

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

Introduction of IT Technology into D&D Process of JAXA's Rocket Engine Valves for Reliability Improvement

| | | |
|---------------------------|--|---------------|
| ○正 大山聖(JAXA) | 飯塚宣行(JAXA) | 正 藤本圭一郎(JAXA) |
| 正 角有司(JAXA) | 正 藤井孝蔵(JAXA) | 南里秀明(JAXA) |
| 沖田耕一(JAXA) | | |
| Akira OYAMA, JAXA, | 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa | |
| Nobuyuki IIZUKA, JAXA, | 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki | |
| Keiichiro FUJIMOTO, JAXA, | 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa | |
| Yuuji KADO, JAXA, | 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki | |
| Kozo FUJII, JAXA, | 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa | |
| Hideaki NANRI, JAXA, | 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki | |
| Koichi OKITA, JAXA, | 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki | |

This paper describes recent activity in JAXA aiming reformation of design and development (D&D) process by introduction of information technology, simulation technology, reliability engineering, etc for rocket valve reliability improvement. In this activity, JAXA's information system for rocket valve D&D will be developed by the end of FY2007. This information system consists of detailed FMEA/FTA utilization support tool, QFD utilization support tool, and material database system and material database utilization support tool. This information system will help to improve efficiency and reliability of D&D process of JAXA's rocket valves and other JAXA's products.

Key Words: H-IIA rocket, FMEA, FTA, QFD, Material Database system

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構(JAXA)の基幹ロケットであるH-IIAロケットはこれまで11回の打ち上げに成功し、20機近くの人工衛星を軌道に投入してきており、日本の宇宙開発に不可欠な存在となっている。しかしながら、6号機では固体ロケットブースターの不具合により打ち上げが失敗したほか、打ち上げが成功した場合でも地上試験や打ち上げ準備段階で不具合が発生し設計段階や製造段階まで作業が戻ることで、スケジュールの遅延や打ち上げコストの増大を招くことがしばしばあった。また、次世代JAXA基幹ロケットにはさらなる信頼性の向上やコスト削減が要求されており、それらを実現するにはロケット、特にロケットエンジンの信頼性を向上させるための設計・開発プロセスの効率化および高信頼性化が必要であるとされている。

JAXAでは情報工学技術および計算工学技術をJAXA事業に積極的に展開するため、情報・計算工学センター(通称JEDIセンター)を平成17年度に設立した。著者らは情報工学技術、計算工学技術、信頼性工学技術などを積極的に利用してロケットエンジンの設計開発プロセスを革新し、宇宙輸送システムを高信頼性・低コスト化することを目標に活動を行っている。本論文ではわれわれのこれまでの活動内容の一部であるH-IIAロケットバルブの設計開発プロセスの情報化の活動を報告し、これまでの活動により明らかになった問題点などを示す。

2. ロケットエンジン設計開発プロセスの問題点

はじめに、現状のロケットエンジン設計開発プロセスの問題点について整理を行った。その結果、以下の点がロケット設計開発プロセスの大きな問題点であることがわかった。

- 1) 新規ロケットエンジンの開発は10年おきなどにしか行われないため、設計開発ノウハウがきちんと伝承されずに失われていく。
- 2) ロケットエンジンは非常に大きなシステムであるため、コンポーネントごと、分野ごとに設計開発者が分かれており、これらの設計開発担当者間の情報共有が不十分・非効率で

ある。

- 3) 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えながら設計を行っていく仕組みが不足している。
- 4) 極限状態の流体现象が存在するため、コンピュータシミュレーションが設計開発プロセスにまだ十分に浸透しておらず試験に頼らざるを得ない。

3. 活動目標と活動方針

われわれの活動の最終的な目標は世界最高の信頼性と競争力を有するロケットを開発し、安全に人が乗れる宇宙輸送システムを開発すること⁽¹⁾であるが、まずはバルブの設計開発プロセスの情報化に取り組むこととした。この理由は

- 1) バルブはロケットのいたるところで用いられており、信頼性向上・コスト削減の大きなニーズがあること
- 2) 比較的短期間で対処が可能であり、現場の人たちからわれわれの活動への理解を得ることで、今後のロケットエンジン全体の設計開発プロセスの改革がスムーズに進むようにすること
- 3) われわれ自身が設計開発プロセスの情報化・革新の経験をつむことにより、今後の活動を着実に進めるための経験を積むことである。

バルブの設計開発プロセスの情報化が完了した後、平成24年度頃の開発フェーズへの移行を目指して研究が進められている次期ロケットエンジンLE-X⁽²⁾について、設計開発プロセスの期間半減、コスト半減、信頼性2倍を目指して、ターボポンプ、噴射機などのエンジンコンポーネントの設計開発プロセスの革新、エンジンシステム全体の設計開発プロセスの改革に取り組む計画である。また、緊急の要求があるターボポンプのインターフェース情報共有システムの開発については先行して平成18年度から着手している(図1)。

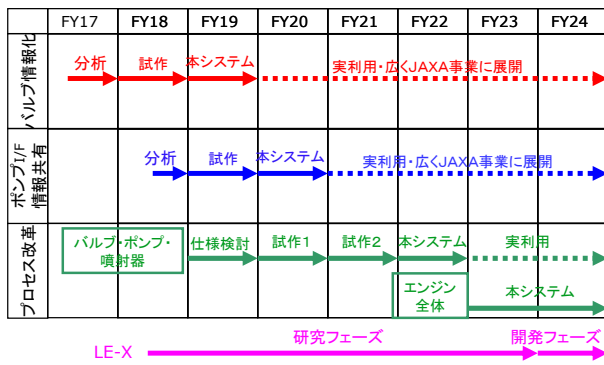


Fig. 1 Rocket engine D&D process reformation schedule.

4. バルブの設計開発プロセスの高信頼性化・高効率化

はじめに行ったのは現在のバルブの設計開発プロセスの問題点を探るため、担当者のヒアリングおよび過去に発生した不具合の再分析を行うことである。その結果、バルブの信頼性を向上させるためには

- 詳細 Failure Mode and Effect Analysis (詳細 FMEA⁽³⁾)を積極的に利用すること
- Fault Tree Analysis (FTA⁽⁴⁾)を積極的に利用すること
- 品質機能展開(Quality Function Deployment, QFD⁽⁵⁾)を積極的に利用すること
- 材料データベースを開発し、積極的に利用すること

が必要であることがわかった。実際、詳細 FMEA や QFD を試行しロケットバルブの信頼性向上に役に立つことが示されているが⁽⁶⁾、設計開発プロセスにこれらの手法を十分に浸透させるためには作成・チェック・利用等の作業を効率化することが必要であると考えられる。このことから、

- 1) 詳細 FMEA,FTA 利用支援ツール
- 2) QFD 利用支援ツール
- 3) 材料データベース及び材料データベース利用支援ツール

を新規に開発することにした。これまで作成されたバルブの詳細 FMEA,FTA を分析した結果、両者の有する情報はほとんど共通しており、大きく異なるのは整理・表示の方法だけであることから、情報を一元的に管理し、入力・修正の作業を効率化するため、詳細 FMEA データおよび FTA データはひとつのデータとして扱うこととし、ツールもひとつのものとして扱うこととした。

図 2 に平成19年度末に完成予定のバルブ部情報化システムの構成を示す。バルブの詳細 FMEA/FTA/QFD に関しては共有すべき人数が限られていることから既存のファイル共有システムを用いて情報を共有することとした。また、材料データについては利用者が多いこと、データ同士の関連付けが必要であることなどから新規にデータベースシステムを開発した。材料に関するデータとしては材料物性値のほかにも設計開発に有用な破断面画像などの写真データ、材料に関するナレッジなども一元的に扱うこととした。また、これらのデータの作成・チェック・利用を効率かつ確実にを行うことを可能にするため、それぞれについて利用支援ツールを開発することとした。

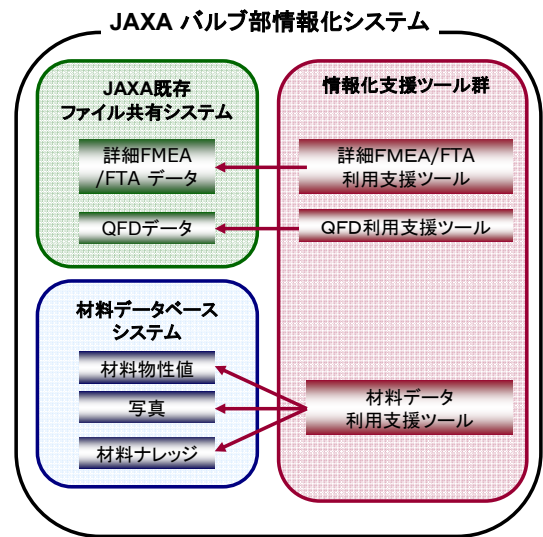


Fig.2 JAXA's Information system for rocket valves.

4.1 詳細 FMEA/FTA 利用支援ツール

これまでバルブの詳細 FMEA はマイクロソフト社のエクセルで作られていたが、詳細 FMEA のデータは何百行にもなり、かつ重複している行も多かったため、詳細 FMEA の作成者・利用者・承認者の作業効率が良いとはいえなかった。また市販のソフトウェアも存在するが FMEA と FTA を一体として扱う機能が不十分であったため、JAXA 独自のソフトウェアを開発することとした。開発中の詳細 FMEA/FTA 利用支援ツールのユーザーインターフェースを図 3 に示す。左側に全体を俯瞰できるツリービューウィンドウがあり、その横に詳細 FMEA,FTA のウィンドウが並べられている。詳細 FMEA や FTA に必要な項目同士のリンク付けなどがツリービューウィンドウでできるようになっており、製作者・利用者・承認者の作業が著しく改善されると期待されている。なお、本ソフトウェアは JAXA およびロケットエンジン製造メーカーでの展開のしやすさを考え、ウィンドウ用のソフトウェアとしている。詳細については文献[7]を参照されたい。

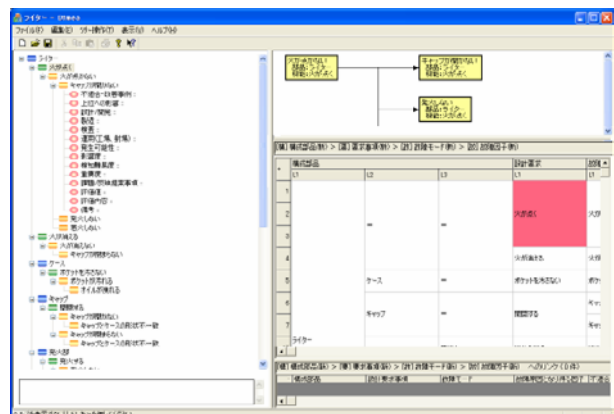


Fig.3 User interface of JAXA's detailed FMEA/FTA utilization support tool.

4.2 QFD 利用支援ツール

QFD についても JAXA において利用を始めた段階であるが、作成、確認などの作業が非効率的であった。QFD の利用者のヒアリングを行った結果、必要とされる機能のほとんどがエクセルのマクロ機能で実現可能であったことから、本活動で開発する QFD 利用支援ツールはエクセルのマクロで作成することとした。エクセルを選択した理由は、JAXA および製造メーカで標準的に使われていること、JAVA で同等の機能を持つプログラムを組むとソフトウェアのレスポンスが遅くなってしまうこと、である。

本活動で開発したソフトウェアの大きな特徴は

- QFD に先立って行われる AHP⁽⁸⁾にも作業時間がかかることから AHP に関わる作業も効率化した。
- 一般に QFD は重要度を要求品質展開表、品質特性展開表、機能展開表、機構展開表とマッピングしていくが、ユーザーが指定する任意の展開表から任意の展開表へマッピングできるようにしており、コスト展開や信頼性展開など幅広く利用することが可能である。
- 辞書データを有し、文言の統一が可能。

である。市販の QFD ソフトもいくつか存在するが、有償もしくは特別なソフトウェアが必要であり、また AHP や任意展開表から任意展開表への展開に対応していなかったりしていたため自主開発した。

本活動で開発中の QFD 利用支援ツールのユーザーインターフェースを図 3,4 に示す。画面上のボタンを順に選択していくことで QFD を初心者でも間違いなく簡単に実行できるようにしている。

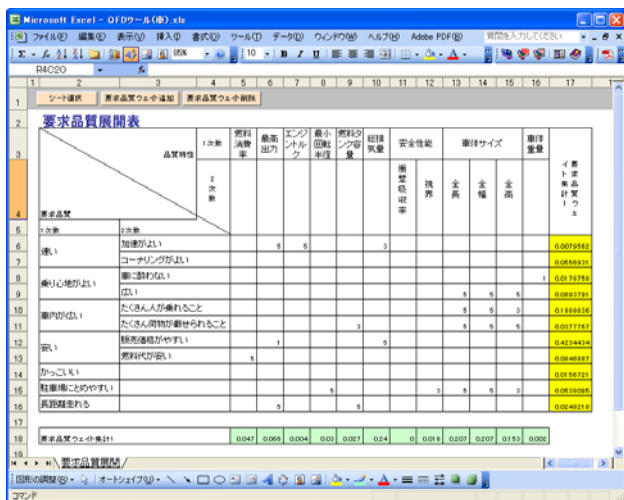


Fig. 4. User interface of JAXA's QFD utilization support tool (QFD).

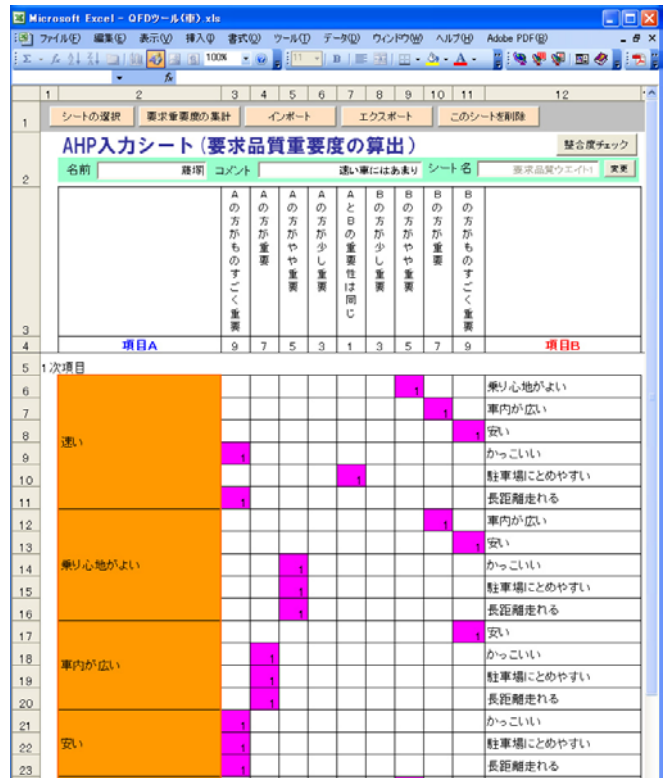


Fig. 5. User interface of JAXA's QFD utilization support tool (AHP).

4.3 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

これまでロケットバルブ用の材料データベースシステムは存在していなかったことから本活動で材料データベースシステムを作成することとした。現場の人の詳細なヒアリングを行い、必要な機能をいれこんだ。システムの維持費を最小化すること、どこからでもアクセスできることという要件から、データベースシステムは PostgreSQL, http サーバには Tomcat を用いることとした。

材料データ利用支援ツールは JAVA で実装した。材料名を入力すると材料特性が表示されるほか、材料の使用条件を入力すると利用可能な材料のリストが表示される、材料に関連づけて材料ナレッジや破断面画像などを保存できる、材料特性の近似曲線を共有できるなどの機能を有している。図4に開発中の材料データ利用支援ツールのユーザーインターフェースを示す。

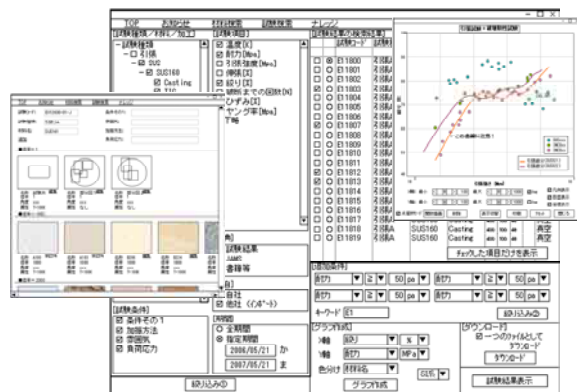


Fig.5 User interface of JAXA's material database and utilization support tool.

5. まとめ

現在、JAXA バルブ部情報化システムを平成19年度末の完成を目指して開発中である。本システムの完成により、JAXA ロケットバルブの高信頼性・低コスト化が進むことが期待される。また、本活動で開発している利用支援ツール群はバルブの設計開発に特化したものではなく、バルブの設計開発以外にも適用可能であると考えられる。実際、平成18年度に開発した試作版利用支援ツール群はバルブ以外にも次世代エンジンの概念設計等に利用されつつある。

一方、本システムの開発により、いくつかの課題が浮かび上がってきた。

(1) 詳細 FMEA, FTA, 機能分解木などのデータは互いに関連性を持つため、これらのデータを一元的かつ効率的に扱う必要がある。

(2) フォルトツリー解析では一般に結果と要因の因果関係は木構造で表現されているが、現実の因果関係は木構造であるとは限らない。よって、ネットワーク状の因果関係の分析手法が必要である。

(3) 大規模システムの QFD については項目数が膨大になってしまうため、階層化などを行うことによって、効率的に作業をすすめる必要がある。

(4) QFD により部品Aが重要とわかったとしてもそれをどうしたらよいかは通常の QFD ではわからない。

今後はこれらの課題に対処するとともに、現在研究が行われている次世代液体燃料ロケットエンジン LE-X の設計開発の確実化・効率化をターゲットとし、ターボポンプ、噴射器、エンジンシステム全体等の設計開発プロセスの革新を目指した活動を行っていく予定である。

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は謝辞を表す。

参考文献

- (1) http://www.jaxa.jp/about/2025/index_j.html
- (2) 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.
- (3) H-IIAロケット再点検専門委員会報告書, 宇宙開発委員会調査部会, H-IIA ロケット再点検専門委員会, 2004.
- (4) 鈴木順二郎, 牧野鉄治, 石坂茂樹, FMEA・FTA 実施法, 日科技連出版社, 2002.
- (5) 赤尾洋二, 品質展開入門(品質機能展開活用マニュアル), 日科技連出版社, 1990.
- (6) 沖田耕一, ロケット用バルブ開発で取り組む品質機能展開(QFD)手法, 平成18年度宇宙開発品質保証シンポジウム, 2006.
- (7) 藤本圭一郎, 飯塚宣行, 大山聖, 角有司, 藤井孝藏, 南里秀明, 沖田耕一, 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回設計工学・システム部門講演会論文集, 2007.
- (8) 木下栄蔵, 入門AHP, 日科技連出版社, 2000.