

2F12 宇宙機自動診断システム ISACS-DOC について

○高木亮治, 本田秀之, 橋本正之 (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部),
野村和哉, 小坂隆征 (富士通)

ISACS-DOC: Automatic Monitoring and Diagnostic System for Spacecraft
Ryoji TAKAKI, Hideyuki HONDA, Masashi HASHIMOTO (ISAS/JAXA),
Kazuya NOMURA, Takayuki KOSAKA (Fujitsu)

Key Words: Monitoring and diagnostic system, spacecraft abnormalities

Abstract

Automatic monitoring and diagnostic system for spacecraft has been developed and operated at Institute of Space and Astronautical Science of Japan Aerospace Exploration Agency (ISAS/JAXA). This system is called ISACS-DOC (Intelligent Satellite Control Software-DOCTOR) and three systems have been constructed for the features of deep or semi-deep space missions. Development of the next generation system for low earth orbit satellite has just started. This paper presents overview of the next generation system as well as what we learned through the previous experiences of development and operation of the systems.

1. はじめに

現在, 科学衛星は高度な観測要求を満足させるために, 1つの衛星に搭載する装置数の増加, ソフトウェア化による機能の複雑化および高度化, 衛星運用設備の充実ともなう運用局の増加などが進んでいる。それにともない, 衛星の正確かつ安全な運用を実現するに際して, 以下の様な問題が生じている。1) 各コンポーネントは異常を検出して報告する機能を有するが, 異常報告の種類が多くなり, 目視確認は事実上不可能である。2) 限られた時間内で複数の異常から真の異常を識別し, それに対して適切な対処を決定することが困難である。3) コンポーネント単位では問題ないが, コンポーネント間で影響しあうことで異常となるような現象を見つけることが困難である。4) 明確に判断できる異常は装置で検出可能であるが, 総合的な判断は異常情報以外の複数のトレンド情報などを総合して状況を判断しなければならないが, 情報量が多く人間の直感では異常の兆候を見つけるのは困難である。5) 訓練された専門家なら経験と直感で不具合の兆候を見つけられるかもしれないが, 定時運用時の運用担当者ではその様な兆候を発見することは期待できない。以上の様な状況において, 衛星設計・製造, 衛星運用計画, 追跡管制, データ処理などを連携して柔軟に運用できる, 衛星運用のための異常監視・診断システムが必要と

されている。そのため宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 (以下, ISAS/JAXA) では 1992 年より AI 技術を用いた衛星の状態監視と異常時診断を行う地上システムの研究・開発を行ってきた。

本論文ではこれまで研究・開発そして実際の衛星運用に適用されてきた, 衛星異常監視・診断システムの概略および運用で得られた知見についてまとめ, 同時に次期システムへの課題および展望について述べる。

2. 異常監視・診断システムの概略

ISAS/JAXAでは磁気圏観測衛星「GEOTAIL」、火星探査機「のぞみ」および小惑星探査機「はやぶさ」の運用において導入された衛星異常監視・診断システムを ISACS-DOC (Intelligent Satellite Control Software-DOCTOR)¹⁻³⁾ と呼んでいる。ISACS-DOCのシステム構成を図 1 に示す。本システムでは2台のコンピュータでシステムの根幹をなす以下の2つの機能を実現している。

1) データ収集機能

ISAS/JAXAの地上管制システムの各種データ分配装置から異常監視・診断に必要なデータをネットワーク経由でリアルタイムに自動的に取得し, 診断に必要な診断情報ファイルを作成する。この時に取得するデータは, 軌道データ, リアルタイムの最新テ

レメトリデータ、姿勢データ、地上局の状態データと多岐に渡る。

2) 異常監視・診断実施機能

実診断作業はもう一台の計算機(PC)上で実行されるため、1)で作成された診断情報ファイルは自動的に

この計算機に転送される。この計算機上には診断を行うのに必要な衛星に関する知識データベースが格納されており、転送された診断情報ファイルの内容はこの知識データベースを元に診断され、様々な情報がディスプレイに表示される。

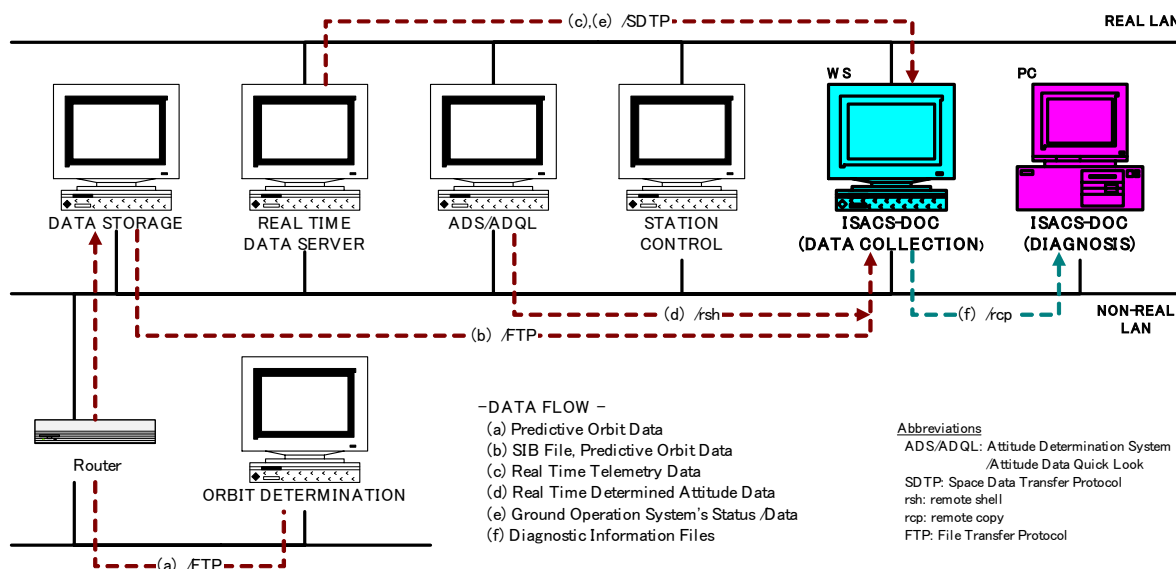


図 1 「のぞみ」用 ISACS-DOC のシステム構成

最初のシステムである「GEOTAIL」用 ISACS-DOC では診断型エキスパートシステム構築ツール（パッケージソフトウェア「まなでしくん」）を用いてシステム構築を行った。その後「のぞみ」、「はやぶさ」用 ISACS-DOC の開発・運用を経て現在に至っている。

2-1 故障診断から異常監視に

当初 ISACS-DOC はエキスパートシステムを用いた故障診断システムとして開発され、そのため複数の故障原因がその可能性と同時に示されるものであった。しかしながら実際に運用を行って見たところ可能性のある複数の故障原因を提示すると、反って運用者に混乱を招き、早急な対応を妨げる結果となった。そのため故障診断ではなく信頼度の高い異常察知と関連する情報および対処法の提示が有効であることが判明した。運用時には確実な事、つまり「何が異常である」という情報と「できる事」を示すことが重要である。もちろん、異常原因を高い確信度で特定できる場合には故障診断も実施し、その結果を提示することも有効である。

2-2 診断木の構造

当初は前述したように故障診断を主目的としたため、診断システムとしての知識構造は、故障診断と

して一般的な FTA (Fault Tree Analysis) を実施するための深い階層構造を持つ決定木 (Decision Tree) を採用した。その後、運用の経験より故障診断から異常監視へとシステムの性格が変化したため、従来の深い階層構造から異常監視に適したフラットな診断木へと変更し、これが有効であることが判明した。

2-3 会話型処理からリアルタイム自動処理へ

ISACS-DOC は当初、故障診断を目的に開発したため、会話型システムを使った手入力診断システムとして実現された。その後データの自動入力へと変更された。繰り返しになるが、システムの性格が故障診断から異常監視に変わってきたため、全データをリアルタイムで自動処理し、可能な限り早急に異常レポートを運用者に提示することが必要であると考えている。

2-4 診断データ

現在診断に用いるデータは ISACS-DOC 独自に取得および保管している。これは開発当初において、EDISON (工学データベース)⁴⁾ などの基盤が整備されておらず ISACS-DOC 独自にデータの取得、変換および保管する必要があった。現在ではこれらの基盤整備が進んでいるため、それぞれの基盤との連携が必要となる。また診断データ自身も衛星テレメトリ

データに加えて地上局の情報も必要となるため、衛星から地上まで各種情報を総合的に扱うことでより確実な異常監視を実現することが効果的であると考えている。

2-5 シミュレータとの連携

単なるステータス情報や測定値のリミットチェックだけでなく、シミュレーションデータとの比較を行い、異常を検出する手法が非常に有効であることが分った。しかしながらシミュレータの開発は色々と困難を伴うため、それだけに依存することは危険であり、ISACS-DOC内にシミュレータを作り込むのではなく、シミュレータ等への外部モジュールに対するI/Fを有し、必要に応じて外部モジュールを切り換えることが可能となるシステムにすべきであると考えている。

2-6 運用者への通知

現在、異常監視・診断結果は、モニタ画面上での異常表示およびアラーム音を通じて運用者へ即時通知する機能を実現している。電子メールでの異常通知機能も試験運用しているが、結果の表示法、更にはアラームを何時消すかなどに関して更なる検討が必要であると考えている。

2-7 知識化技術

現在一般には様々な知識化技術が提案、利用されている。主なものとして、本システムでも採用している診断木を用いたルールベースの他に、データマイニング、自動学習、半自動学習、意味付モデル診断などがある。これらの手法に関する調査を行ったが、衛星の異常監視・診断というある種特殊事情（一番のポイントはサンプル数が非常に少ないという点）のため、現在採用しているルールベースが最も有効であると考えている。

2-8 システム開発

現在、ISACS-DOCは全部で3台運用されているが、一番古い「GEOTAIL」用ISACS-DOCは既に10年を越えている。今後も衛星本体が活動を止めるまで引き続き運用されるため、この先更に10年程度の運用が期待されている。そのため下手をすると衛星本体よりも地上設備の寿命が問題となる場合があり、システム開発においてはハードウェア、OS、開発言語の選択に十分注意する必要がある。10年、20年という比較的長期間に渡って安定した運用およびメンテナンス可能なシステムを開発することが重要と考えている。

また、本システムは衛星の実運用で使われるシステムを目指している。運用者にとって使い難いシステムは結局使われなくなるため、運用者の意見は非

常に重要である。そのため、従来からの方針である、設計・製造・検証を繰り返してシステムの改良を行うスパイラル開発が今後も必要と考えている。

3. 本システムの意義

これまでの経験を基に、改めて本システムの目的および意義について検討する。まず、ISACS-DOCの目的は衛星運用の安全性向上を図るため、特に衛星管制室に専門家が常駐しない定常運用時に、重大な変化や異常の兆候をより確実に捉えることである。異常の兆候を捉えた場合、その原因を特定できない場合には関連情報、連絡先等を提示し専門家の指示を仰ぎ、異常原因を高い確信度で特定できる場合には診断結果や対処法を提示することが望ましい。そのためには、衛星から地上設備までの情報を統合して情報可視化を行う必要がある。定常時には運用者の異常監視を支援するシステム、異常時には専門家の異常診断を支援するシステムと位置付けられる。

衛星管制システム全体から考えると、ISACS-DOCは通常の衛星管制システムを補完するシステムと考えている。これは本システムが異常認識の確率を向上させるのが主目的であり、そのためには既存の衛星管制システムとは独立し、既存設備による運用に影響を及ぼさないものであるべきと考える。既存設備と独立することで、打ち上げ後のチューニング、新しい異常監視・診断手法の試行等が容易に行え、より確度の高い異常監視を目指すことが可能となる。特に本システムで実証された異常監視・診断手法は次の衛星管制システム自体に取り込んでいくことで、衛星運用技術の継続的な向上に貢献できると考えている。

4. 次期システムでの課題

次期ISACS-DOCは2005年夏に打ち上げ予定のASTRO-Fをターゲットに開発を行っている。ASTRO-Fは低高度地球周回衛星であり、これまでISACS-DOCを開発してきた深宇宙機とは様々な点で異なっており、当然異常監視・診断システムにも新規検討項目が存在する。また従来の運用経験からの改善項目も次期システムの課題として考えられる。

4-1 地球周回衛星対応

ISACS-DOCから見た場合の最も大きな違いは高速なデータ処理能力が求められるという点である。これは可視時間が短い（深宇宙機である「はやぶさ」では8時間に対して、ASTRO-Fでは10分/1パス、4パス/日）ことと、データ転送速度が速い（「はやぶ

さ」では 16Kbps に対して ASTRO-F では 4Mbps) ことが原因である。つまり、短い時間に大量のデータを処理する必要がある。高速なデータ処理が必要なため、システムの処理能力の高性能化（例えば並列処理を導入する）や監視項目の厳選化と優先順位の設定などが必要と考えられる。特にシステムの処理能力の高性能化には並列処理を導入するとか、優先順位の設定に関しては、最優先の項目はリアルタイムで処理可能なら同じパス内で対処する。一方そうでないものはオフラインで処理を行い、次のパスで対処するといった事も考えられる。短い時間に大量のデータを処理する必要があることはシステムに対して高速処理を要求すると同時に、運用へのインパクトも大きいと考える。何故なら、本システムが異常を警告できたとしても、運用者が判断して対処法を実施するための時間的余裕が少ないことを意味するからである。そのためシステム側でできることとして、単に警告を提示するだけでなく、緊急対処コマンドの自動準備など衛星管制システムとの連携強化が必要と考えている。

4-2 システム整理

次期システム開発に当って、データ処理方式の階層化とシステムのモジュール化を計画している。図 2 にデータ処理方式の階層化を示す。テレメトリデータから各種変換、データ処理などに関して階層を設けてそれぞれの階層でのデータを定義することでシステム内モジュールの役割分担の明確化を行い、共通基盤モジュールの活用を通じて他システムとの連携を強化する。

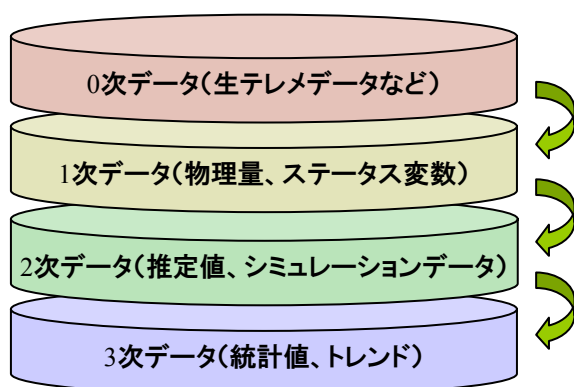


図 2 データ処理方式の階層化

4-3 知識化技術

また本システムのキーポイントである知識収集/知識化に関して、その効率化が求められている。そのためにこれまでの経験を活用して、科学衛星に関す

る知識のテンプレート化を行うことを考えている。従来多くの知識ベースを専門家や経験者がほとんど手作業で集めて来て、システムに組み込む作業を行っていたものを、ある程度機械的に取り組むことを考えている。そのために、これまでの知識を整理し共通に使われるものはテンプレートとしてまとめることで診断ルールの多くを自動的にシステムに取り込む事を考えている。

5. おわりに

これまで ISAS/JAXA で開発・運用してきた衛星異常監視・診断システム ISACS-DOC について、特に開発・運用で得られた知見について紹介した。同時にそれらを踏まえた次期システムの構想について紹介した。地球周回衛星への対応は本システムにとっては初めての試みであり、様々な課題が発生すると考えられるが、より良いシステムを目指して研究・開発を行っていきたい。

参考文献

- [1] Hashimoto, M., Nishigori, N., and Mizutani, M. : Operating Status of Monitoring and Diagnostic Expert System for Geomagnetic Observation Satellite GEOTAIL, Proceedings of the 2nd International Symposium on Reducing the Cost of Spacecraft Ground Systems and Operations, RAL.GS2.73, pp.73.1-73.8, July 1997.
- [2] 橋本正之, 長木明成, 西郡直実, 水谷光恵 : 火星探査機 PLANET-B (のぞみ) に向けての状態監視/診断システムの構築(3), 第 44 回宇宙科学技術連合講演会, 2000 年 10 月
- [3] Hashimoto, M., Honda, H., Kosaka, T., Mizutani, M., and Nomura, K. : Operating Status of Monitoring and Diagnostic Expert System for Sample-Return Probe HAYABUSA, Proceedings of the 24th International Symposium on Space Technology and Science, ISTS 2004-f-22, 2004.
- [4] 本田秀之, 橋本正之, 小坂隆征, 野村和哉, 横溝正人 : 衛星運用工学データベースシステム (EDISON), 第 47 回宇宙科学技術連合講演会, 2003 年 11 月