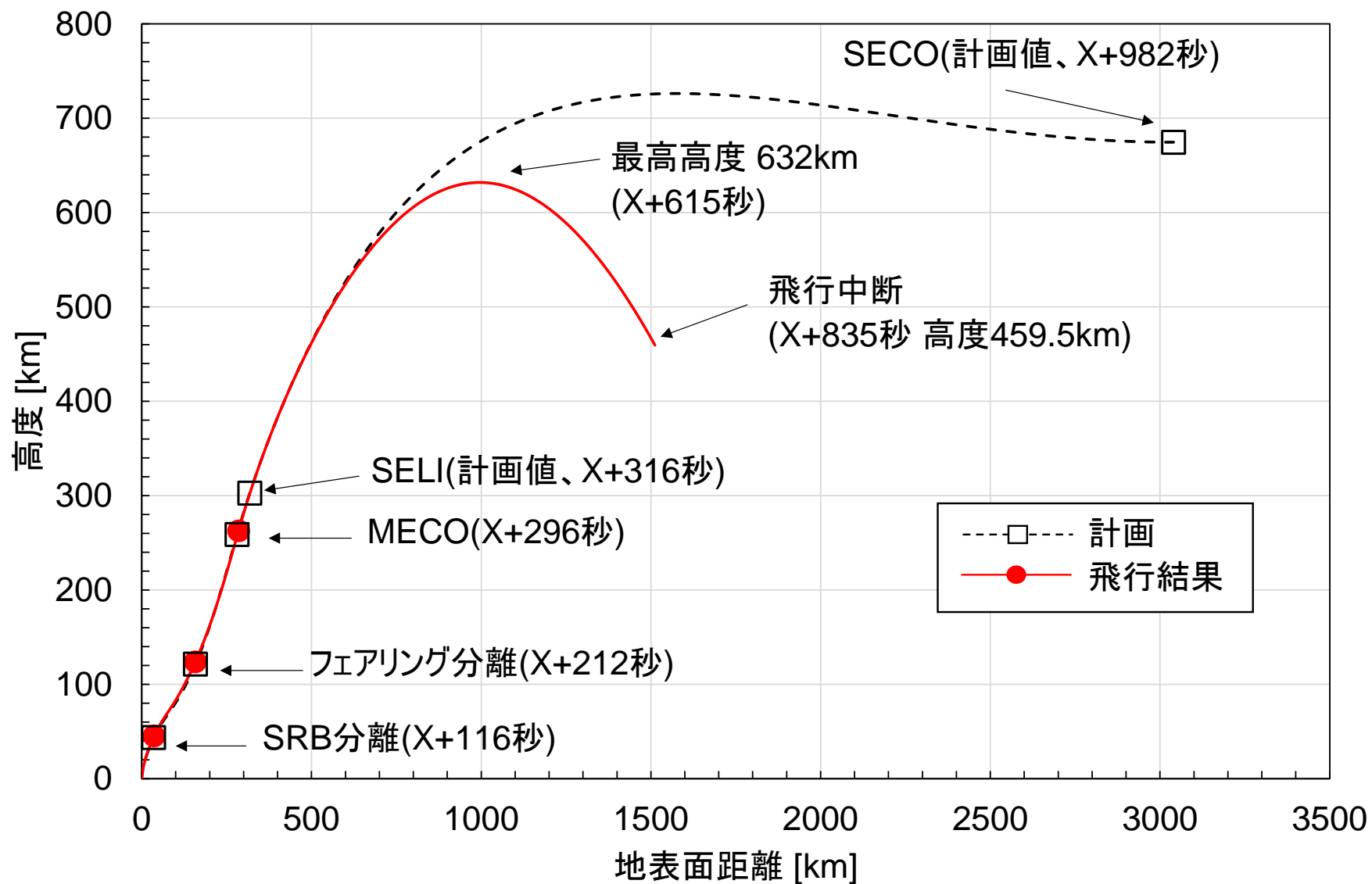


指令破壊信号の送付
(10時51分50秒(日本時間))

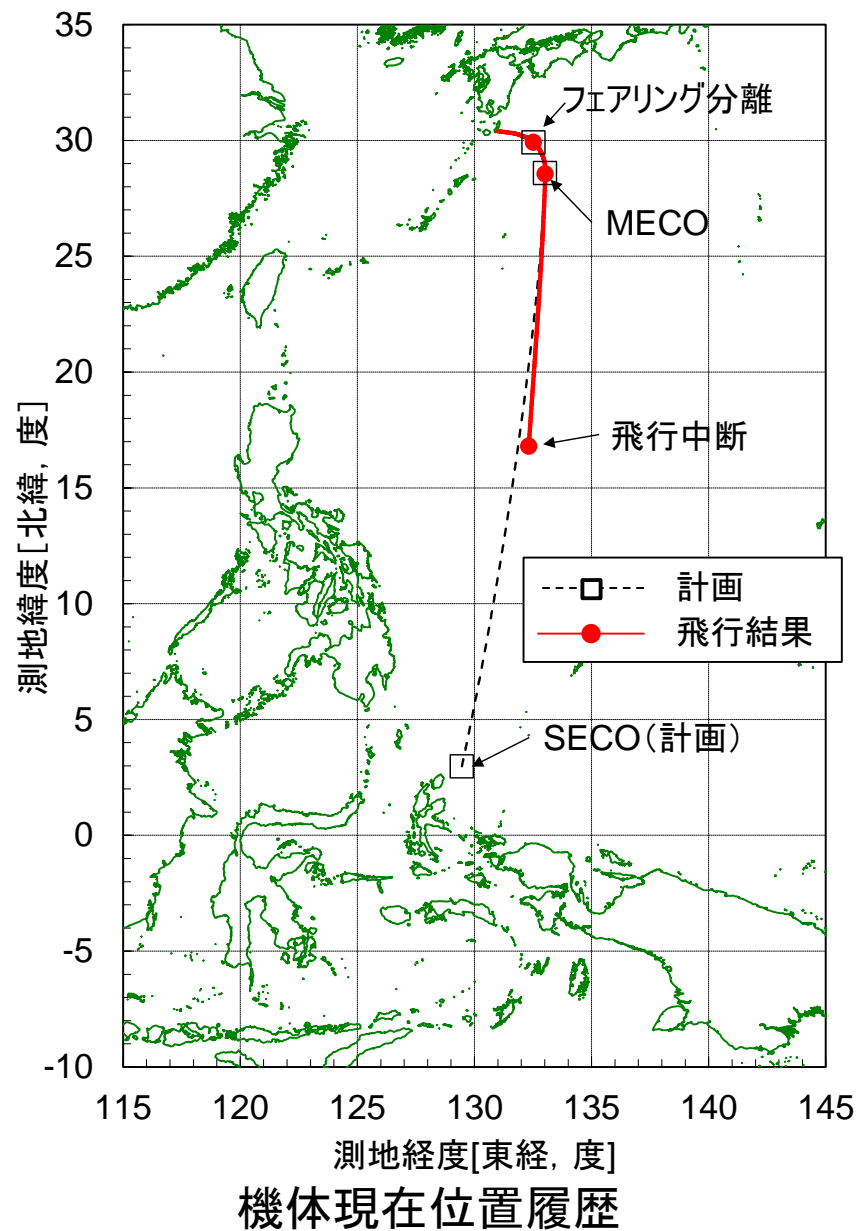
打上げ時刻(10時37分55秒(日本時間))

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段エンジン燃焼停止(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)

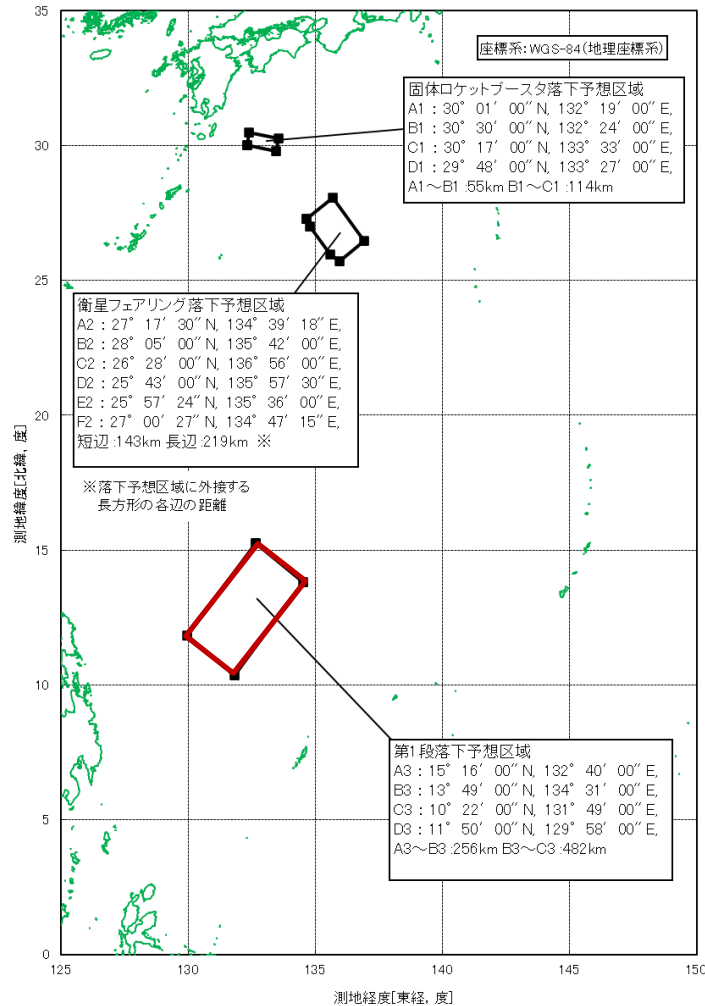


1-3 打上げ結果(再掲)



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

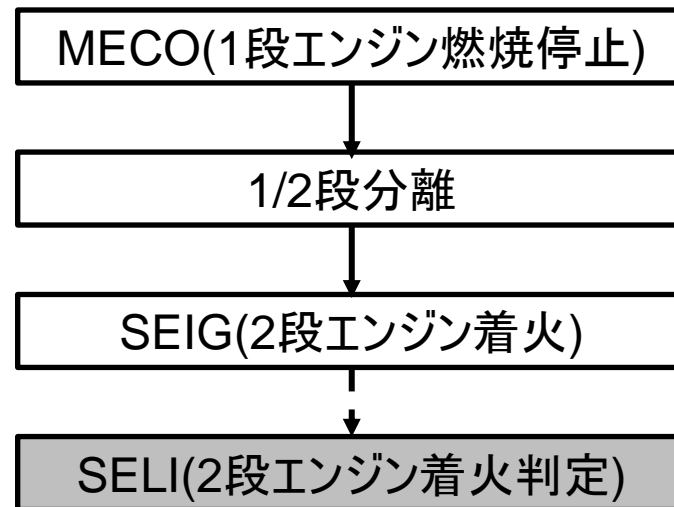
1-4 発生事象の内容

■ 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

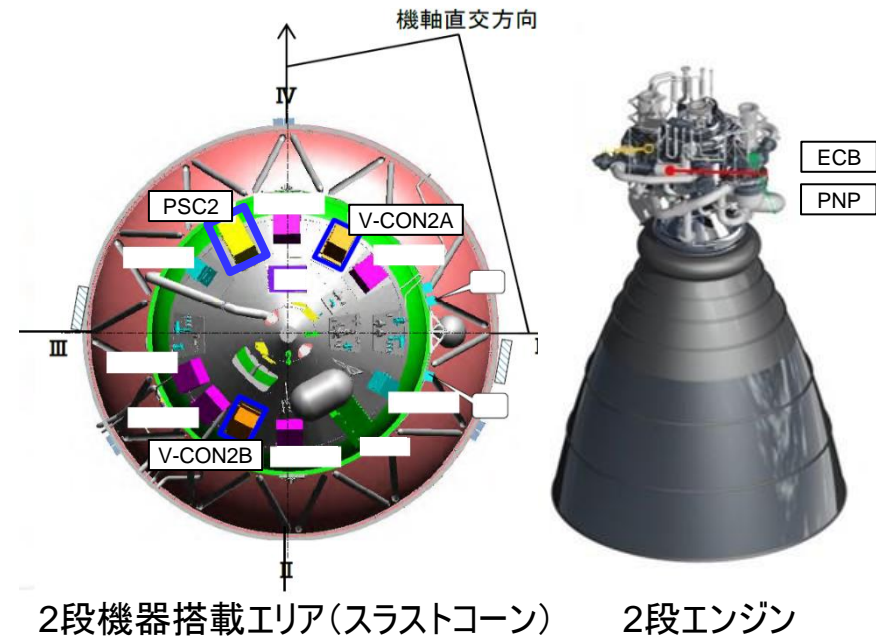
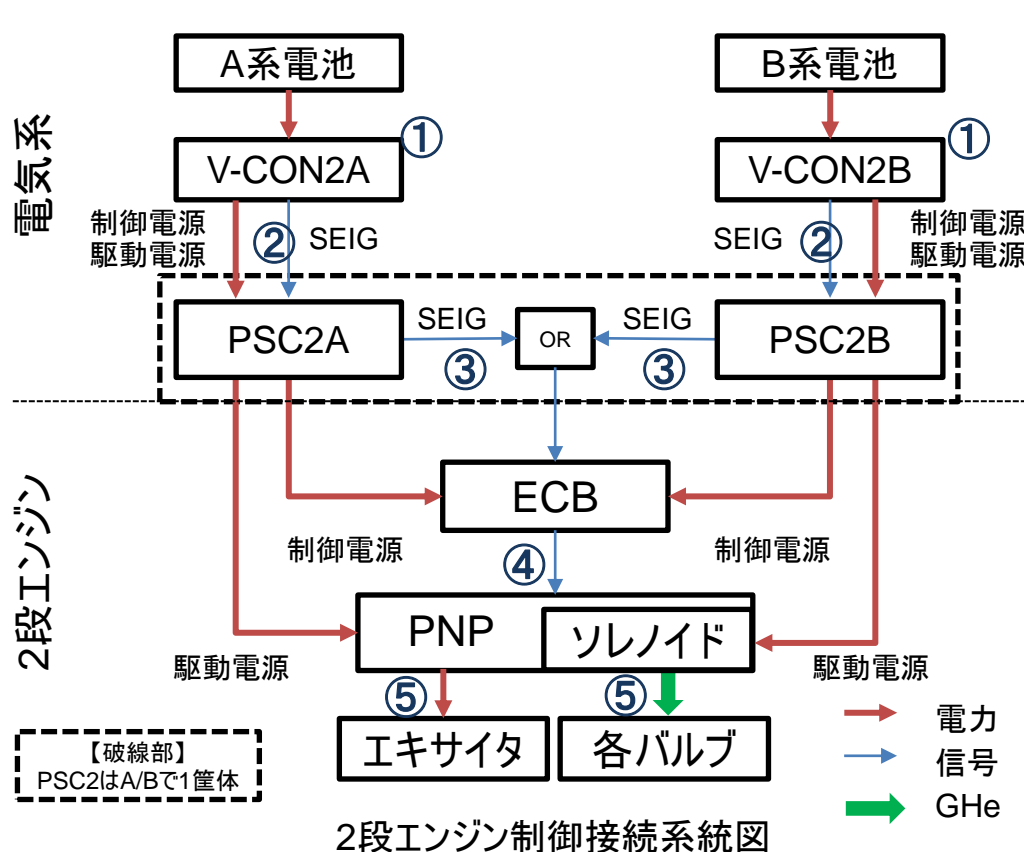
- 1段/2段分離を検知したのち、機体側から2段エンジンへ着火指示(SEIG)を送り、2段エンジン側がSEIGを受信したことを確認した。
- SEIG付近で、電源系統の異常を確認した。



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

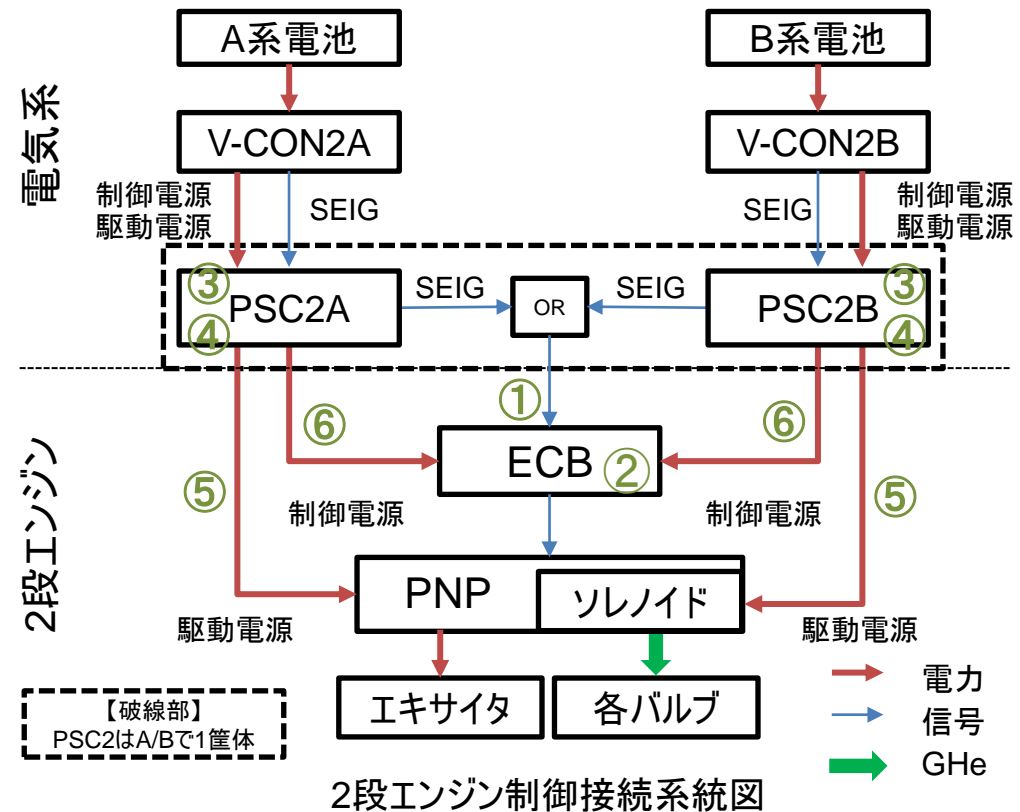
- ① 2段機体制御コントローラ(V-CON2A/2B)が1段/2段分離を検知
- ② その後、2段推進系コントローラ(PSC2)へ2段エンジンの着火信号(SEIG)を出力
- ③ PSC2はそれを受けて2段エンジンのコントロールボックス(ECB)へSEIGを出力
- ④ ECBがSEIGを受けた後、ニューマチックパッケージ(PNP)に駆動を指示
- ⑤ PNPは指示に基づき、各エンジンバルブおよび点火器のエキサイタスパークプラグを駆動



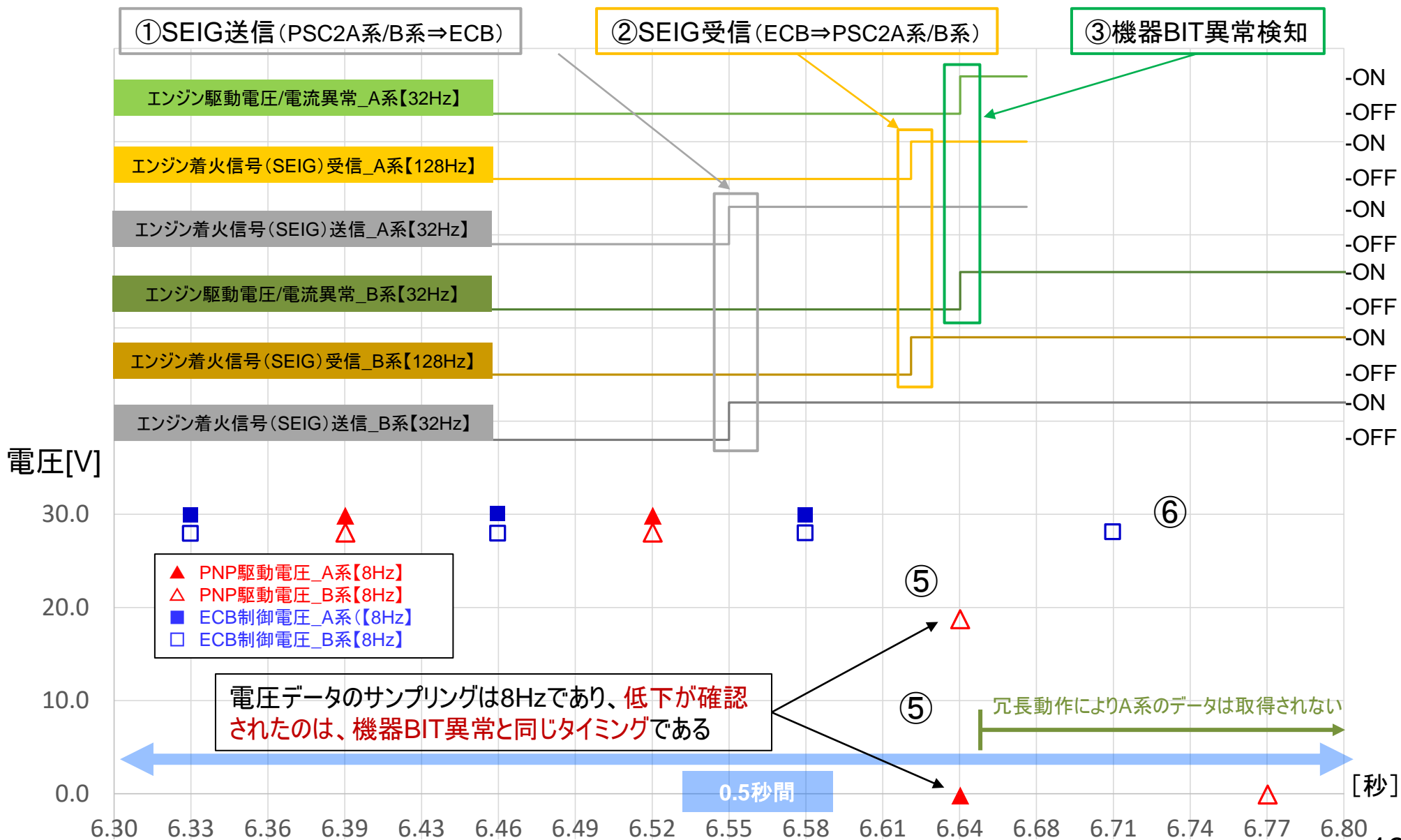
PNP: エンジンバルブ駆動用ヘリウムガスの供給や点火器エキサイタスパークプラグの駆動を制御する装置
 ソレノイド: エンジンの各バルブの駆動に必要なヘリウムガス(GHe)を供給する電磁弁(ソレノイドバルブ)
 エキサイタ: エンジン点火器のエキサイタスパークプラグ

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。

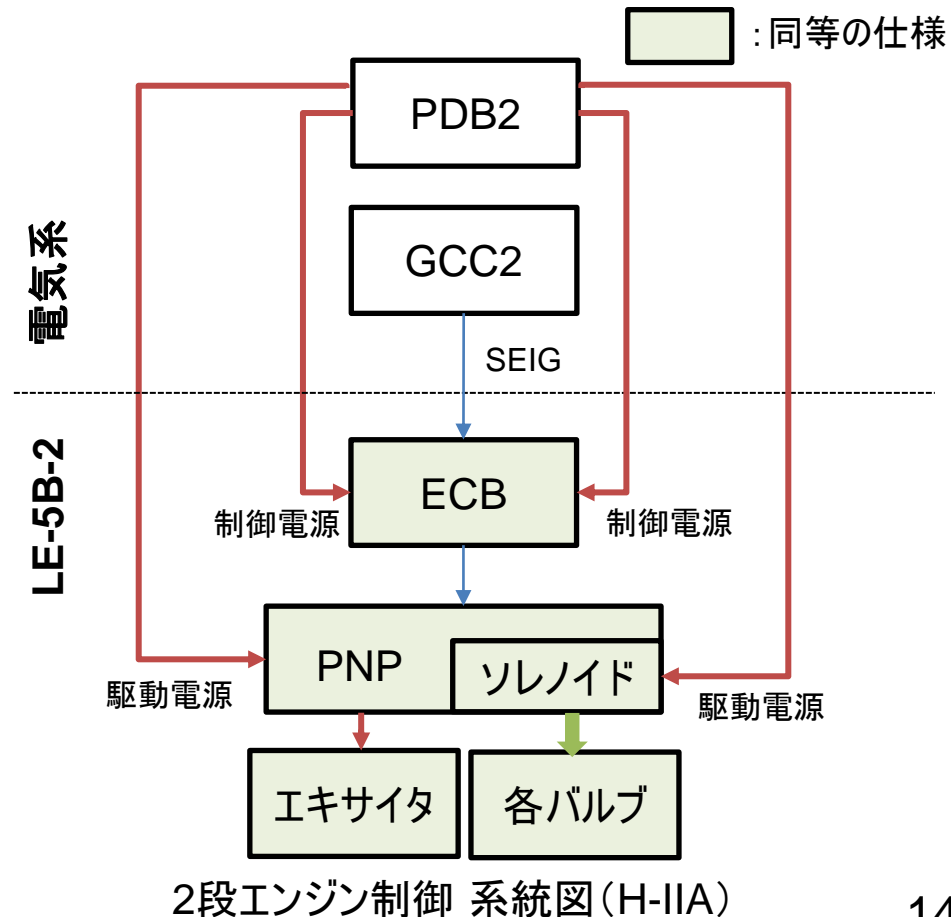
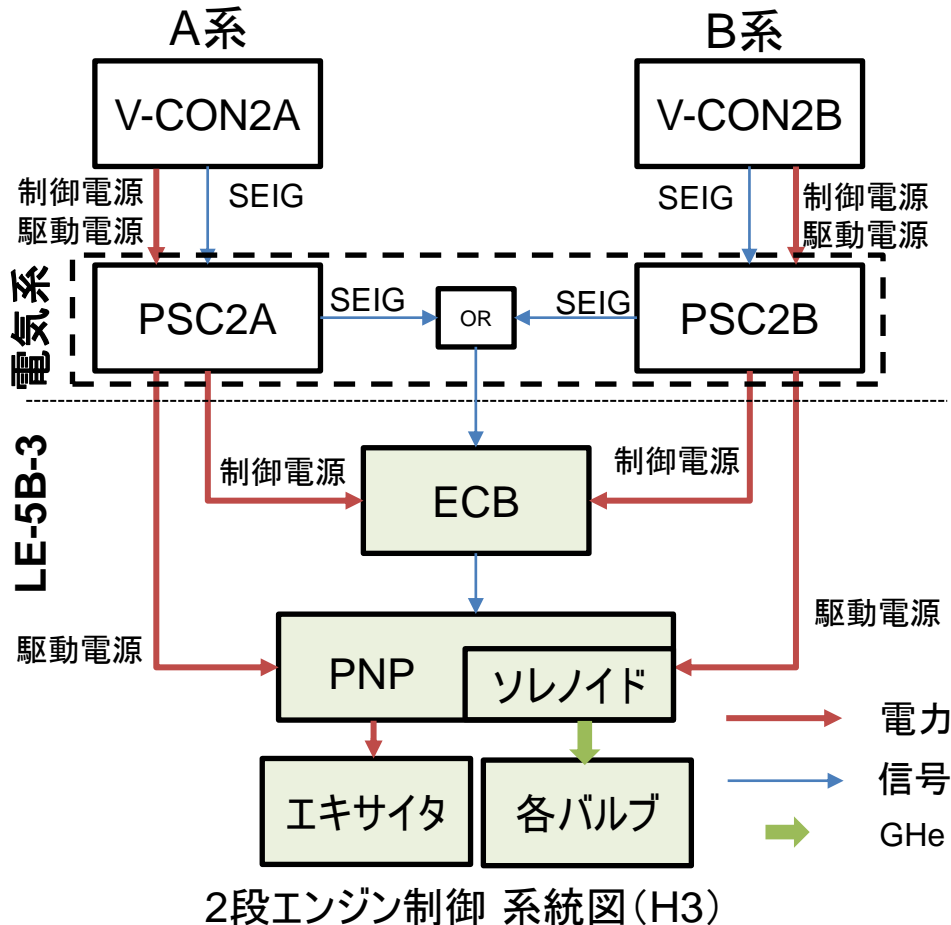


1-4-3 SEIG近傍のテレメータデータ確認状況(再掲)



2. 原因究明結果とそれに応じた対策設定

- 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段エンジン制御系統の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共通要因と②H3固有要因に識別して原因調査を進めた。



2. 原因究明結果とそれに応じた対策設定

2-1 FTA (Fault Tree Analysis※1)

赤字: 前回報告からの更新

■ FTAによる最終的な評価を下図に示す。

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	H3 固有	×	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	H3 固有	×	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)経路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)	H3 固有	×	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。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。			
				3.2.2 PSC2の消費電流過大(正常な機器動作範囲)	H3 固有	×	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	H3 固有/H-IIA 共通	△	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。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)に基づき評価した。			
				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	H3 固有	×	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。			
				3.2.5 PSC2内の電圧過大	H3 固有	×	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. 原因究明結果とそれに応じた対策設定

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	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	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)	※2	※2 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。					
				H3 固有	×	1/2段分離時に2段機体で計測した衝撃レベルが、環境条件規定値を超過した。そのため、この分離衝撃によりエンジン電気系コンポーネントが短絡・地絡に至った可能性を検討したが、コンポーネントレベル・電子部品レベルで1/2段分離時の推定衝撃レベル以上の衝撃耐性を有していることから、1/2段分離時の衝撃がコンポーネントの短絡・地絡の原因とは考えにくい状況である。実機大1/2段分離試験(1回目)を実施し、エンジン取付点の衝撃は耐性が確認できている衝撃値以下であることを確認した。より模擬度を上げた実機大1/2段分離試験(2回目)を実施し、2段エンジン着火に関連する各機器の衝撃環境は想定範囲内であることを確認した。なお、試験後のPSC2分解点検時に基板間の接続コネクタにわずかに隙間(許容値1.5mmに対し約1mm)があることが確認されていたが、要因ではないと評価した。				
				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。コンポーネント・電子部品レベルでランダム振動に対する振動耐性を有していることを確認した。				
				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。				
				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。				
				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。				
				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。				
				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)で養生されており液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。		
						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) のインタフェース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。		
						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	3.2.3.3 ソレノイド弁2個 (上記以外) 系統の短絡/地絡	3.2.3.4 テープヒータ系統の短絡/地絡	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	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。
								H-IIA 共通	×	その他のソレノイド弁 (O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。
								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。
								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した。降圧回路の発振・出力不安定により、A系の定電圧ダイオードが短絡した場合にA系からB系に伝播するメカニズムを評価および試験にて確認した。
H3 固有	△	同上								

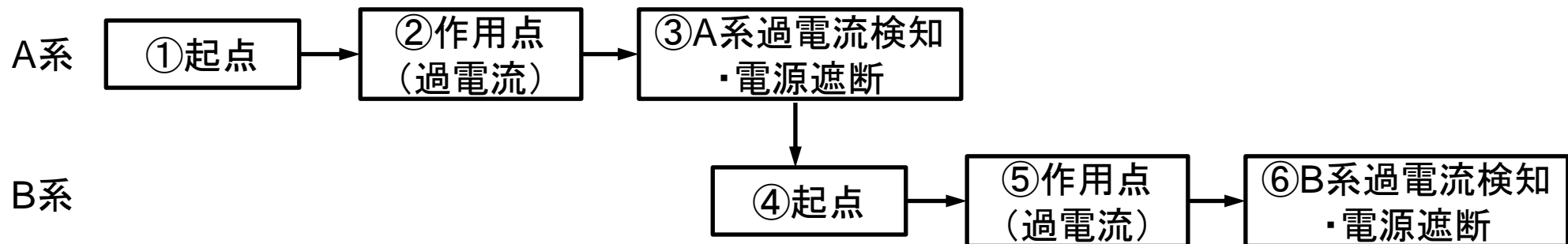
※1 FTA: 事象から始め、それに繋がる因果関係を洗い出し、原因を特定する解析
 ※2 下位の要因の集合であり、共通性や評価の識別は不要とした。

2-2 検討の網羅性の確認

■ 7月31日の調査・安全小委員会における議論と対応

- 網羅性の確認について、“PSC2 系統の過電流のFTA (P23,24 に示す)”の説明により、全事象を網羅的にアプローチしていることを確認いただいた。ただし、故障モード(シナリオ)の抽出について、これまで示してきたものに落とし込まれる根拠を明確にすべきとのご意見があった。
- これまでに、フライトデータの時系列の詳細評価から以下の流れで事象に至ったと評価し、各項目の網羅性を担保しつつ検討を進めてきた。
 - 過電流検知(③、⑥)はテレメータから確認した。
 - 作用点(②、⑤)はFTAと系統図を基に、過電流が流れ得る箇所を蓋然性を考慮しつつ識別した。
 - 起点(①、④)は作用点に影響を与え得る箇所(PSC2、エキサイタ等)にFMEA※1を展開して網羅的に抽出し、作用点につながり得るかを含めてシナリオの識別と成立性の検討を進めた。

※1 FMEA: 故障モード影響解析と呼ばれる、構成するパーツなどの主要な要素の故障モードを事前に洗い出し、影響を分析評価する解析手法



2-2 検討の網羅性の確認

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	—	○	○	—	○	—	○		

24

エンジン系コンポーネントの起点と作用点を
FMEAを用いて抽出
(5月25日調査・安全小委員会の再掲)

2-4 H3固有シナリオの網羅性の確認

2-4-2 降圧回路の電圧制御不安定に関する検討の網羅性

A) PSC2が過電圧を発生させるメカニズムの抽出

B) A)のうち、地上試験時/フライト時のテレメータに陽に現れない部品・モードの識別

- PSC2内部のエンジン駆動電源に関する**全ての電気素子・部品**に対し想定される**故障モードを**列挙し、以下の観点で原因になりえるかを整理した。
 - 最終的にPSC2からの電源出力が**過電圧**となるか ※PSC2の他のBITが必ず検知される、電流・電圧テレメに明確に現れる等のモードは除いた
 - フライトテレメではその**故障が検出できない**場合があるか※
- 結果として**降圧回路内の以下3点の部品・故障モード**につき、**上記条件に合致する可能性が残っている**状況であり、詳細検討を継続中。
 - FETスイッチおよび駆動回路のオープン故障
 - インダクタの短絡故障
 - コンデンサのオープン故障

C) システム内部部品短絡評価(過電圧印加時)の網羅性

- エンジン駆動電源の負荷として、PSC2および下流機器内に存在する**全ての電気素子**に対し**過電圧印加時の短絡故障リスクを評価**した。結果として、PSC2内部の**定電圧ダイオード、PNP/エキサイタのみが対象**となることを確認した。

PSC2内の起点と作用点を
FMEAを用いて抽出
(7月31日調査・安全小委員会の再掲)

28

2-2 検討の網羅性の確認

■ 7月31日の調査・安全小委員会における議論と対応(続き)

● これらを進める中で、以下の2つの異なる視点でのFTAを展開してきた。双方とも最終的に同じシナリオと結びついており、いずれの視点にも抜け漏れがなく識別できていることが確認できる。

● 全体FTA(P15,16)

「機能」、「部位」の視点で要因展開したことから、作用点(②、⑤)の「箇所」の網羅性を判別しやすい構成

● PSC2 系統の過電流のFTA(P23,24)

「電気的な挙動」の視点で要因展開したことから、作用点(②、⑤)の「状態」の網羅性を判別しやすい構成

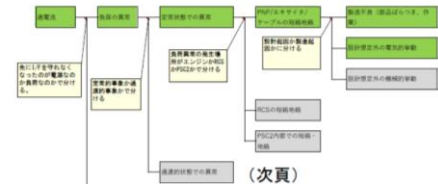
全体FTA

- TOP事象: 2段エンジン不着火
- 視点: 機能・部位

異なる視点

PSC2系統の過電流のFTA

- TOP事象: PSC2 系統の過電流
- 視点: 電気的な挙動



共通シナリオNo.8,9,10,15,16,17
共通シナリオNo.18
H3固有シナリオNo.1,2

起点と作用点の
具体化に
前ページのFMEA
を活用

事象	1次原因	2次原因	3次原因	対策
1 2段エンジン不着火	1.1 2段エンジン回転速度低下	1.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	1.1.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	1.1.1.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延
	1.2 2段エンジン回転速度低下	1.2.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	1.2.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	1.2.1.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延
2 2段エンジン不着火	2.1 2段エンジン回転速度低下	2.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	2.1.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	2.1.1.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延
	2.2 2段エンジン回転速度低下	2.2.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	2.2.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延	2.2.1.1.1 2段エンジン回転速度低下の検出遅延

2-2 検討の網羅性の確認

- 7月31日の調査・安全小委員会における議論と対応（続き）
 - さらに、以下の2点を整理することで、全事象に対する検討の網羅性が担保されていること、および、残っている故障シナリオがそれぞれどこに位置づけられるのかの両者を確認した。
 - 過電流が流れ得る状態になったタイミング
 - PSC2のA系/B系の誤検知の有無（すなわち②、⑤が実事象でない可能性を考慮）

2-2 検討の網羅性の確認

- 過電流が流れ得る状態になったタイミング、PSC2のA系/B系の過電流検知機能における誤検知の有無により事象を漏れなく場合分けし、各ケースがフライトデータと整合するか評価した。

※1: 10msギャップの考慮が必要

No.	過電流が流れ得る状態になったタイミング	PSC2-A系誤検知	PSC2-B系誤検知	評価		抽出したシナリオとの対応
1a	SEIG前	無し	無し	○	過電流が生じ、PSC両系とも意図どおり検知し遮断※1	共通シナリオNo8,9,10,15,16,17
1b		有り	無し	—	B系は切り替え後に検知するため3bに統合して評価	
1c		無し	有り	×1	A系は通電により過電流※1、B系は誤検知(二重故障)	
1d		有り	有り	—	過電流状態のタイミングによらない、4dに統合して評価	
2a	SEIG後	無し	無し	○	過電流が生じ、PSCは両系とも意図どおり検知し遮断	共通シナリオNo.18, 固有シナリオNo.1,2
2b		有り	無し	—	B系は切り替え後に検知するため3bに統合して評価	
2c		無し	有り	×1	A系は通電により過電流、B系は誤検知(二重故障)	
2d		有り	有り	—	過電流状態のタイミングによらない、4dに統合して評価	
3a	A系遮断後	無し	無し	×2	不整合(本ケースでは、A系に過電流を生じない)	
3b		有り	無し	×1	A系は誤検知、B系は通電により過電流(二重故障)	
3c		無し	有り	×2	不整合(本ケースでは、A系に過電流を生じない)	
3d		有り	有り	—	過電流状態のタイミングによらない、4dに統合して評価	
4a	無し	無し	無し	×2	不整合(本ケースでは両系とも検知しない)	
4b		有り	無し	×2	不整合(本ケースでは、B系が検知しない)	
4c		無し	有り	×2	不整合(本ケースでは、A系が検知しない)	
4d		有り	有り	○	両系とも誤検知	検知機能の妥当性を確認済み、シナリオに結びつかない

○: 評価要 ×1: 事象に至るが二重故障のケースであり棄却 ×2: データと不整合 —: 他項目に含めて評価

2-2 検討の網羅性の確認

■ 確認結果

- 評価が○となっているケース
 - 一故障もしくは、その連鎖により事象に至るケースであり、**故障シナリオとして評価が必要**。
 - ただし、「4d」についてはPSC2内の検知ロジックが適切に設定されていることを確認済みであること、A系/B系の検知回路が独立していることから、**故障シナリオとならない**。
- 評価が×¹となっているケース
 - 事象に至る可能性がある。これまでの検討の中で明示的に取り扱っていなかったが、**二重故障を前提**としたものであることから、**あらためて評価し棄却**した。
- 評価が×²となっているケース
 - フライトデータや事象と整合しないと評価した。
- 以上により、**事象の網羅性を担保**した上で、これまでに識別している故障シナリオの位置づけ(フライトデータに照らして評価すべきと考えられるケース(前ページの「1a」と「2a」)と、残っている故障モードが整合している、すなわち、**これら評価すべきケースに対して故障シナリオが漏れなく抽出**できていること)を確認するとともに、**新たに追加すべき故障シナリオはない**ことを確認した。

2-4 H3固有シナリオの網羅性の確認

2-4-1 過電流事象全体の網羅性

■ PSC2系統の過電流のFTA

- 従来のFTAは、H-IIAとの共通要因を早期に識別する観点から、「機能」や「部位」の切り口で要因展開しており、過電流をトップ事象としたときには網羅性が確認しにくい構成であった。
- それを補うため、PSC2のエンジン駆動電源系統の過電流をトップ事象として、各要因に展開する際の視点を明確にすることで網羅性を確認しやすいFTAを再整理した。

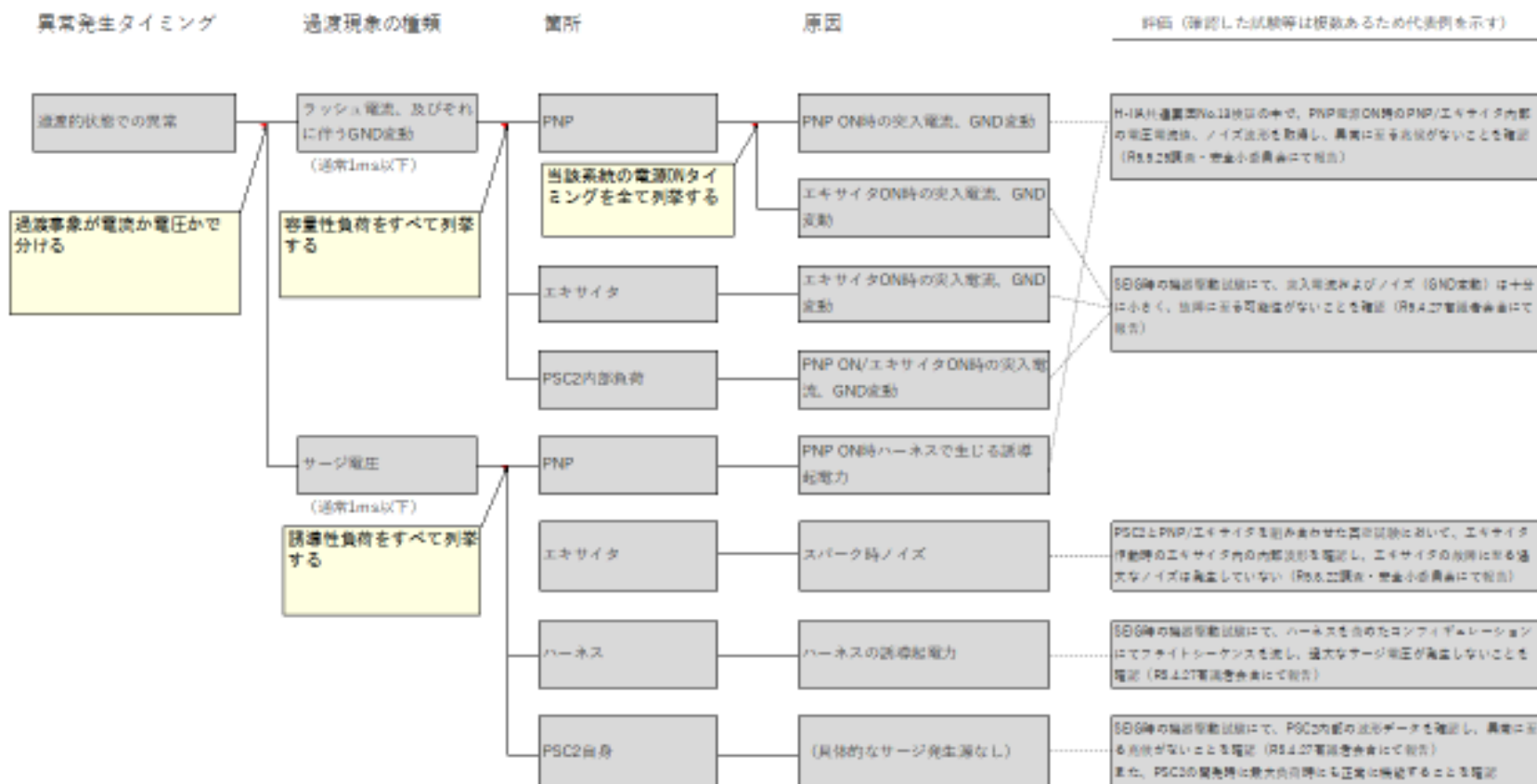


(*PWM: Pulse Width Modulation
1%の幅で電圧を上げることで、FBT6の電圧に誘われる電流の増減を抑制し、電圧を安定させる方式)

2-4 H3固有シナリオの網羅性の確認

2-4-1 過電流事象全体の網羅性

■ PSC2系統の過電流のFTA



※ FTAの要因展開は全てOR結合

2-3 原因究明結果と対策

■ 概要

- 共通シナリオNo.17、H3固有シナリオNo.1は製造記録、試験結果から**要因ではない**と特定した。
- 残るシナリオを大きく3つに整理し評価した。
 - ① **エキサイタ内部で軽微な短絡、SEIG後に完全に短絡** : 共通シナリオNo.8,9,10,15,16
時系列の詳細評価との整合性を検討し、通電後の電氣的な変化による発熱等による状態変化を考慮すると、要因になり得ると評価。対策として、**絶縁強化および検査強化**を実施。(5月25日の調査・安全小委員会にて説明)
 - ② **エキサイタへの通電で過電流状態が発生** : 共通シナリオNo.18
エキサイタ内部の電氣的動作によるトランジスタの破損メカニズムの詳細解析・検証を行ったが、故障の再現には至っていない。一方、試験の結果、部品定格を超過している電圧を確認しており、要因になり得ると評価。対策として、**部品選別により電圧を定格内**とする。(5月25日の調査・安全小委員会にて説明)
 - ③ **PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬** : H3固有シナリオNo.2
PSC2A系の内部で定電圧ダイオードが短絡故障し過電流が生じた場合に、B系に伝搬するメカニズムが存在することを試験および詳細評価にて確認した。対策として**定電圧ダイオードを取り除き、B系への伝搬を防止**する策を追加設定した。
- これまでの原因究明活動の中で、検討の網羅性を確認しながら、上記①～③のシナリオについて様々な条件で再現試験等を実施してきた。その結果、故障発生メカニズムが部分的にはあるが再現しており、各メカニズムの更なる詳細検討や試験により、これらのいずれかが**要因となりエキサイタもしくはPSC2が損傷することにより2段不着火事象が発生**したと評価した。
- これを踏まえ、**エキサイタおよびPSC2に対して対策**を行うことで再発を防止する。

2-3 原因究明結果と対策

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位		シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	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 損傷し、SEIG後の発熱等により完全に短絡。	<p><検査強化></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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antalの損傷(曲がり)がないことを確認する。 	時系列の詳細評価との整合性を検討し、 通電後の電気的な変化による発熱等による状態変化を考慮すると、要因になり得ると評価。(2-3-1項)
	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後の発熱等により完全に地絡。	<p><絶縁強化および検査強化></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	No.8と同様の評価
	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 破損し、SEIG後の発熱等により完全に地絡。	<p><検査強化></p> <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、貫通フィルタに地絡に至る損傷がないことを確認する。 	No.8と同様の評価
	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後の発熱等により完全に地絡。	<p><絶縁強化および検査強化></p> <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適正化し、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。 	No.8と同様の評価

2-3 原因究明結果と対策

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位		シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	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後の発熱等により完全に地絡。	<p><検査強化></p> <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、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。 	No.8と同様の評価
	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。	<p><検査強化></p> <p>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。</p>	製造記録の詳細確認(部品製造メーカーの記録に遡った調査)により、本シナリオの起点となる絶縁テープ損傷がないことを確認したため、本シナリオは要因ではないと評価する。
	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。	<p><部品選別></p> <p>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。</p>	<p>(1)再現試験および過負荷試験の結果、事象の再現には至っていないが、定格を超える電圧がトランジスタに印加されることを確認。</p> <p>(2)エキサイタ内部回路の電氣的動作によるトランジスタの破損のメカニズムを詳細に解析・検証した結果、<u>部品の実力耐性を超える負荷による故障の再現には至っていない。</u></p> <p>(1)の結果から要因になり得ると評価。(2-3-2項)</p>

2-3 原因究明結果と対策

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位		シナリオ	対策	最終評価
H3 固有 シナ リオ	1	PNP /エキ サイタ	トラン ジスタ etc.	<p>(1) SEIGによる下流機器への電源投入時に、PSC2A降圧回路が電流変動(突入電流または機器動作)に伴い発振・出力不安定となり、過電圧を出力した。</p> <p>(2) 過電圧により、下流のシングルポイント機器(PNPまたはエキサイタ)を短絡故障させ、過電流を発生させた(過電圧が発生してから過電流に至るまでに、10ms程度の遅延があった)。</p> <p>PSC2 A系およびB系で過電流検知により電源遮断を行った。</p>	不要	<p>(1) 部品故障で過電圧に至る3ケースを抽出。</p> <p>(2) 負荷(PNP、エキサイタ)側の過電圧試験の結果、負荷には十分過電圧耐性があることを確認した(7月31日に報告)。</p> <p>(3) 上記部品が故障に至る要因は抽出されなかった。</p> <p>(4) 各モードに対してフライト時のテレメータとの矛盾はない。</p> <p>以上の結果から負荷側の過電圧耐性は十分有しており、要因ではないと評価した。</p>
	2	PSC2	定電 圧ダイ オード etc.	<p>(1) PSC2内部の部品故障により、PSC2の降圧回路が不安定な挙動となった。</p> <p>(2) 過電圧により、PSC2A内部の部品(例: 定電圧ダイオード)を短絡故障させ、過電流を発生させた。</p> <p>(3) A系の過電流がB系に伝搬し、B系でも過電流を生じた。</p> <p>本シナリオは降圧回路の不安定挙動が部品故障を伴うことから、伝搬するシナリオに見直した。(7月31日の報告)</p>	定電圧ダイオードの削除 【追加対策】	<p>(1) 同上</p> <p>(2) 仮に過電圧になった場合を想定しPSC2内の定電圧ダイオードの過電圧試験を実施し、短絡故障に至ることを確認(7月31日に報告)。</p> <p>(3) PSC2A内で過電流が発生した場合に、PSC2Bも過電流を発生させる伝搬モードを評価し、発生のあると評価(2-3-3項)</p> <p>(4) 同上</p> <p>以上の結果から要因になり得ると評価した。</p>

2-3 原因究明結果と対策

■ 各シナリオの詳細説明

3つに分けた各シナリオについて、時系列を含む詳細メカニズムと評価結果について、以下各項に整理した。

- 2-3-1項 ① エキサイタ内部で軽微な短絡、SEIG後に完全に短絡
: 共通シナリオNo.8,9,10,15,16
- 2-3-2項 ② エキサイタへの通電で過電流状態が発生
: 共通シナリオNo.18
- 2-3-3項 ③ PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬: H3固有シナリオNo.2

2-3 原因究明結果と対策

2-3-1 ①エキサイタ内部で軽微な短絡、SEIG後に完全に短絡

■ 対象となる故障シナリオ: 共通No.8、9、10、15、16

- これらのシナリオは最終的に短絡・地絡に至ったエキサイタ内部の電気部品(コンデンサやフィルタなど)の種類が異なるものの、そのシナリオは概ね以下の通り共通している。
 - エキサイタ**製造時**に、内部の電気部品の取り扱いの結果等で電気部品間の距離が狭い箇所があり、**短絡や地絡を生じやすい状態**にあった。
 - 打上げ前までは短絡や地絡に至っていなかったが、**打上げ時の振動や1/2段分離時の衝撃**によって電気部品間の距離が縮まったり、電気部品の絶縁用の被覆が擦れて素線が露出したりして、**軽微な**(抵抗値が比較的大きい)**短絡や地絡状態**となった。
 - SEIG時にエキサイタへ通電すると、**6msまで***は**短絡・地絡箇所の抵抗値が大きかった**ため短絡・地絡電流は比較的小さかったが、その後**短絡・地絡した部分での発熱**などによって**接触部の状態が変わり、過電流を発生**させるに至った。

※7月31日調査・安全小委員会(第49回)にて報告

- 故障シナリオが概ね共通であるため、過去に**製造工程の中で地絡を生じた不具合事例のある故障シナリオNo.15**を代表例として、次ページに詳しく説明する。

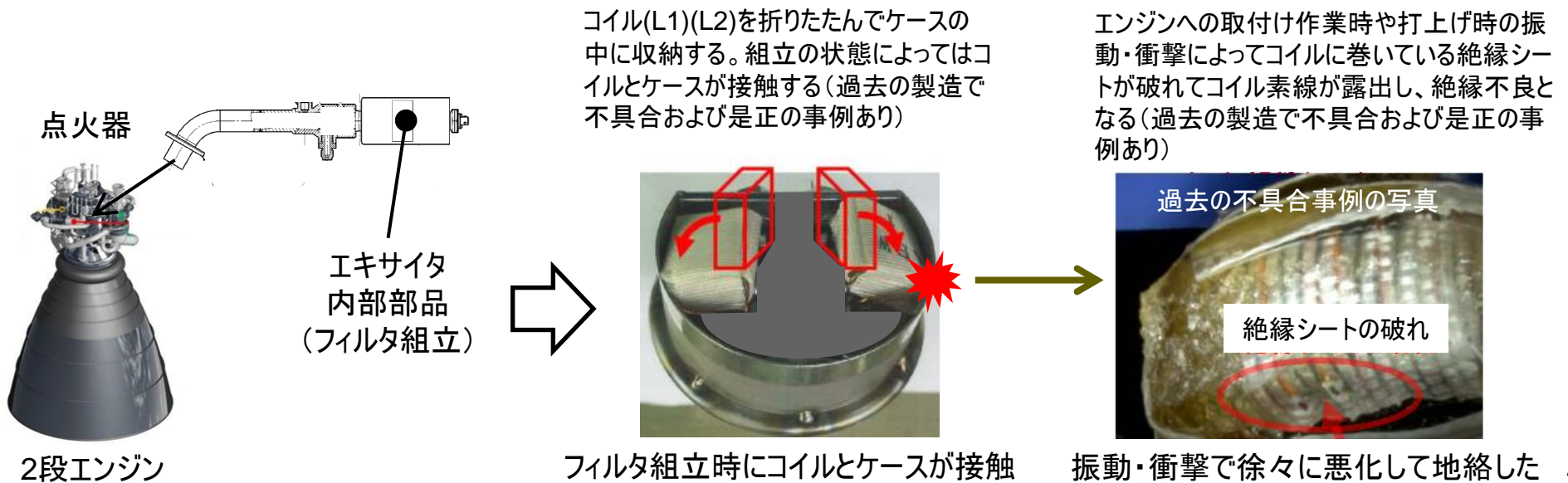
2-3 原因究明結果と対策

2-3-1 ①エキサイタ内部で軽微な短絡、SEIG後に完全に短絡

■ 故障シナリオNo.15 エキサイタ フィルタ組立の故障

● シナリオ詳細(時系列)

- i. エキサイタ製造において、フィルタ組立時にコイルとケース間の絶縁シートがずれて組み立てられ、**コイルとケースが接触した状態**でエキサイタ単体製品が完成した不具合事例有り。
- ii. エンジンへの取付け作業時や打上げ時の振動で、接触していたコイル素線のエナメル被覆が擦れて徐々に剥がれていき、接触部で地絡しやすい状態が生じた不具合事例有り。
- iii. 1/2段分離時の衝撃でコイルが動いて、被覆の剥がれたコイル素線の一部とケースが接触に至り、軽微な地絡状態(抵抗値が比較的大きい状態)となった。SEIG時にエキサイタへ通電すると、**6msまでは地絡箇所の抵抗値が大きかった**ため地絡電流は比較的小さかったが、その後地絡した部分での**発熱などによって接触部の状態が変わり、過電流を発生**させるに至った。



2-3 原因究明結果と対策

2-3-1 ①エキサイタ内部で軽微な短絡、SEIG後に完全に短絡

■ 故障シナリオNo.15 エキサイタ フィルタ組立の故障(つづき)

- 対策は以下の通り設定済みである(5月25日調査・安全小委員会(第47回)資料の再掲)

■ 【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。

絶縁シート
(コイルを覆っている)

コイルとフィルタケースの接触の可能性を排除

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。

現行絶縁方法 改善提案

現行絶縁方法 改善提案

短絡防止用途のインレーションシートを縦横1.5巻から1巻に変更した。
縦巻きテープ1.5巻廃止。

厚み削減の為に絶縁機能が犠牲にならない様にした。

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。

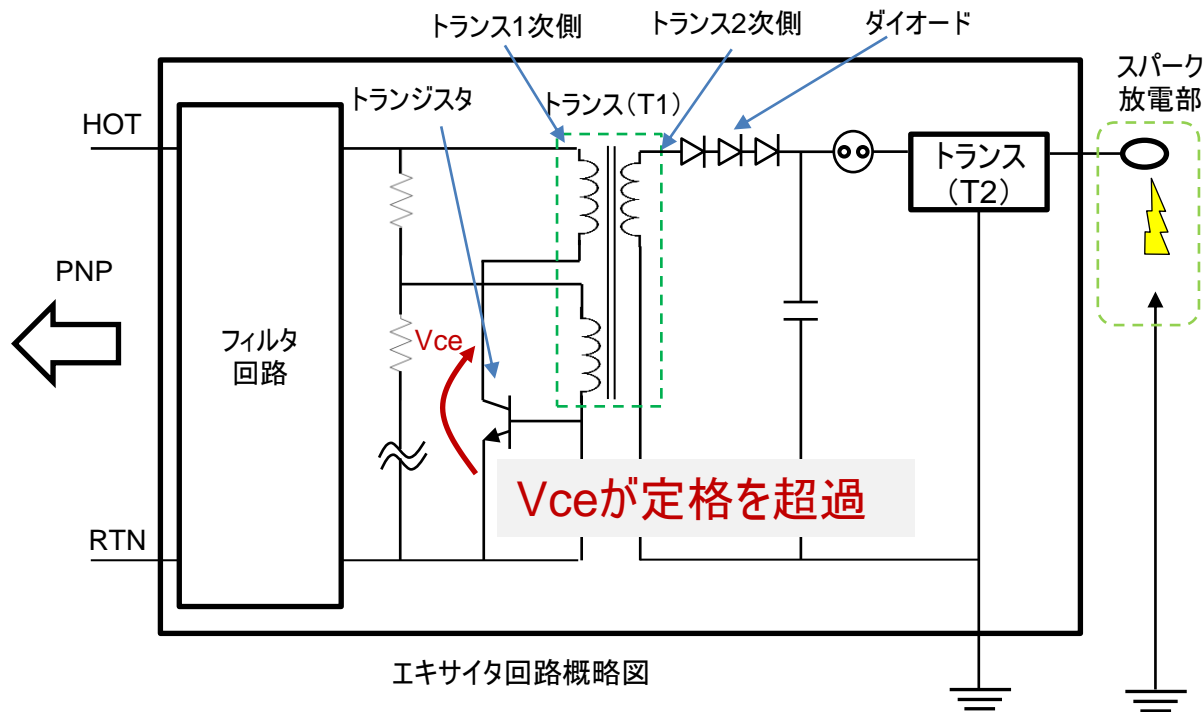
2-3 原因究明結果と対策

2-3-2 ②エキサイタへの通電で過電流状態が発生

■ 対象となる故障シナリオ: 共通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のコレクタ-エミッタ間(Vce)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に負荷が蓄積し、**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、トランジスタに電圧が印加され、**電氣的発振動作を開始した直後、10ms程度を経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。**



2-3 原因究明結果と対策

2-3-2 ②エキサイタへの通電で過電流状態が発生

■ 対象となる故障シナリオ：共通No.18(エキサイタ内部トランジスタの故障)

● 検証結果

- 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を確認。
- シミュレーション結果を踏まえ、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を確認。

【トランジスタに定格以上の電圧が印加されていたことは事実】

- エキサイタの作動寿命を超える耐久性試験(着火を繰り返す試験)を新品のフライト用供試体を用いて実施したが、故障は再現していない。
- 実機のエキサイタ及び模擬回路を用いて、トランジスタに対し、部品定格を超えたVce電圧を加える試験を繰り返し実施したが、故障は再現していない。

【トランジスタは定格を超過しているものの、なかなか壊れない】

- トランジスタの耐電圧性のバラつきを評価するため、トランジスタ単体に直流電源にて最大定格を超える電圧を印加する試験を実施した結果、短絡故障した。トランジスタの個体バラつきがあることを確認。

【トランジスタはなかなか壊れないが、壊れやすさのバラつきがある】

以上の結果から、エキサイタ駆動時のトランジスタ故障には至っていないものの、トランジスタの壊れやすさにはバラつきがあり、部品定格を超えて使用していたことから、**本シナリオの可能性は残る。**

<参考>これまでのフライト実績(開発試験を除く)

当該エキサイタは、同設計であるH-IIA/B(1段、2段エンジン)で、合計182個のフライト実績を有する。

2-3 原因究明結果と対策

2-3-2 ②エキサイタへの通電で過電流状態が発生

■ 対象となる故障シナリオ: 共通No.18(エキサイタ内部トランジスタの故障)

● 対策

- トランジスタに印加される電圧の定格超過の対策は以下の通り設定済み(5月25日調査・安全小委員会(第47回)資料の再掲)。

■ 【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。

2段エンジン

点火器

エキサイタ

エキサイタ内部部品(トランジスタ)

抵抗

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

49

(※) 対策に従いF47用エキサイタの製造を行い、スパークレートは低下したが過去に確認された範囲内で完成したため問題ない。なお、H3はF47よりもミッション秒時が長く、電圧と温度がより低下することでスパークレートが過去の確認範囲を下回る可能性があるため、より広い範囲について着火を確認する点火器試験を実施する。

2-3 原因究明結果と対策

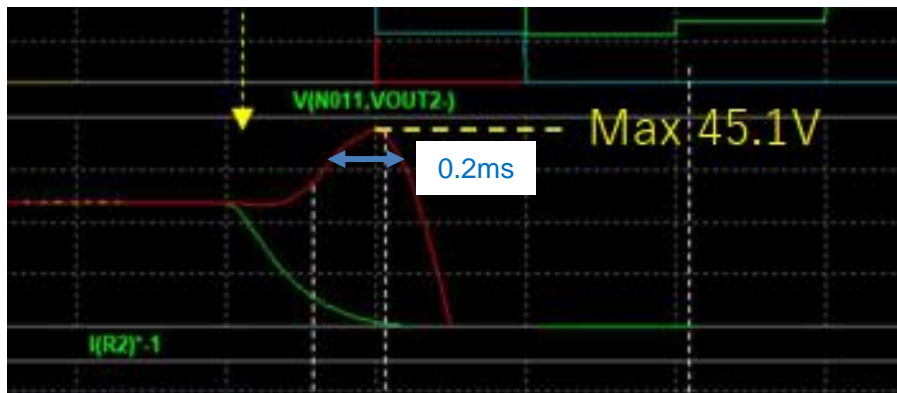
2-3-3 ③PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬

■ 対象となる故障シナリオ: 固有No.2

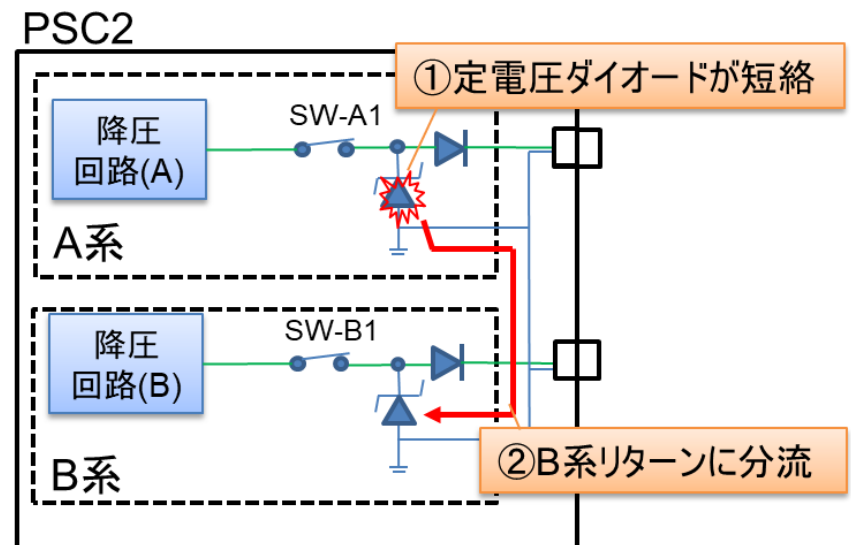
- フライトでの事象が最終的にA系/B系の両方で生じていることから、**A系で定電圧ダイオードが短絡故障した後に、B系に伝搬するメカニズム**について、(1)シミュレーション、および(2)試験にて評価を実施した。

(1)シミュレーションによる評価

- PSC2からエンジン駆動電源を供給する降圧回路が不安定になることを起点に、A系の定電圧ダイオードの短絡からB系に故障が伝搬するメカニズムをシミュレーションを用いて評価した。
- A系の定電圧ダイオードが何らかの理由で短絡した場合、短絡時に生じる電流がA系のリターンラインからB系の駆動電源のリターンラインに分流し、**B系駆動電源のリターン電位を変動させる過渡事象**(約0.2ms間、最大45.1v)が生じ得ることを**シミュレーションで確認した**。



シミュレーションによるB系駆動電源リターンの電圧波形



2-3 原因究明結果と対策

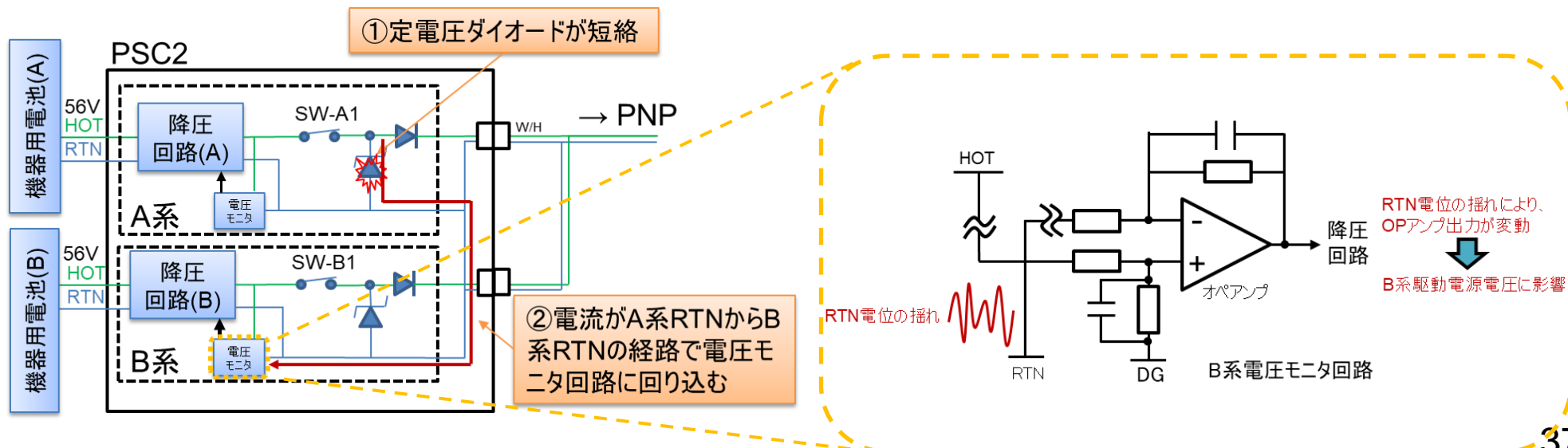
2-3-3 ③PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬

■ 対象となる故障シナリオ: 固有No.2

(2) 試験結果

- 連鎖事象が起こり得るかを確認するため、PSC2実機を用いてA系の降圧回路から強制的に過電圧を出力してA系の定電圧ダイオードを短絡させた後、B系の定電圧ダイオードの短絡に至るか検証した。
- 検証の結果、B系の定電圧ダイオードは短絡せず、A系/B系共にフライトデータと整合する事象に至らなかったが、A系の定電圧ダイオードの短絡時の過渡電流によって、リターン電位が変動することにより、B系降圧回路の電圧モニタオペアンプ※出力が連成して変動する(A系の定電圧ダイオードの故障がB系の回路動作に波及する)ことを確認した。
- 以上の結果を踏まえ、H3固有シナリオNo.2を次ページのように再整理した。

※オペアンプ: 2つの入力間の差分を増幅して出力する回路(IC)



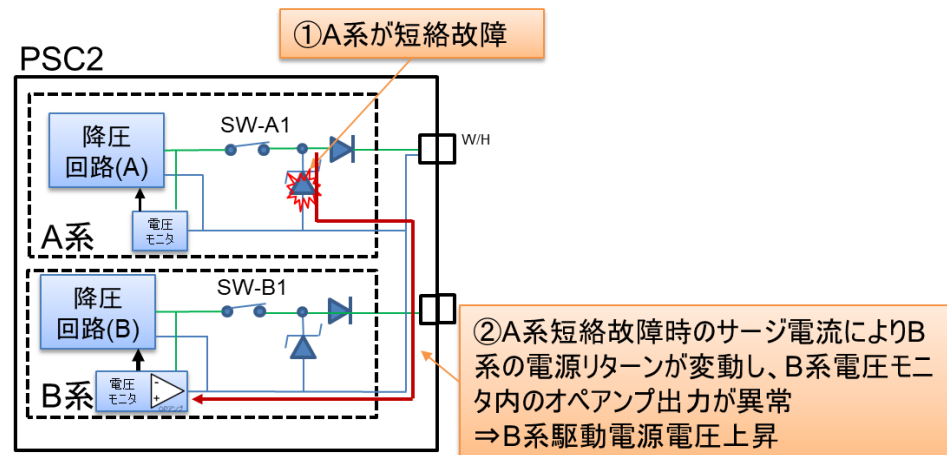
2-3 原因究明結果と対策

2-3-3 ③PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬

■ 対象となる故障シナリオ: 固有No.2

● シナリオ詳細(時系列)

- i. フライト中の環境等によりPSC2A系降圧回路の一部の部品(FETスイッチ、インダクタ、コンデンサの何れか)が故障した。(但しフライトテレメータでは確認できない状態)
- ii. SEIG(エキサイタ電源ON)の瞬間に生じる過渡的な電気変化により、上記故障に伴い、PSC2A系の降圧回路のフィードバック制御が不安定となる。
- iii. フィードバック制御不安定化により駆動電源電圧が50Vを超過して定電圧ダイオードが短絡する。
- iv. A系は過電流異常により故障を検出し、冗長系切替を実施。
- v. 短絡電流がA系リターンラインからB系リターンラインに分流し、B系リターンラインの電位が変動する。
- vi. B系リターンラインの変動により、B系駆動電源のフィードバック電圧モニタのオペアンプが異常となり、電圧モニタの出力が異常となる。
- vii. B系駆動電源電圧が上昇し、B系の定電圧ダイオードが短絡し、B系も過電流異常に至る。



2-3 原因究明結果と対策

2-3-3 ③PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬

■ 対象となる故障シナリオ: 固有No.2

● 本シナリオの評価結果

- 定電圧ダイオードが短絡故障に至る要因※としては降圧回路の一部の部品の故障が挙げられる。この点については再現に至っていないが、**A系の定電圧ダイオードの短絡故障を起点として、B系回路動作へ波及**することを確認したことから、本シナリオの可能性は**否定できない**。このため、後続号機に向けて次ページの対策を講じる。

※実機大1/2段分離試験後のPSC2分解点検にて確認されたコネクタの隙間については、コネクタ内のピン配置等の評価から、本シナリオの起点となる過電圧や定電圧ダイオードの故障にはつながらないことを確認した。

2-3 原因究明結果と対策

2-3-3 ③PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬

■ 対象となる故障シナリオ: 固有No.2

● 対策

6月22日の調査・安全小委員会で設定した対策方針から、検討進捗を踏まえ以下の対策とする。

① FPGA制御応答速度が不足するモード

FPGAの応答速度(制御定数)が十分であることを確認※し、**対策は不要と評価**。

② 回路定数(コンデンサ容量、コイル誘導係数等)の安定性余裕が不足するモード

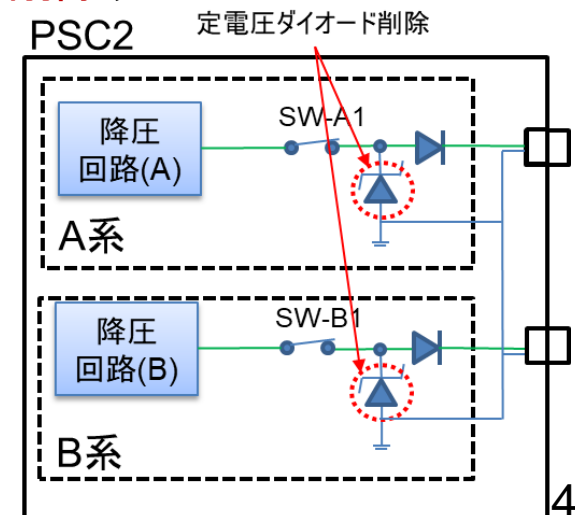
回路定数設計上、安定性余裕が不足する箇所はないことを確認※し、**対策は不要と評価**。

③ 定電圧ダイオードの過電圧抑制能力を増強

定電圧ダイオードが**本シナリオの起点となり得るため、A系、B系共に削除**する。

- 定電圧ダイオードは、過電圧遮断機能での検知に加え、下流機器を保護する目的で具備している(機能冗長)。
- 降圧回路が故障し最大電圧を供給した場合を想定すると、定電圧ダイオードの抑制能力が不十分であったため、増強する方針を6月22日の調査・安全小委員会で説明した。
- その後、下流機器は十分な耐電圧性を有していることを過負荷試験にて確認したため、伝搬経路になり得る当該部品を削除する方針に見直した。

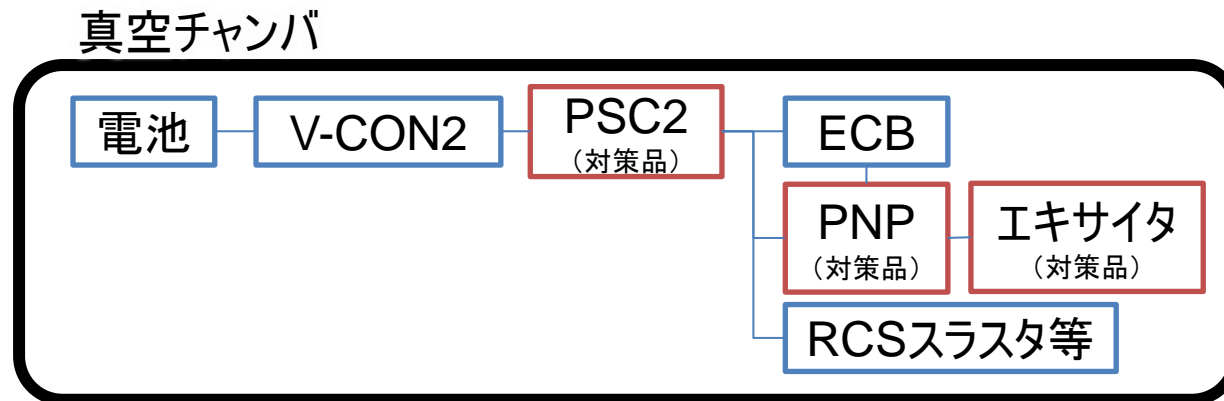
※7月31日調査・安全小委員会(第49回)にて報告



2. 原因究明結果とそれに応じた対策設定

2-4 システム検証

- 対策の妥当性の最終確認として、2-3項までで説明した**各種対策を施した機器を組合せ、2段エンジン着火が可能であることを確認**するためにシステム検証試験を実施する。
 - 通常の打上げ前の点検では、フライト中の飛行シーケンスを模擬した試験を常圧環境下で実施しているが、2段エンジンが着火する真空環境を模擬した試験を追加で実施する。
 - 2段エンジン着火に関わる電気機器（電池、V-CON2、PSC2、ECB、PNP、エキサイタ等）を真空チャンバー内に設置し、着火に必要なエキサイタの作動（エキサイタへの電源供給含む）が正常に行えることを検証する。
 - ただし、以下の2点は模擬をしない。
 - 水素や酸素を供給した実際のエンジン着火（点火器やエンジン単体にて検証）
 - 振動や衝撃の機械的環境や熱環境（機器単体で耐性を評価）



試験コンフィギュレーション例

2. 原因究明結果とそれに応じた対策設定

2-4 システム検証

■ 試験コンフィギュレーションおよび試験条件

- 2段エンジン着火に関連する以下の電気機器(エキサイタ/PNP/PSC2は2-3項の**対策を施した実機相当品**)を搭載し、機器間は**実機相当のワイヤハーネス**で結線する。また、**フライト時のグラウンド(接地)状態を模擬**する。なお、**PSC2の降圧回路の負荷を模擬**するために、エンジン以外の機器についても接続する。
 - エキサイタ(対策品)、PNP(対策品)、PSC2(対策品)、電池、V-CON2、RCSスラスタ等
- **フライトの真空環境を模擬**するため、上記機器を**真空チャンバ内に設置**する。なお、機器の艀装は可能な限り実機と同等となるようにする。
- 2段エンジンの着火シーケンスが正常に作動することを確認するために、SEIG前後のシーケンスを模擬した試験を実施する。

3. まとめ

■ 原因究明結果と対策

- 共通シナリオNo.17、H3固有シナリオNo.1は製造記録、試験結果から**要因ではない**と特定した。
- 残るシナリオを大きく3つに整理した。
 - ① エキサイタ内部で軽微な短絡、SEIG後に完全に短絡 : 共通シナリオNo.8,9,10,15,16
 - ② エキサイタへの通電で過電流状態が発生 : 共通シナリオNo.18
 - ③ PSC2 A系内部での過電流、その後B系への伝搬 : H3固有シナリオNo.2
- これまでの原因究明活動の中で、検討の網羅性を確認しながら、上記①～③のシナリオについて様々な条件で再現試験等を実施してきた。その結果、故障発生メカニズムが部分的にはあるが再現しており、各メカニズムの更なる詳細検討や試験により、これらのいずれかが**要因となりエキサイタもしくはPSC2が損傷することにより2段不着火事象が発生した**と評価した。
- これを踏まえ、**エキサイタおよびPSC2に対して対策**を行うことで再発を防止する。

■ 今後の進め方

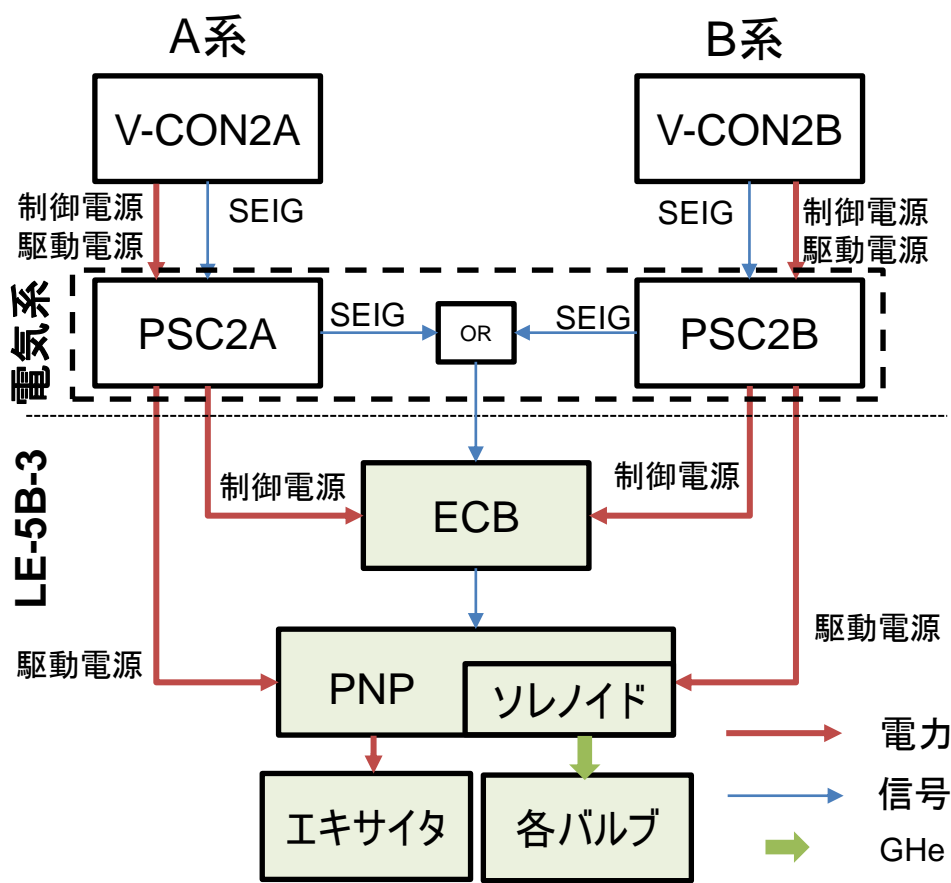
- 対策をH3ロケットの設計に反映する。なお、打上げ再開までに、**システムレベルの検証試験により対策の妥当性を確認**する。
- 原因究明結果から**背後要因分析を進め、水平展開を整理**する。
 - ・ この一環として、H3ロケットの**信頼性を向上させるための設計変更**について検討を進める。

參考資料

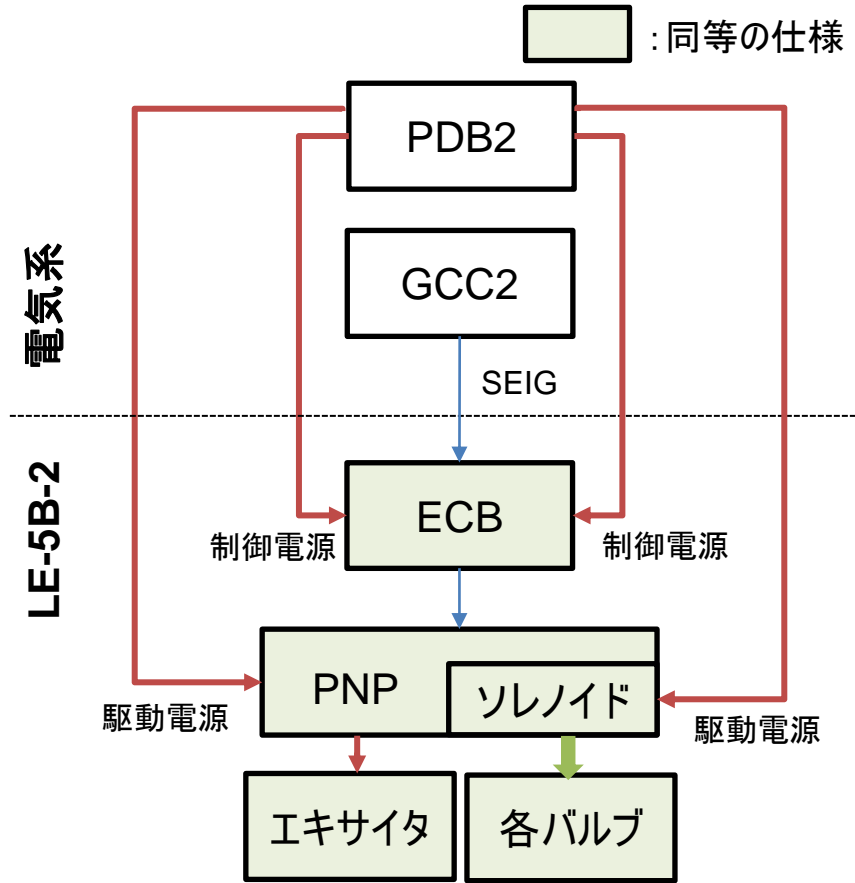
H3ロケットとH-IIAロケットの電気系統の違い

■ 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。



2段エンジン制御接続系統図(H3)

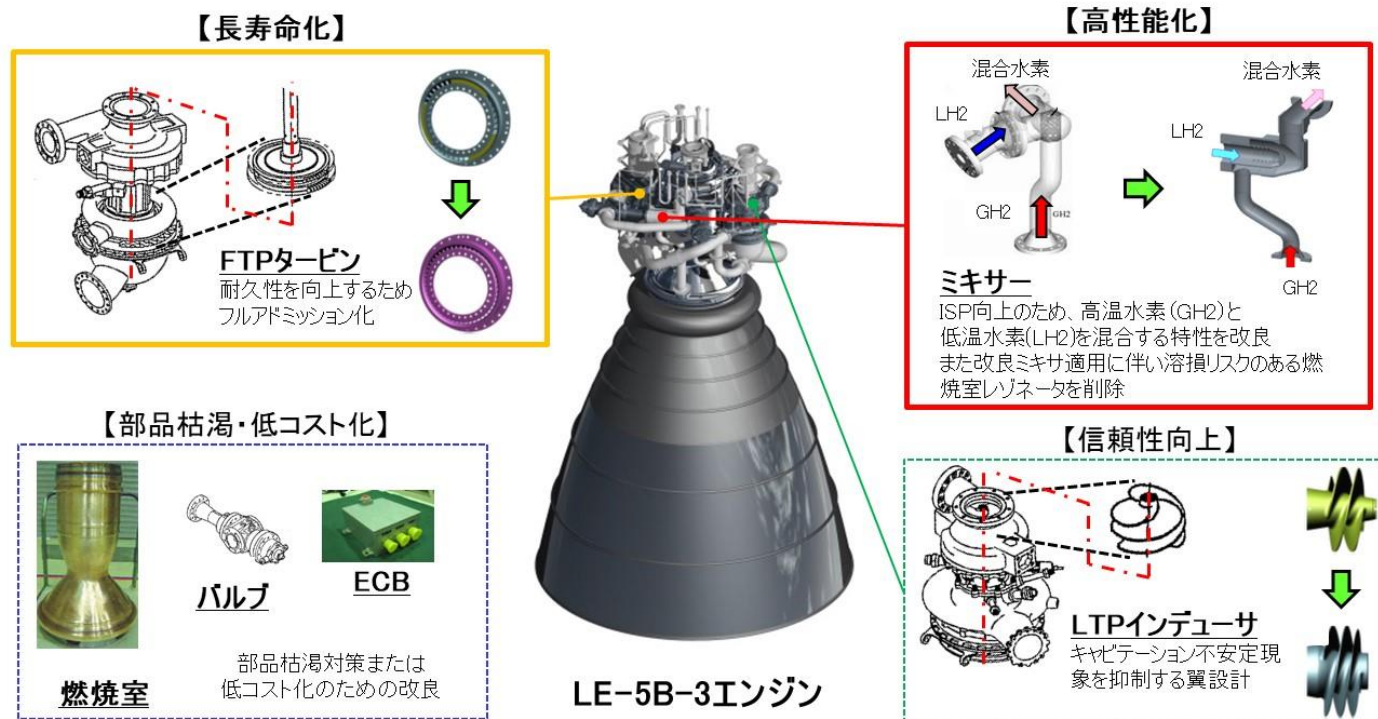


2段エンジン制御接続系統図(H-IIA)

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。



故障シナリオの評価結果(1/7)

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位	シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	1	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。	不要	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。	不要	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。	<p><絶縁強化></p> <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ー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。 	再現試験の結果、リード線の素線が露出するまでの損傷に至らなかったことが確認できたため、本故障シナリオは発生しないと評価した。(△→×)

故障シナリオの評価結果(2/7)

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位	シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	4	ハーネス (PNP-エキサイト間)	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。	不要	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。	不要	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。	不要	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。	不要	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。(△→×)

故障シナリオの評価結果(3/7)

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位	シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	8	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 損傷し、SEIG後の発熱等により完全に短絡。	<p><検査強化></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	時系列の詳細評価との整合性を検討し、 通電後の電気的な変化による発熱等による状態変化を考慮すると、要因になり得ると評価。(2-3-1項)
	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後の発熱等により完全に地絡。	<p><絶縁強化および検査強化></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	No.8と同様の評価
	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 破損し、SEIG後の発熱等により完全に地絡。	<p><検査強化></p> <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、貫通フィルタに地絡に至る損傷がないことを確認する。 	No.8と同様の評価
	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。	<p><絶縁強化および検査強化></p> <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。 	再現試験の結果、リード線の素線が露出するまでの損傷に至らなかったことが確認できたため、本故障シナリオは発生しないと評価した。(△→×)

故障シナリオの評価結果(4/7)

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位	シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	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。	不要	・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。	不要	・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。	不要	・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。 (△→×)

故障シナリオの評価結果 (5/7)

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位	シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	15	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後の発熱等により完全に地絡。	<p><絶縁強化および検査強化></p> <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適正化し、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。 	No.8と同様の評価
	16	エキサイタ	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後の発熱等により完全に地絡。	<p><検査強化></p> <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、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。 	No.8と同様の評価
	17	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。	<p><検査強化></p> <p>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。</p>	製造記録の詳細確認(部品製造メーカーの記録に遡った調査)により、本シナリオの起点となる絶縁テープ損傷がないことを確認したため、本シナリオは要因ではないと評価する。

故障シナリオの評価結果(6/7)

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位		シナリオ	対策	最終評価
共通シナリオ	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。	<p>< 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。</p>	<p>(1)再現試験および過負荷試験の結果、事象の再現には至っていないが、定格を超える電圧がトランジスタに印加されることを確認。 (2)エキサイタ内部回路の電気的動作によるトランジスタの破損のメカニズムを詳細に解析・検証した結果、部品の実力耐性をを超える負荷による故障の再現には至っていない。 (1)の結果から要因になり得ると評価。(2-3-2項)</p>

故障シナリオの検証結果(7/7)

赤字: 前回報告からの更新

区分	No.	故障部位		シナリオ	対策	最終評価
H3 固有 シナ リオ	1	PNP /エキ サイタ	トラン ジスタ etc.	<p>(1) SEIGによる下流機器への電源投入時に、PSC2A降圧回路が電流変動(突入電流または機器動作)に伴い発振・出力不安定となり、過電圧を出力した。</p> <p>(2) 過電圧により、下流のシングルポイント機器(PNPまたはエキサイタ)を短絡故障させ、過電流を発生させた(過電圧が発生してから過電流に至るまでに、10ms程度の遅延があった)。PSC2 A系およびB系で過電流検知により電源遮断を行った。</p>	不要	<p>(1) 部品故障で過電圧に至る3ケースを抽出。</p> <p>(2) 負荷(PNP、エキサイタ)側の過電圧試験の結果、負荷には十分過電圧耐性があることを確認した(7月31日に報告)。</p> <p>(3) 上記部品が故障に至る要因は抽出されなかった。</p> <p>(4) 各モードに対してフライト時のテレメータとの矛盾はない。</p> <p>以上の結果から負荷側の過電圧耐性は十分有しており、要因ではないと評価した。</p>
	2	PSC2	定電 圧ダイ オード etc.	<p>(1) PSC2内部の部品故障により、PSC2の降圧回路が不安定な挙動となった。</p> <p>(2) 過電圧により、PSC2A内部の部品(例: 定電圧ダイオード)を短絡故障させ、過電流を発生させた。</p> <p>(3) A系の過電流がB系に伝搬し、B系でも過電流を生じた。</p> <p>本シナリオは降圧回路の不安定挙動が部品故障を伴うことから、伝搬するシナリオに見直した。(7月31日の報告)</p>	定電圧ダイオードの削除 【追加対策】	<p>(1) 同上</p> <p>(2) 仮に過電圧になった場合を想定しPSC2内の定電圧ダイオードの過電圧試験を実施し、短絡故障に至ることを確認(7月31日に報告)。</p> <p>(3) PSC2A内で過電流が発生した場合に、PSC2Bも過電流を発生させる伝搬モードを評価し、発生の可能性があると評価(2-3-3項)</p> <p>(4) 同上</p> <p>以上の結果から要因になり得ると評価した。</p>

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からの電力供給および制御信号に基づき、ロケットの姿勢制御およ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