



応
般

打上げ管制システムのつくりかた

—小型人工衛星打上げ用ロケット 「イプシロン」の事例を中心に—

広瀬健一（宇宙航空研究開発機構）

イプシロンロケット開発

◆ 固体ロケットの開発

固体ロケットはペンシルロケット以来 50 年にわたって我が国独自の技術として発展してきたが、2006 年の M-V ロケット打上げ以降は運用を中止していた。その後、我が国独自に蓄積してきた固体ロケットシステム技術をさらに発展させ、小型衛星の活用により宇宙開発・利用を活性化するという新しい時代の要請に応えることを目的として、イプシロンロケットの開発が 2010 年にスタート、2013 年 9 月 14 日に試験機により「ひさき」（惑星分光観測衛星：SPRINT-A）を計画どおりの軌道へ投入することに成功した。

イプシロンロケットの開発では、「小型衛星への柔軟な対応」「信頼性の向上とコストの低減」「運用性の革新」といった方針のもと未来志向で進められ、汎用の情報技術（Ethernet 通信、マハラノビスタグチシステム等）を活用して、モバイル管制、自動・自律点検と呼ばれる輸送系共通の革新技術を開拓、打上げ管制システムに革命をもたらした（図-1、図-2）¹⁾。

◆ イプシロンロケット開発方針

イプシロンロケット開発にあたり掲げた開発方針を示す。

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 小型衛星への柔軟な対応 <ol style="list-style-type: none"> (1) 多様な軌道への対応が可能なシステムを構築すること (2) 音響環境、分離衝撃等のペイロード搭載環境を緩和すること (3) 短期間・高頻度打上げに対応したシステムにすること 2. 信頼性向上 <ol style="list-style-type: none"> (1) 基幹ロケットとの基盤共有化・強化を図ること 3. コスト低減 <ol style="list-style-type: none"> (1) 地上設備簡素化と運用効率化を追求すること (2) 高度な技術（性能）とのバランスをとってコスト低減を図ること 4. 運用性向上 <ol style="list-style-type: none"> (1) 打上げシステムの革新的向上のため次世代標準技術を取り入れること (2) ロケット整備の短期間化による機動性の高い運用手法を実現すること (3) 高度電子情報網を活用すること |
|---|

打上げ管制システム

イプシロンロケットではロケット搭載点検系と地上支援系の革新を図り、搭載点検系による情報の集約化と地上支援系の簡素化を図っている。



図-1 ランチャ上のイプシロンロケット
〈本特集 (p.758) にてカラー画像掲載〉



図-2 イプシロンロケット試験機の打上げ
〈本特集 (p.758) にてカラー画像掲載〉

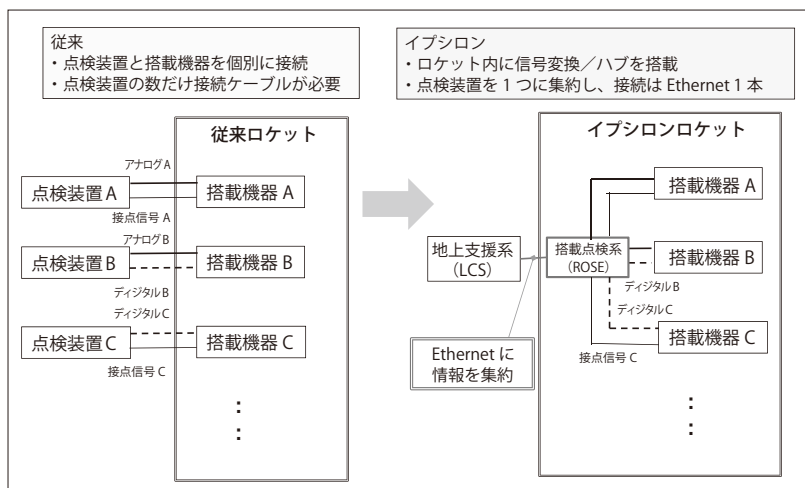


図-3 機体/設備インタフェースイメージ

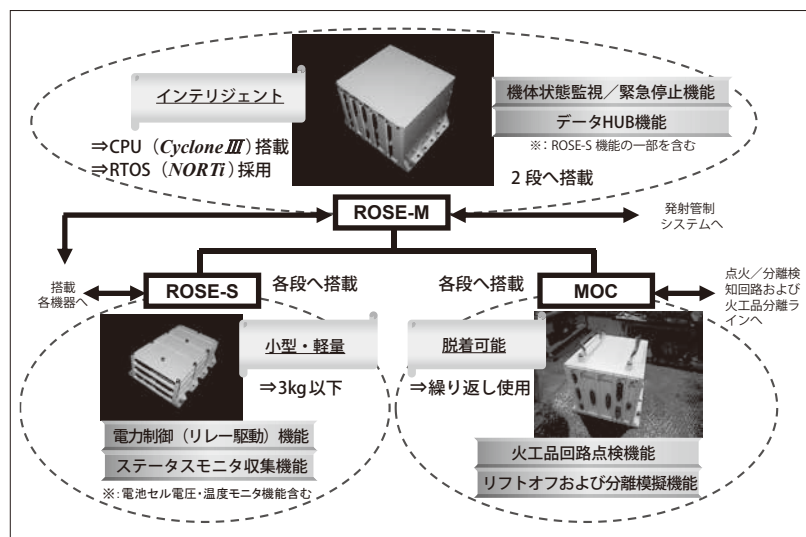


図-4 搭載点検系の構成概要

◆ 搭載点検系

ロケットには多数の電子機器が搭載されており、搭載機器により通信方法が異なっていることから、ロケットの点検を行うためには機体と地上設備を結ぶアンビリカルケーブルと呼ばれるケーブルを多数接続する必要があった。

イプシロンロケットでは、各搭載機器からの信号をデジタル信号に変換し、Ethernetインタフェースに集約する搭載点検系の即応運用支援装置(ROSE: Responsive Operation Support Equipment)、小型火工品回路点検装置(MOC: Miniature Ordnancecircuit Checker)を開発した。これにより搭載点検系機器と地上支援系の接続を発射管制設備(LCS: Launch Control System)に一元化すること

ができ地上設備の簡素化および運用の効率化につながった。

即応運用支援装置 (ROSE)

ROSEは1台のマスター装置(ROSE-M)と3台のスレーブ装置(ROSE-S)から構成されており、ROSE-Mはイプシロンロケットの2段に搭載され、ROSE-Sは各段に搭載されている。ROSE-Mは発射管制設備、ROSE-S、小型火工品回路点検装置、搭載機器との中継装置の役割となっており、信号変換機能を有している。ROSE-Sは搭載機器からの各種信号をとりまとめシリアル化し、ROSE-Mへ送信する機能とROSE-Mからのコマンド信号を各搭載機器に合わせた信号に変換して各搭載機器に送信する機能を有している。

ROSE-M/ROSE-S間はシリアルインタフェースとなっていることから、段間部の配線が削減され機体整備作業が効率化されている。

小型火工品回路点検装置 (MOC)

ロケットには固体ロケットの点火、フェアリングの分離および各段の分離のための火工品が搭載されている。

MOCはこの火工品回路の点検を行うものであり、導通抵抗、絶縁抵抗、ストレイ電圧等を計測する。これまでの火工品回路点検では、点検用ケーブルの接続など点検前の準備作業に多くの時間を要していたが、イプシロンロケットではMOCを機体にとり付けておくことで、準備作業の効率化を図っている。なお、MOCは機体整備作業の間は機体にとり付けているが、打上げ前に機体からとり外し再利用を可能としている(図-3、図-4)²⁾。

◆ 地上支援系

地上支援系である発射管制設備(LCS)は射点から約2km離れたイプシロン管制センタに設置され、汎用通信技術であるEthernetにより機体と接続し

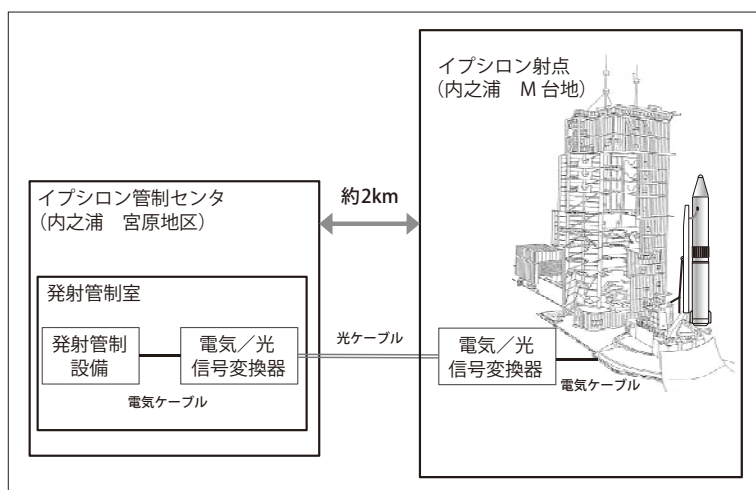


図-5 イプシロン射点～発射管制設備間の Ethernet 接続

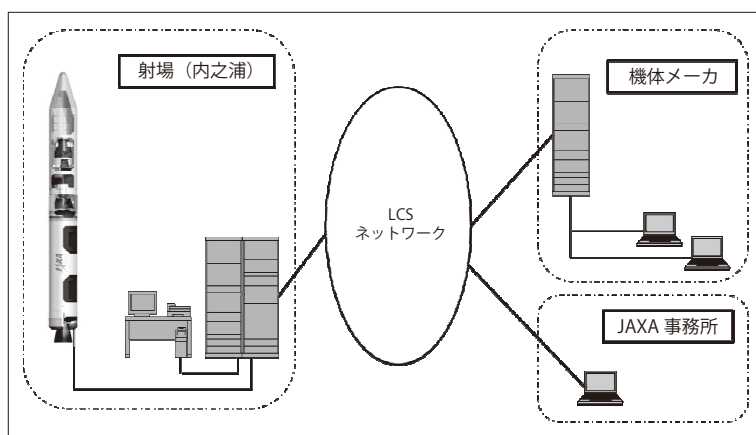


図-6 Ethernet を活用した打上げ管制システム

ている。機体と設備をネットワークで接続することにより、理論上はどこからでも発射管制を行うことができ、いわゆるモバイル管制が可能となる。また、LCSはイプシロンロケットを射場より打上げるにあたり、点検ならびに打上げ準備作業に使用する地上設備であり、機体に搭載する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となっている(図-5)。

モバイル管制

Ethernet 通信技術により、機体 (ROSE) と設備 (LCS) をネットワークで接続し、発射管制に汎用コンピュータを用いている。これにより理論上はどこからでも発射管制が可能となり、モバイル管制が実現可能となる。イプシロンロケット試験機の打上げでは、内之浦宇宙空間観測所内にネットワーク

を構築し、モバイル管制実現の目的を得た。また、地上設備のコンパクト化に伴い、運用人員の削減、メンテナンスの軽減が期待できる(図-6)。

自動化機能

ロケットの打上げ整備手順は、人工衛星の多様なミッションに応じてロケット機体形態により変更が必要になる。これをソフトウェア化して変更を行い、品質を維持管理していくのは厳しいコンフィグレーション変更管理とその検証作業において多くの手間が必要となる。

イプシロンロケットではこの点を改善するため、自動の作業手順をハードコーディングのソフトウェア・プログラムとせず、人間も理解できる階層型データベース (DB) の構築によって、手順を体系的に管理することで、自動化と従来からの確実な変更処理手続きとの両立を行った。

最上位となるメイン手順 DB では、作業者の作業指示に基づいて手順書の書式に従い、自動的にサブ手順 DB を順次

呼び出して実行していく。中間層のサブ手順 DB は、単機能な自動実行処理手順をまとめたものである。最下層の基本情報 DB は機体への制御コマンドやモニタデータに関係する固有情報の定義を登録するものである。

自律化機能

動的アナログデータのトレンド評価

ロケットの点検において熟練の知識、経験を有した専門技術者が行っていた可動ノズルや姿勢制御バルブの駆動電流等の動的データの評価を LCS において実施するシステムを構築した。

イプシロンロケットでは医療分野でも応用が進められている MT システム (マハラノビスタグチシステム) を用いている。これは過去に取得した良好な波形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ものであるが、試験機において取得した波形データにより本機能の有効性を確認しており、2号機の機体点検作業で試運用を実施し、さらに今後の運用と開発を通じて自律化機能の幅を広げていく計画である(図-7)。

故障部位の特定/対処方法の提案

機体に異常が発生した際のテレメトリ監視項目の

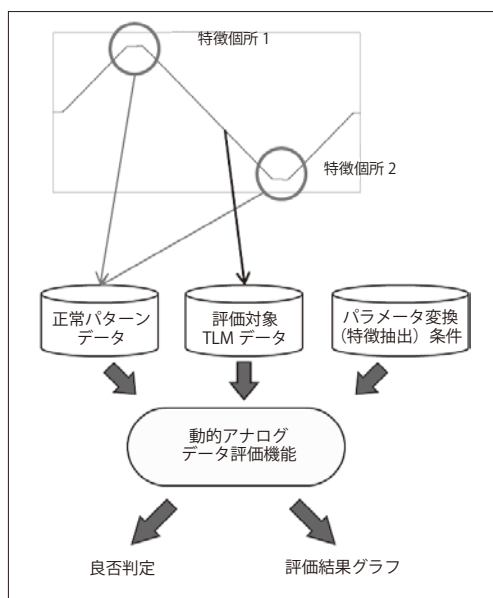


図-7 動的アナログデータ処理概要

状態から故障部位の特定のためのトラブルシュート手順を提案する機能であり、この機能によりトラブルシュートにかかる時間を削減し射場での作業者への負担を軽減する。

ロケットシステム、サブシステム、コンポーネントごとに故障解析を展開し、起こり得る故障モードを選出し、それらの故障が発生した際に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固有の場合は機器レベルで故障部位の特定が可能となる。

異常モニタ発生パターンが機器に対して固有でない場合は、機器レベルでの故障分離は不可となる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登録しておくことにより、即座にトラブルシュート手順を提案し、早期のトラブルシュートを可能としている。

自動化機能および自律化機能により、これまで人に頼っていた火工品回路点検、電気系点検作業や技術評価をコンピュータに実施させ、作業者と技術者の削減と機体整備期間の短縮効果も期待できる(図-8)³⁾。

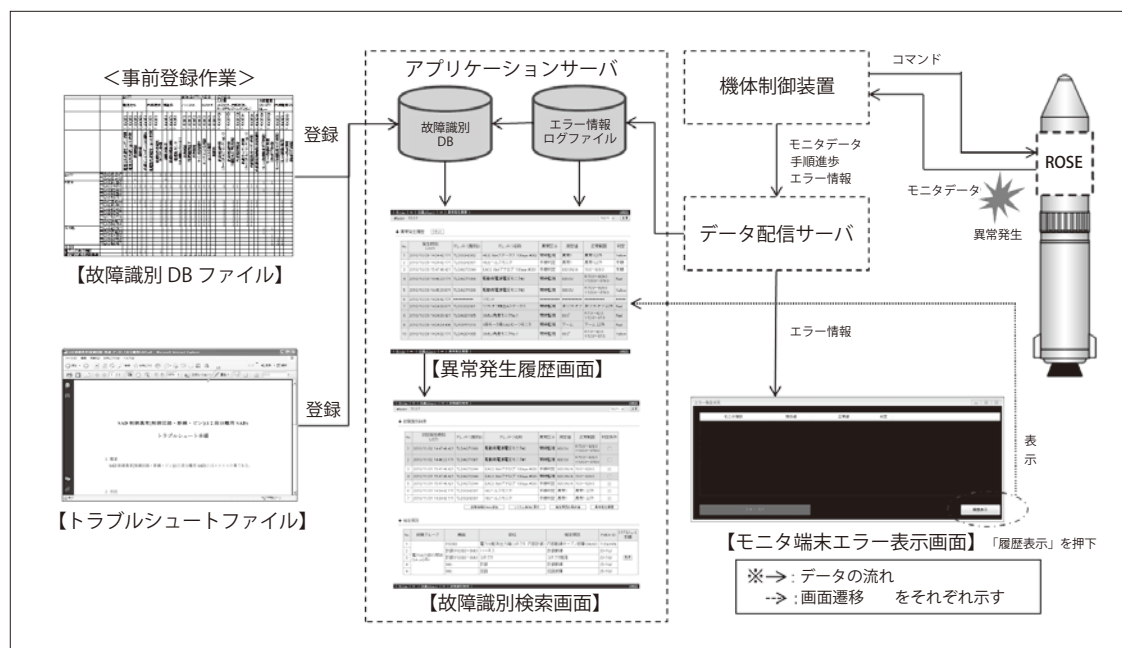


図-8 故障識別/トラブルシュート手順抽出にかかる処理概要



【これまで】



M-V ロケット管制室

【これから】



イプシロンロケット管制室

図-9 打上げ運用の管制室の比較

今後の展望

イプシロンロケット試験機の運用では、モバイル管制・自動点検の効果により機体整備期間の短縮、作業人員の削減等に有効となることが確認できた。機体整備期間は1段機体の射座据え付けから打上げ翌日までをM-Vロケットでは42日間程度であったところ9日間とする目途を得るとともに、機体制御にかかる人員もM-Vロケットでは60名程度であったところ試験機打上げでは8名程度に削減できており将来はさらなる削減を目指している。

一方、自律点検については計画どおり今後打上げを積み重ねる過程で、動的アナログデータのトレンド評価に必要な基準データを増強するとともに、搭載機器の故障判定に必要なDBの充実化を図り、本格的な運用につなげていく計画である(図-9)。

参考文献

- 1) 森田泰弘：イプシロンロケット試験機の飛行結果の概要，第57回宇宙科学技術連合講演会論文番号1Z01(2013)。
- 2) 井上知也，笹田武志，泉 達司，井元隆行，森田泰弘，石川拓規，佐賀勝行：イプシロンロケットのアビオニクス，第56回宇宙科学連合講演会論文番号1B04(2012)。
- 3) 広瀬健一，由井 剛，洞谷真治，野原 勝，小原秀雄：イプシロンロケット試験機の自動・自律点検総括，第57回宇宙科学技術連合講演会論文番号1Z04(2013)。

(2015年4月22日受付)

広瀬健一

JAXA 第一宇宙技術部門イプシロンロケットプロジェクトチーム主任開発員，1986年宇宙開発事業団(現JAXA)に入社し，H-IIロケット，H-IIAおよびH-IIBロケットの射場設備の開発に従事。2011年現部署に異動し，発射管制設備(LCS)等の射場設備開発を担当。

