



資料48-1
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48回) 2023.6.22

H3ロケット試験機1号機 打上げ失敗原因調査状況

2023年6月22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. 原因究明と対策検討の状況

2-1 FTA

2-2 時系列の詳細検討

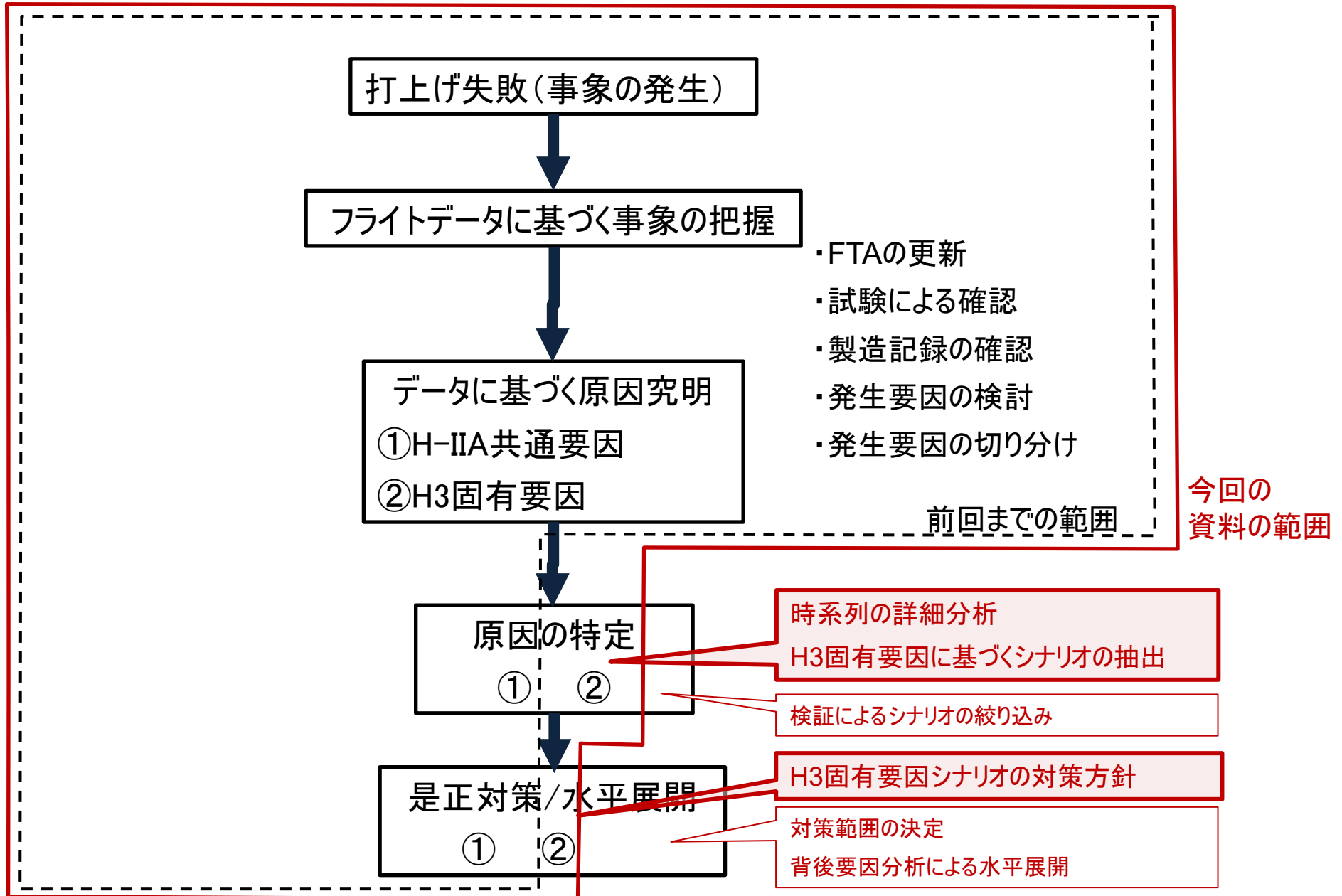
2-3 H-IIA共通要因

2-4 H3固有要因

3. 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(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

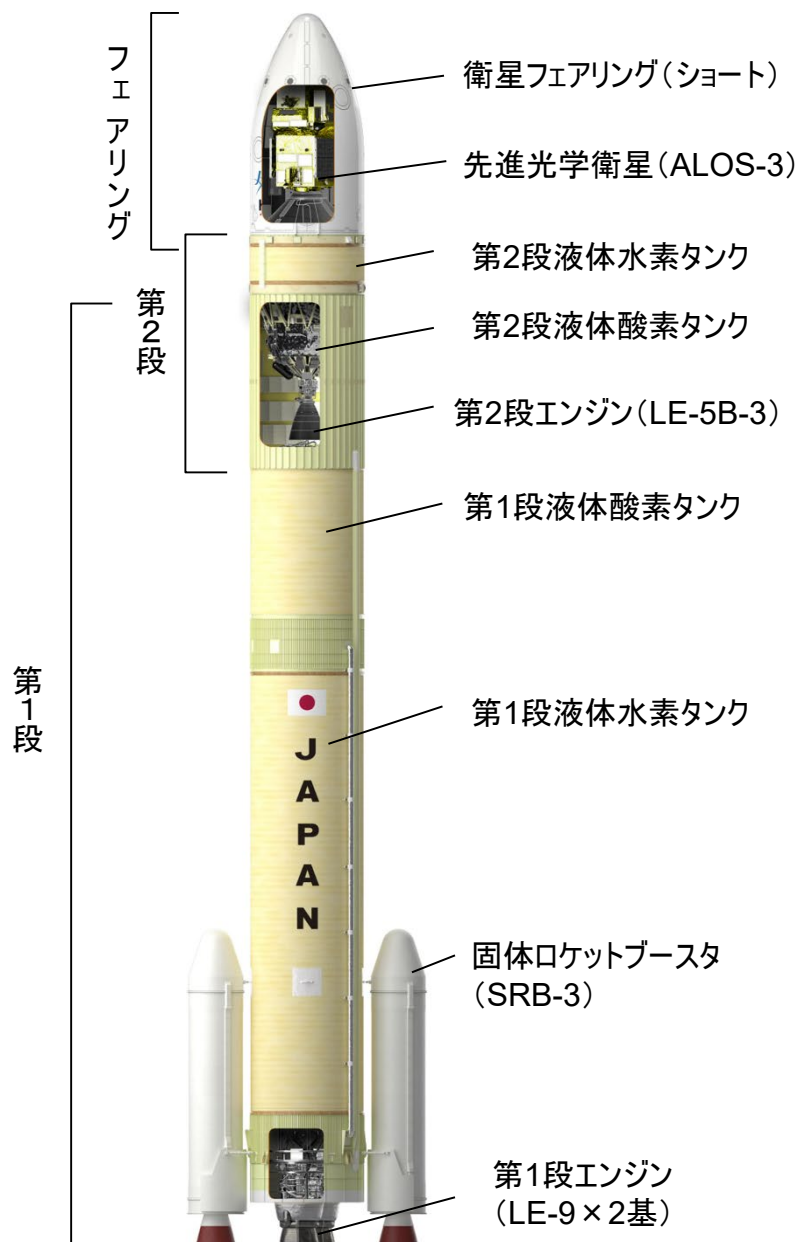
■ 搭載衛星

- 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)

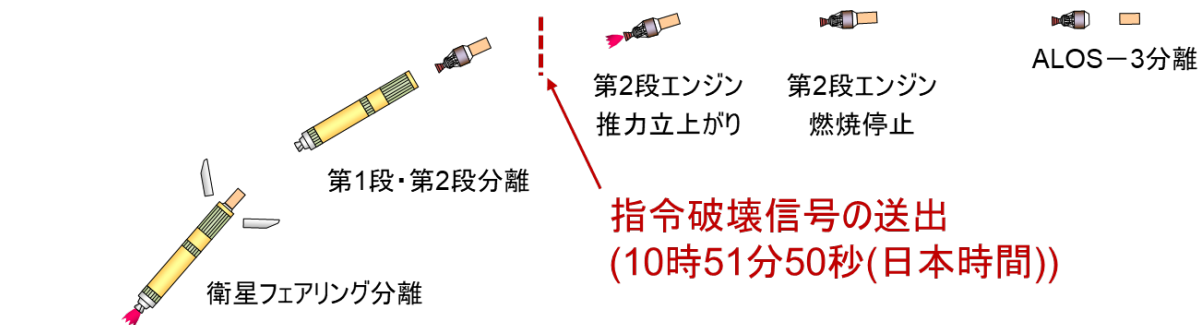


主要諸元

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。

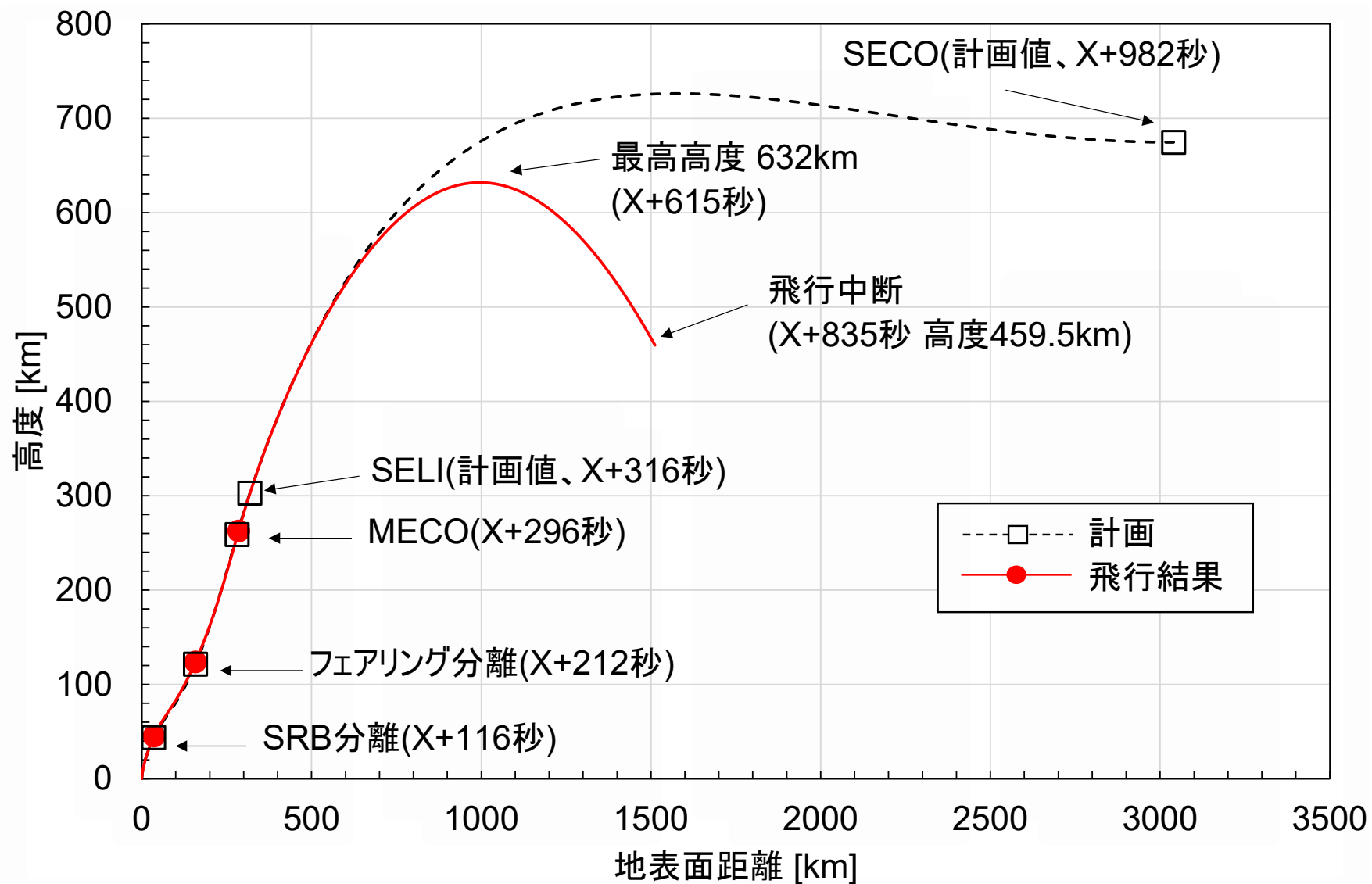


指令破壊信号の送付
(10時51分50秒(日本時間))

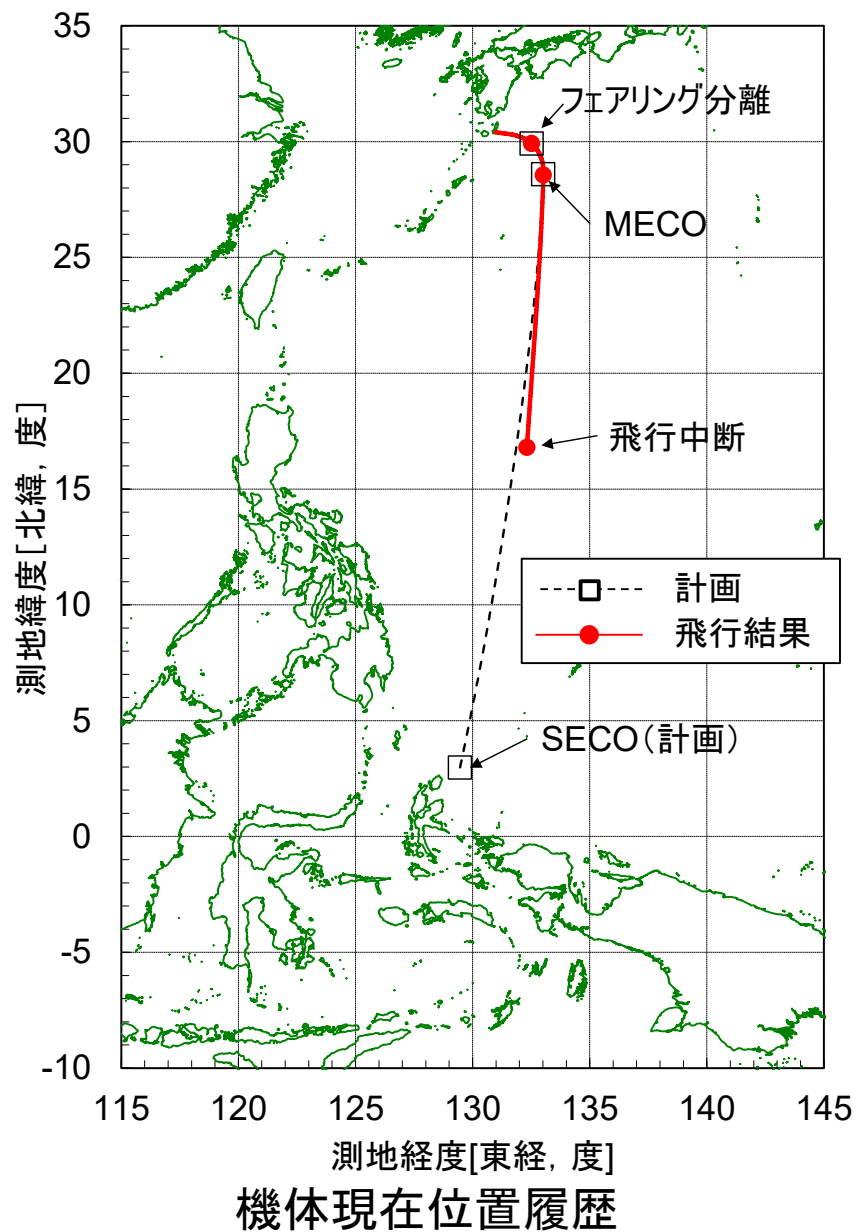
事象	打上後経過時間 (フライト結果)			(参考)予測値		
	経過秒	分	秒	経過秒	分	秒
(1) リフトオフ	0	0	0	0	0	0
(2) SRB-3分離	116	1	56	116	1	56
(3) 衛星フェアリング分離	212	3	32	211	3	31
(4) 第1段エンジン燃焼停止(MECO)	296	4	56	296	4	56
(5) 第1段・第2段分離	304	5	4	303	5	3
(6) 第2段エンジン第1回推力立上がり(SELI)	-	-	-	316	5	16
(7) 飛行中断	835	13	55	-	-	-

打上げ時刻(10時37分55秒(日本時間))

1-3 打上げ結果(再掲)

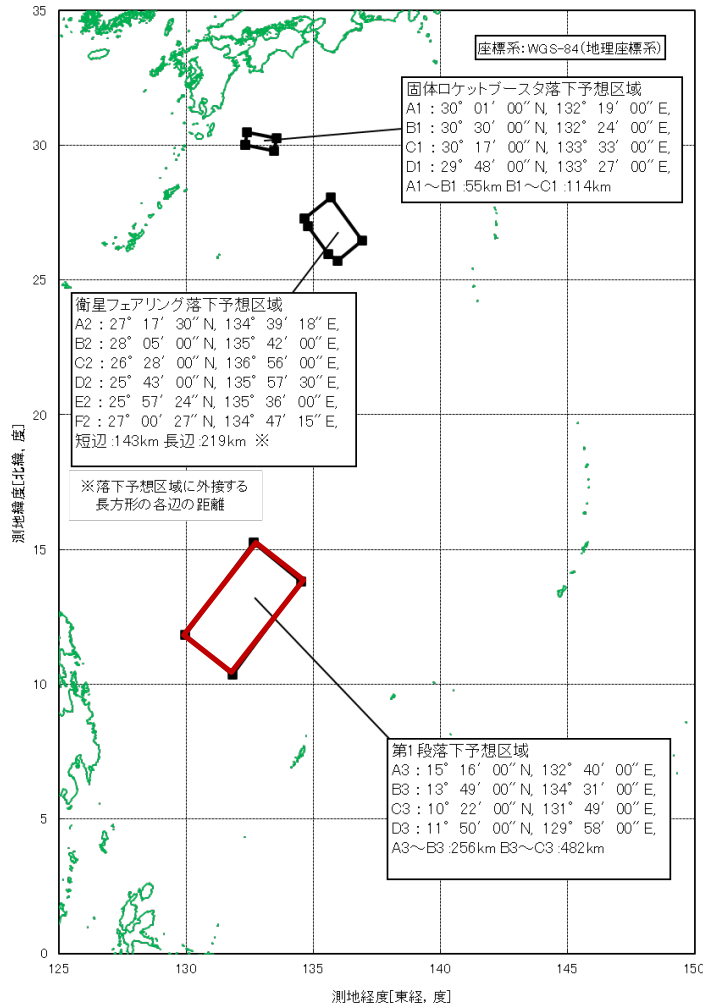


1-3 打上げ結果(再掲)



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

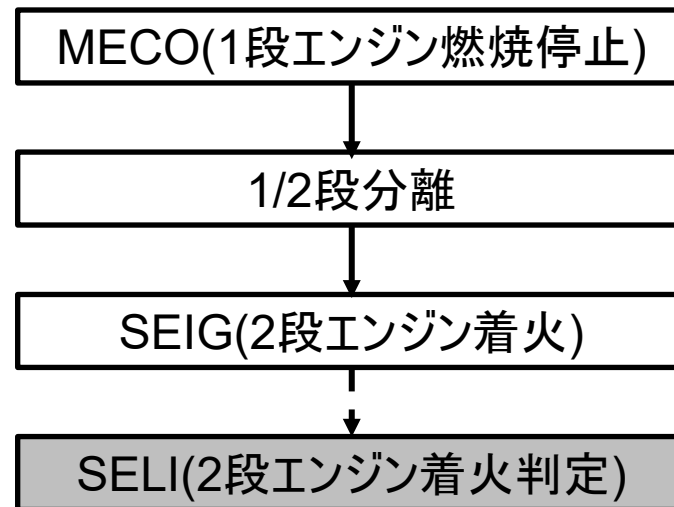
1-4 発生事象の内容(再掲)

■ 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

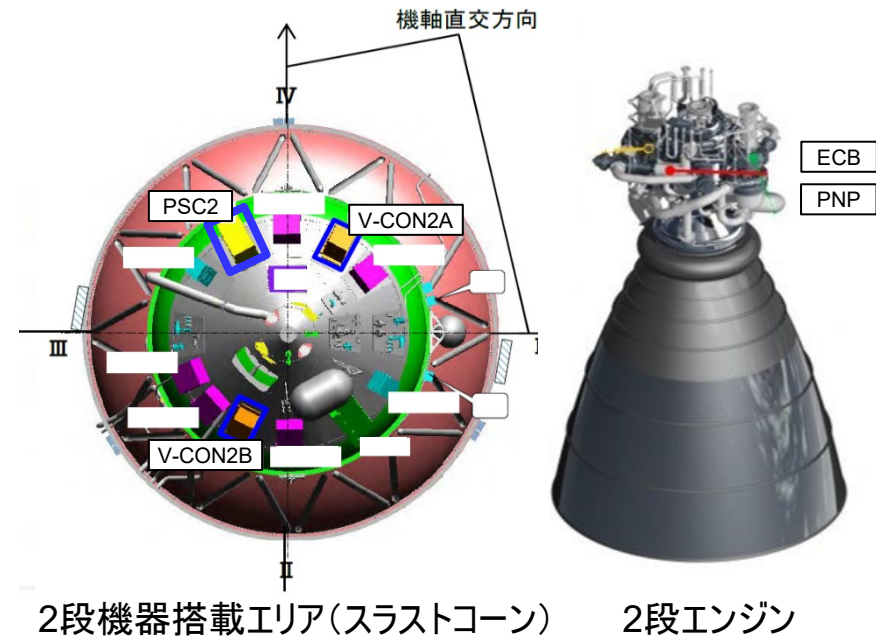
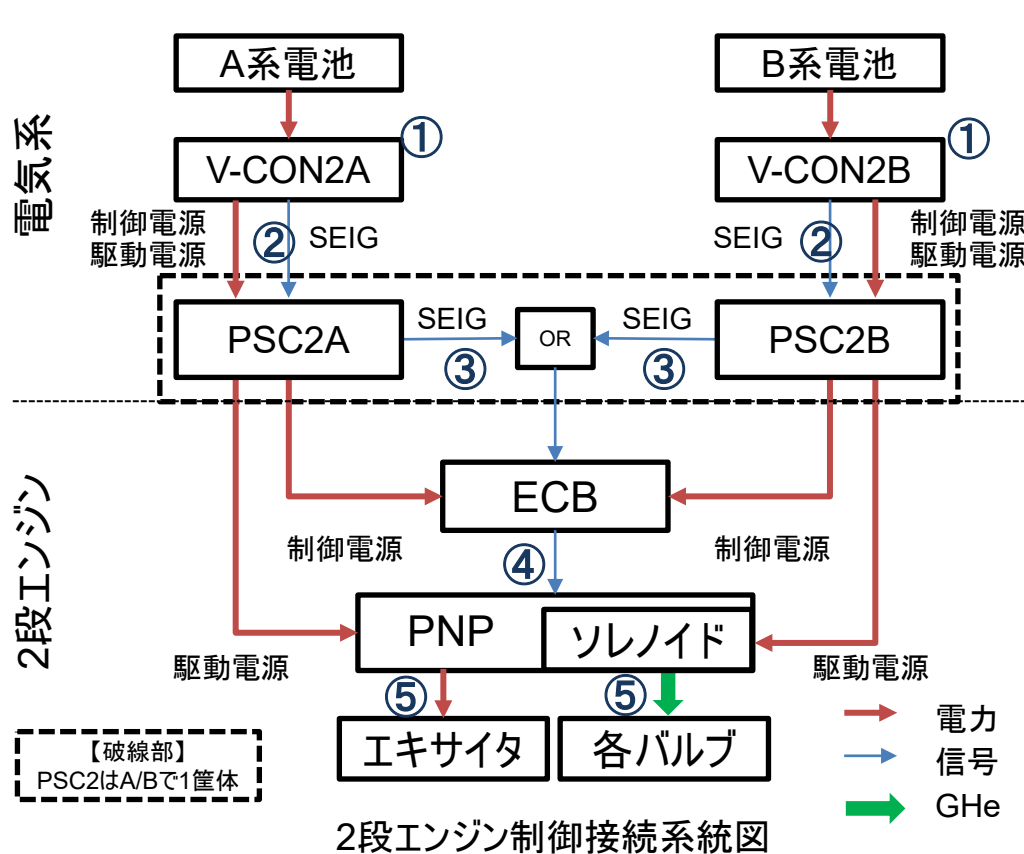
- 1段/2段分離を検知したのち、機体側から2段エンジンへ着火指示(SEIG)を送り、2段エンジン側がSEIGを受信したことを確認した。
- SEIG付近で、電源系統の異常を確認した(機体側かエンジン側の要因かは調査中)。



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

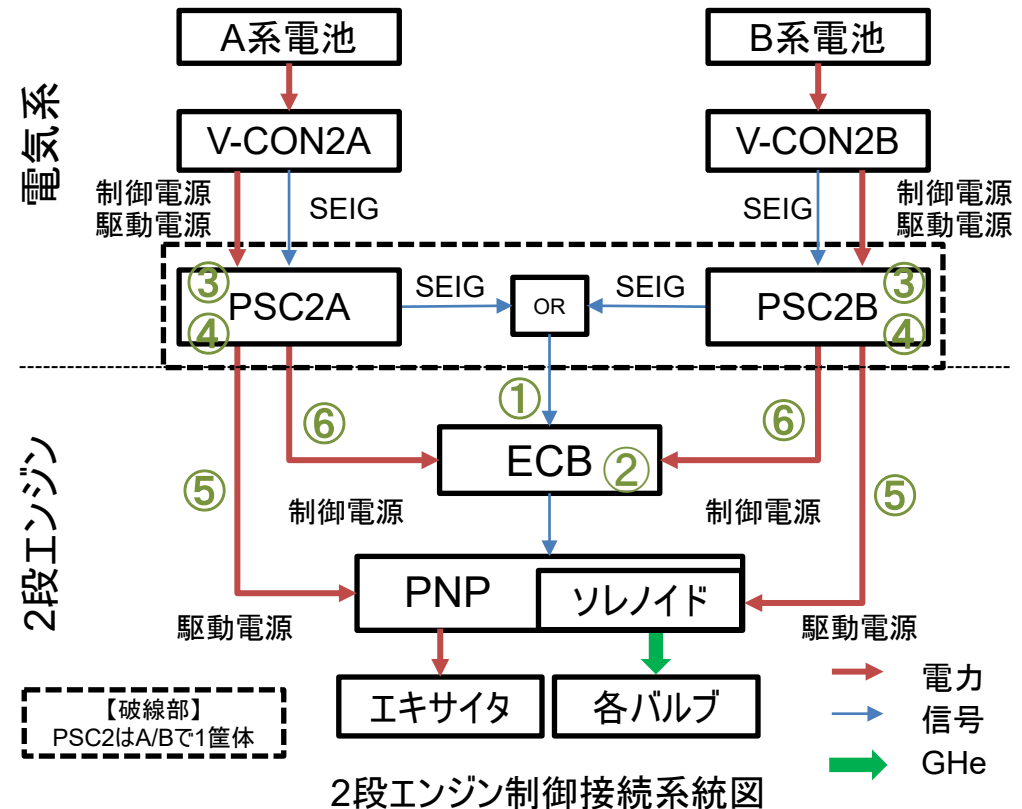
- ① 2段機体制御コントローラ(V-CON2A/2B)が1段/2段分離を検知
- ② その後、2段推進系コントローラ(PSC2)へ2段エンジンの着火信号(SEIG)を出力
- ③ PSC2はそれを受けて2段エンジンのコントロールボックス(ECB)へSEIGを出力
- ④ ECBがSEIGを受けた後、ニューマチックパッケージ(PNP)に駆動を指示
- ⑤ PNPは指示に基づき、各エンジンバルブおよび点火器のエキサイタスパークプラグを駆動



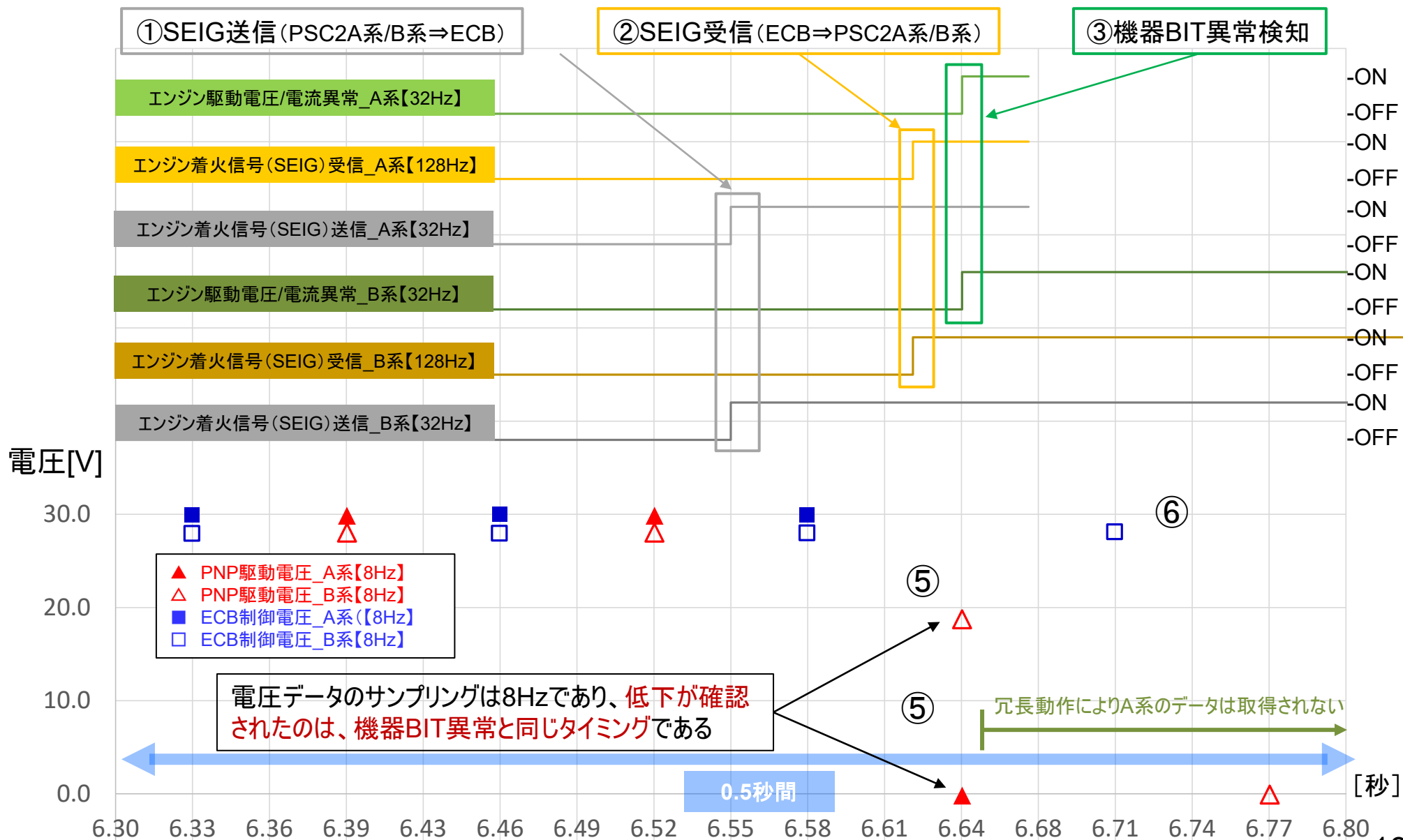
- PNP: エンジンバルブ駆動用ヘリウムガスの供給や点火器エキサイタスパークプラグの駆動を制御する装置
- ソレノイド: エンジンの各バルブの駆動に必要なヘリウムガス(GHe)を供給する電磁弁(ソレノイドバルブ)
- エキサイタ: エンジン点火器のエキサイタスパークプラグ

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。

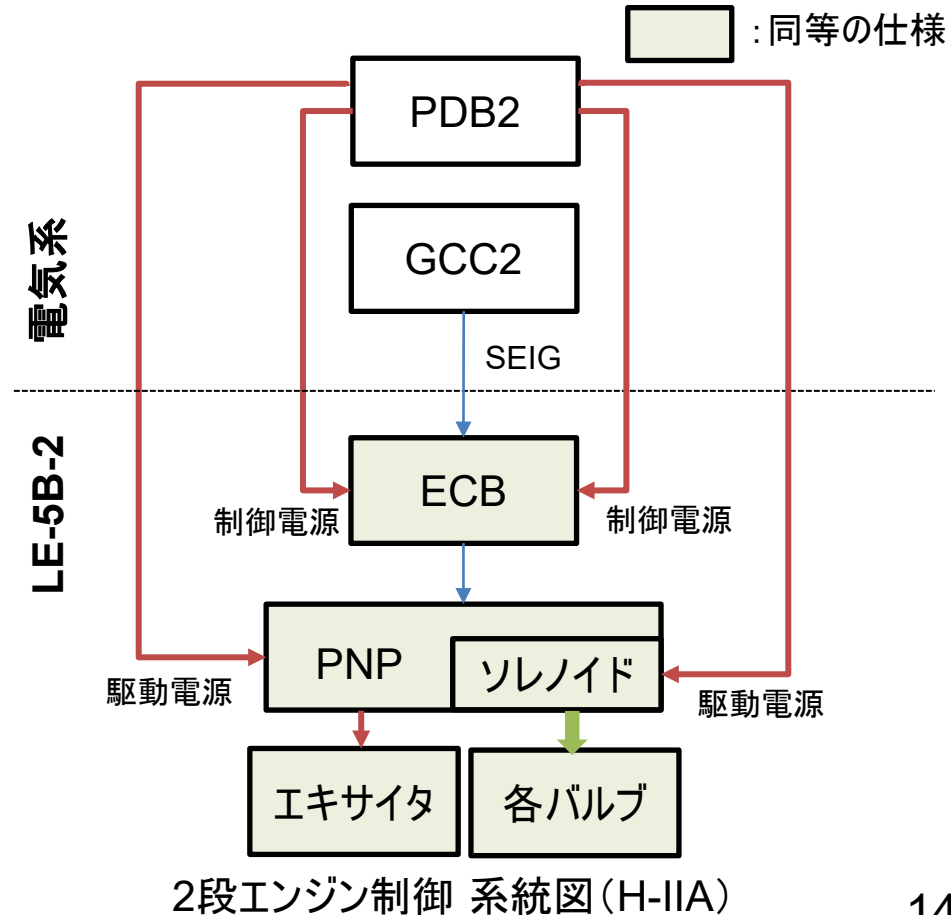
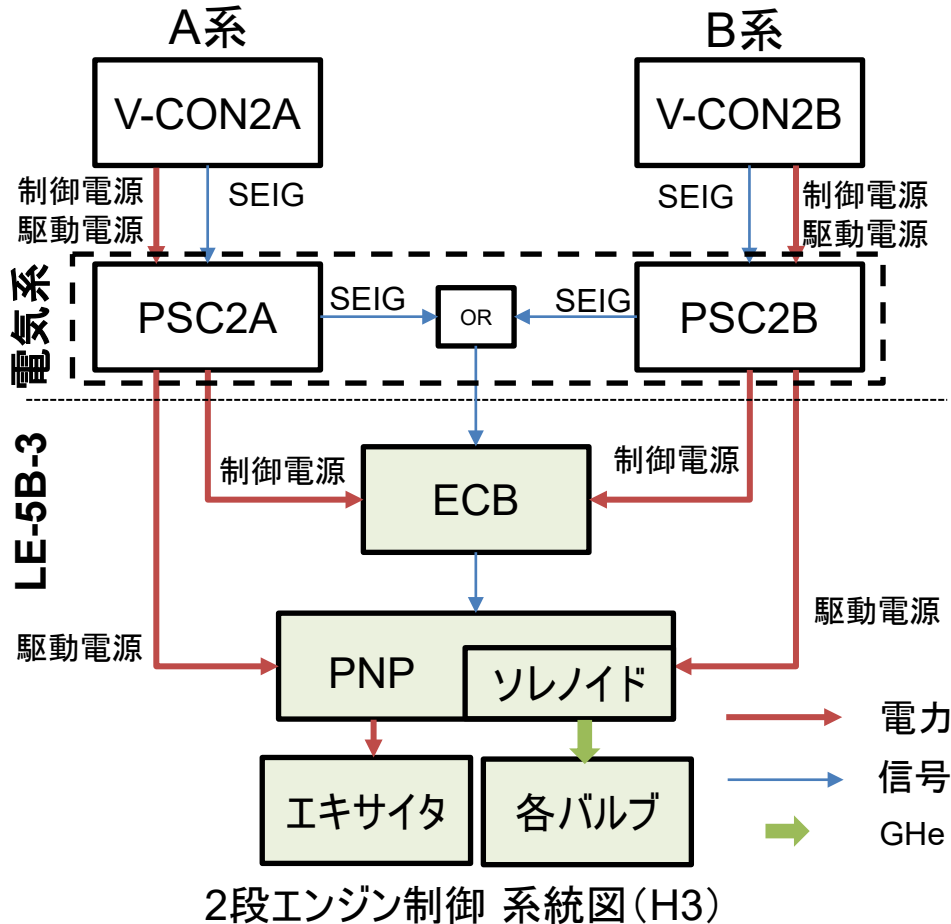


1-4-3 SEIG近傍のテレメータデータ確認状況(再掲)



2. 原因究明の状況(再掲)

- 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共通要因と②H3固有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	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)	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(2-2-2項(前々回))。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(前回))。			
				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作動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-III A 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(2-3項(前々回))。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)に基づき評価した(2-4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	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(2-2-4項(前々回))。			
		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	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)	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。				
				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。今後、より模擬度を上げた実機大1/2段分離試験 (2回目) にて衝撃レベル等を確認する (2-4-3項)。なお、上記試験において、PSC2の衝撃値が想定を超えていた可能性があるが、PSC2への衝撃により事象に至る可能性については、FTA3.2.3.5も含むものとして評価する。				
				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。(2-3-1-2項No.13 (前回))				
				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。				
				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 (2-3項)。				
				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。				
				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 (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。				
				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。降圧回路の共振・出力不安定により、要因に至る可能性がある故障シナリオを抽出した。(2-4-4項)				
					3.2.3.2 ソレノイド弁3個 (予冷関連) 系統の短絡/地絡			H-IIA共通	×
					3.2.3.3 ソレノイド弁2個 (上記以外) 系統の短絡/地絡			H-IIA共通	×
	3.2.3.4 テープヒータ系統の短絡/地絡			H-IIA共通	×				
	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			H3固有	△-				

※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

2-2 時系列の詳細検討

■ 概要

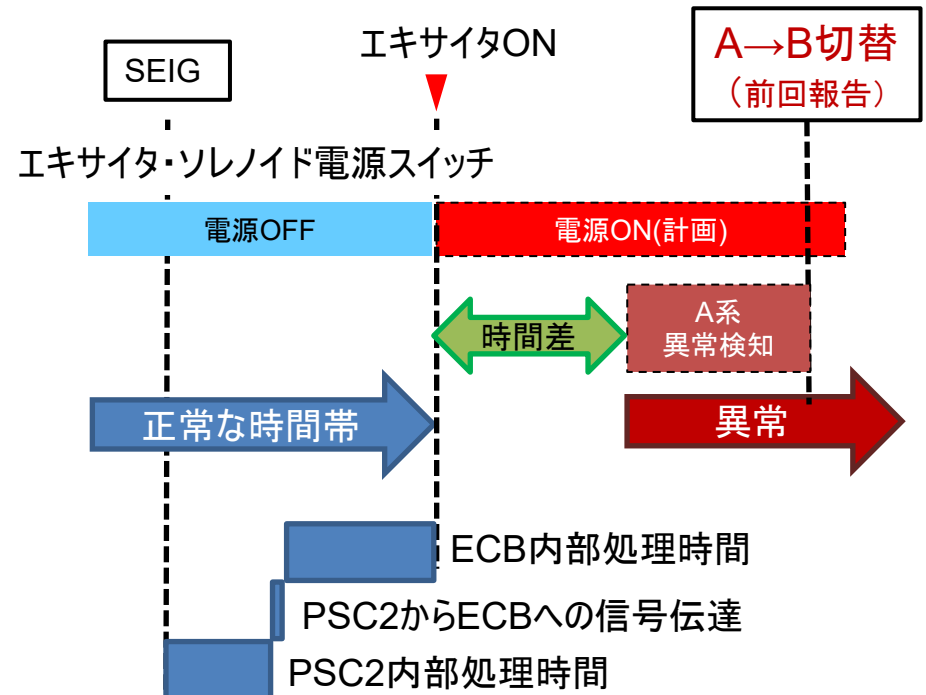
- 5月25日の調査小委員会にて、フライトデータの詳細確認および再現試験の結果から、TF1のフライト時に誤検知が生じた可能性はないことを報告した。これは、PSC2よりも上流にあるV-CON2における電流データの分析によるものであった。
- 本データの更なる分析を進め、「下図の**エキサイタ・ソレノイド電源スイッチON**(以下、「**エキサイタON**」と言う。)」と、この電流データが計測されたタイミングから評価した「**A系が過電流検知を開始したタイミング**」には、時間差があることを確認した。

■ 評価方法

- **フライト時に得られている離散的なデータに対して、機器内や機器間の信号伝達に必要な時間を計測し詳細に評価した。**

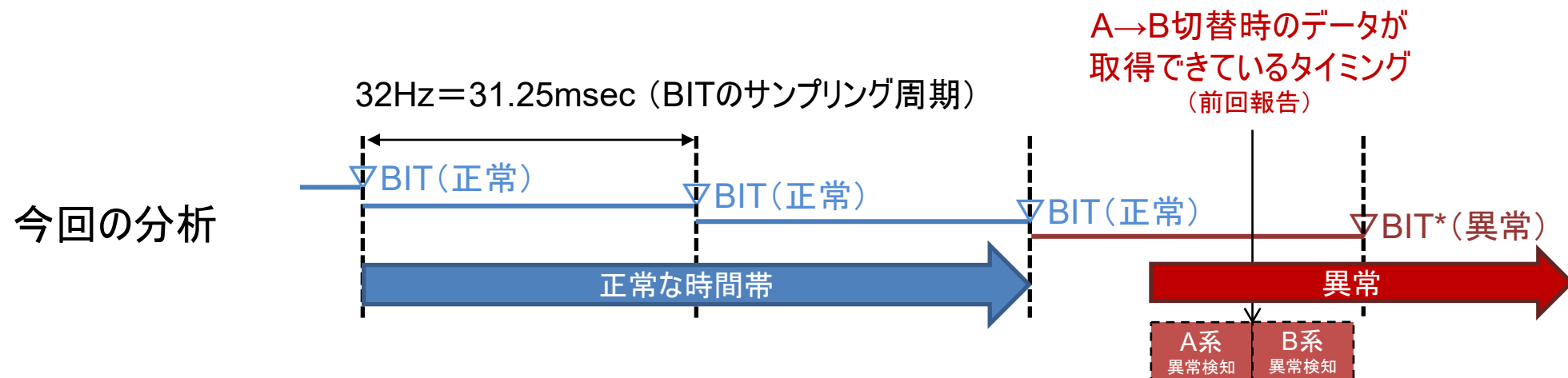
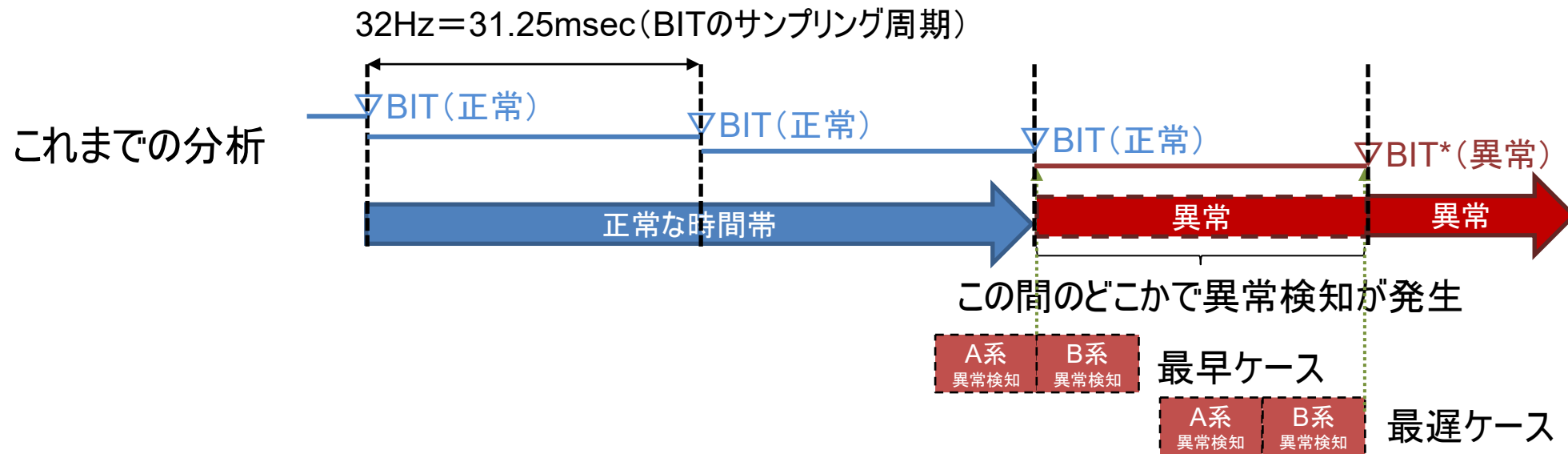
■ 評価結果

- 右図の通り、エキサイタONからA系過電流検知開始までには時間差(10ms程度)がある。
- このことから、**SEIG前に完全に短絡/地絡していた故障モードは、要因ではないと評価した。**



2-2 時系列の詳細検討

*: エンジン駆動 電圧/電流

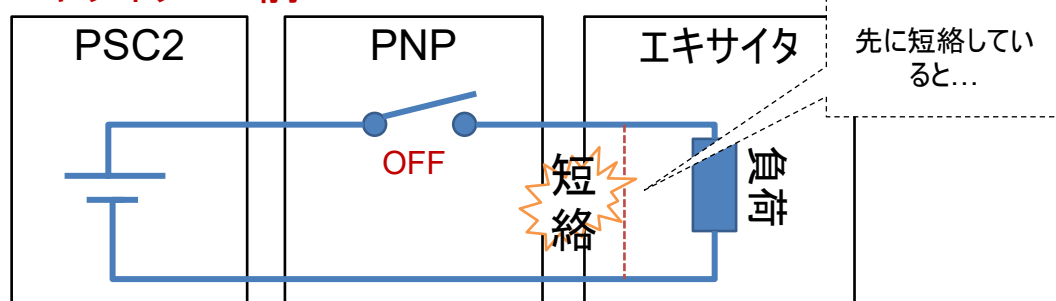


2-2 時系列の詳細検討

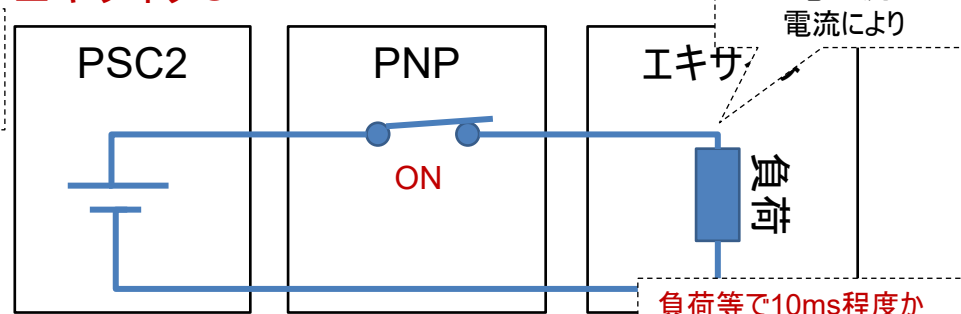
■ 事象発生タイミング

- 前頁の評価結果から、以下が判明した。
 - PNP内の**エキサイタONの瞬間**は、PSC2/PNP/エキサイタを含めた全システム内で**完全な短絡・地絡は起きていなかった**。
 - 過電流の発生メカニズムは、エキサイタON後に**遅延時間(10ms程度)**を経て**完全に地絡・短絡が発生するモードに限られる**。

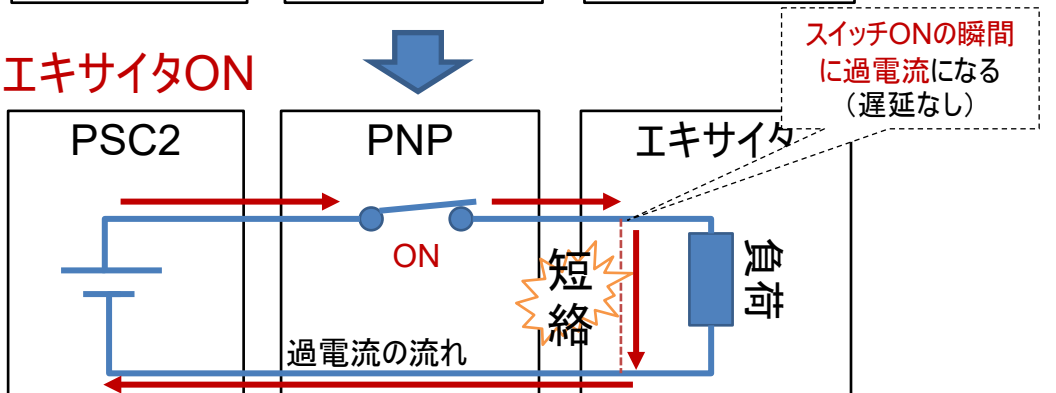
エキサイタON前



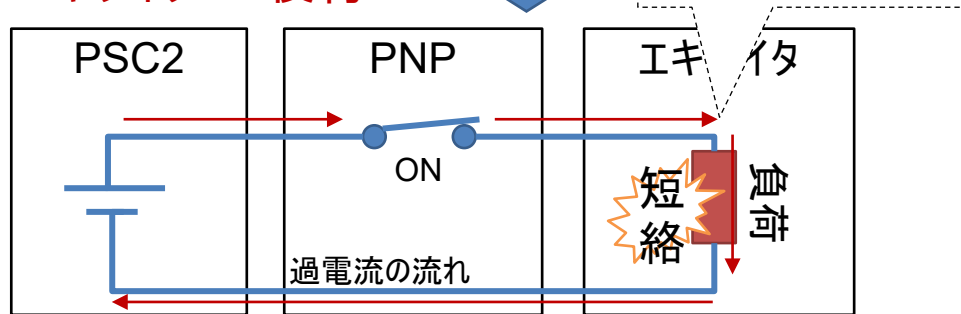
エキサイタON



エキサイタON



エキサイタON後約10ms



否定できるシナリオの例

可能性が残るシナリオの例

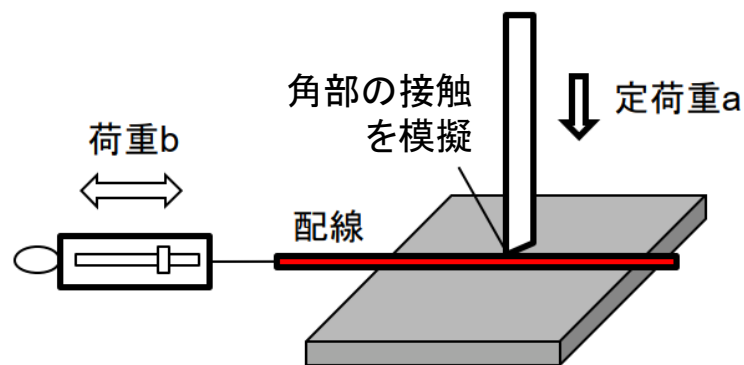
2-3 H-IIA共通要因

■ 故障シナリオの絞り込み状況

- H-IIA共通要因のシナリオは全18個を抽出し、検証試験等によって、9個の故障シナリオは可能性を排除し、残る9個の故障シナリオについて対策を設定した(5月25日、既報)。
- その後、以下に示す通り、再現試験の結果等を踏まえ**2個の故障シナリオの可能性を排除**した(表2-3)。
 - 故障シナリオNo.3(PNP)、11(エキサイタ)は、リード線の摩耗再現試験の結果、リード線の素線が露出して短絡するまでの損傷に至らなかったため、本故障シナリオは発生しないと評価した。
- 2-2項 時系列の詳細検討の結果から、**SEIG前に完全に短絡/地絡していた故障モードは要因ではないと評価**したことを踏まえ、**残る7個の故障シナリオの詳細評価を継続し、絞り込み**を行う。

2-3 H-IIA共通要因

- 故障シナリオの検証結果【シナリオNo.3, 11】PNP、エキサイタ内部のリード線の損傷
 - シナリオ詳細
 - PNP、エキサイタ内部のリード線が角部やケース等に接触、または近接状態で組立され、打上げ時の振動でリード線の被覆が摩耗して素線が露出し、ケース等の金属部と接触してSEIG時に短絡または地絡。
 - 検証方法
 - リード線に荷重を印加（角部の接触を模擬）した状態で繰り返し引っ張り、フライトで想定される条件で損傷の有無を評価する。
 - 検証結果
 - 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。



試験のイメージ

2-3 H-IIA共通要因

表2-3 H-IIA共通要因のシナリオと対策(1/2)

グレー部：
今回発生しないと評価したもの

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。	<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。
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。	<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。
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。	<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。
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。	<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。
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。	<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。

2-3 H-IIA共通要因

表2-3 H-IIA共通要因のシナリオと対策(2/2)

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。	<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。
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。	<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。
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>
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。 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。</p>

2-4 H3固有要因

- PSC2から電源供給している系統の過電流(FTA3.2.3)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、PSC2との連成により必然的に発生した要因が潜んでいないか、以下の2つの故障モードに対し、評価方針を設定し取り組んできた。
 - ①SEIG時に発生する故障モード(2-4-1項)
 - ②A/B系の二重故障に至る故障モード(2-4-2項)
- 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実施。(2-4-3項)
 - 実機大の1/2段分離試験
 - PSC2とPNP/エキサイタを組合わせた真空試験
 - エキサイタ耐久試験
- 以上より、H3システムに起因し必然的に発生しうるH3固有要因からのシナリオを網羅的に抽出(2-4-4項)し、対策方針を設定(2-4-5項)した。

2-4 H3固有要因

2-4-1 ① SEIG時に発生する故障モードの評価

- 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し、フライトデータ、解析、試験等にて評価した。赤字: 前回報告からの更新

No.	SEIGで変化するもの	想定する影響(シナリオ)	評価結果	
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。制御信号だけでなく、SEIGでONとなるモニタ回路も評価対象にした。	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た上で、当該ラインが駆動電源ラインと空間的に離れていることを確認し、要因ではないと評価(×)	
2	エキサイタ/ソレノイド弁への通電	電流の増加 ※1	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)。	故障に至りうるシナリオ(2-4-4項 H3固有No.1,2)を抽出(△-)
3		電流変化率大 ※1	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。	影響を受ける要素を抽出し、誤作動リスクのあるものについては、発生するノイズが誤動作を起こしうるノイズレベルより十分小さいことから、要因ではないと評価(×)
4		電圧の印加 ※1	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。	H3システム動作として過電流に至りうる故障モードの評価を進めたが、2-2項で示した時間差があるため、新たなシナリオは抽出されなかった(×)
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。	予冷弁OFFのタイミングは事象発生より十分前であり、要因ではないと評価(×)
6	アクチュエータ作動	SEIGにより制御を開始した2段エンジンバルブ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、要因ではないと評価(×)	

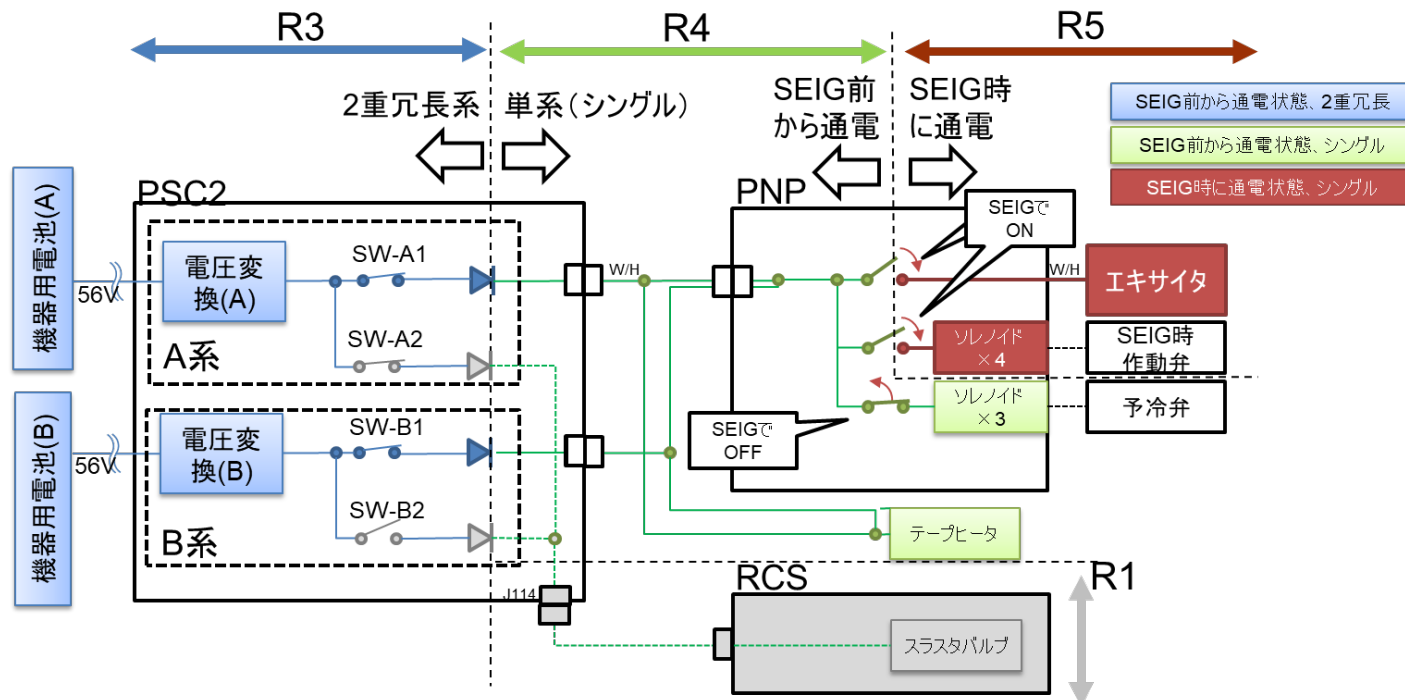
※1 No.2~4はエキサイタ/ソレノイド弁への通電の結果として発生する物理量の変化であり区分を見直し、通電に含めていた「電圧の印加」を明示した。 25

2-4 H3固有要因

2-4-2 ②A/B系の二重故障に至る故障モードの評価(再掲)

■ ②A/B系の二重故障に至る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



2-4 H3固有要因

2-4-2 ②A/B系の二重故障に至る故障モードの評価

■ ②A/B系の二重故障に至る故障モードの評価結果

赤字: 前回報告からの更新

No.	想定するモード	想定する影響(シナリオ)	評価結果
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。	①のSEIG時に発生する故障モードの評価の中で検討した。
2	PSC2の A/B系突合せ部の下流を介した連鎖	【下流の想定外事象により、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。	テレメトリデータからダイオードは故障していなかったことを確認しており、要因ではないと評価(×)
		【下流の想定外事象により、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。 【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。	故障に至りうるシナリオ(2-4-4項 H3固有 No.1,2)を抽出(△-)
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。	A系/B系で電氣的な接続がある部位(グランド等)について網羅的に抽出・評価。新たな故障シナリオは抽出されなかった。(×)
4	PSC2外部も含めたA系→B系連鎖事象	影響を与え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。	影響を与える要因として機体内の構成要因を網羅的に並べ、影響を受ける部位が故障しうるシナリオを評価。新たな故障シナリオは抽出されなかった。(×)

2-4 H3固有要因

2-4-3 システムレベルの試験

■ 実機大1/2段分離試験

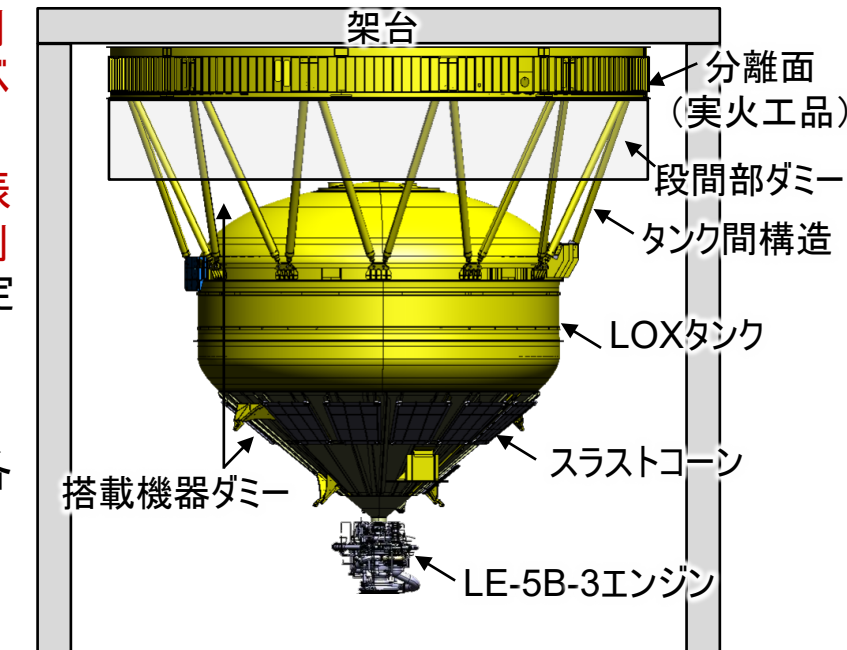
- TF1で1/2段分離時の2段機体各部の衝撃レベルが環境条件規定値を超過したことを受け、開発時には実施していなかった、タンク間構造以下の構造体を含めた実機相当の2段機体及び実火工品を使用した1/2段分離試験を2回に分けて実施し、以下を直接確認することとした。

- 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)

- 1回目の試験を完了し、試験データから以下を確認した。

- ① 実火工品作動時の衝撃伝達特性は、概ねハンマリングによる予測範囲であること、エンジン取付点の衝撃レベルは予測以下であることを確認し、1/2段分離に関連するシステムレベルの故障モードや未知の故障シナリオは抽出されなかった。
- ② 一方、スラストコーン上のPSC2搭載パネルについては、防振デバイスの効きが想定より小さかったため、衝撃レベルが予測より大きく、PSC2に影響を与えた可能性が現時点では否定できないことが分かった。

- 今後予定している2回目の試験では、搭載機器ダミーを増やすなど模擬度を向上させたコンフィギュレーションで各機器の衝撃環境を定量的に評価すると共に、PSC2の実機を搭載し、分離衝撃による影響が生じた可能性や衝撃緩和対策の効果等について確認する。



試験コンフィギュレーション

2-4 H3固有要因

2-4-3 システムレベルの試験

■ PSC2とPNP/エキサイタを組合わせた真空試験

- これまでエンジンコンポーネント(PNP、エキサイタ)を組み合わせた試験を実施したが事象の再現には至っていない。上記から、より**模擬度(PSC2を追加)を高め、未知の故障シナリオの抽出**を狙いPSC2/エンジンコンポーネントを組合せての真空試験を実施する。

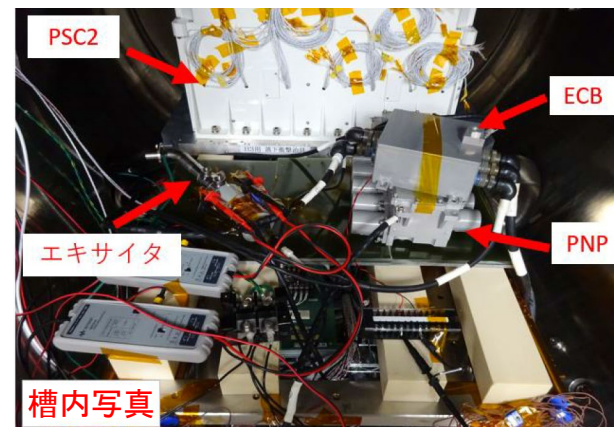
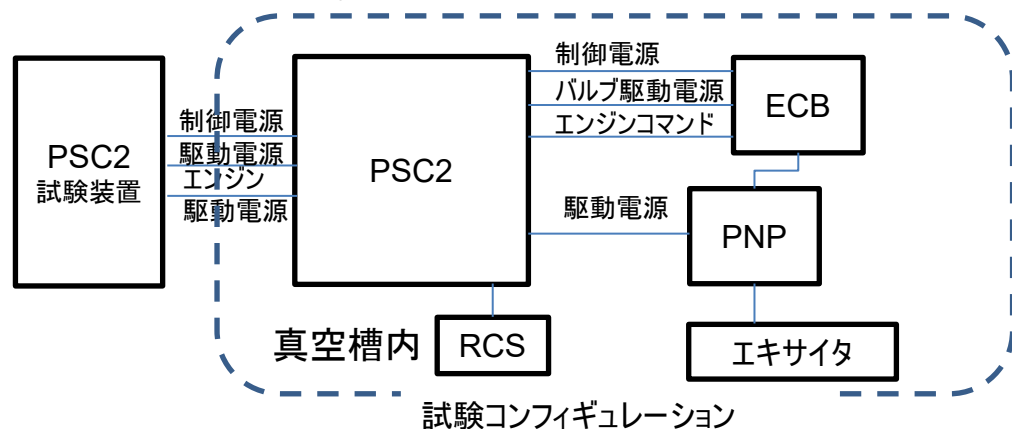
● 試験条件

H3フライトシーケンスを踏まえ、以下の条件で試験を実施する。

- ・大気圧 : PNP, SEIG ON(リファレンスデータ取得)
- ・1kPa~1Pa : PNP ON(フライト時の圧力条件) ※参考としてSEIG ON(複数回)も取得
- ・ 1.0×10^{-4} Pa台 : SEIG ON(フライト時の圧力条件)

● 結果

- ・いずれの圧力下においても、取得したデータ(BIT、波形)に異常は無く、**未知の故障シナリオは抽出されなかった。**



真空槽内部

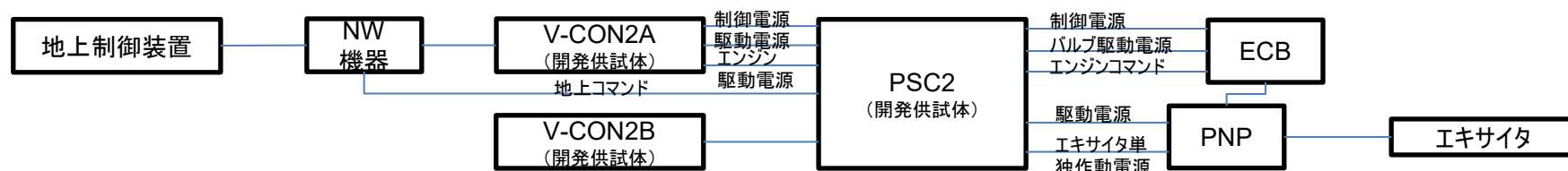
2-4 H3固有要因

2-4-3 システムレベルの試験

■ エキサイタ耐久試験

- エキサイタの耐性確認を目的にシステム組合せ状態で、エキサイタ(新品)の製品仕様上規定される寿命時間まで作動させ、**H-IIA共通 / H3固有の要因検証**ならびに**未知の故障シナリオの抽出**を狙う。試験条件と試験コンフィギュレーションは以下の通り。

- ①TF1作動模擬：TF1の実作動実績(回数)×2倍(安全側評価)を印加
- ②耐久試験： エキサイタ寿命時間上限まで作動させ、破損の有無を確認



図：試験コンフィギュレーション

● 結果

エキサイタをTF1機体の作動回数の2倍、加えて規定寿命に達するまで作動させても**異常は発生せず、未知の故障シナリオは抽出されなかった。**

表：試験結果サマリ

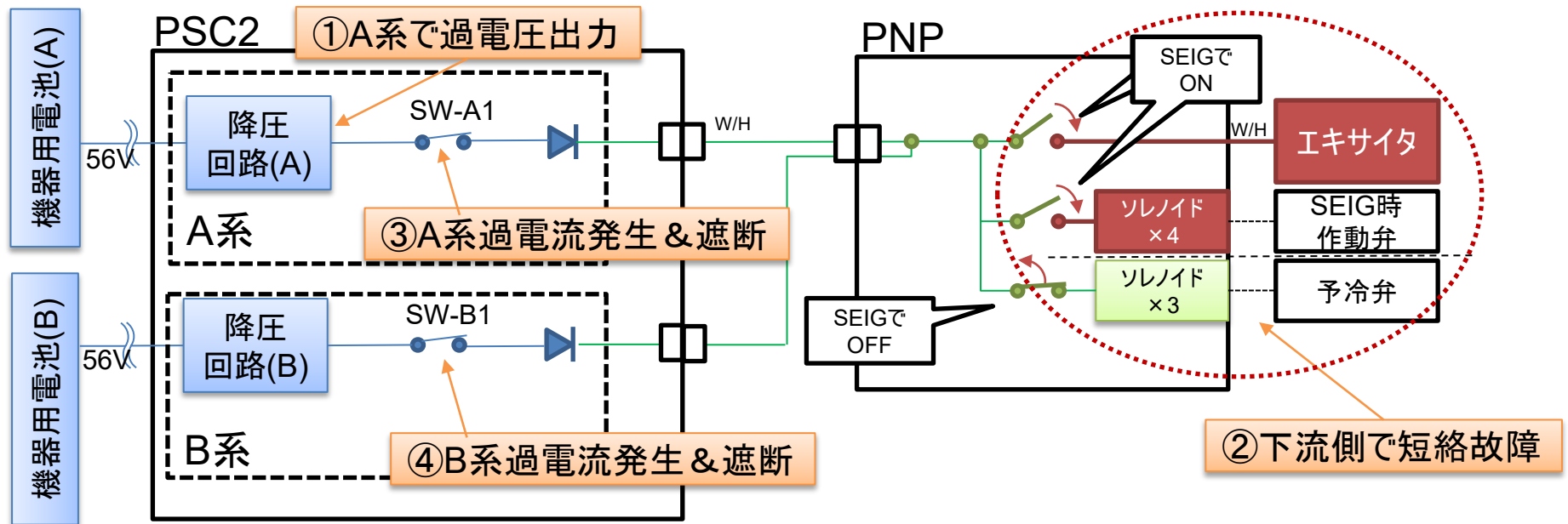
試験項目	作動方法	エキサ作動時間	回数	秒	結果
①TF1作動模擬	SEIG	①数秒	TF1作動実績の2倍	①×回数	入力電流、電圧共に異常無し
	単独作動	②数秒	TF1作動実績の2倍	②×回数	
②耐久試験	SEIG	③数秒	寿命時間まで	③×回数	
	単独作動	④数十秒	寿命時間まで	④×回数	
累積秒				寿命時間以上	

2-4 H3固有要因

2-4-4 H3ロケット固有シナリオの抽出

■ H3固有シナリオ No.1:PSC2エンジン駆動電源の制御不安定(下流機器の短絡故障)

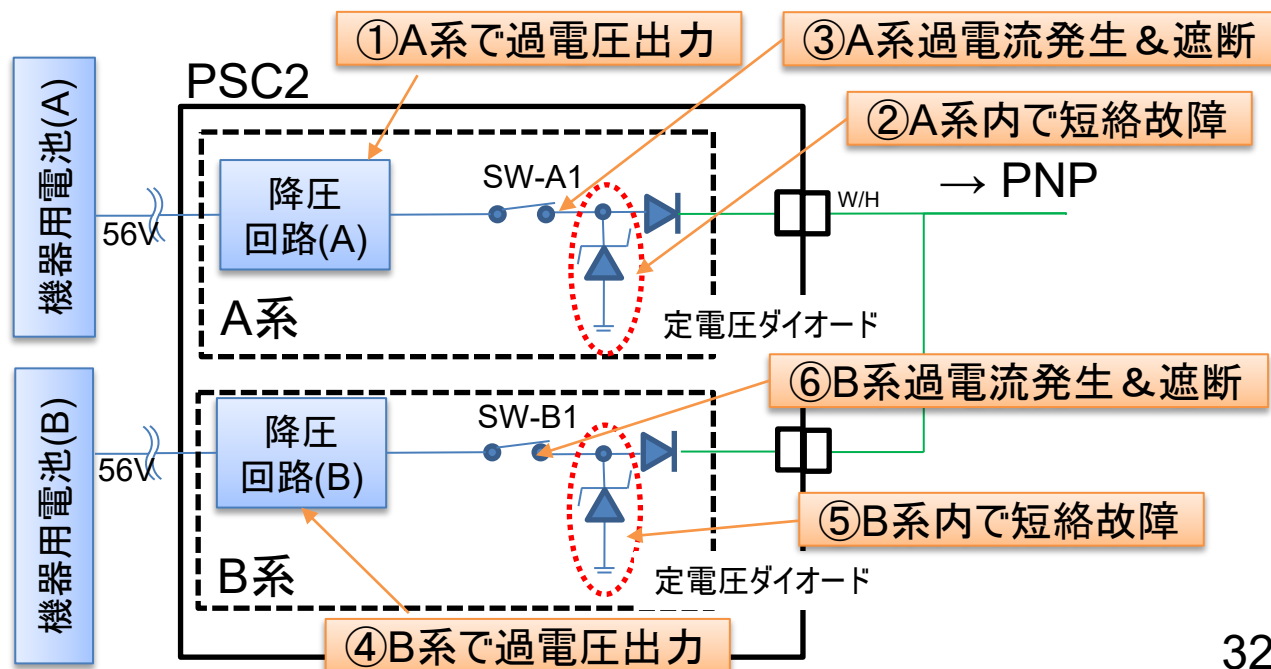
- ① SEIGによる下流機器への電源投入時に、PSC2A降圧回路が電流変動(突入電流または機器動作)に伴い発振・出力不安定となり、過電圧を出力した(メカニズムは後述)。
- ② 過電圧により、下流のシングルポイント機器(PNPまたはエキサイタ)を短絡故障させ、過電流を発生させた(過電圧が発生してから過電流に至るまでに、10ms程度の遅延があった)。
- ③ PSC2 A系で過電流が8ms以上持続したことから、A系電源遮断を行った。
- ④ B系でも過電流が8ms以上持続したことから、B系電源遮断を行った。



2-4 H3固有要因

2-4-4 H3ロケット固有シナリオの抽出

- H3固有シナリオ No.2: PSC2エンジン駆動電源の制御不安定(PSC2内部の短絡故障)
 - 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(メカニズムは後述)。
 - 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。
 - ③ PSC2 A系で過電流が8ms以上持続したことから、A系電源遮断を行った。
 - ④ B系から電源供給が始まるが、この際①と同じメカニズムでPSC2Bからも過電圧が発生した。
 - ⑤ 過電圧により、②と同じメカニズムでPSC2B内部の部品を短絡故障させ、過電流を発生させた。
 - ⑥ PSC2 B系で過電流が8ms以上持続したことから、B系電源遮断を行った。



2-4 H3固有要因

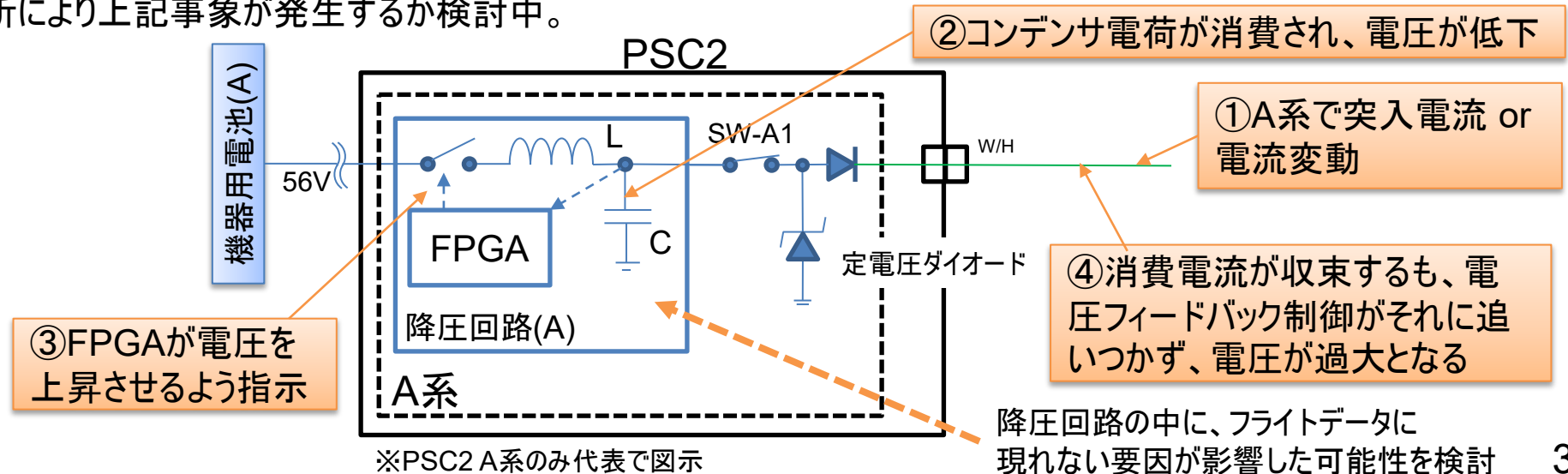
2-4-4 H3ロケット固有シナリオの抽出

■ H3固有シナリオNo.1,2①:PSC2降圧回路の発振・出力不安定の発生メカニズム

- ① 下流機器への突入電流または機器の消費電流変動により、電源ラインの電流量が急増した。
- ② 降圧回路のコンデンサ(C)から電荷が流れ出し、両端電圧が低下した。
- ③ コンデンサ電圧が低下したことを検知した降圧回路制御部(FPGA)が、電圧を上昇させるよう指示(フィードバック制御)。
- ④ 消費電流が急速に収束し電源ラインの電圧が回復したが、FPGAが(電圧回復のスピードに追い付かず)電力を多く供給し続けたため、電圧が過大(オーバーシュート)となり、かつ、定電圧ダイオードの過電圧抑制能力の不足により、過電圧を出力した。

ただし地上での再現試験等から、上記のような電圧過大(オーバーシュート)は正常な機器の組合せでは発生しないことを確認しており、またエンジン駆動電源はSEIG前まで正常動作していたことが確認されている。

そのため、TF1の地上点検時およびフライト中(SEIG以前)のデータに現れない要因が影響した可能性も考慮し、解析により上記事象が発生するか検討中。



2-4 H3固有要因

2-4-5 H3ロケット固有シナリオの対策

■ H3固有シナリオへの対策方針

H3固有シナリオNo.1、2に共通の要因である降圧回路の発振・出力不安定に至る要因については検討中であるものの、最終的に電圧制御が不安定となるモードは以下の①、②に限られると考えられる。不安定に至る要因を排除する対策を行うと共に、それぞれに対して、降圧回路として十分なロバスト性を確保できるよう、要因に応じて下記①、②に示す必要な対策を講じる。

また、これらの対策で十分なロバスト性が確保できない場合には、③の対策により過電圧が下流に及ぶことを防ぐこととする。

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)が不足する場合は、改善する改修を行う。

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が発見された場合は、適宜適切化を行う。

③ 定電圧ダイオードの過電圧抑制能力を増強

■ H3の対策設定の考え方

- 残る検証作業と評価を継続しシナリオの絞り込みを行う。その結果により、今回示した対策の採用範囲を最終決定する。

3. まとめと今後の進め方

■ 原因究明結果と対策

- 要因を①H-IIA共通要因 ②H3固有要因 に識別し、今回の失敗に至るシナリオを全て抽出した。また、V-CON2を含めたデータの詳細な時系列分析により、SEIG前に完全に短絡/地絡していた故障モードは、要因ではないことを確認した。
 - ①H-IIA共通要因: 5月25日の調査小委員会以降、シナリオの絞り込みを実施。
 - ②H3固有要因: 網羅的な確認の結果、今回2つのシナリオを抽出。
- ②で抽出した2つのシナリオへの対策方針は2-4-5項に示す通り。①の対策と併せて、H3ロケットの対策全体の方針を設定した。
- 残るシナリオに対して検証作業の継続実施と上記時系列分析の結果評価から、可能な限りシナリオの絞り込みを行う。その結果に応じて、今回設定した対策の採用範囲を最終決定する。

■ 今後の進め方

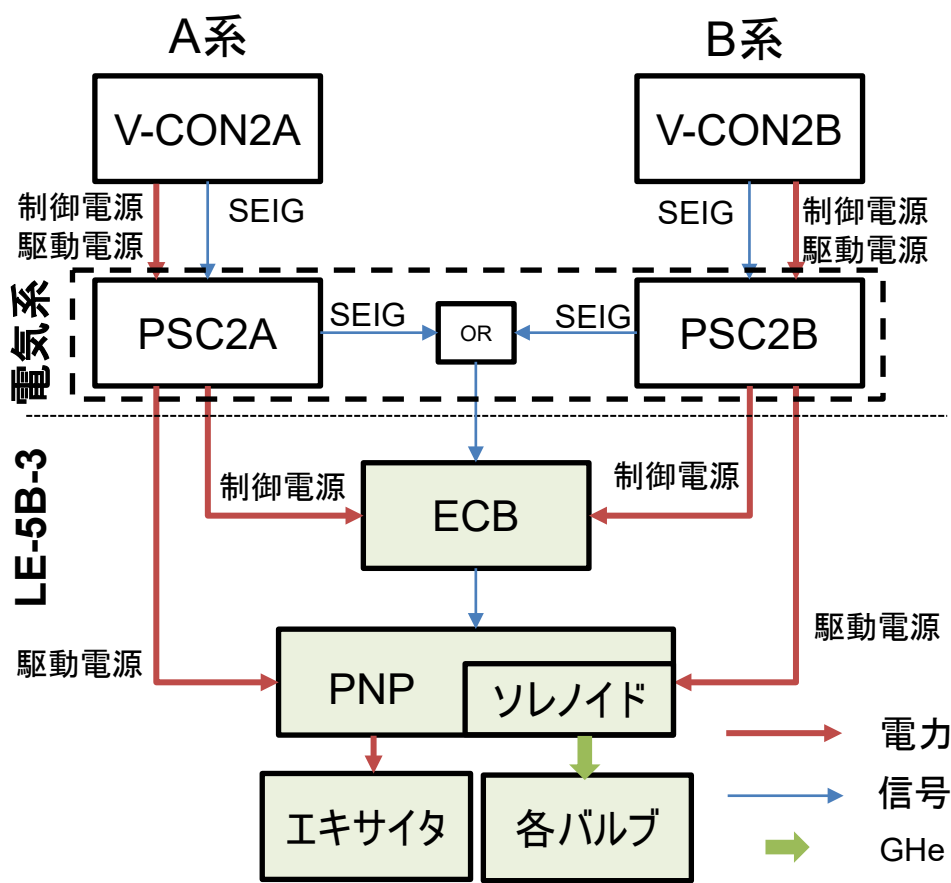
- 検証作業および検討によりシナリオの絞り込みを進める。
- 上記を踏まえつつ、背後要因の分析と水平展開について整理を進める。

參考資料

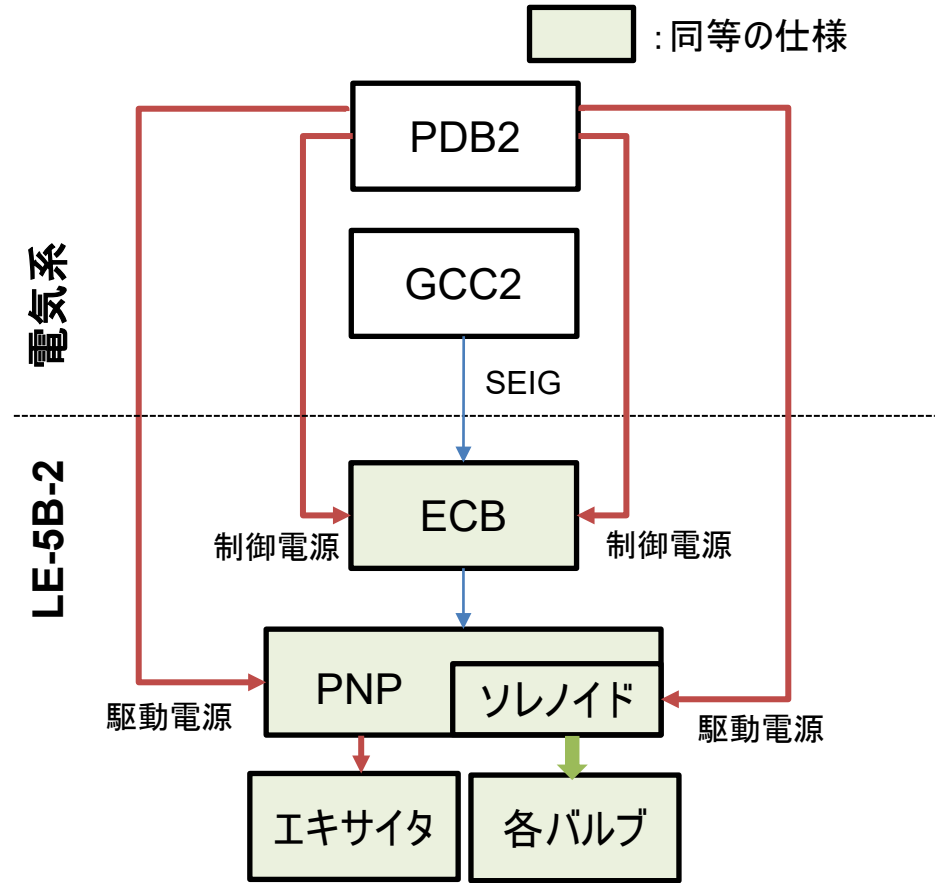
H3ロケットとH-IIAロケットの電気系統の違い

■ 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)

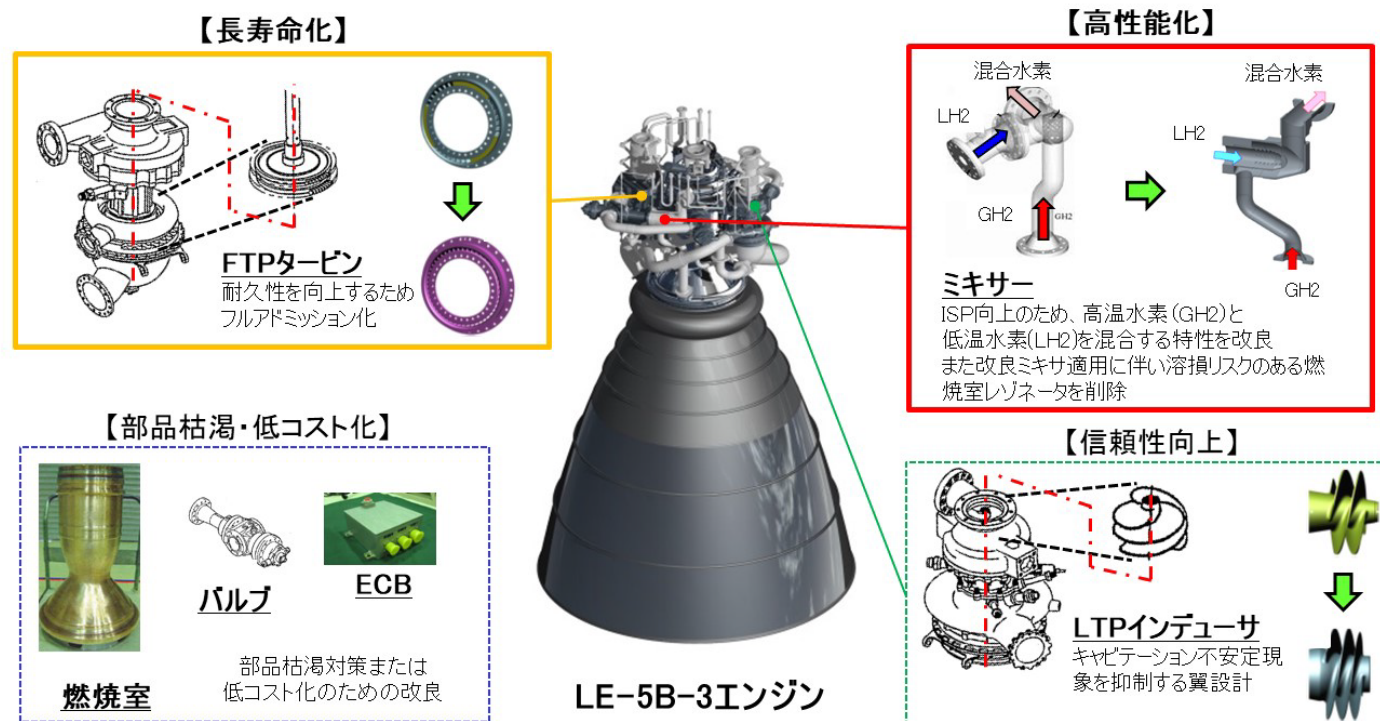


2段エンジン制御接続系統図(H-IIA)

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。



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