



資料74-4

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
(第74回)R5.4.28

H3ロケット試験機1号機 打上げ失敗原因調査状況について

2023年3月7日のH3ロケット試験機1号機の打上げ失敗後、その原因究明状況について、これまで3回にわたって宇宙開発利用に係る調査・安全有識者会合へご報告してきた。

本日は、これまでの原因究明のまとめとして、4月27日の調査・安全有識者会合の資料を用いてご報告する。

2023年4月28日

宇宙航空研究開発機構

宇宙輸送技術部門 理事 布野 泰広
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



資料1
宇宙開発利用に係る
調査・安全有識者会合
R5.4.27

H3ロケット試験機1号機 打上げ失敗原因調査状況

2023年4月27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 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-1 再現試験サマリ

2-2-2 PSC2の過電流誤検知の検討

2-2-3 PSC2の消費電流過大の検討

2-2-4 RCS系統の短絡もしくは地絡の検討

2-2-5 現時点の評価

2-2-6 残された要因に対する検討の優先度付け

2. 原因究明の状況(つづき)

2-3 2段エンジンの評価

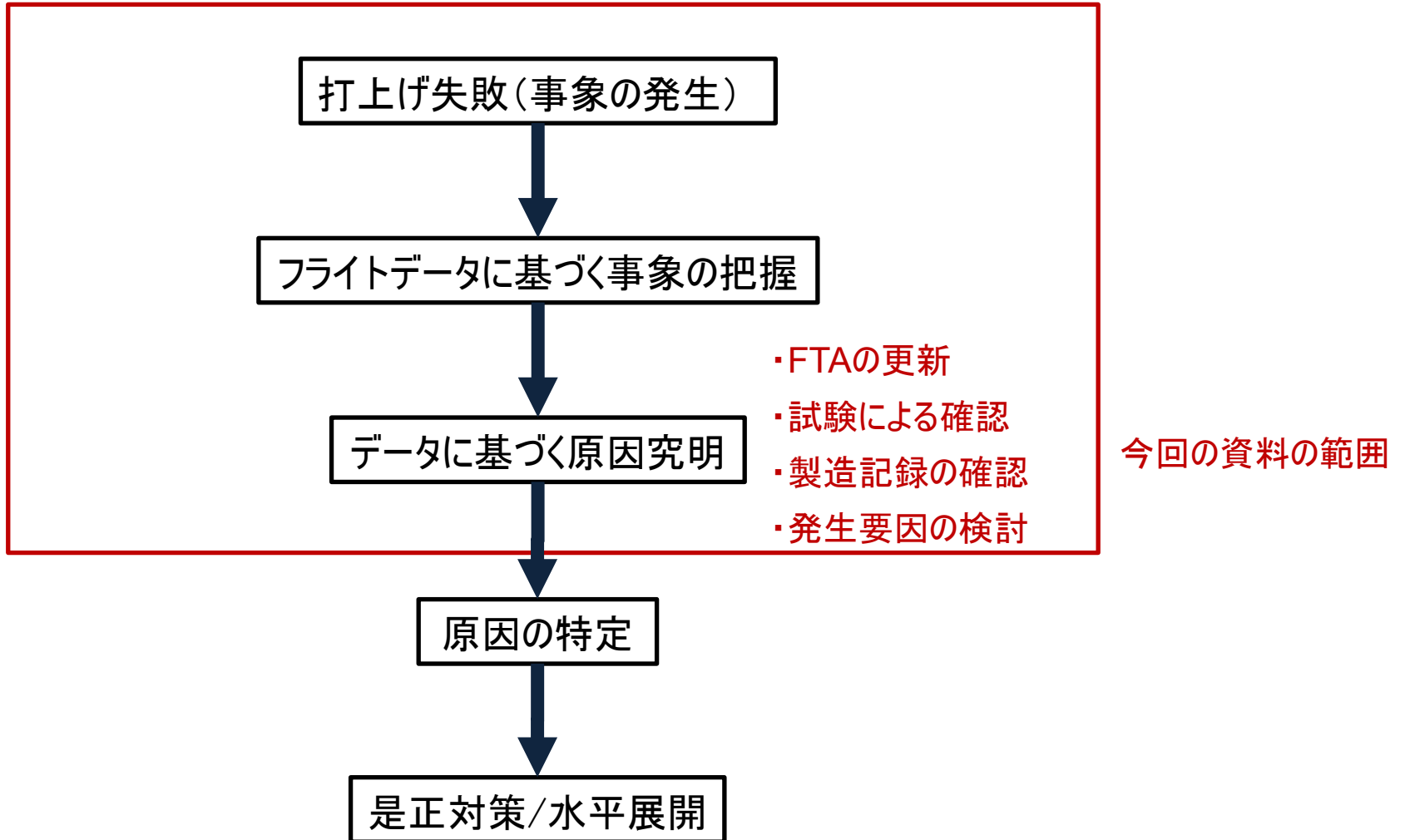
2-3-1 2段エンジン内の短絡・地絡のFTA

2-3-2 故障シナリオの検討

3. 今後の進め方

参考資料

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

■ 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

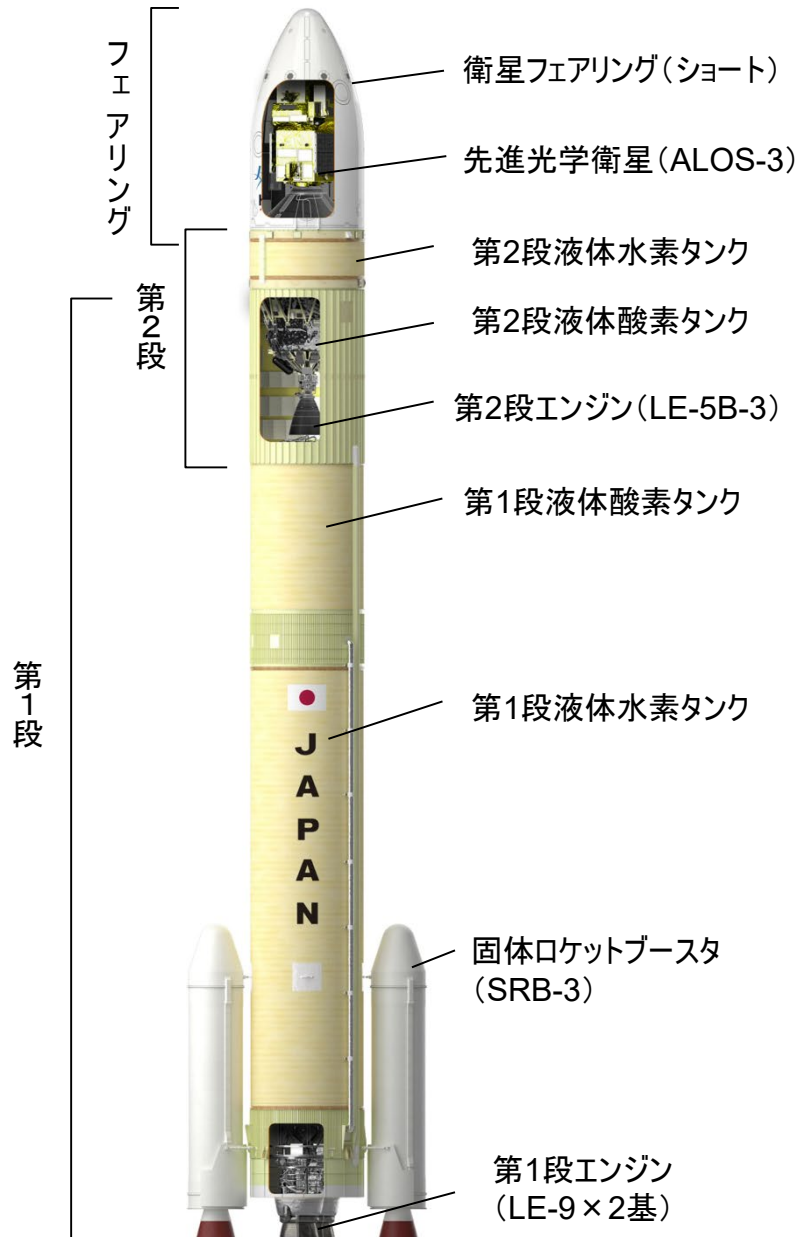
■ 搭載衛星

● 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)

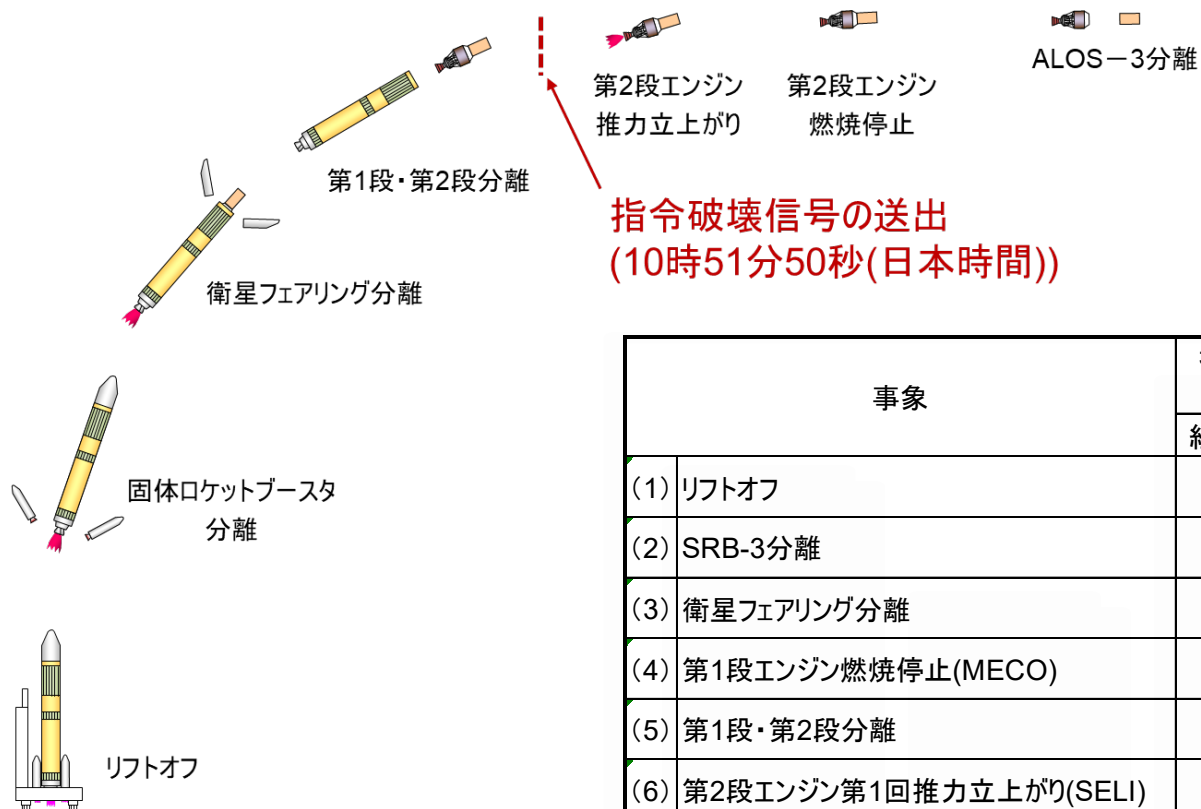


主要諸元

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。

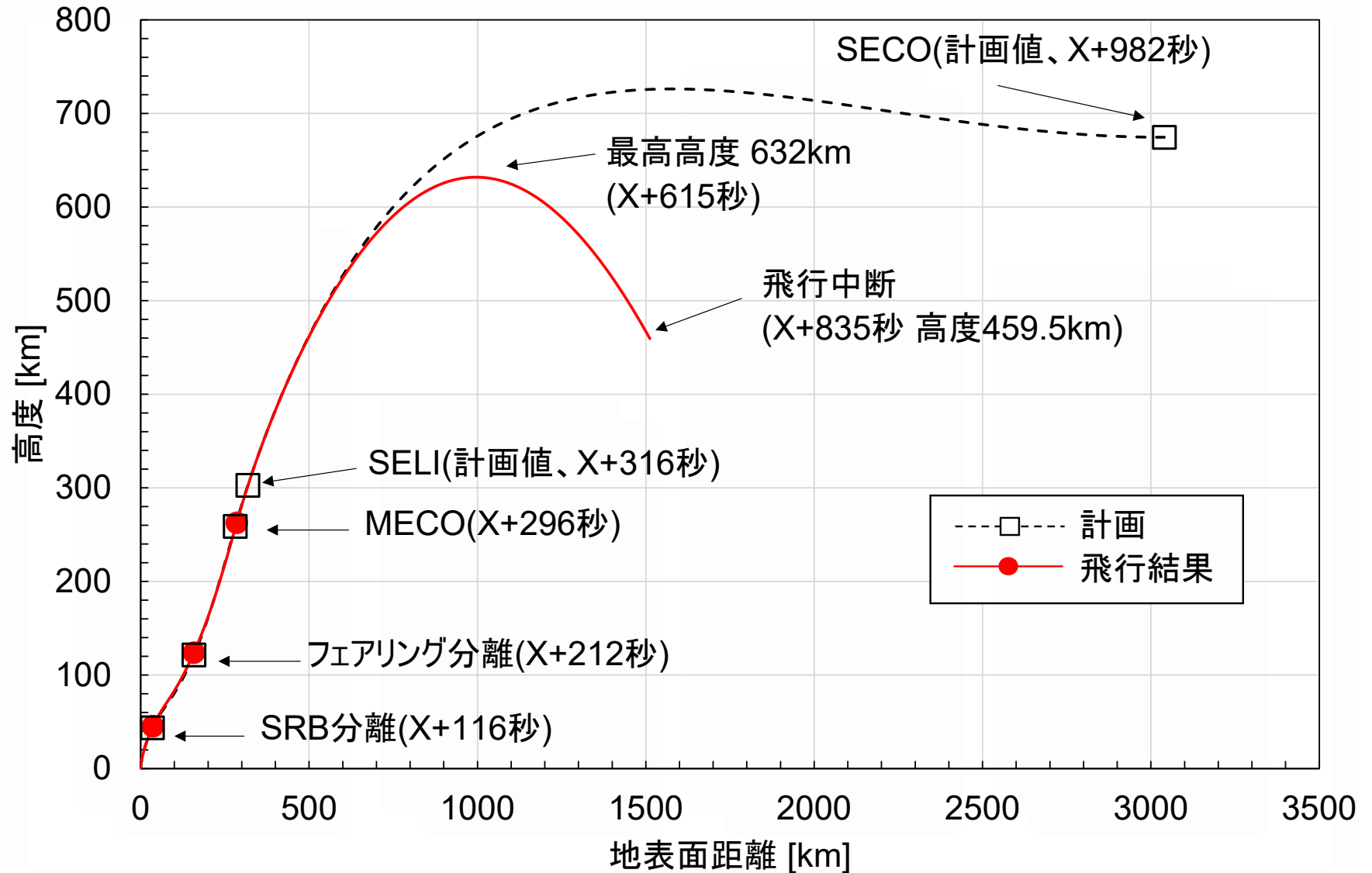


指令破壊信号の送付
(10時51分50秒(日本時間))

打上げ時刻(10時37分55秒(日本時間))

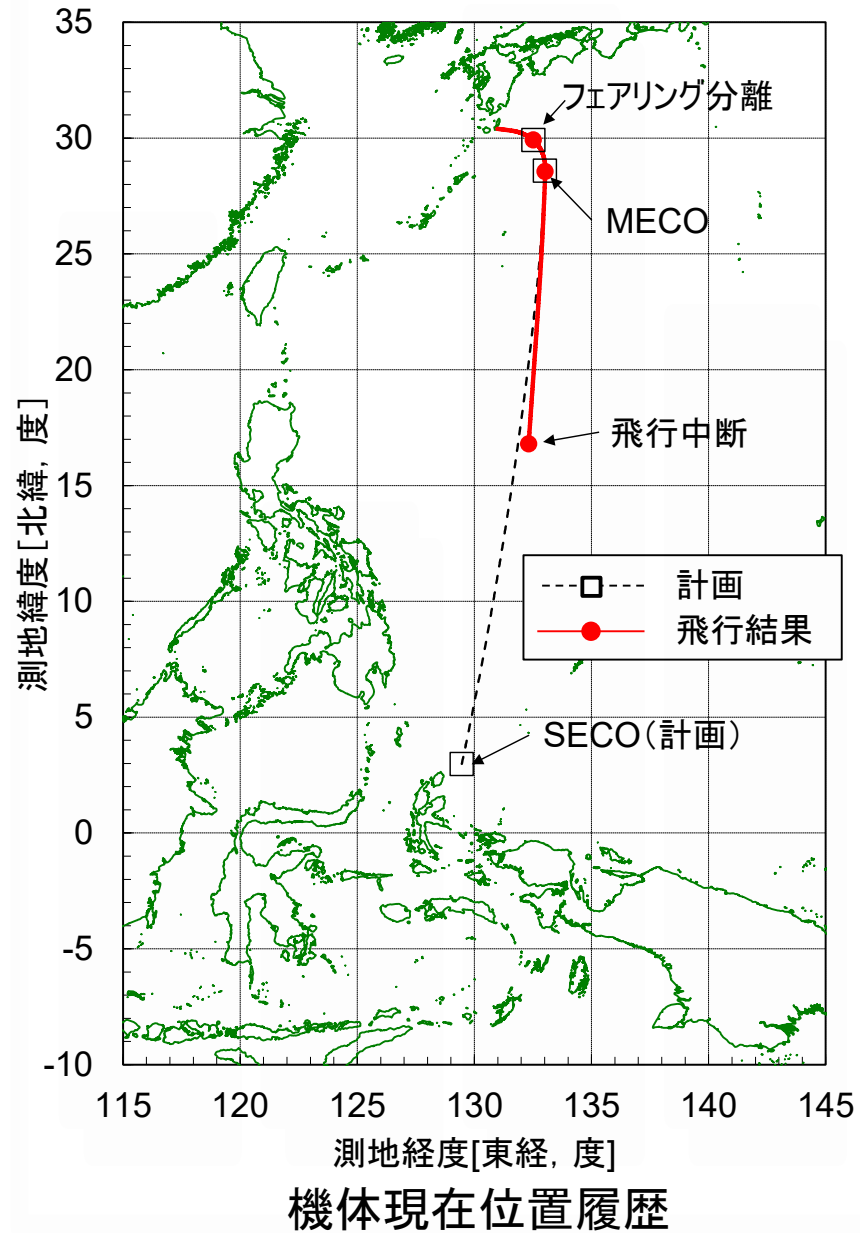
事象	打上後経過時間 (フライト結果)			(参考)予測値		
	経過秒	分	秒	経過秒	分	秒
(1) リフトオフ	0	0	0	0	0	0
(2) SRB-3分離	116	1	56	116	1	56
(3) 衛星フェアリング分離	212	3	32	211	3	31
(4) 第1段エンジン燃焼停止(MECO)	296	4	56	296	4	56
(5) 第1段・第2段分離	304	5	4	303	5	3
(6) 第2段エンジン第1回推力立上がり(SELI)	-	-	-	316	5	16
(7) 飛行中断	835	13	55	-	-	-

1-3 打上げ結果(再掲)



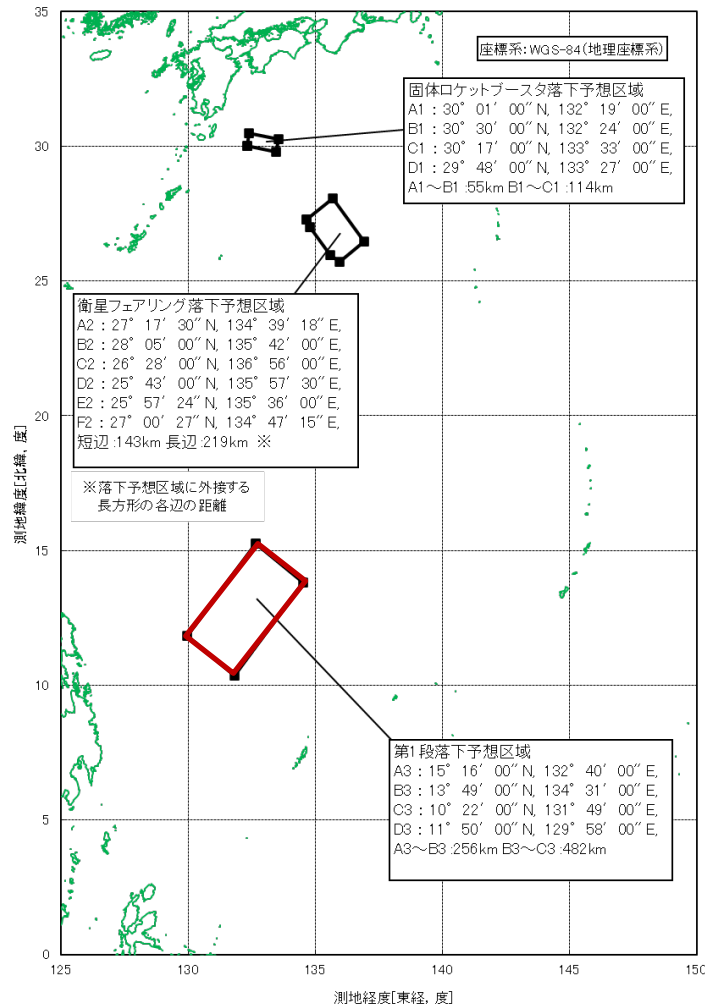
高度履歴

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

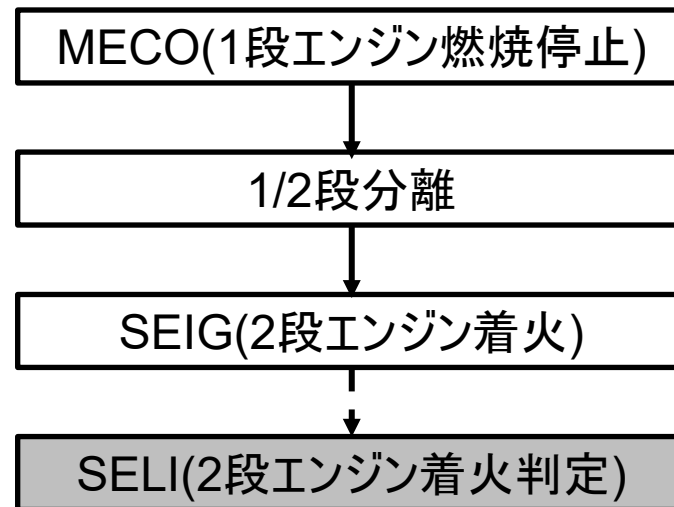
1-4 発生事象の内容(再掲)

■ 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

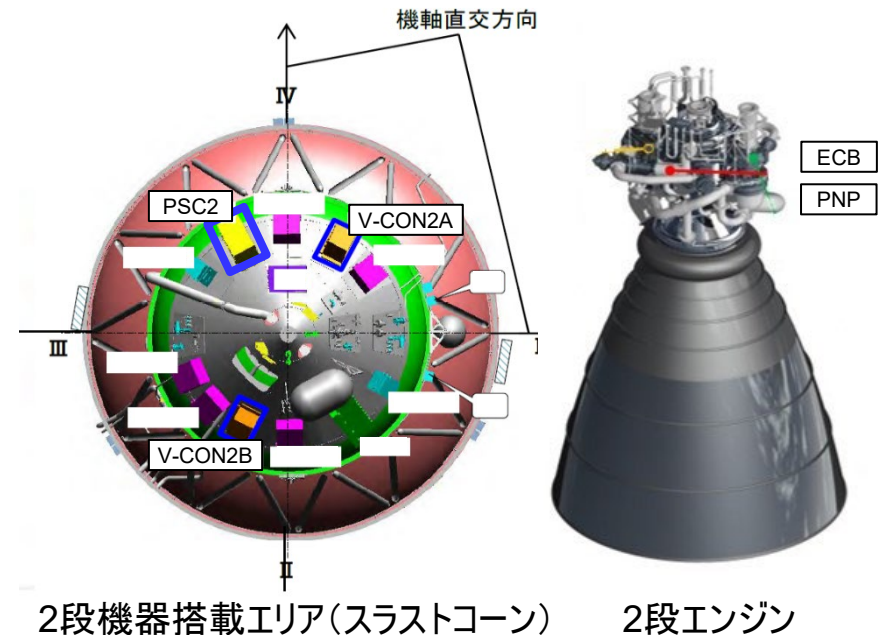
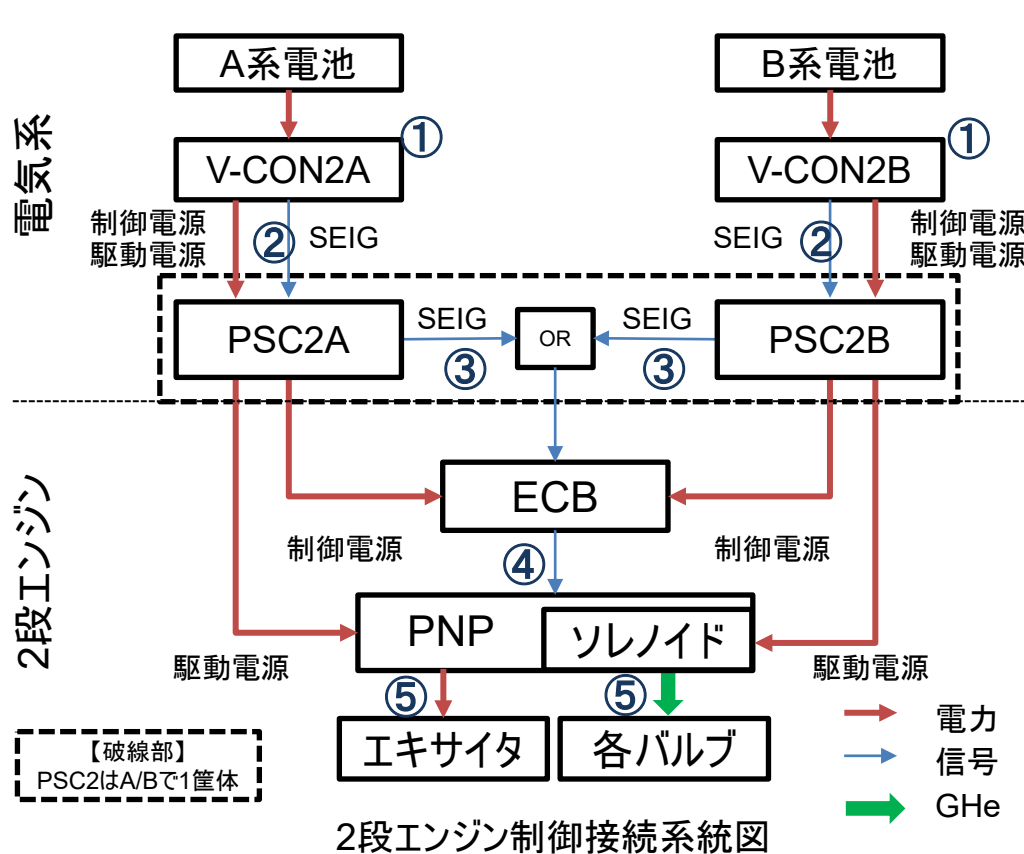
- 1段/2段分離を検知したのち、機体側から2段エンジンへ着火指示(SEIG)を送り、2段エンジン側がSEIGを受信したことを確認した。
- SEIG付近で、電源系統の異常を確認した(機体側かエンジン側の要因かは調査中)。



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

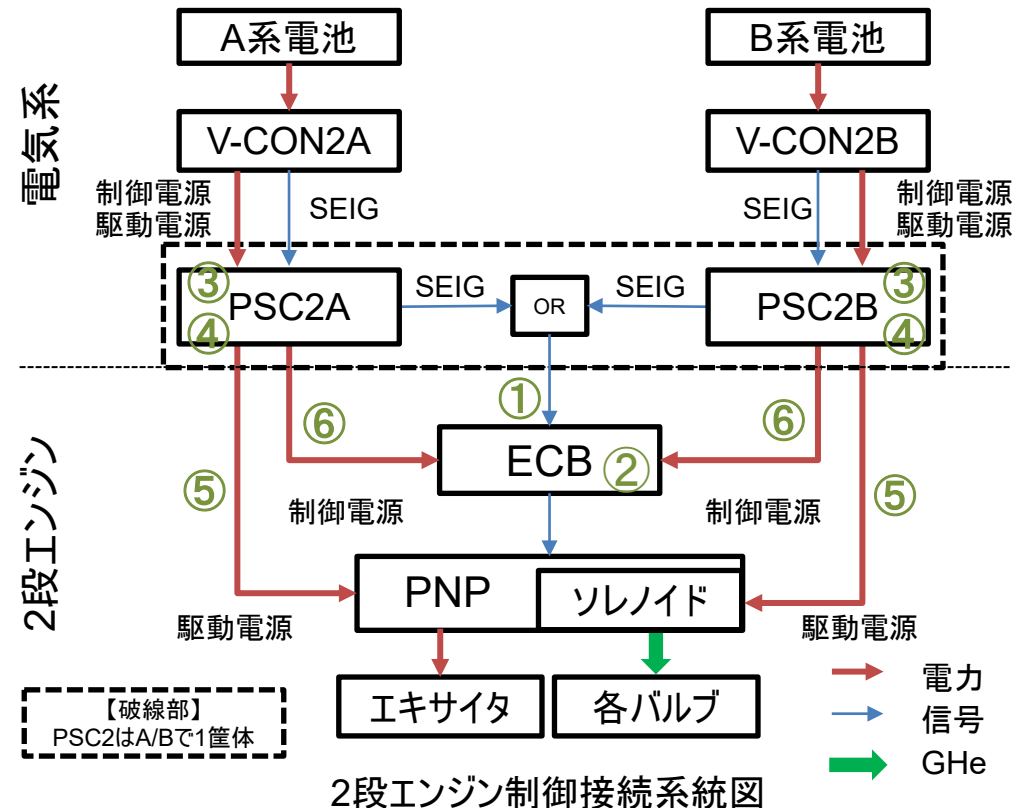
- ① 2段機体制御コントローラ(V-CON2A/2B)が1段/2段分離を検知
- ② その後、2段推進系コントローラ(PSC2)へ2段エンジンの着火信号(SEIG)を出力
- ③ PSC2はそれを受けて2段エンジンのコントロールボックス(ECB)へSEIGを出力
- ④ ECBがSEIGを受けた後、ニューマチックパッケージ(PNP)に駆動を指示
- ⑤ PNPは指示に基づき、各エンジンバルブおよび点火器のエキサイタスパークプラグを駆動



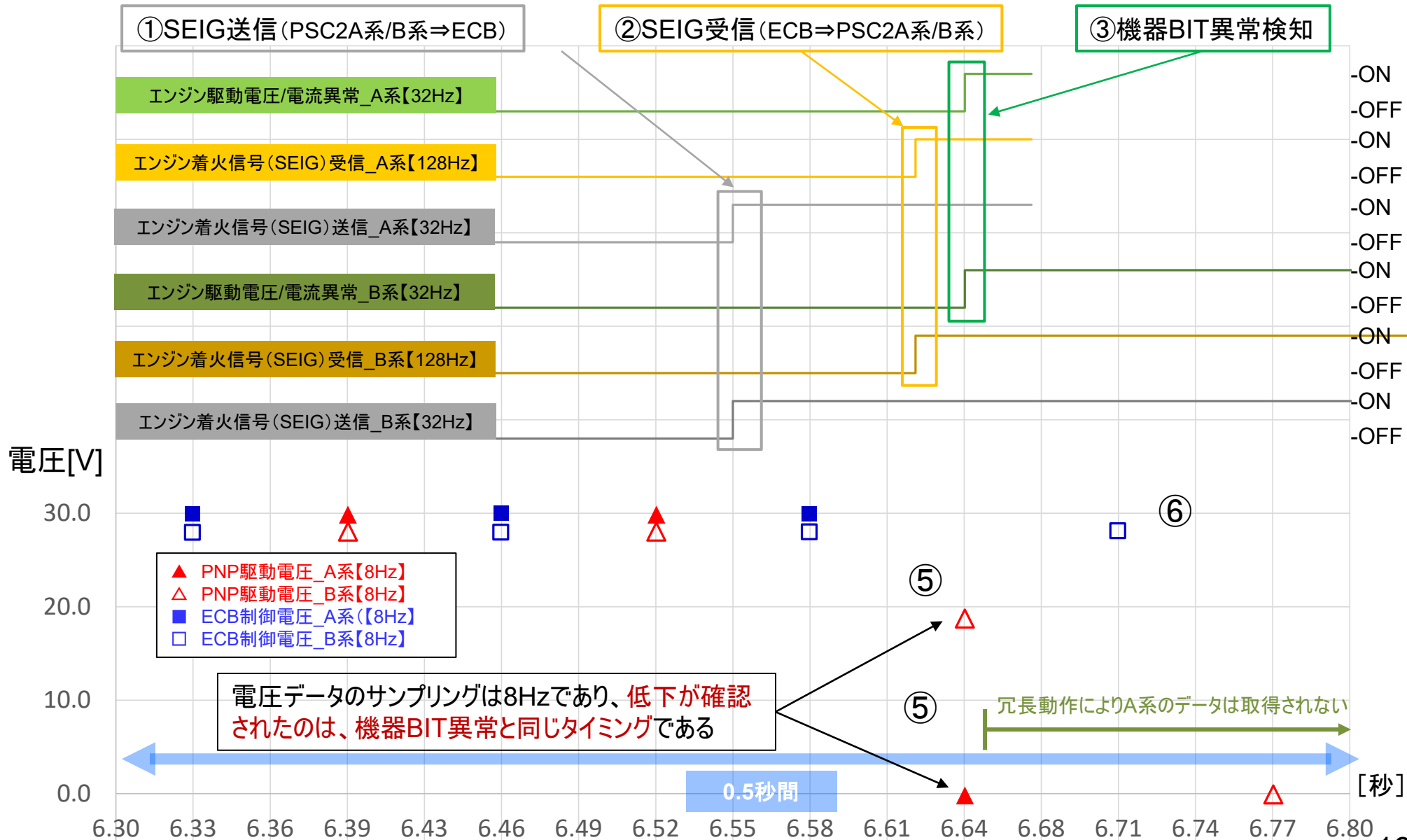
- PNP: エンジンバルブ駆動用ヘリウムガスの供給や点火器エキサイタスパークプラグの駆動を制御する装置
- ソレノイド: エンジンの各バルブの駆動に必要なヘリウムガス(GHe)を供給する電磁弁(ソレノイドバルブ)
- エキサイタ: エンジン点火器のエキサイタスパークプラグ

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

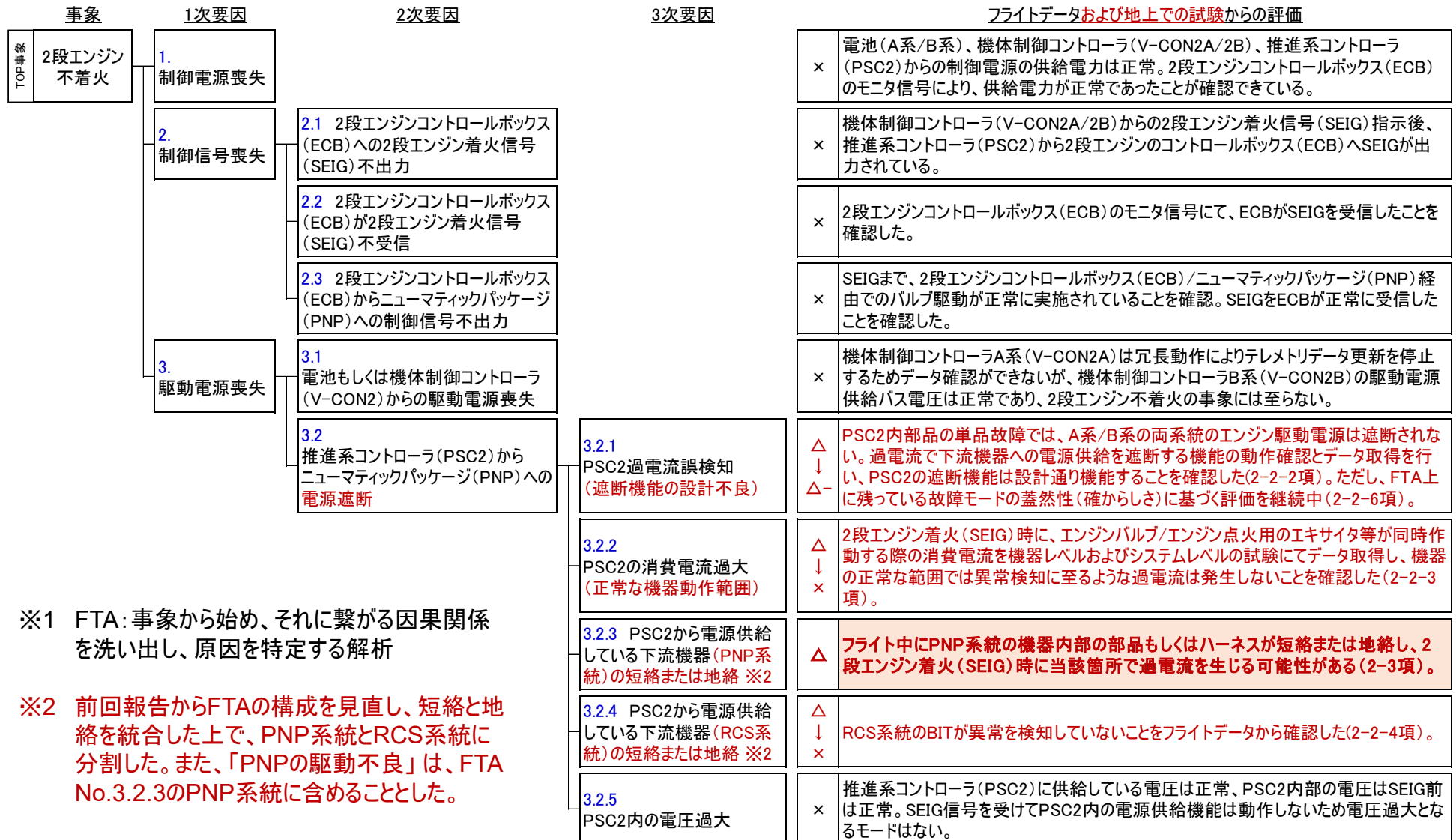
- 2段エンジン不着火をトップ事象とするFTAを作成した。
 - 前回報告以降、FTAの検討を進め、要因の統合など再整理を実施した。
- FTAに基づき、フライトデータ、工場における再現試験、製造記録（製造・検査データ）の確認および設計レビュー等により順次原因の絞り込みを行っている。

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。



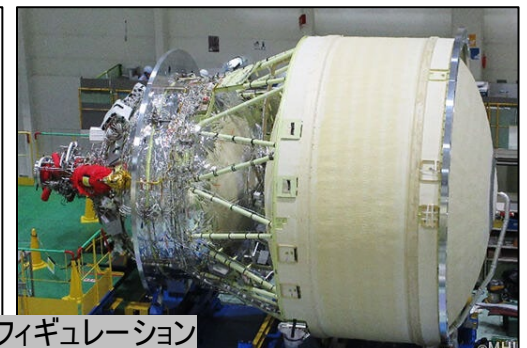
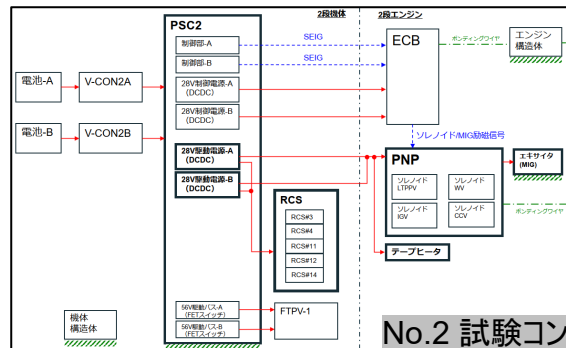
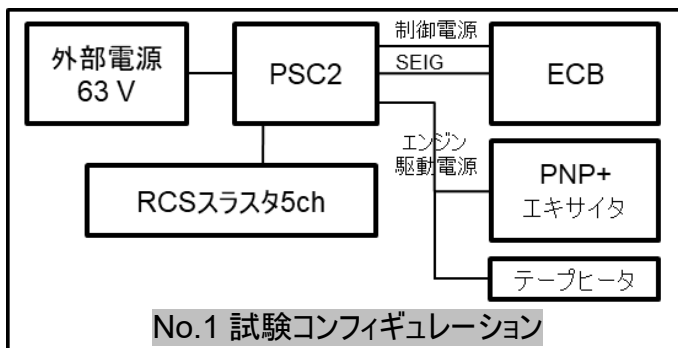
※1 FTA: 事象から始め、それに繋がる因果関係を洗い出し、原因を特定する解析

※2 前回報告からFTAの構成を見直し、短絡と地絡を統合した上で、PNP系統とRCS系統に分割した。また、「PNPの駆動不良」は、FTA No.3.2.3のPNP系統に含めることとした。

2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-1 再現試験サマリ

No.	名称	試験内容	結果
1	SEIG時の 機器駆動試験	(1-1) PSC2及びENG機器組み合わせた状態での動作、再現性確認	<ul style="list-style-type: none"> SEIG時の消費電流は異常検知の電流量より十分小さい(2-2-3項) PSC2内部の波形評価から過渡的なグラウンドノイズも機器の誤動作に至るレベルでないことを確認(2-2-2項)
		(1-2) 上記に加えて、PSC2内部の波形を測定	
2	F3機体を用いた再現試験	ロケットシステムレベルでTF1フライトシーケンスを模擬した状態での挙動、再現性確認。	
3	短絡発生ケースの再現試験	(3-1) PSC2単体での過電流検知機能の確認	<ul style="list-style-type: none"> PSC2の短絡による異常検知は設計意図通りの動作をしていることを確認(2-2-2項)
		(3-2) 上記に加え、RCSを負荷として追加した際の動作及びPSC2内部の波形確認	
		(3-3) (1-1)と同じ試験系で、PNP及びエキサイタに対して短絡・地絡試験を実施し、併せて正常動作時の内部動作の確認を行う。	<ul style="list-style-type: none"> PNP、エキサイタの短絡・地絡でもPSC2の過電流検知機能が働くことを確認。 PNP、エキサイタの内部動作については詳細確認中。(2-2-2項)

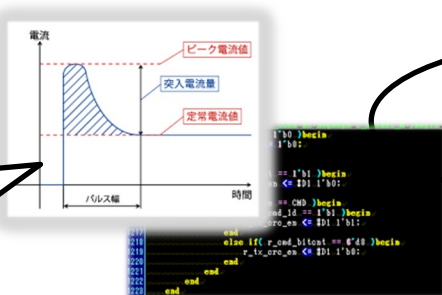


2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-2 FTA3.2.1 PSC2過電流誤検知の検討

- PSC2の過電圧・過電流検知および電源遮断機能は、H3の**基本的な冗長設計の考え方(後述)に基く設計意図通り**であり、事象に至る可能性が残るのは**検知回路の二重故障ケースのみ**であることを確認した。
- 根拠①: 設計の確認
 - PSC2の**過電圧・過電流検知機能の設計**について、回路設計・FPGA設計の**専門家を交えたレビュー**を実施し、**意図通りに設計されていることを確認**した。確認の観点は以下の通り。
 - ① 過電圧・過電流と判断する電圧・電流閾値が正しく設定されているか
 - ② 過電圧・過電流と判断する検知時間幅が正しく設定されているか
 - ③ 電源遮断回路が意図せずOFFされることはないか
 - ④ エンジン始動時に生じる突入電流により、過電流検知が誤作動することはないか(十分な余裕があるか)
 - ⑤ エンジン始動時のバルブ作動により生じる電圧変動等により、過電圧検知が誤作動することはないか(十分な余裕があるか)

過電圧・過電流検知のロジックコード・閾値のチェック



共通のロジック・パラメータ

PSC2A

PSC2B

過電流が起きていないときに誤作動しないか/過電流が起きたときに適切に遮断できるかを詳細に確認

2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-2 FTA3.2.1 PSC2過電流誤検知の検討

■ 根拠②: 再現試験による確認

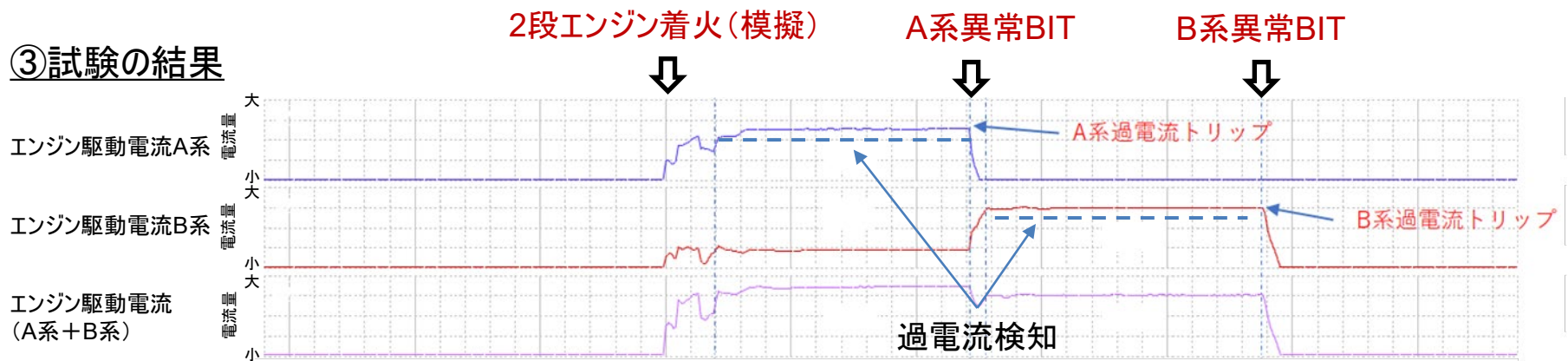
- PSC2の過電圧・過電流検知機能について再現試験を実施した結果、設計意図通り動作することを確認した。実施した試験内容は以下の通り。

- ① 地上にてTF1の状況と可能な限り同等の機器作動状態としたうえで、2段エンジン着火※を実施し、問題なく作動（過電圧・過電流を誤検知しない）した。
- ② 上記試験において、2段エンジン着火※時にPSC2が誤動作するような電位変動は起こらないことを確認した。これにより、2/17打上げ中止原因と類似の事象ではないことを確認した。
- ③ 意図的に過電流が発生するような回路を仕掛けておき、2段エンジン着火※を実施すると、設計意図通り過電流検知機能が作動した。加えてこのときのPSC2の動作が、フライト時に得られたデータと整合することも確認した。

A系の電圧が高い設計であり、下流の短絡時にはA系、B系の順に遮断する。

※2段エンジン着火は、電氣的作動のみを模擬

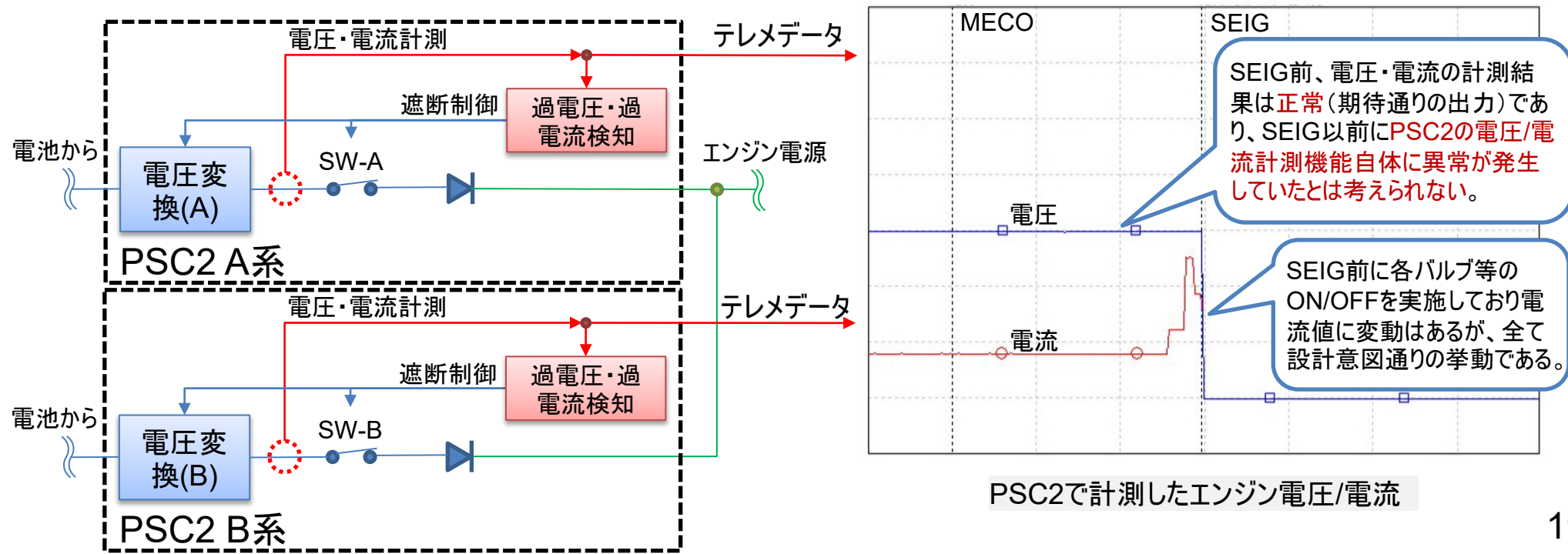
③試験の結果



2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-2 FTA3.2.1 PSC2過電流誤検知の検討

- 根拠③: フライト時の電圧・電流検知回路の正常性
 - 過電圧・過電流監視のため、PSC2内には電圧・電流計測回路が存在する。
 - 同計測回路で計測された電圧・電流は過電圧・過電流の検知に使用されるが、同時にテレメトリデータとしても取得されており、少なくともSEIGの瞬間まで異常は見られない(仮に計測回路に異常が生じ、結果として過電流を誤検知したのなら、それが同時にデータにも現れるはずである)。
 - また、「2段エンジン着火(SEIG)と同時に外部からノイズが混入しPSC2内の電圧・電流検知回路が誤動作する」という可能性については、根拠②の再現試験によりSEIG時にPSC2が実際に誤動作しないことを確認した。

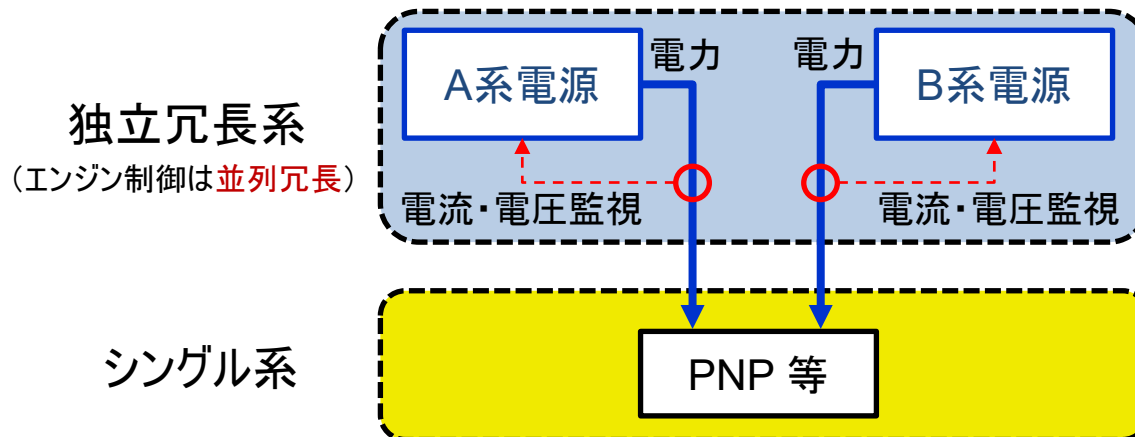


2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-2 FTA3.2.1 PSC2過電流誤検知の検討(H3冗長設計の考え方)

■ H3ロケット冗長設計の基本思想

- H3ではシステム信頼度をH-IIAから向上させるため、2段電気系システムに**独立二重冗長**を採用。
- ロケットは飛行中のイベント制御で信号の取りこぼしができない**タイムクリティカルなシステム**のため、冗長設計はA系/B系の双方が動作するアクティブ冗長(両系で計算を実施)。
- **PNPを含む2段エンジンシステム**は実績あるLE-5Bヘリテージを活用し**シングル系を継承**。2段エンジンシステムはH-IIAロケット同様に宇宙用部品を使用し、飛行実績を有するもので構成。
- 冗長系とシングル系のインターフェースは、A系の故障後に制御系をB系に切り替える待機冗長と、A系/B系をOR結合で出力し、故障が生じた系は出力を抑制する**並列冗長**の2種類が存在。
 - ・ 待機冗長: 冗長切替時に**制御信号が抜けても以降の制御周期で回復可能なもの**
(例: エンジンのジンバルやスラストによる姿勢制御などのフィードバック制御が対象)
 - ・ 並列冗長: 冗長切替時の**制御信号抜けがミッションフェイルに繋がるもの**
(例: 衛星分離やエンジン着火、停止など、**ロケット特有のイベント制御**が対象)



2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-2 FTA3.2.1 PSC2過電流誤検知の検討(H3冗長設計の考え方)

■ H3ロケット冗長設計の基本思想

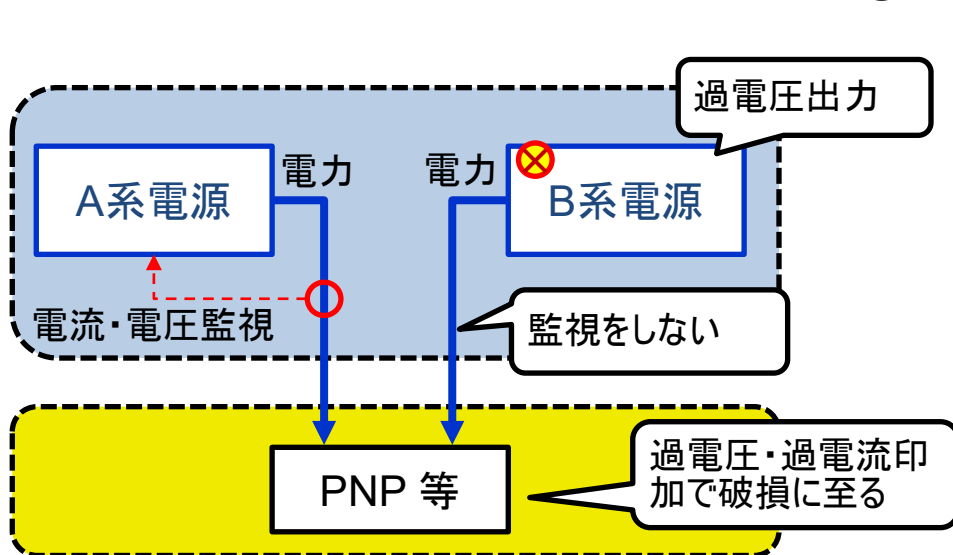
- PSC2のB系電源故障時も電力供給し続けるためには以下の2案が考えられるが、いずれも電源の一故障で下流に過電圧を供給し損傷させるケースがあるため、**現設計を採用**している。

① A系によらず、B系は故障しても電力供給しつづける案

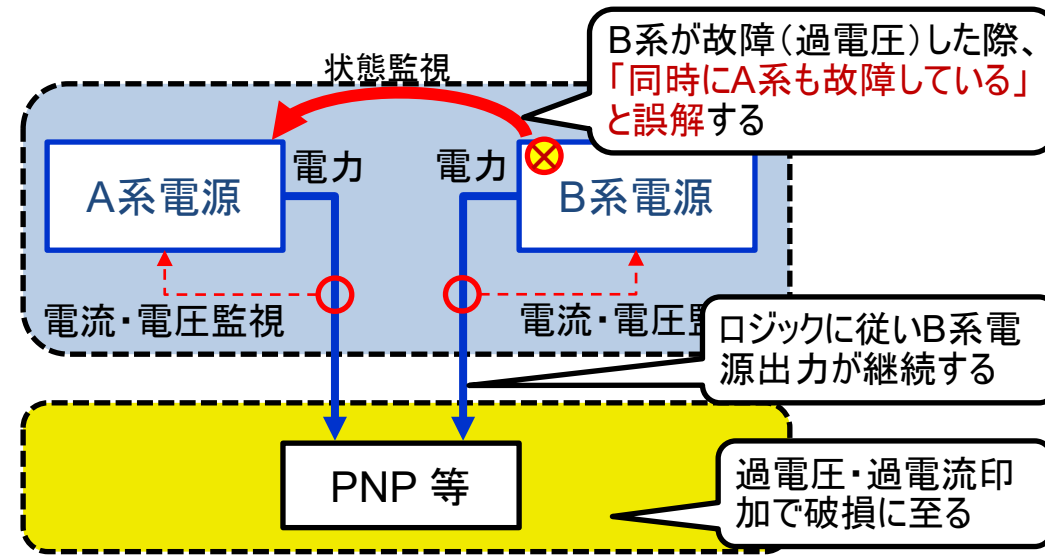
B系が先に故障した場合、PNP等にB系から過電圧を印加してしまい、機能喪失に至る(冗長にならない)。

② A系の状態に応じて、B系故障検知時に電力供給継続を判断する案

A系の状態に応じた判断ロジックをB系に組むことになるが、故障したB系ではA系故障有無を正しく判断出来ない可能性があり、①と同様に過電圧を印可する。



設計①で問題となるケース



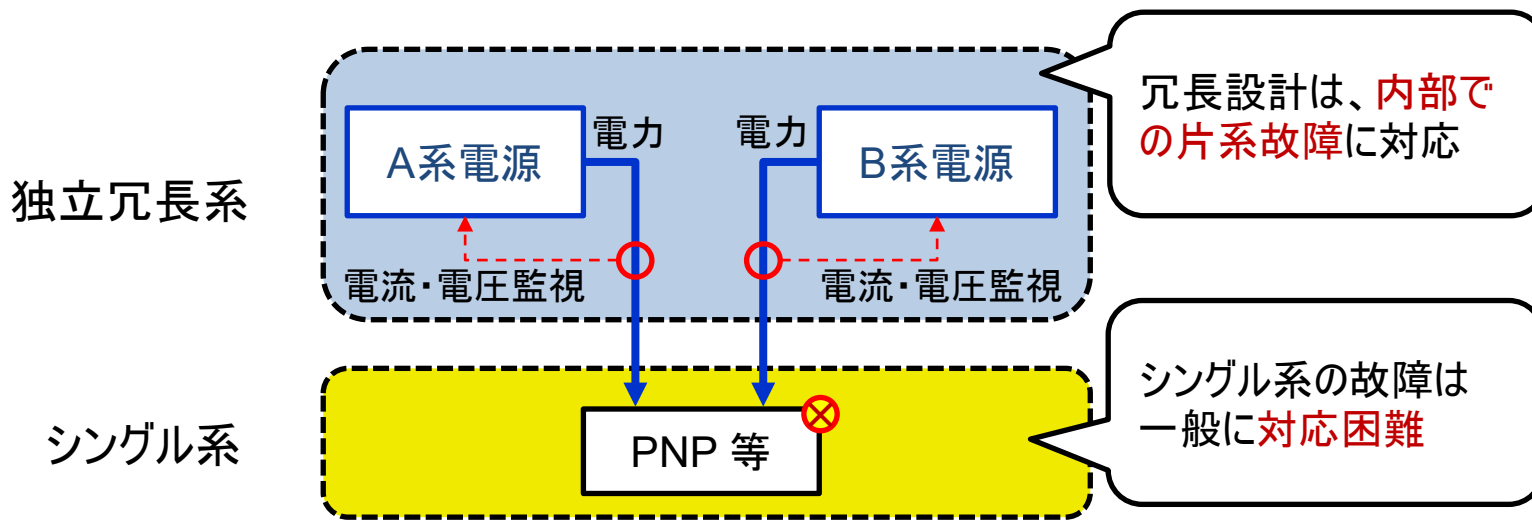
設計②で問題となるケース

2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-2 FTA3.2.1 PSC2過電流誤検知の検討(H3冗長設計の考え方)

■ フライト結果を踏まえた評価

- フライトデータに基づく原因調査から、今回の事象は、H3のシステム設計上シングルとなっているPNPもしくはその下流での短絡・地絡の可能性が高い。シングル系での故障は、一般に故障許容とすることはできない。
- 冗長設計部分(PSC2及びその上流)は、「冗長化した範囲内で故障を検知した場合に、それを相手の系及び下流系に伝搬させない」ことが重要。A系/B系がそれぞれ過電流・過電圧を検知した際の挙動として設計通りに動作した。



2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-3 FTA3.2.2 PSC2の消費電流過大(正常な機器動作範囲)の検討

- **機器の正常な範囲内での消費電流**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。

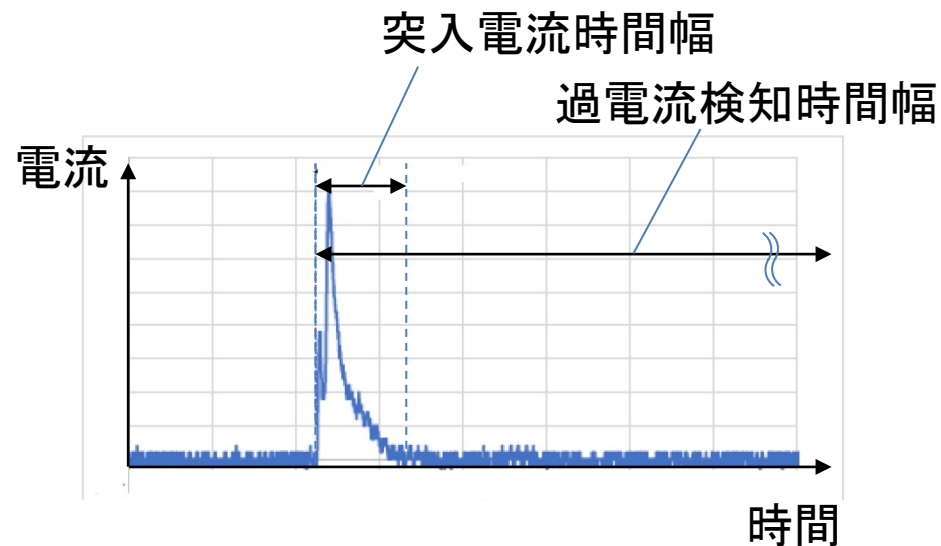
■ 根拠

- 電流に対する余裕度(左下図)

各負荷(PNP等)の正常時の消費電流の合計は、過電流検知閾値よりも十分小さいことを確認(設計及び最大負荷模擬試験)。

- 時間に対する余裕度(右下図)

正常時のSEIG時突入電流の時間幅は、過電流検知時間幅よりも十分小さいことを確認(設計及び実測試験)。



合計電流の最大値が閾値以下であることを確認

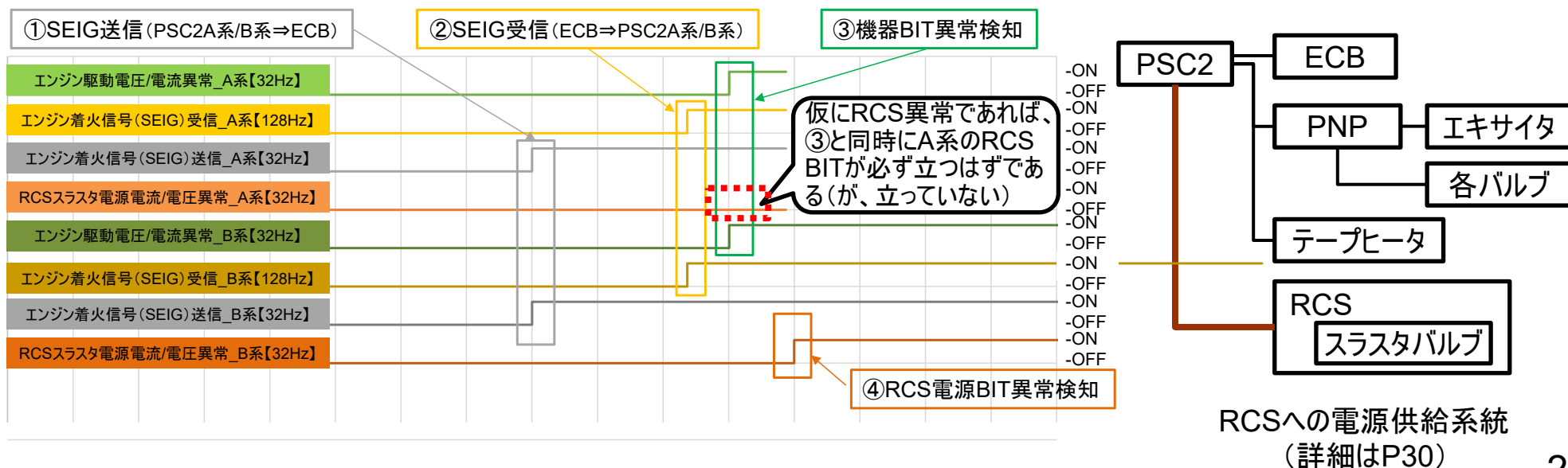
2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-4 FTA3.2.4 RCS系統の短絡もしくは地絡の検討

- フライトデータから、RCS系統はA系で異常BIT検知が起こっていないため、本系統で短絡・地絡に至った可能性はない。

■ 根拠

- ③の機器BIT異常(PNP系統)のタイミングで、RCS電源BITはA系、B系とも異常検知なし。その後④のタイミングでB系が異常検知しており、PNP系統の異常で電源遮断したことを示している。
- RCS系統が起因の場合には、RCS電源BIT(A系)が③と同時に検知される。
- 冗長動作によりA系のデータは③以降取得されていない。



2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-5 現時点の評価

- フライトデータ、再現試験、製造記録の確認および設計レビュー等の結果を踏まえた評価のまとめ
 - PSC2の過電圧・過電流検知および電源遮断機能は、H3の基本的な冗長設計の考え方に基いた設計意図通りであることを確認したが、検知回路の二重故障ケースなど事象に至る可能性が残っていないか評価継続中の状況。(FTA3.2.1は△)
 - PSC2から下流機器の消費電流(正常な機器動作範囲)については、SEIG時の過渡的な電流や、最大負荷時の電流に対し余裕のある設計となっており、**正常動作範囲での過電流検知の可能性はない**。(FTA3.2.2は×)
 - PSC2からRCSに電源供給する系統での下流機器の短絡または地絡については、フライトデータから可能性はない(FTA3.2.4は×)
 - 機器BIT異常検知の発生タイミングから、**PSC2から電源供給している下流機器(PNP系統)の短絡または地絡が発生した可能性が高い**と評価している。(FTA3.2.3は△)

2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-5 現時点の評価

■ フライトデータとその後の再現試験等から行った現時点での評価(再掲)

TOP事象	事象	1次要因	2次要因	3次要因	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	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	×	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。
				2.2 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	×	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。
				2.3 2段エンジンコントロールボックス(ECB)からニューマティックパッケージ(PNP)への制御信号不出力	×	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。
		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	×	SEIGまで、2段エンジンコントロールボックス(ECB)/ニューマティックパッケージ(PNP)経由でのパルプ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。	
			3.2 推進系コントローラ(PSC2)からニューマティックパッケージ(PNP)への電源遮断	△ ↓ △-	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。	
				3.2.1 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)。ただし、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(2-2-6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、エンジンパルプ/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(2-2-3項)。
				3.2.3 PSC2から電源供給している下流機器(PNP系統)の短絡または地絡 ※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)時に当該箇所で過電流を生じる可能性がある(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 ※2	△ ↓ ×	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)。
				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 前回報告からFTAの構成を見直し、短絡と地絡を統合した上で、PNP系統とRCS系統に分割した。また、「PNPの駆動不良」は、FTA No.3.2.3のPNP系統に含めることとした。

2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-6 残された要因に対する検討の優先度付け

- 現時点、可能性が高いと考えている短絡もしくは地絡に至った要因については、現時点で特定に至ってないが、あらゆる可能性を排除せず検討を継続している。
- 上記を踏まえ、次頁以降に示すFTA上に残っている故障モードの蓋然性(確からしさ)に基づく検討範囲の絞り込みと検討の優先度付けを行う。

2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-6 残された要因に対する検討の優先度付け

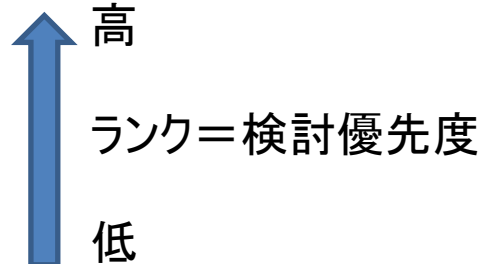
■ 故障モードの蓋然性(確からしさ)による検討範囲と優先度の考え方

- 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



2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-6 残された要因に対する検討の優先度付け

■ 各ランクのシナリオ代表例と調査・検討の進め方

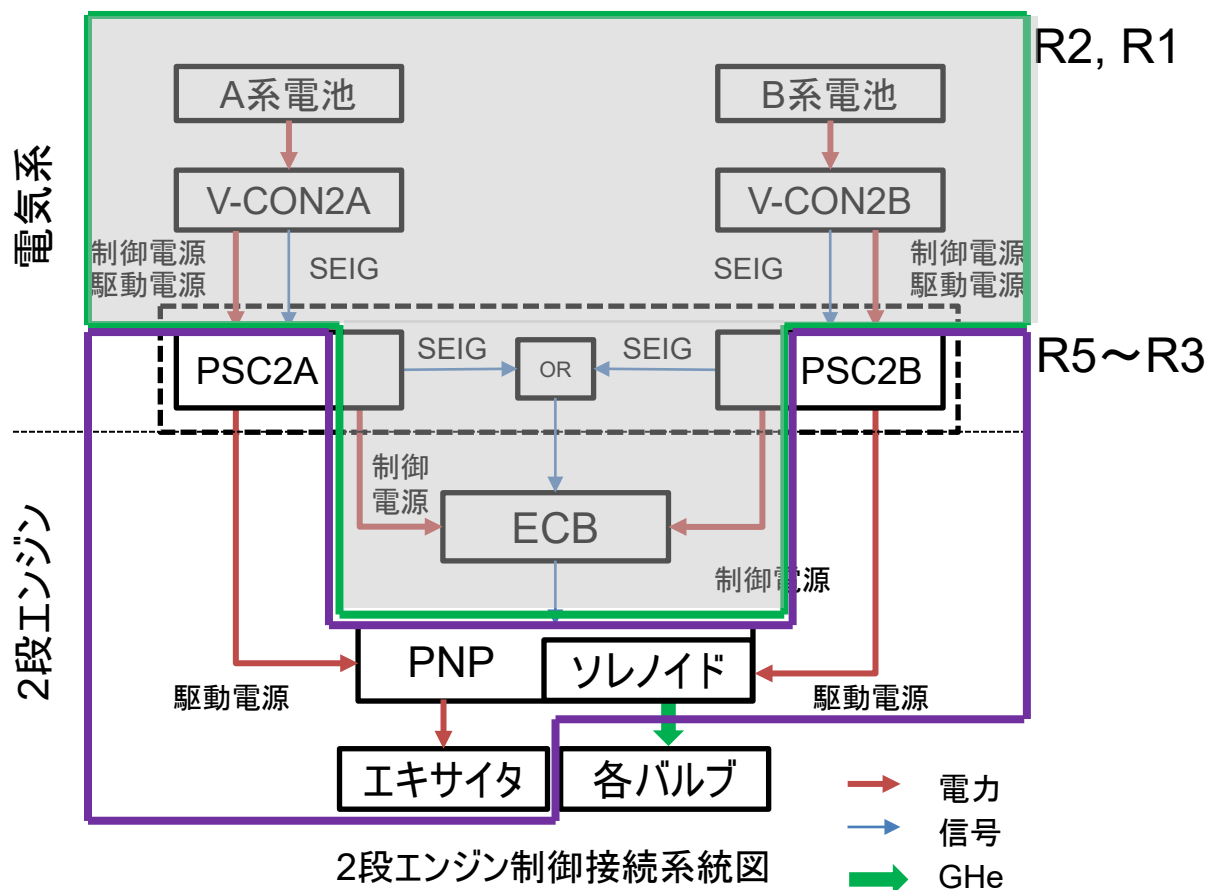
- R5: 推定原因として**最有力の候補**であり、**優先的に調査・検討**を実施中
- R4/R3: 発生した**可能性はR5に比べ小さい**が、引き続き**調査対象から排除せず検討**
- R2/R1: フライトデータ中にそれを**否定する直接的・間接的証拠**があり、**原因ではない**と判断可能

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		—

2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-6 残された要因に対する検討の優先度付け

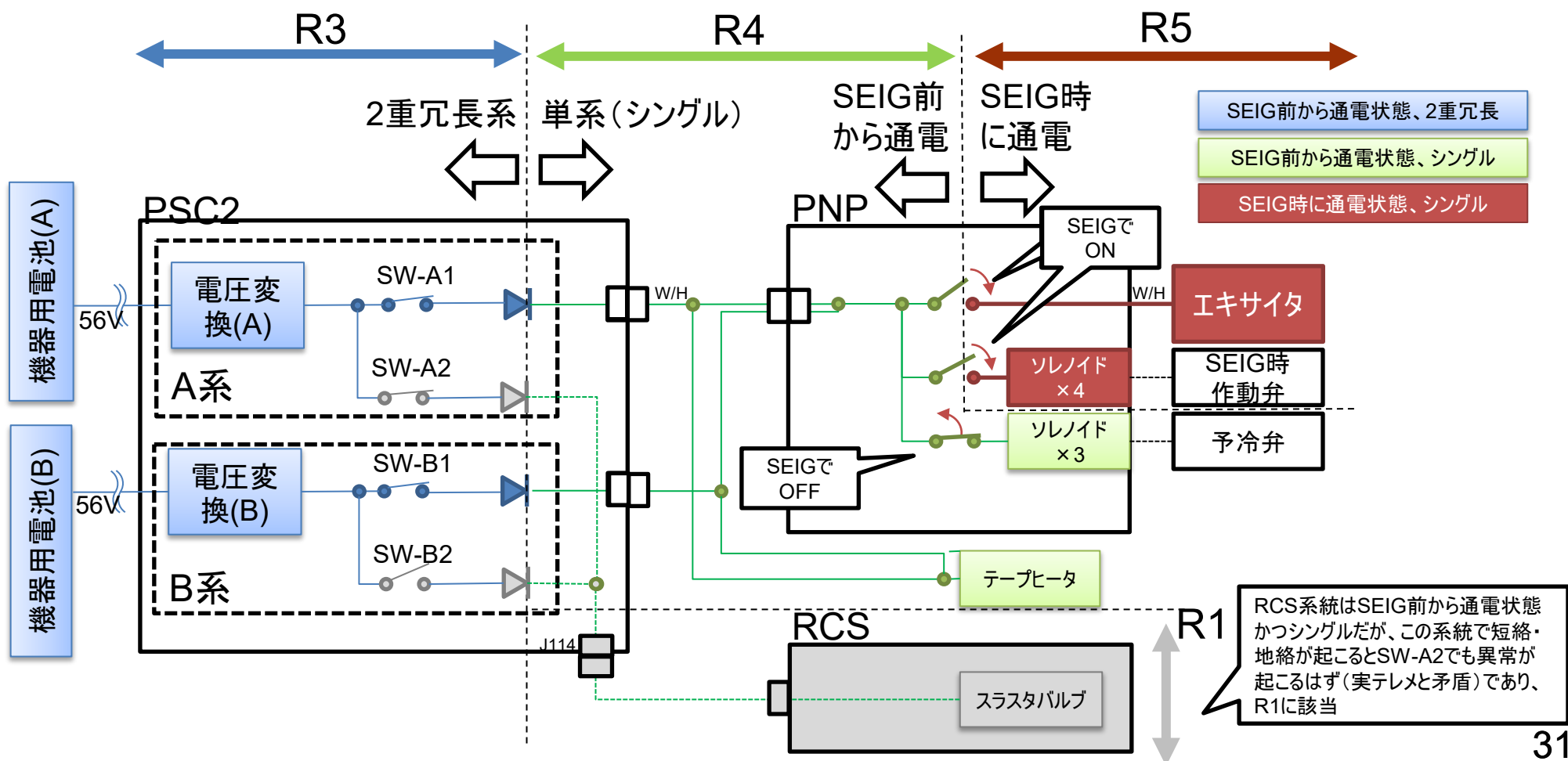
- 前頁までの整理をシステム全体の系統図に示すと下図のようになる。
 - R5～R3はPSC2、PNP、エキサイタ及び当該ライン間を結ぶW/H(ワイヤ・ハーネス)において発生しうる故障モードである。
 - R2、R1はそれ以外の部位で発生しうる故障モードである(本図では省略されているRCSも含む)。



2-2 FTAに基づく範囲の絞り込み

2-2-6 残された要因に対する検討の優先度付け

- 前々頁までの整理をR3~R5に絞った系統図に示すと下図のようになる。
 - R5の故障モード: PNP、エキサイタ及びW/Hにのみ存在
 - R4の故障モード: PSC2突合せダイオード下流~PNP、テープヒータ及びW/Hに存在
 - R3の故障モード: PSC2内に存在



2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

- 本項では、前項「2-2-6 残された要因に対する検討の優先度付け」で「R5」と識別し優先的に実施するとして、
「PSC2から電源供給している下流機器(PNP系統)の短絡または地絡(FTA3.2.3項)」についての調査・検討状況を示す。
- FTA3.2.3項をトップ事象としたFTAを次頁に示す。
- 機体システム側の評価と同様に、FTAに基づき、フライトデータ、工場における再現試験、製造記録の確認および設計レビュー等により順次原因の絞り込みを行っている。

2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-1 2段エンジン内の短絡・地絡のFTA

■ 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

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) の短絡または地絡

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 (39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)

3.2.3.1.1.2 機械的環境 (ランダム振動)

3.2.3.1.1.3 放射線環境

3.2.3.1.1.4 真空環境

3.2.3.1.1.5 熱環境

3.2.3.1.1.6 電磁気干渉

3.2.3.1.1.7 極低温環境

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

3.2.3.1.2.2 製造ばらつき、環境、仕様による複合要因

3.2.3.1.2.3 H3TF1射場整備の特異性

3.2.3.2 ソレノイド弁3個 (予冷関連) 系統の短絡/地絡 (39頁③)

3.2.3.3 ソレノイド弁2個 (上記以外) 系統の短絡/地絡 (39頁⑤)

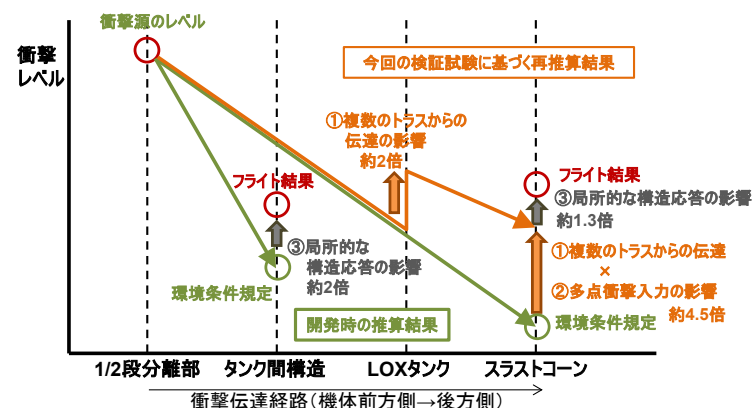
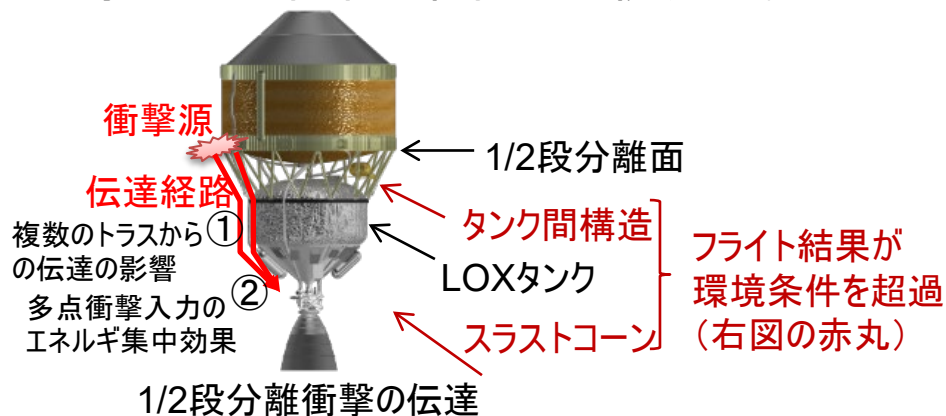
3.2.3.4 テープヒータ系統の短絡/地絡 (39頁①)

△	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 (39頁)。
△	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 (2-3-1項)。
△	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。
×	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。
△	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があり、詳細評価や想定事象が発生するかの試験を計画中。
×	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。
×	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。
×	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。
×	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。
△	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。
×	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。
×	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 (39頁)。
×	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 (39頁)。
×	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 (39頁)。

2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-1 2段エンジン内の短絡・地絡のFTA

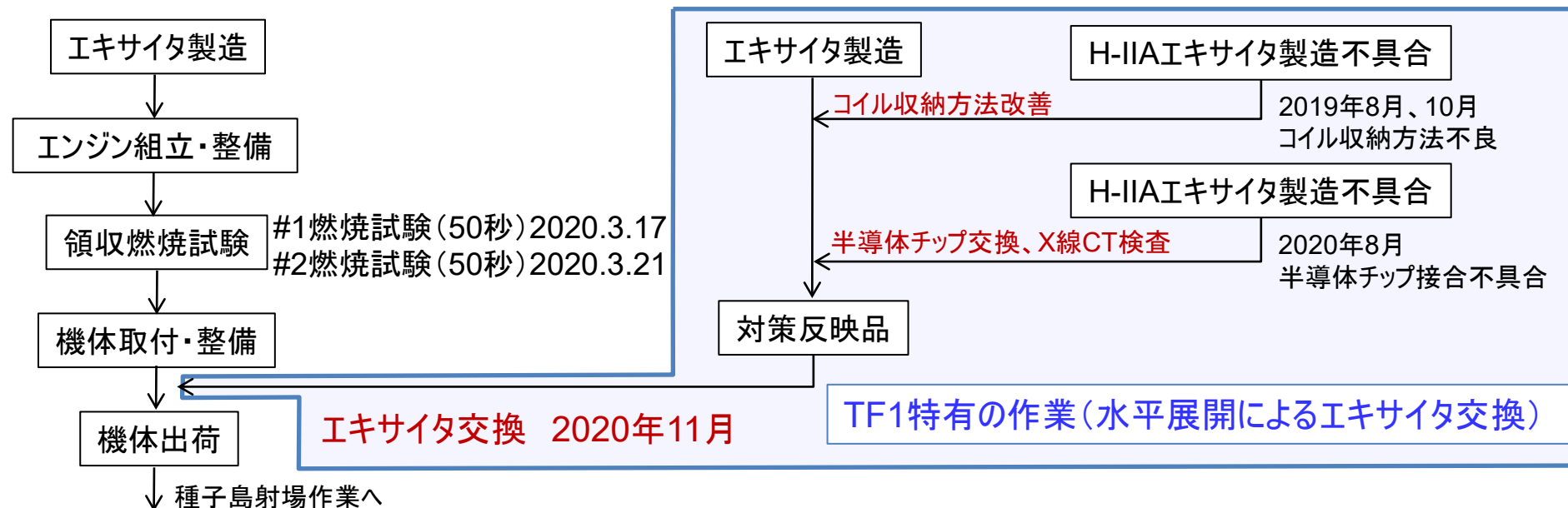
- フライト環境の影響 (FTA3.2.3.1.1) に関し、2段機体の衝撃環境について評価した。
 - 1/2段分離時の衝撃レベルが、分離面 (衝撃源) では規定値内であったが、**2段機体各部で計測した衝撃レベルが、環境条件規定値を超過**したことから、この分離衝撃によりエンジン電気系コンポーネントが短絡・地絡に至った可能性を検討した。
 - 衝撃が超過した原因を究明するため、**実機の2段機体を用いて衝撃伝達特性の検証試験を実施**した結果、以下の要因により**衝撃が想定を上回った**ことが判った。
 - ① タンク間構造の複数のトラス部材を伝達する衝撃の重ね合わせ効果
 - ② 多点から入力する衝撃が、直径が小さくなる側に伝達する際のエネルギー集中効果
 - ③ センサ取付位置における局所的な構造応答の影響
 - 上記を踏まえ、**エンジン電気系コンポーネントの衝撃レベル**を評価した結果、**開発時の衝撃レベル以下**であることを確認。より大きな衝撃レベルを印加した試験にて、機能の正常性を確認した。
 - 以上から、**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 (衝撃レベルの詳細な検証は継続する)。



2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-1 2段エンジン内の短絡・地絡のFTA

- TF1フライト品の特異性(FTA3.2.3.1.2)に関し、エキサイタ及びPNPを中心にエンジン電気系のコンポーネントの製造記録(製造・検査データ)を再確認した。
 - エキサイタ【製造記録に異常は無い。特記事項を以下に示す】
 - TF1のエキサイタは2020年の製造時に発生した**エキサイタ内の半導体チップの接合不良不具合の水平展開としてエンジンAT後に対策品(※)に交換した**(対策品はTF1前のH-IIAF46にてフライト実績あり)。(※)組立途中の後続号機用エキサイタを分解して、X線CT検査済みの半導体チップに交換してTF1用に完成させた。
 - なお、2019年の製造時に2回発生した**エキサイタ内のコイル収納方法の不良で地絡させた不具合を受けて、改善した収納方法でTF1用を組み立てている**(改善した収納方法はTF1前のH-IIAF43, 45, 46にてフライト実績あり)。



2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-1 2段エンジン内の短絡・地絡のFTA

- PNP【製造記録に異常は無い。特記事項を以下に示す】
 - TF1のPNPは2018年の製造時に発生したH-IIA F42用のソレノイド作動不良（内部部品の接触）の水平展開としてエンジンAT前にソレノイドを分解して対策品（接触しない寸法部品）に交換している（対策品はTF1前のH-IIA F42～F46にてフライト実績あり）。
 - ワイヤハーネス/テープヒータ【製造記録に異常はない。特記事項は無い】
- 射場作業について以下の通り異常が無いことを確認した。
- 3月2日の総合機能点検において、PNPのソレノイドバルブ及びエキサイタが正常に作動したことを確認した（フライトでは本点検時よりも同時作動するRCS基数が多い）。
 - 3月2日の点検以降、打上げまでにエンジンの点検やエンジンへのアクセスがないことを確認した。
- 第2段エンジンの保管や作動実績について以下の通り異常が無いことを確認した。
- TF1用2段エンジンは打上げ時点で製造開始後約3年半経過していた。各コンポーネントは寿命要求範囲内であるが、H-IIA用2段エンジンと比較すると長期保管されていた。
 - PNP作動寿命（5000回）及びエキサイタ作動寿命（300回）に対し、TF1のPNP作動回数は1000回未満、エキサイタ作動回数は87回と寿命よりも小さい。
- 以上より、製造記録等を再確認した結果、不具合事象に直接繋がるような異常は認められていないが、製造時の特記事項に着目し、故障シナリオの検討を継続する。

2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-1 2段エンジン内の短絡・地絡のFTA

- フライトデータ、再現試験、製造記録の確認および設計レビュー等の結果を踏まえた評価のまとめ
 - FTAの評価状況
 - エンジンの電気系コンポーネントについて、**製造記録等を再確認**した結果、不具合事象に直接つながるような**異常は認められなかった**(FTA 3.2.3.1.2.1、3.2.3.1.2.3)。
 - H3フライト時の特異性である1/2段分離時にエンジンの電気系コンポーネントに印加された衝撃について検証試験等を行った結果、**1/2段分離時の衝撃が短絡・地絡の原因とは考えにくい状況**である(FTA3.2.3.1.1.1)。
 - H3のフライト環境の影響のうち、**ランダム振動**(FTA3.2.3.1.1.2)及び**真空環境**(FTA3.2.3.1.1.4)について調査中ではあるが、**現時点で短絡・地絡の原因と特定するに至っていない**。
 - この結果から、現在は、**TF1の電気系コンポーネントが今回の検証試験等に使用した製品と同じに製造されていればフライト時に短絡・地絡が生じるとは考えにくい状況**である。
 - 原因究明の観点
 - 上記の状況から、**故障に至る要因の可能性検討を拡げることとし、たまたま製造のばらつきの範囲で短絡・地絡しやすい状態**となっており、製造後の検査や地上試験では合格であったものが**フライト環境等によって短絡・地絡に至るような複合要因(故障シナリオ)**についても検討することとした。(FTA3.2.3.1.2.2)。

2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

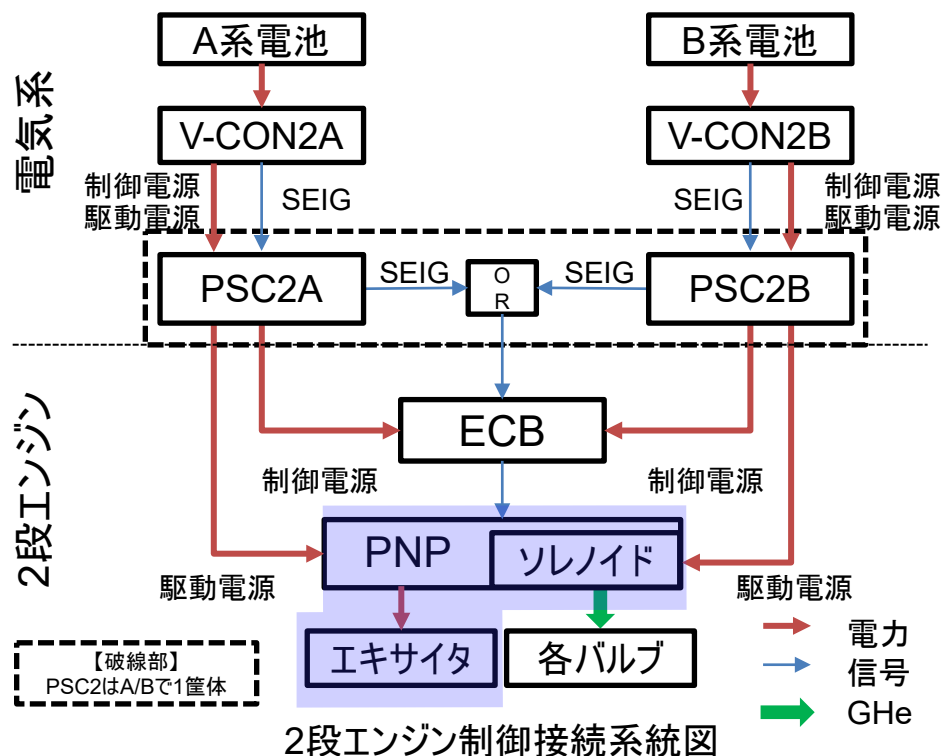
■ 故障シナリオの検討と原因究明の進め方

- 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 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

- 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。基盤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。

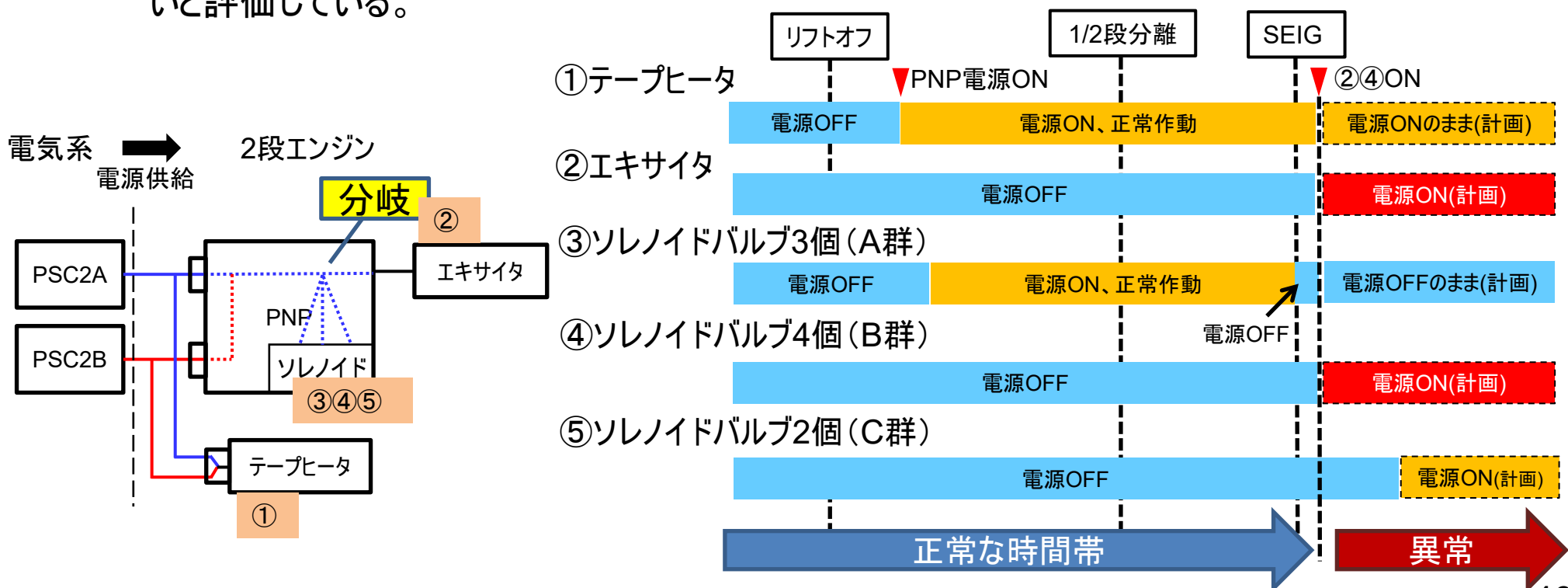
2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

■ 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 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

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 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

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

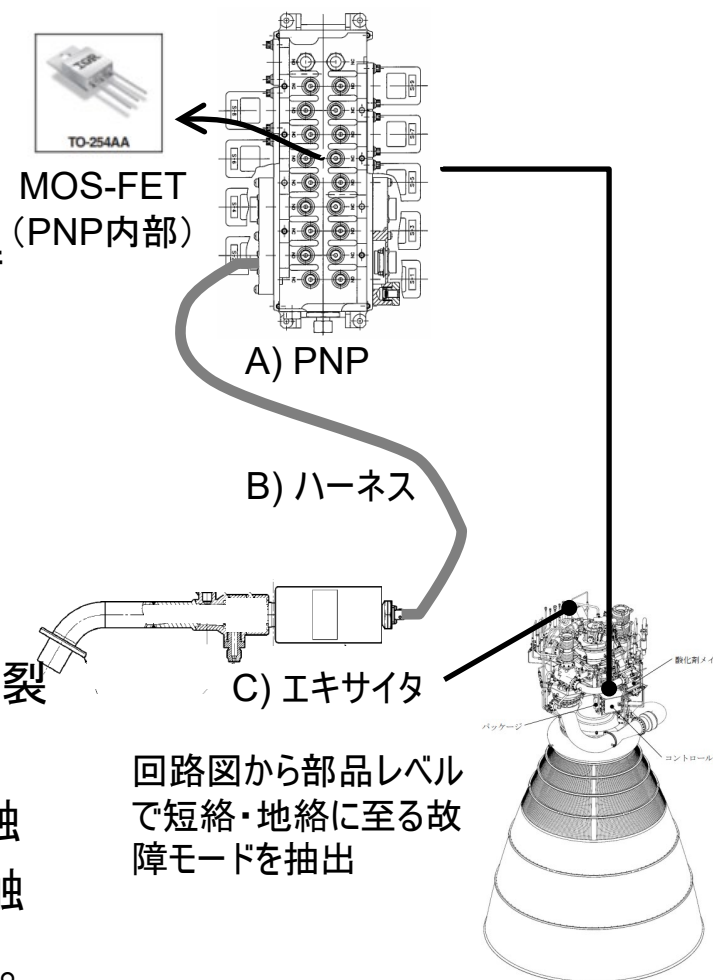
B) PNP-エキサイタ間ハーネス

- 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等を次頁に整理する。



2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

② 故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(1/4)

- 短絡・地絡事象を引き起こす可能性のある前頁に整理した部品に対し、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下表の通り検討した。シナリオは継続検討中。
- 各故障シナリオを検証するための試験等を計画・実施中。

No.	故障部位		シナリオ	検証内容
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により確認中。
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膜が摩耗、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中。
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膜が摩耗、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。	
4	ハーネス (PNP-エキサイタ間)	シールド結線部	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膜損傷が発生し得るか、開発残品・新規製作品のX線CT検査により確認中。

(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。 43

2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

②故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(2/4)

No.	故障部位		シナリオ	検証内容
5	ハーネス (PNP-エキサイタ間)	シールド 結線部	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中。
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中。
7		コネクタ	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。	検討中
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。
9			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。	検討中

(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 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

②故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(3/4)

No.	故障部位		シナリオ	検証内容
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。	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。
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しまい、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。	検討中
12			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。	
13		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中。
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。	取扱い、地上試験、打上時の振動衝撃で破損しオープンとなるか、部品レベルの振動試験等による確認を検討中。

(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 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

②故障シナリオの抽出および③故障シナリオの検証(4/4)

No.	故障部位		シナリオ	検証内容
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。	検討中
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。	検討中
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。	

(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。

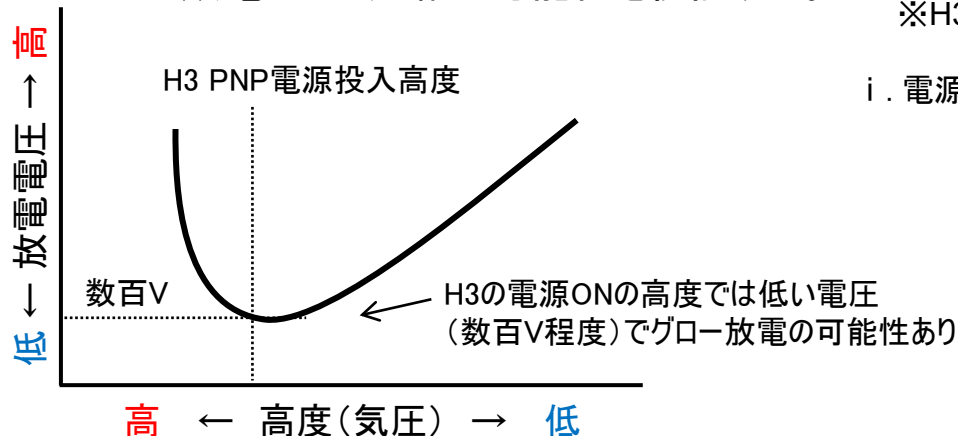
2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

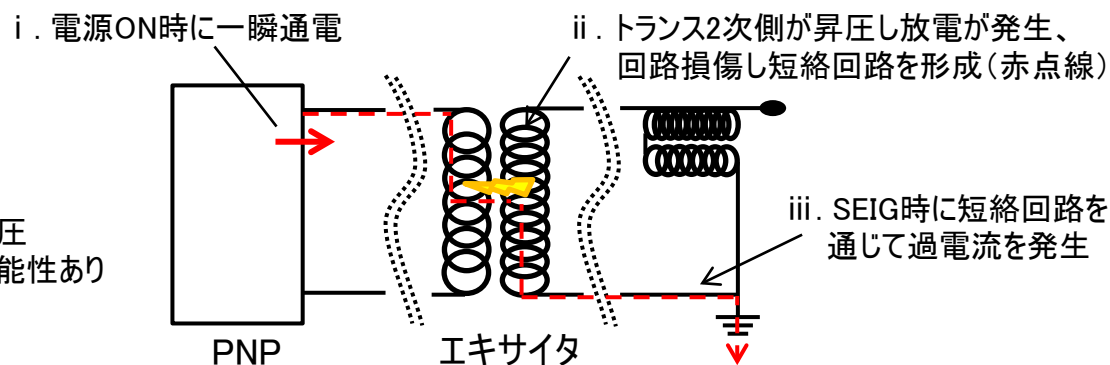
■ 故障シナリオと検証方法の具体例(その1)

- 故障シナリオNo.13、エキサイタ内部のトランスの故障。
- シナリオ詳細(時系列)
 - i. リフトオフ後のPNP 電源ON時にPNP内のMOS-FET(トランジスタの一種)が一時的にONとなり、エキサイタへの通電が発生(設計意図ではないが原理的に起こり得る事象であり、短絡・地絡再現試験にて観測)。
 - ii. H3でPNP電源をONする高度帯は高度(気圧)と放電電圧の関係(左下図)から数百V程度の電圧でグロー放電を生じやすい高度(気圧)の領域*であり、通電により数百V程度に昇圧したエキサイタ内部のトランス2次側と1次側の間で放電が発生し、短絡回路を形成。
 - iii. SEIG時にエキサイタに通電した際に、短絡回路を通じて過電流が発生。
- 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。

※H3のPNP電源ONはH-IIAより高い高度で実施(H-IIA:約10km、H3:約50km)。



飛行高度と放電電圧の関係(イメージ図)



故障シナリオのイメージ

2-3 FTA3.2.3 2段エンジンの評価

2-3-2 故障シナリオの検討

■ 故障シナリオと検証方法の具体例(その2)

- 故障シナリオNo.2及びNo.3、PNP内部のFET(トランジスタ)とソレノイドのリード線の故障。
- シナリオ詳細(時系列)
 - i. 製造時に内部配線がケースや角部等に接触した状態かつ完全に固縛されない状態で収納される。
 - ii. 製造後の振動試験、エンジンATを経て徐々に配線の被覆が摩耗。
 - iii. フライト時の振動等で被覆が更に摩耗が進み、最終的に配線の素線と金属部(ケース等)が接触。
 - iv. SEIG時にソレノイドへ通電した際に、地絡箇所を通じて過電流を発生。
- 検証方法
 - 数千秒のエンジン開発試験を経た供試体(長時間振動環境に耐荷)を分解し内部配線の損傷の兆候有無を確認する。

3. 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

- フライトデータと再現試験の結果を踏まえ、FTAの要因の絞り込みを進めた。
 - PSC2の過電圧・過電流検知および電源遮断機能は、設計意図通りに動作することを確認したが、検知回路の二重故障ケースなど事象に至る可能性が残っていないか評価継続中の状況。
 - PSC2から下流機器の消費電流（正常な機器動作範囲）については、SEIG時の過渡的な電流や、最大負荷時の電流に対し余裕のある設計となっており、正常動作範囲での過電流検知の可能性はない。
 - PSC2からRCSに電源供給する系統での下流機器の短絡または地絡は、フライトデータから可能性はない。
 - 機器BIT異常検知の発生タイミングから、PSC2から電源供給している下流機器（PNP系統）の短絡または地絡が発生した可能性が高いと評価している
- 短絡もしくは地絡に至った要因については、現時点で特定に至っていないが、あらゆる可能性について検討を継続している。
- FTA上残る要因（△、△ー）について今後の検討範囲と優先度を設定し、現時点可能性が高いと考えられる2段エンジン内の短絡もしくは地絡について原因究明（※）を優先して進める。
 - 短絡、地絡に至る可能性のある箇所への識別、事象に至った故障シナリオを複数設定し、検証を進めている。
 - 並行してR4/R3の可能性も排除せずに検証、評価を継続中。 （※）H-IIA/H3の差異の詳細評価を含む

■ 今後の進め方

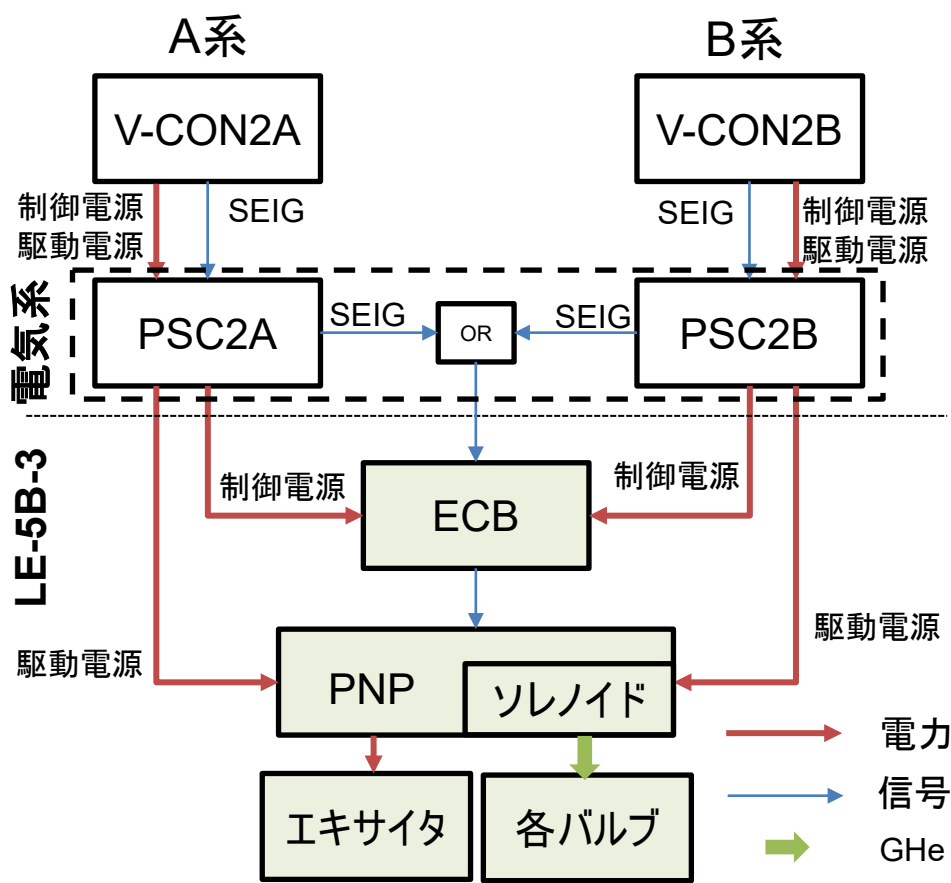
- TF1の製造、射場作業およびフライトでの取得データと整合する故障シナリオについて検証試験により確認し、最終的な原因の絞り込みを行う。

參考資料

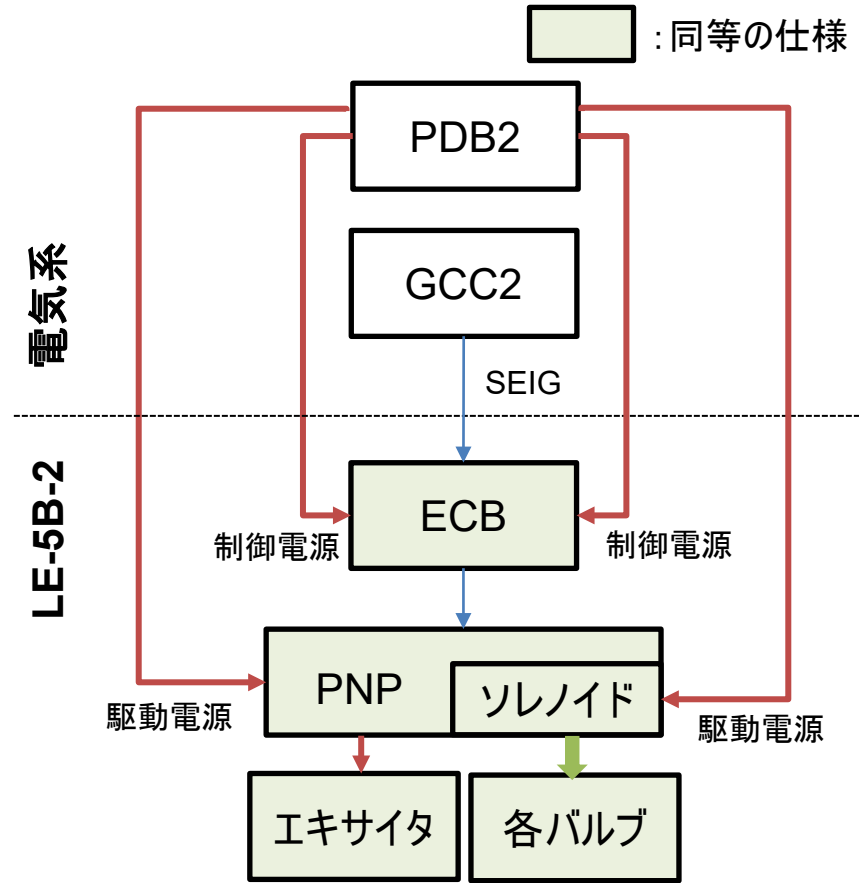
H3ロケットとH-IIAロケットの電気系統の違い

■ 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)

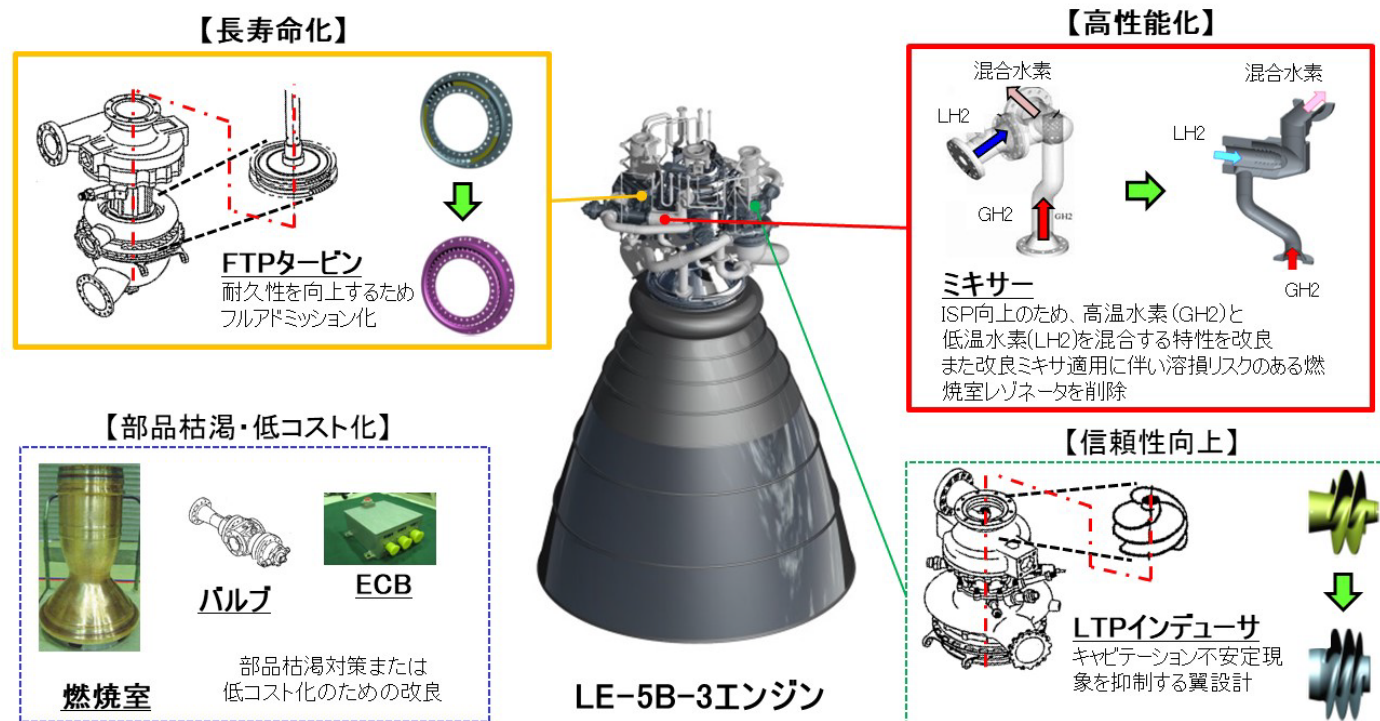


2段エンジン制御接続系統図(H-IIA)

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。



H-IIAロケットへの影響評価

- 原因究明状況として、H3ロケット2段エンジンのPNP系統で短絡、地絡に至る可能性についても深掘り検討を進めていることから、今後打上げを控えているH-IIAロケットへの影響について、並行して評価を進めているところ。
- H3ロケットおよびH-IIAロケットにおいては、2段エンジンのPNP系統は電氣的に同一仕様であることから、現状では懸念を排除できていない。
→【参考資料「H3ロケットとH-IIAロケットの電気系統の違い」】
- 今後、詳細要因の深掘り状況を踏まえつつ、H3ロケット試験機1号機とH-IIAロケット後続号機について、フライト環境の差異や仕様の共通性に着目しながら、影響評価を継続する。
- また、仕様の共通性から懸念を排除できない状況が継続もしくは確定に至る可能性を想定し、短絡、地絡に至る懸念を全て排除する対策について、並行で検討を進める。

原因究明体制

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

S&MA総括

安全・信頼性推進部

環境試験技術ユニット

チーフエンジニア室

連携

三菱重工業
原因究明チーム

電気系等に関わる専門家が参加

(必要に応じ外部からの参加も検討)

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