

「どこでも運用システム」の開発状況

永松 弘行^{*1}

Development of Anywhere Satellite Operation System

Hiroyuki Nagamatsu^{*1}

Abstract

We are in progress to develop a system for automatic operation of a satellite in order to reduce human load at satellite steady operation phase. The ground station for small satellite REIMEI is used as a test bench for verification of the proposed method. The automatic operation system is nearly completed for downlink operations of the data recorder that account for 80% of REIMEI steady operation. This approach is very effective to reduce psychological and physical load of operators. To extend or complement functions of automatic operation system, we are also in progress to develop a system for remote operation of satellite using mobile gear, for example, tablet or smart phone, as well as personal computers. With this remote operation system, operators can monitor status of satellite and ground station anywhere. In addition, on receiving emergency call, operator can send appropriate commands or operation plans by controlling automatic operation system.

概要

衛星の定常運用における運用者の負担軽減を主目的とする衛星自動運用システムを開発中である。「れいめい」衛星の運用局(相模原局)を実験ケースとして試験運用を継続しており、実用化の目処は立った。また、自動運用システムを補完、あるいは拡張するための遠隔運用システムをあわせて開発中であり、「どこからでも衛星が運用・監視可能なシステム(どこでも運用システム)」の構築を目指している。本稿では、「どこでも運用システム」の開発状況を紹介する。

1. はじめに

宇宙機を打ち上げる目的は様々だが、ミッション期間中に高品質の観測データを安定して提供し続ける運用システムの整備が、運用人員の確保も含めて肝心である。しかしながら、運用システムを維持するためのこれら要素は、衛星の開発において、どうしても後回しにされがちであり、運用システムの整備維持が不十分、運用人員の確保が不十分、運用人員の負担増、運用コストは削減傾向にある、などの問題がある。定常運用の負担軽減、効率化、コスト削減のための現実的な方策が求められると考える。運用システムを可能な限り自動化してオペレータの負荷を軽減する方法がいくつか提案され、また、実施している例、機関もある^{1),2),3)}。

筆者らはこれまで、特に定常運用における運用者の負担軽減を主目的に、ISAS/JAXAが開発した小型科学衛星「れいめい」の地上局(相模原局)⁴⁾をテストベッドとした衛星自動運用システム⁵⁾の開発を行ってきた。このシステムは衛星管制系と独立に整備可能なシステムで、ユーザの要求に応じて機能拡張可能なように設計されている。また、「れいめい」衛星による、観測データ/HKデータのダウンリンク運用(定常運用の約8割)の実績を積んでおり、自動運用システム導入の効果は大きい。また、自動運用アルゴリズムの検証を容易にするため、衛星実機の挙動に近い(擬似)信号パターンを容易に生成できるシステム(「簡易シミュレータ」と呼ぶ)を導入し、自動運用システムの完成度向上に役立っている⁶⁾。

一方、緊急時の対策や遠隔地からの衛星状態のモニタなど、自動運用システムの機能を補完あるいは拡張するためのシステム開発については、これまで課題として紹介するにとどまっていた。昨年後半より、実運用適用へ向けての開発を本格化したところである⁷⁾。本稿では、開発中の遠隔運用システムについて紹介する。遠隔運用システムの目的は、1) 衛星運用の操作一式(運用時間調整、運用、取得データ管理、安全管理)を、携帯端末により実現し、2) 自動運用システムと組み合わせることで、「どこからでも衛星が運用・監視可能なシステム」(以下、「どこでも運用システム」と呼ぶ)

^{*1} 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
(Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency)

を実現することである。

本稿の構成は、以下の通りである。第2章で、開発・相模原局にて試験運用中の自動運用システムの基本的な考え方を述べる。第3章で、自動運用システムを補完・拡張し、「どこでも運用システム」の核となる遠隔運用システムの開発経緯と基本的な考え方を述べ、システムの開発状況(一部、実運用での使用状況を含む)を紹介する。第4章で今後の課題を示し、本稿をまとめる。

2. 衛星自動運用システム

衛星自動運用システム(ASURA: Adaptable Scheduler for Ubiquitous and Rational Application)は、「スケジューラ」が、運用者の代役として運用シーケンス全体を管理・統括・制御する⁴⁾。スケジューラは、運用系PCに対する個々の操作(キーボード入力やマウスクリック、メニュー選択など)を利用するための通信窓口・自動化API(Application Program Interface)を通じて、可視時間中のアンテナ制御やコマンド送信、衛星や地上局の状態監視などの機能を実現する。図1に、ASURAの動作シーケンスを示す⁴⁾。自動運用システム(ASURA)の機能確認のため、「れいめい」実機および相模原局を用いての自動運用試験を、2010年末より継続している(実験回数は2013年5月末現在、500回以上)。「れいめい」運用においては、観測データ/HKデータのダウンリンク運用が、定常運用の約8割を占める。相模原局では、このすべてを自動運用システムを用いて実施している。

人間のオペレータが運用する場合、例えばコマンド送信は、コマンド選択、必要ならパラメータ入力、送信、結果確認、の4ステップで構成されるが、これらすべてをキーボード・マウス操作で実施する。自動運用システムでは、この4ステップすべてをソフトウェアが制御しており、オペレータは運用中にキーボード・マウスを操作する必要はない。「自動運用の様子を見ているだけ」である。また、オペレータは運用中に衛星・地上局の状態監視・緊急時対応を行うが、これは自動運用システムの衛星・地上局状態監視機能が代行し、例えば信号ロックオフ検知・修復は自動化される。軽度障害の場合は、あらかじめ準備してある(試験検証済みの)緊急スケジュールを自動送信する。

一方で、地上局機器トラブル、セーフホールド時対応など、人間が介入せざるを得ない場合は、オペレータに通知・運用を引き継ぐ。自動運用による定常運用負担軽減の効果は大きいが、人間が介入せざるを得ない(緊急時対応)場面は存在する。人間が介入しやすい仕組みを取り入れ、自動運用システムの特長を損なうことなく、その機能を補完あるいは拡張する仕組みの導入が望まれる。一つの方法として、第3章にて、開発中の携帯端末を用いた遠隔運用システムの概略をまとめる。

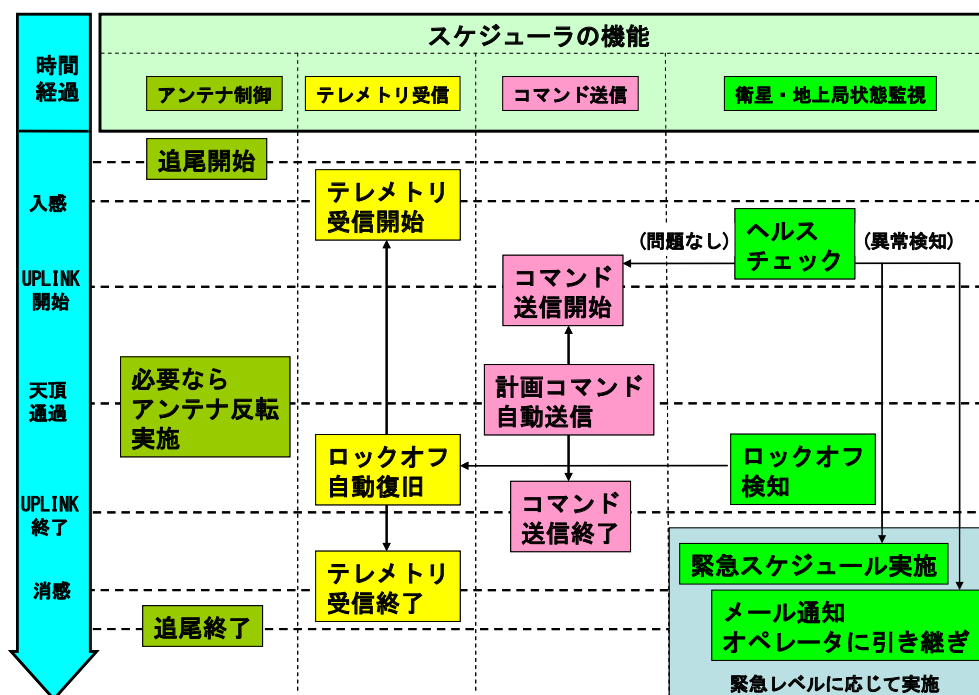


図1 自動運用システム ASURA による自動運用シーケンス概略

3. 遠隔運用システムを用いた「どこでも運用システム」

自動運用システムは、「観測者(ユーザ)が運用計画を立て、それをサーバに登録すれば、以後の検証、運用、運用データのアップロード、運用ログ配信などの作業を自動的にしてくれる」(ほぼ無人の)運用システムの実現を目的とする⁵⁾。しかし、ユーザが衛星や地上局の状態を監視したり、場合によっては緊急時の対応をせざるを得なかったり(セーフホルド状態からの復帰、緊急コマンド送信、災害対策など)、というケースも考えられる。そのため、人間と自動運用システムとの間に何らかの通信手段が欲しいところである。

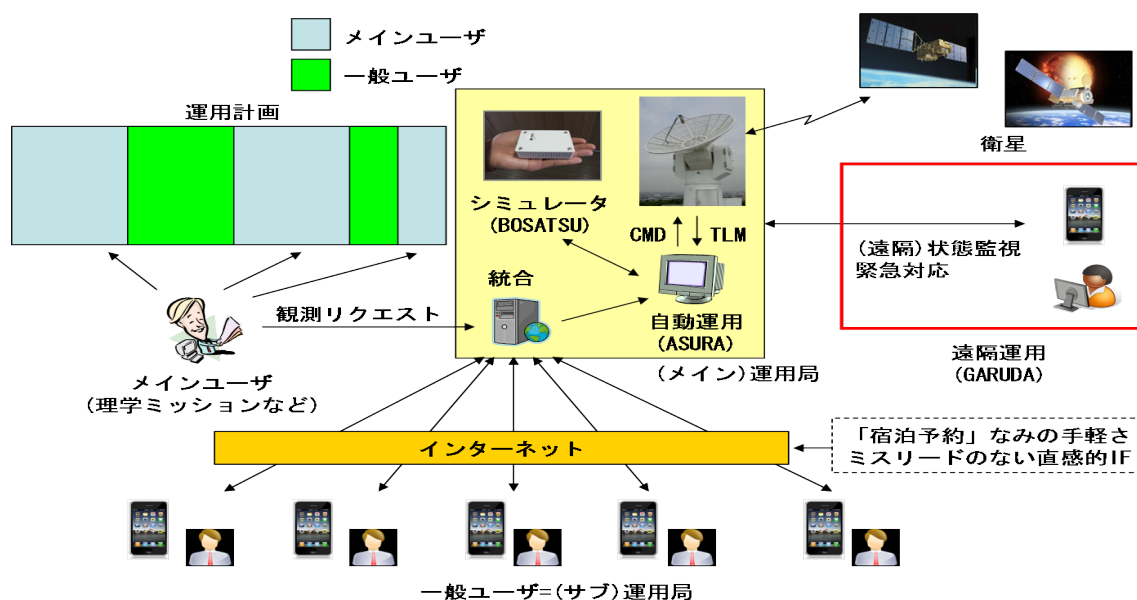
人間が極力運用システムに(時間的にも空間的にも)拘束されないための一つの手段として、ここでは遠隔運用システム⁶⁾を現在の自動運用システムと組み合わせることによって、

- 1) 衛星運用に必要な操作一式(運用時間調整、運用、取得データ管理、安全管理)を携帯端末により実現する
- 2) 自動運用システムとの組み合わせにより、「どこからでも衛星が運用・監視可能なシステム」すなわち「どこでも運用システム」を実現する

ことを目指す。開発のゴール「どこでも運用システム」をイメージとしてまとめたものを、図2に示す。携帯端末を自由に持ち運び、タッチパネルからコマンドや運用計画を選んで送信したり、ネット経由で運用結果や設備情報を確認したり、が遠隔運用システムの操作イメージである。本章では、図2の「(遠隔)状態監視、緊急対応」の部分について記述する。

遠隔運用システムの開発にあたり、1)システムを実装する端末自体の入手性・操作性のよさ、2)開発環境の充実、3)導入および運用コストに留意する。近年、iPadに代表されるタブレット端末やスマートフォンが広く普及している。これらは安価でありながら、場所を選ばずに(無線環境があればどこでも)情報のやりとりが可能である。必要なときに即座に取り出して使え、不要になったらしまえるなど、使い勝手がよい。開発環境もタブレット自体のシミュレータ(エミュレータ)がある。煩雑になりがちな配線も大幅に削減可能で、また、消費電力も低く抑えられる。用途を絞れば、低コストで使い勝手のよい運用システムの構築が期待できそうである。

なお、遠隔運用システムは、自動運用システムと連携可能であり、どこからでも使えるフットワークの軽さをふまえ、GARUDA(Generic Attachment for Reviewers' Utility and Data Archives)と命名した。図2の他の要素に関しては、別の機会にあらためて発表させていただく予定である。



- 携帯端末のタッチパネルから、観測日時、観測時間、解像度などを選択してリクエスト
- 結果をネット経由で確認、(将来的には)コマンド運用も視野に

図2「どこでも運用システム」の概略

遠隔運用システムは、図3に示すサーバ・クライアントモデルを元に開発し、開発手順としては、通信回線の問題(必要な帯域の確保)、セキュリティの問題などから、まず、衛星や地上局の状態監視を行うシステム(衛星・地上局の情報を受信するだけのパッシブなシステム)を開発した。現時点では「れいめい」の衛星状態監視機能の一部を実装し、実

運用にて自動運用システムとあわせて試験中である。スクリーンショットを、図4に示す。

この衛星状態監視システムは、運用システムのLANに設置した無線アクセスポイント(Wi-Fi)経由で衛星・地上局の情報を取得する(相模原局の環境では、有効距離は10m弱だった)。ただし、取得した情報は、自動運用システムにおいて既に工学値変換されたものであり、iPad側は通信回線・処理速度の関係から表示に特化している。「れいめい」衛星状態監視システムは簡易的なものではあるが、通信インフラが整備された環境下では、衛星管制室・運用室以外の場所においても衛星や地上局の状態を(ほぼ)リアルタイムで把握できるものである。また、衛星管制室・運用室内で使用する場合でも、人の移動の自由度が増す(人の行き来のための動線が確保しやすくなる)メリットは大きいと考える。いろいろな制約条件から、衛星の管制・運用を専用に行うための設備を収納するための部屋や建屋を確保・維持管理するのは一般に困難であると考えられるが、衛星管制・運用のための(簡易的ではあるが)システム自体が時間と場所を選ばず構築・利用でき、また、維持管理が容易であれば、導入検討の余地があるのではないかと考える。

iPad版衛星状態監視システムは、「れいめい」実運用に適用して、2013年5月末の時点で、約9ヶ月が経過した。これまでのところ、特に大きなトラブルなく運用できている。衛星・地上局に対して情報(コマンド)を送信するアクティブなシステムの開発も検討中で、原理的に可能なことは実運用試験にて確認済みである。自動運用システムの開発に用いた簡易シミュレータ(BOSATSU: Basis Of Simulator Architecture for Total Satellite/Spacecraft Utility)⁷⁾を利用すれば、一見敷居が高く見える遠隔地からのコマンド送信や携帯端末による遠隔操作などのある程度思い切った試験でも比較的手軽に試せるという利点がある。

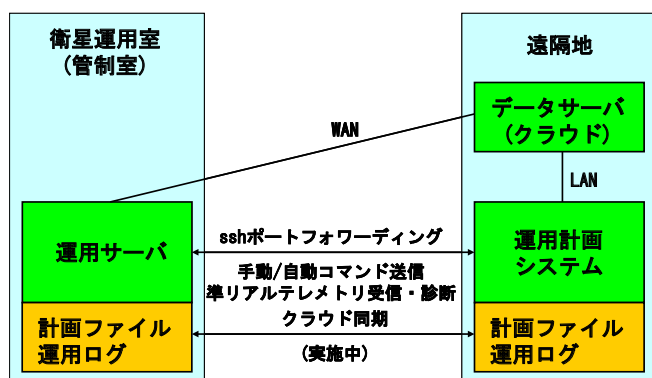


図3 GARUDAのサーバ・クライアント構造

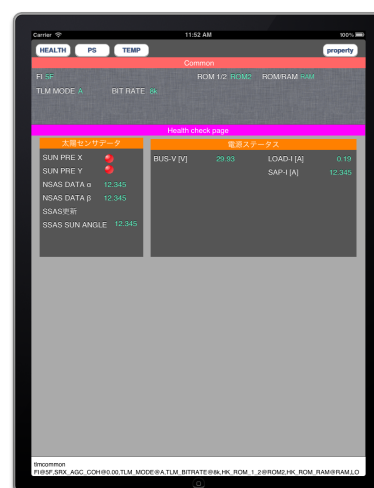


図4 iPad版衛星状態監視システム

iPad版衛星状態監視システムは、現時点では衛星・地上局の全情報を表示できていないが、今後徐々に実装範囲を拡大する。また、緊急時対応のメール受信、緊急内容に応じたコマンド(緊急スケジュール)発行の機能なども、徐々に実装する予定である。前述のとおり、遠隔地からコマンド送信可能であることは、実運用試験にて確認しており、遠隔コマンド運用の目処は立っている。

4. おわりに

時と場所を選ばず「どこからでも衛星が運用・監視可能なシステム」すなわち「どこでも運用システム」の開発状況について述べた。どこでも運用システムの核の一つとなるのが、衛星自動運用システムの機能を補完あるいは拡張するために開発中の遠隔運用システムである。遠隔運用システムと自動運用システムを核とした「どこでも運用システム」の実現が、当面の最終ゴールである。

自動運用システムと遠隔運用システムの開発に用いている簡易シミュレータもあわせて、運用を意識した衛星開発(逆に衛星開発を意識した運用システム開発)が可能なシステムを実現することも、今後の大きな課題の一つとしたい。このシステムは、現状では基本的には独立して行われている衛星と地上システムの開発を、比較的早い段階から統合的に検討可能なシステムの構築を目指す。また、運用訓練や衛星のコマンド計画立案・検証のための支援システムとしての用途にも期待している。

今回は「どこでも運用システム」に始まるシステム開発の一環として、iPad 版衛星状態監視システムの現状を紹介した。今後も、システム機能の充実を図りつつ、「れいめい」衛星ならびに相模原局以外の衛星および地上局へと適用範囲を広げてゆきたいと考えている。相模原局自体も、引き続き自動運用・遠隔運用システムのテストベッドとして有効活用してゆく。また、自動運用・遠隔運用を前提とする運用システムとしてのパッケージングを視野に入れた検討を進めてゆきたい。例えば大学衛星をはじめとするビギンバッグ衛星向けのシステムも含めた検討を進めてゆきたい。

謝辞

日頃からご指導ご鞭撻頂いております、「れいめい」開発メンバ、運用メンバの皆様、自動運用システムのソフトウェア開発でお世話になっております秋丸忠隆氏に、この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) J. Jean-Marc Soula: “Automation of CNES Ground Station Networks” , 8th International Workshop on RCGSGO, Automation No.3, Tsukuba, Japan, 2009.
- 2) D.Chung et.al.: “Concept Design of the Generic Mission Operation System” , 8th International Workshop on RCGSGO, Automation No.12, Tsukuba, Japan, 2009.
- 3) J.Jackson et.al.: “NASA’ s Ground Network’ s Right Sizing and Transition to Outsourcing” , 8th International Workshop on RCGSGO, Outsourcing No.5, Tsukuba, Japan, 2009.
- 4) H. Saito et.al. : “An overview and initial in-orbit status of “INDEX” satellite” , 56th International Astronautical Congress, IAC-05-B5.6.B.05, Fukuoka, Japan, Oct. 2005.
- 5) H. Nagamatsu and H. Saito : “Development of Automatic Operation System-Using REIMEI Ground Station as a Test Bench” , 62nd International Astronautical Congress, IAC-11-B4.3.4, Cape Town, South Africa, Oct. 2011.
- 6) 永松：衛星の遠隔運用システムの開発，第 56 回宇科連，JSASS-2012-4109，2012.
- 7) 永松：簡易衛星シミュレータの開発，SANE，SANE2011-163，2012，pp.19-21.