

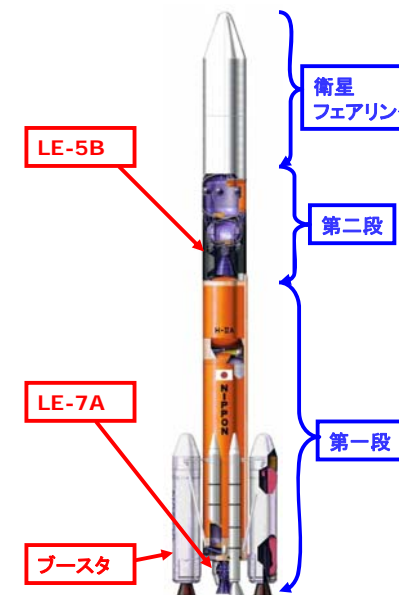
H-IIAロケットのバルブの信頼性向上へ向けた開発の情報化

大山聖, 飯塚宣行, 藤本圭一郎, 角有司
宇宙航空研究開発機構



活動の背景と目的

JAXA基幹ロケット H-IIA



特徴

- 2段式ロケット+固体ロケットブースター
- 静止トランスファ軌道への打ち上げ能力 3.8-5.8t
- 12回の打ち上げに成功(失敗1回)

問題点:工場・射場において不具合があとを絶たない

- その大部分は設計に立ち戻るもので**コスト・スケジュール**に大きく影響 (一日あたり数千万円, 打ち上げ一回あたり数百億円)
- 不具合の原因は設計上流にある
- 特に, 推進系やエンジンで不具合が発生している

*)本資料の著作権は著者に帰属します。

ロケットエンジン設計プロセスの問題点

- ほぼ10年以上新規開発の間隔があくために設計ノウハウが失われていく
- コンポーネントごと、分野ごとなどで設計開発担当者が分かれており、これらの担当者間の情報共有が不十分・非効率
- 信頼性・性能・コストなどについてエンジンシステム全体のバランスを考慮しながら設計を行っていく仕組みが不足
- 数値シミュレーションが十分に利用されておらず、経験による設計、試験による実証に頼らざるを得ない



ロケットエンジンの設計プロセスの革新が必要

5

近々に解決したい課題

バルブ

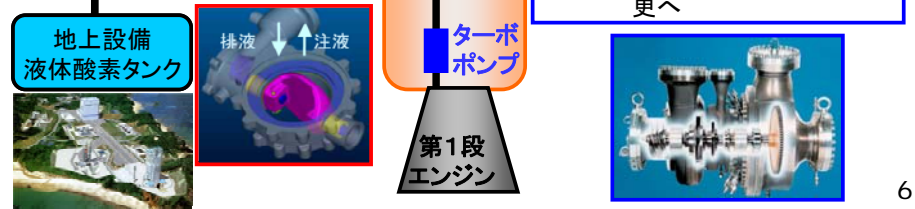
- フライト中に推薬の外部への漏れを遮断する。
- 不具合が多く発生している
 - 稼動部→壊れやすい
 - 稼動部→オペミス
 - 多数使われている
 - エンジンシステムの課題がバルブの要求変更へ

機体

機体
液体酸素
タンク

ターボポンプ

- フライト中に推薬をエンジンに送る
- 不具合が多く発生している
 - 設計要求が高い
 - メカニズムが明らかにされていない(経験に頼る)
 - 三社間(JAXA/ MHI/ IHI)での情報共有が必要
 - エンジンシステムの課題がターボポンプの要求変更へ



6

我々の活動の目的と活動方針

世界一信頼性のあるロケットエンジンを
10年後に日本で作る

そのために、最先端の情報技術を使って現在の設計開発プロセスを革新する

- バルブの不具合対策情報化やポンプインターフェース情報共有が緊急の課題であり、まずはそこに対処
 - バルブやポンプの設計開発プロセスの効率化・確実化
 - 現場の人たちの情報化に対する理解を得る
 - バルブ・ポンプインターフェースの情報化の活動で経験をつむ
- 上記活動ののち、エンジンの設計開発プロセスの革新に取り組む

7

我々の活動の目的と活動方針

	FY17	FY18	FY19	FY20	FY21	FY22	FY23	FY24
バルブ情報化	分析	試作	本システム			実利用・広くJAXA事業に展開		
ポンプ/IF 情報共有		分析	試作	本システム		実利用・広くJAXA事業に展開		
プロセス改革	バルブ・ポンプ・ 噴射器		分析		システム開発		実利用	本システム

次期ブースタ
エンジンLE-X

研究フェーズ

開発フェーズ
(予定)

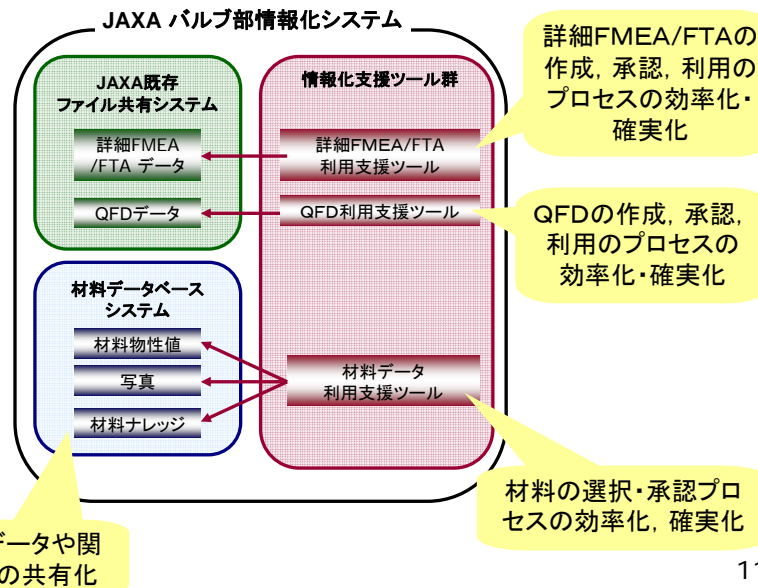
8

バルブの設計開発プロセスの情報化

現状分析

- 現場にかかわる人の聞き取り調査
- これまで起こった不具合の再分析
 - なぜなぜ分析を行い、不具合の根本原因を抽出
 - 抽出された根本原因について不具合の重要度をもとにランク付け
- 結果:
 - 詳細FMEAの情報共有・利用支援 (分析結果)
 - QFDの情報共有・利用支援 (分析結果)
 - FTAの情報共有・利用支援 (現場からの要求)
 - 材料特性の情報共有・利用支援 (現場からの要求)

バルブ部情報化システム



詳細FMEA/FTA利用支援ツール 詳細FMEAを使った作業の問題点

- 表形式では全体を俯瞰することができない(数百行～！)
- 表形式ではリンクを利用するのが大変
 - 重複箇所を示すリンク
 - 原因と結果をつなぐリンク
- 文言の統一ができていない
 - いろいろな人がいろいろなときに利用する
- 表層的なデータしかない
- FTAを作成するための情報が含まれているのに、FTAと詳細FMEAが別々に作られている
- ネットワークに対する対応がとれない

詳細FMEA/FTA利用支援ツール
詳細FMEAとFTAが別々に作られている

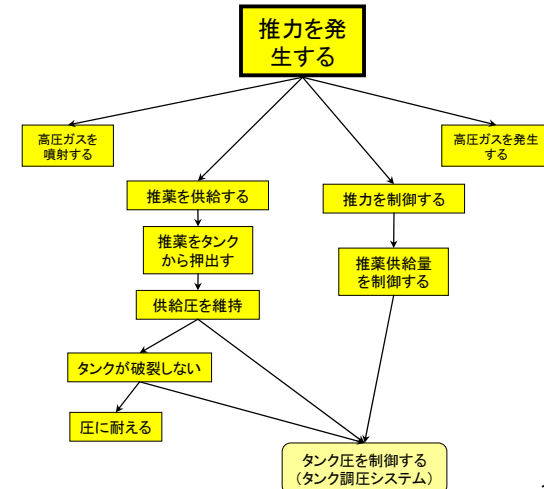
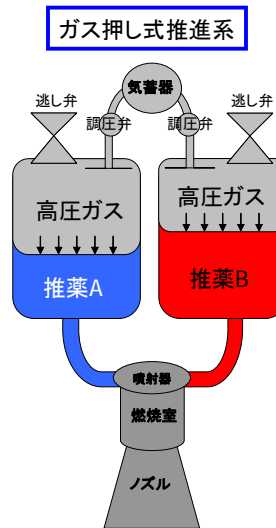
部品			機能	故障モード	不具合モードの原因	重要度			不具合事例	対処・課題
レベル1	レベル2	レベル3				発生可能性	影響度	検出難度		
ライター	ケース	ライター機構の保持	外部力が着火機構に伝わる	ケースが壊れる	1	4	1	4		
		酸素を供給する	酸素を供給しない	キャップの破損・変形 キャップのヒンジの破損	3	3	2	18		
	キャップ	ライター機構の保持	外部力が着火機構に伝わる	キャップが壊れる	1	4	1	4		
	消火する	消火しない	キャップの破損・変形 キャップのヒンジの破損	3	3	2	18	4月23日に発生。被害大	ヒンジを強化した	
着火部	回転ドラム	ライター機構の保持	外部力が着火機構に伝わる	回転ドラムがプリントに接しない	1	4	4	16		
	プリント(発火材)	プリントをこする	回転ドラムがプリントに接しない	回転機構の破損	1	4	4	16		
オイル供給部	総芯	火アを出す	火花が出ない	回転ドラムがプリントに接しない	2	3	4	24		
	オイル供給部	吸い上げる	オイルを吸い上げない	総芯が切れた オイルが空になる	1	4	4	16	1月7日に発生。ポケットがオイルで汚れた	タンク壁を厚くした
		保管する	オイルがなくなる	タンクの破損	1	4	1	4		

FTAとしてみた場合

プリントから火花が出ない
←回転ドラムがプリントに接しない
←回転ドラムの回転機構の破損

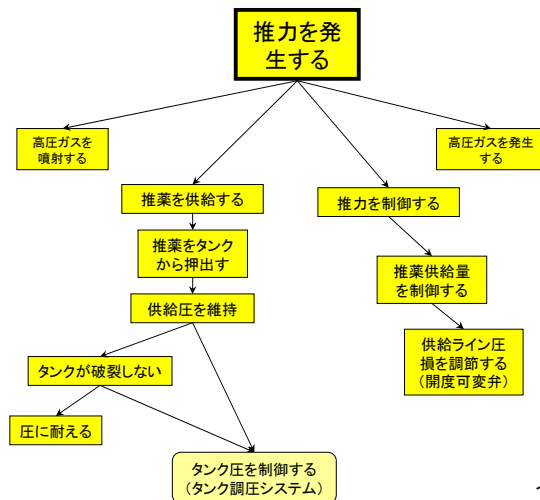
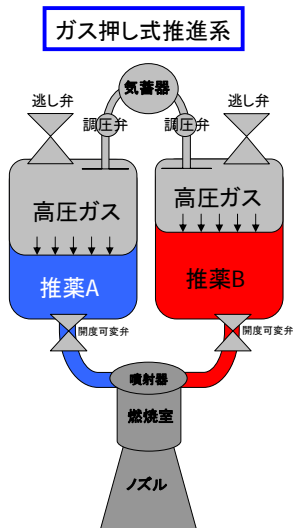
詳細FMEA/FTA利用支援ツール
FTAはネットワークに対する対応がとれない

機能分解木のネットワークの例



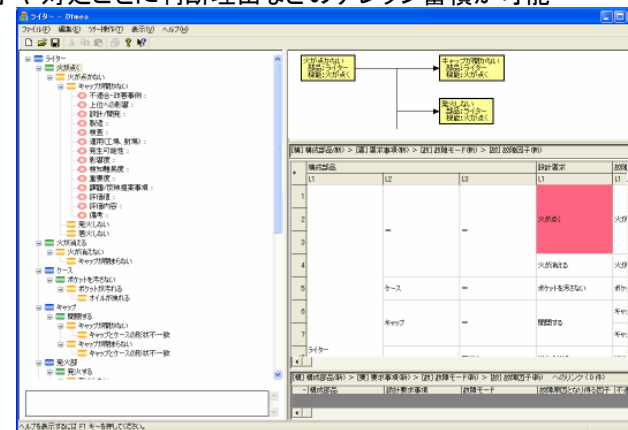
詳細FMEA/FTA利用支援ツール
FTAはネットワークに対する対応がとれない

機能分解木のネットワークの例(ネットワークにしない例)



詳細FMEA/FTA利用支援ツール
詳細FMEA/FTA利用支援ツールの特徴

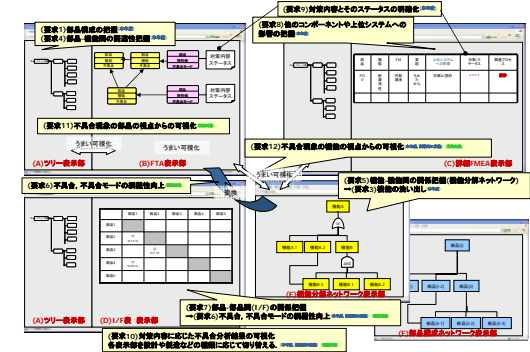
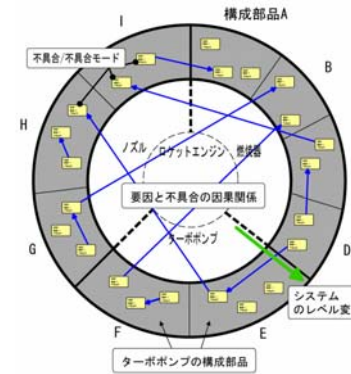
- 詳細FMEAデータとFTAデータの一体化・同時表示
- ツリー構造表示で全体を把握しやすとした
- FTAをネットワークとして扱うことを可能とした(予定)
- 過去の入力からの選択による文言統一
- 故障因子や対処ごとに判断理由などのナレッジ蓄積が可能



のこされた技術的課題

残された技術的課題

- 機能分解木, FTAなどのネットワーク化と設計プロセスへの親和化
Failure Tree AnalysisからFailure Network Analysisへ
- インターフェースに関する不具合の分析方法
- SE技術(詳細FMEA, FTA, QFD, Event treeデータ, 機能分解木, 信頼性ブロック図など)の一体化
- QFD, 詳細FMEAやFTAを使った設計情報やナレッジの体系化



18

参考文献

- LE-X... Akihide Kurosu, Nobuhiro Yamanishi, Naoki Tani, Okita Koichi, Akira Ogawara, Tadaoki Onga, and Masahiro Atsumi, "Study of Next Booster Engine LE-X in JAXA," AIAA-2006-4700, 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, 2006.
- 輸送系開発情報化... 大山 聖ら, JAXA基幹ロケットバルブの信頼性向上へ向けた開発の情報化, 第17回日本機械学会設計工学・システム部門講演会論, 2007, pp. 201-204.
- インターフェース分析... 藤本圭一郎ら, 詳細FMEAデータをもとにしたインターフェース情報の可視化, 第17回日本機械学会設計工学・システム部門講演会論文集, 2007, pp. 205-208.

謝辞

詳細FMEA/FTA利用支援ツール, QFD利用支援ツール, 材料データベースシステムおよび材料データ利用支援ツールの開発にあたり, プログラミング等でご協力いただいている(株)富士通長野システムエンジニアリングの皆様
に謝辞を表す。