

STCP-2012-015 イプシロンロケットの自動・自律点検システム

○広瀬健一, 由井剛 (宇宙航空研究開発機構)
 米令二, 野原勝 (㈱IHI エアロスペース)
 小原秀雄 (㈱IHI エアロスペースエンジニアリング)

Automatic and Autonomous Checkout System of the Epsilon Rocket
 Kenichi Hirose and Takeshi Yui (JAXA)
 Reiji Yone and Masaru Nohara (IHI Aerospace)
 Hideo Obara (IHI Aerospace Engineering)

Key Words: Epsilon Rocket, Launch Operations, GSE, Facilities, Autonomous Checkout System

Abstract

Epsilon Rocket Project Team aims to be able to conduct efficient checkouts, This paper introduces design progress of our processing plans of the launch vehicle. They includes operational features such as Automatic/Autonomous checkout system.

1. はじめに

イプシロンロケットで目指すコンパクト (少人数、短時間で実行可能) な点検・整備・打上げを可能にする、自動・自律点検システム、火工品回路点検について説明する。

2. 基本要件

点検システムの開発にあたり、以下のとおり基本要件を定めた。

- 1 段射座据付から打上げ翌日まで 7 日 1 5 0 人日
 - 自動・自律点検を実現する設備とすること。
 - 発射管制設備はモバイル化に対応可能なこと。

3. 機体点検概要

イプシロンロケットが目指す高い運用性を実現するため、ロケット機体の射場搬入後に実施する各段電気系点検、全段電気系点検、火工品回路点検等を使用する地上設備である発射管制設備 (LCS)、小型火工品回路点検装置 (MOC) と機体搭載機器である即応運用支援装置 (ROSE) とで適切な機能配分を行い効率的な機体点検作業を可能とする。

図 1 を参照。

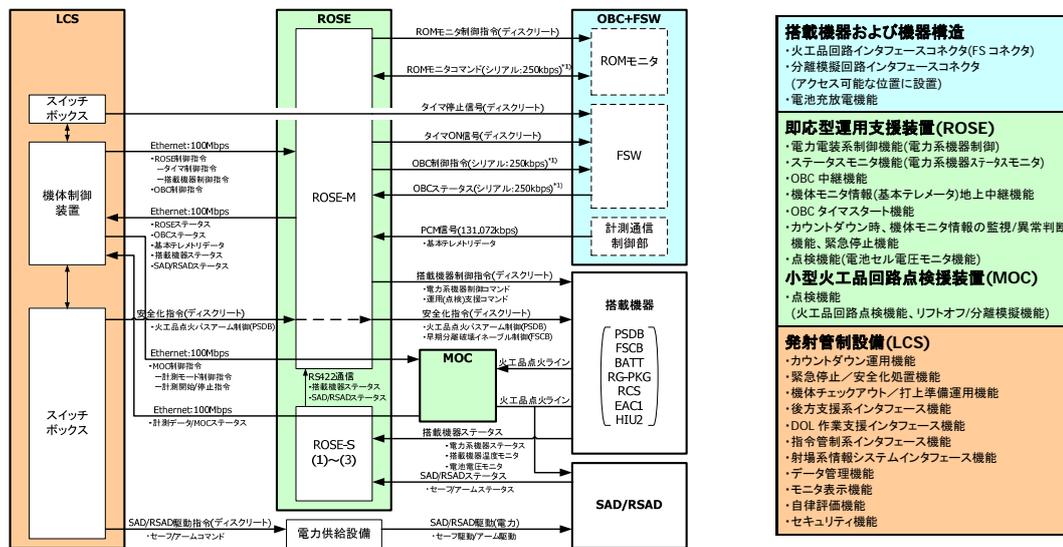


図 1 イプシロンロケット運用・点検機能配分

搭載機器および機器構造 <ul style="list-style-type: none"> 火工品回路インタフェースコネクタ(FSコネクタ) 分種機回路インタフェースコネクタ (アクセス可能な位置に設置) 電池充放電機能
即応型運用支援装置(ROSE) <ul style="list-style-type: none"> 電力電気系制御機能(電力系機器制御) ステータスマニタ機能(電力系機器ステータスマニタ) OBC中継機能 機体モニタ情報(基本テレメータ)地上中継機能 OBCタイムスタート機能 カウントダウン時、機体モニタ情報の監視/異常判断機能、緊急停止機能 点検機能(電池セル電圧モニタ機能)
小型火工品回路点検装置(MOC) <ul style="list-style-type: none"> 点検機能 (火工品回路点検機能、リフトオフ/分種機擬機能)
発射管制設備(LCS) <ul style="list-style-type: none"> カウントダウン運用機能 緊急停止/安全化処置機能 機体チェックアウト/打上準備運用機能 後方支援系インタフェース機能 DOL作業支援インタフェース機能 指令管制系インタフェース機能 射場系情報システムインタフェース機能 データ管理機能 モニタ表示機能 自律評価機能 セキュリティ機能

4. 発射管制設備（LCS）について

発射管制設備はイプシロンロケットを射場より打上げるにあたり、点検並びに打上げ準備作業に使用する地上設備であり、機体に搭載される即応運用支援装置（ROSE）を介して機体の制御・監視を行う。

イプシロンロケットの運用性向上（簡素化／効率化を実現すべく、発射管制運用／点検運用の自動化・自律化機能を有する設備である。

主な機能を以下に示す。

- ✓カウントダウン運用機能
- ✓緊急停止／安全化処置機能
- ✓機体チェックアウト／打上げ準備運用機能
- ✓自律評価機能

図2に設備構成を示す。

4.1 自動・自律点検システム

イプシロンロケットの目指す高い運用性を実現するために、主に人手に頼ることの多かった機体点検をLCSにおいて自動的に実施する。

これにより期待できる効果を示す。

- ✓自動・自律化による点検時間の短縮・オペレータ人員の削減
- ✓自動・自律化による人為ミス排除の伴う信頼性向上
- ✓自動・自律化による専門技術支援者の削減

4.1.1 自動・自律点検の概要

自動・自律点検システムは地上設備であるLCSと機体搭載機器である即応運用支援装置（ROSE）との機能配分により発揮される機能であり、以下に示す機能を有している。

- ✓自動点検
 - 点検手順の実行、機体データの閾値判定、点検記録
- ✓自律点検
 - 動的アナログデータのトレンド評価
 - 故障部位の特定、対処の提案

4.2 自動点検機能

ロケット機体の点検作業は人工衛星の多様なミッションに応じたロケット機体形態により変更が必要となる。

これをソフトウェア化して変更管理を行い品質を維持していくことは厳しいコンフィギュレーション変更管理、検証作業において多くの手間を要することから、作業手順をソフトウェア・プログラムとはせずに、階層型データベースの構築によって体系的に管理することとした。

ロケット機体形態による機体情報（コマンド情報、モニタ情報等）、点検手順をデータベース化し自動実行可能な作業手順書（プロシジャ）を構築することにより、プロシジャを順次読み込み／実行することで点検を自動化することとしている。

図3に自動点検機能に係る主な機能を示す。

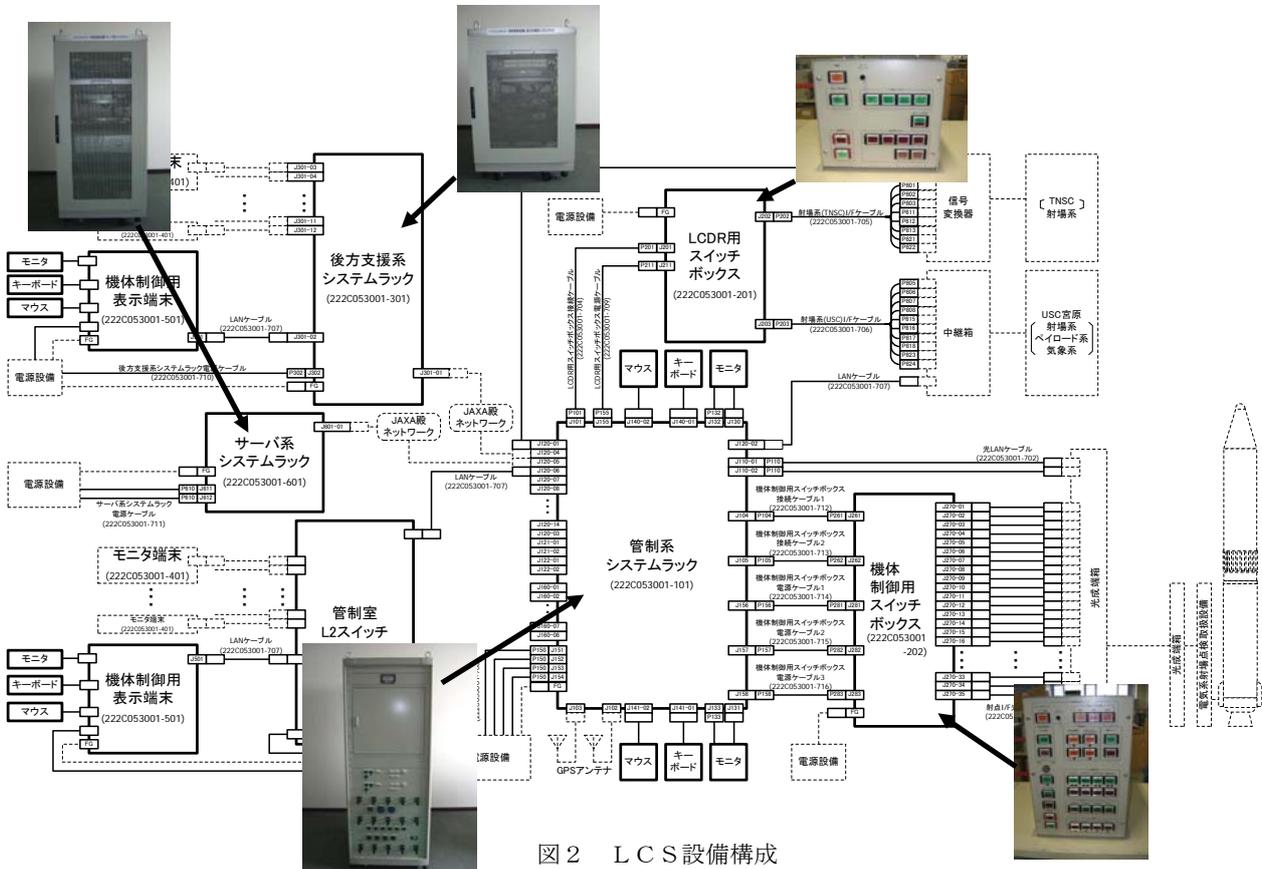
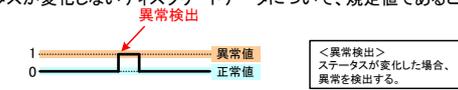


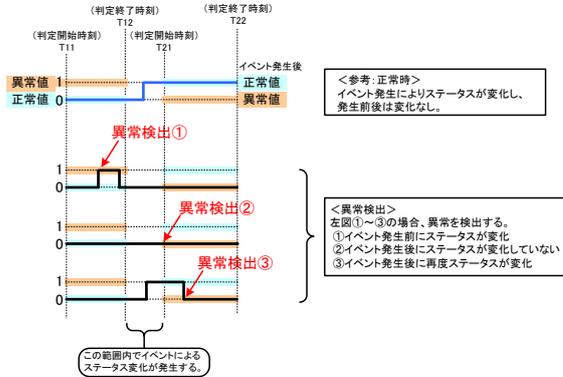
図2 LCS設備構成

(1) イベントステータスチェック

(a) ステータスが変化しないディスクリートデータについて、規定値であることを判定する。

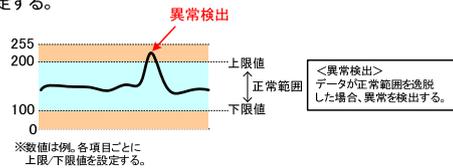


(b) イベントに応じて変化するディスクリートデータについて、イベント変化に応じた規定値であることを判定する。また、ディスクリートデータの扱いとして、BIT毎、WORD毎が選択可能。

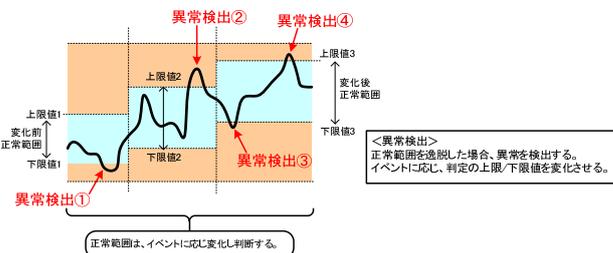


(2) イベントアナログチェック

(a) 値が変化しないアナログデータについて、アナログ値が規定しきい値内(下限値～上限値内)であることを判定する。



(b) イベントに応じて変化するアナログデータについて、イベント変化に応じた規定値であることを判定する。



(3) 平均データチェック

地上点火イベント項目の圧力計測データ等について、移動平均を算出し、パラメータ値による設定時間内において、規定値であることを確認する。

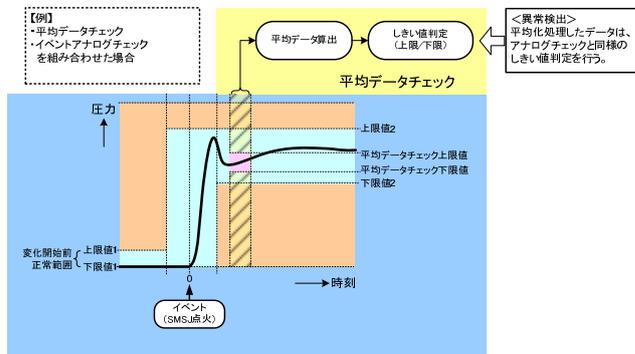


図3 発射管制設備 機体監視判定機能

4.3 自律点検機能

自律点検機能に係る機能ブロック図を図4に示す。

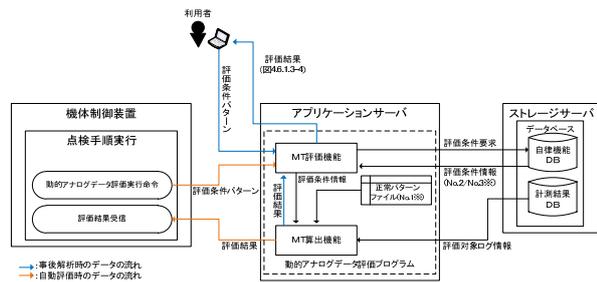


図4 自律点検機能ブロック図

✓動的アナログデータのトレンド評価

各サブシステムの専門技術者によるデータレビュー作業を簡素化することを目的として、一部ソフトウェアがモニタデータのトレンド評価を行うシステムを構築した。

これは過去に取得した良好な波形データを正常データと定めデータベース化し、評価対象波形と正常データ（基準波形）をパターン認識技術（マハラノビス・タグチシステム:MTシステム）で照合するものである。

パターン認識の結果、評価対象波形が「正常であるか」「何らかの異常が発生しているか」をLCSにおいて技術評価する。

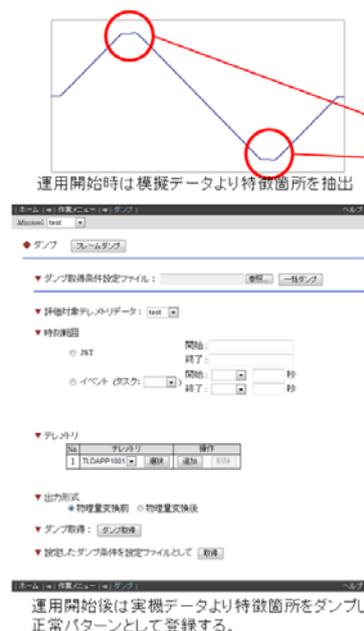
本機能の処理概要を示す。

〔MTシステムに必要な情報〕

①正常パターンデータ

評価対象データの過去の正常データのうち、特徴的な変動を示す箇所を選択し正常パターンとして定義する。

図5の○部



②パラメータ変換条件

MTシステムによる評価のために行うパラメータ変換（特徴抽出）の条件

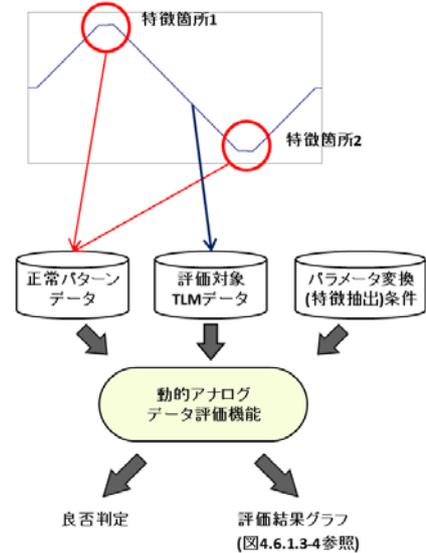
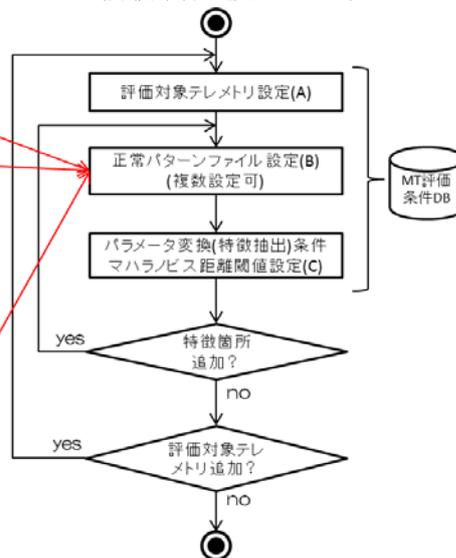


図5 動的アナログデータ処理概要

〔評価条件の設定項目〕

No.	設定項目名	設定項目概要
1	正常パターンファイル	過去に取得した正常データのCSV形式ファイル。複数設定可能で、運用において新たに正常データを取得した場合、正常パターンファイルに追加することで認識率を向上させられる。(ただしNo.3の変更が必要となる場合がある)
2	マハラノビス距離閾値	正常/異常と判定するマハラノビス距離の値(一般に4未満を正常、8以上を異常とする)
3	パラメータ変換(特徴抽出)条件	設定項目は以下の通り。 ・判定マトリクスサイズ ・パラメータ変換形式(変化量と存在量/開始長と終了長) ・判定マトリクス移動量 ・評価対象時間帯

〔評価条件の設定フロー〕



✓故障部位の特定、対処方法の提案

ロケットシステム、サブシステム、コンポーネント毎にFTA/FMEAを展開し、起こりうる故障モードを選出し、それらの故障が発生した際にデータ異常となるモニタ項目を整理しデータベース化する。

点検作業で何らかのデータ異常を検知した場合、異常モニタ項目の発生状況（発生パターン）をデータベースに照合し、異常モニタ発生パターンが機器に対してユニークな場合は、故障発生部位が機器レベルで特定可能となる。

異常モニタ発生パターンが機器に対してユニークでない場合は機器レベルでの故障分離はできないが、故障部位を切り分けるためのトラブルシュート手順を事前に登録しておくことで、即座にトラブルシュート候補を自動点検システムにより提案し早期のトラブルシュートを可能としている。

図6に故障識別/トラブルシュート手順抽出に係る処理概要を示す。

5. 小型火工品回路点検装置（MOC）について

小型火工品回路点検装置では、機体に搭載された点火回路及び火工品の健全性を確認するための設備であり、ROSE及びLCSと組み合わせて使用することにより点検作業の効率化を図る。

図7に火工品回路点検機能ブロック図を示す。

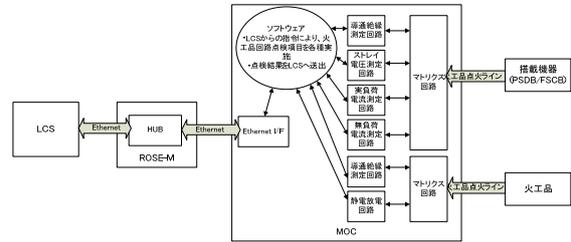


図7 火工品回路点検機能ブロック図

また、イプシロンロケットでは、小型火工品回路点検装置（MOC）を機体に搭載することにより、火工品回路点検のためのフックアップケーブルの接続を簡素化し点検作業の効率化（期間短縮）を図っている。

なお、MOCはフライト前に取り外すこととしており、繰り返し使用が可能となっている。

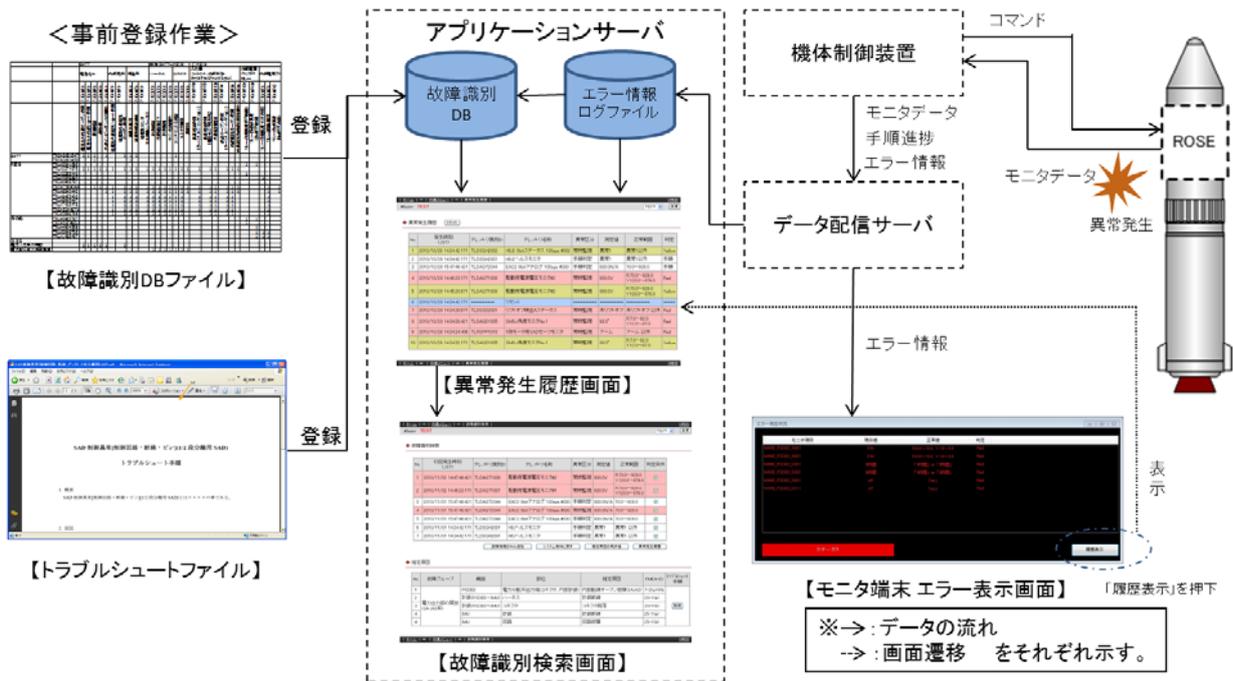


図6 故障識別/トラブルシュート手順抽出に係る処理概要図

6. まとめ

現在は、LCS、MOCと機体搭載機器を組み合わせた検証試験を実施している。

また、LCSの自動・自律点検システムの実力を十分に発揮するためには、効率的な作業手順の構築、正常データ（基準波形等）の蓄積が必要となる。

これらのデータを得るためにも、イプシロンロケットの打上げ実績を重ねられるよう確実な打ち上げ成功を目指すとともに設備の開発を継続する。

参考文献

- 1) 広瀬, 由井, 米, 野原, 小原
: イプシロンロケットの自動・自律点検システム
第 56 回宇宙科学連合講演会, 論文番号 1B09,
2012
- 2) 由井, 北井, 野原, 小原
: イプシロンロケットの運用と射場設備の開発状
況, 第 55 回宇宙科学技術連合講演会, 論文番号
2E06, 2011
- 3) 由井, 前原, 久保田, 北井, 野原
: イプシロンロケットの運用と射場設備, 第 54
回宇宙科学技術連合講演会, 論文番号 1F05, 2010
- 4) 田村, 井上, 森田, 大塚, 野原, 加藤, 佐賀
: 次期固体ロケット自律点検システムの開発計画,
第 53 回宇宙科学技術連合講演会, 論文番号
1B05, 2009
- 5) 森田, 田村, 佐賀, 大塚, 野原, 加藤
: 搭載機器点検の自律化, 第 52 回宇宙科学技術
連合講演会, 論文番号 1J05, 2008