

小型科学衛星「れいめい」(INDEX) 運用システムの現状について

永松 弘行 (科学衛星運用・データ利用センター 衛星運用グループ)

1. はじめに

「れいめい」(INDEX : INnovative-technology Demonstration EXperiment) は宇宙科学研究所が開発した小型科学衛星であり、オーロラ観測と新規衛星技術の軌道上実証を目的としています。「れいめい」は2005年8月24日、カザフスタン共和国のバイコヌール宇宙基地から、ドニエプルロケットによって、光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS) のピギーバック衛星として打ち上げられました。去る2010年8月24日、打ち上げより5年が経過し、現在も軌道上にて順調に稼働しています。図1に「れいめい」フライトモデルの写真を示します。

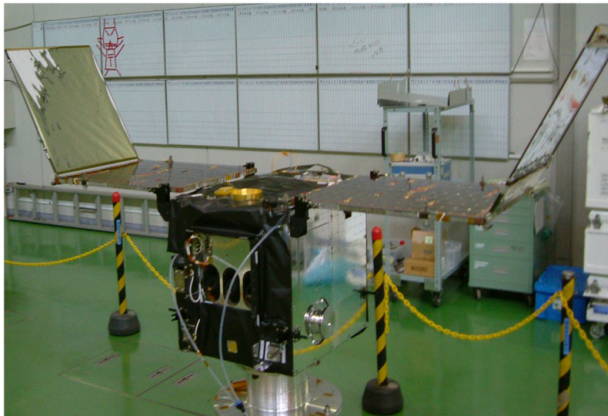


図1. 「れいめい」フライトモデル

本稿では「れいめい」地上局の概要ならびに現在の運用状況を紹介いたします。

2. 「れいめい」地上局

「れいめい」は専用地上局を宇宙科学研究所相模原キャンパス内に保有しており、日常の運用に用いています。衛星ミッションにとって、搭載機器の高機能化と同様、地上局の高機能化も重要であり、数多くの新規技術や工夫が求められます。そこで「れいめい」地上局は、産業レベルのPCを用いた地上局による運用を開発当初からミッションの一部として捉え、ISAS/JAXA教職員、学生、ベンチャーハード/ソフト開発者の協力で、インハウスの手法で開発を行いました。

2.1 地上局のハードウェア構成

地上局の概略を図2に示します。運用系PCは一部を除きWindowsOSが稼働する産業レベル品です。次に示すPCより構成されています。すなわち、運用者がコマンドを送信するコマンドPC、衛星からダウンリンクされたテレメトリデータを運用系に取り込むテレメPC、運用者が衛星の状態を監視するために用いるQL(Quick

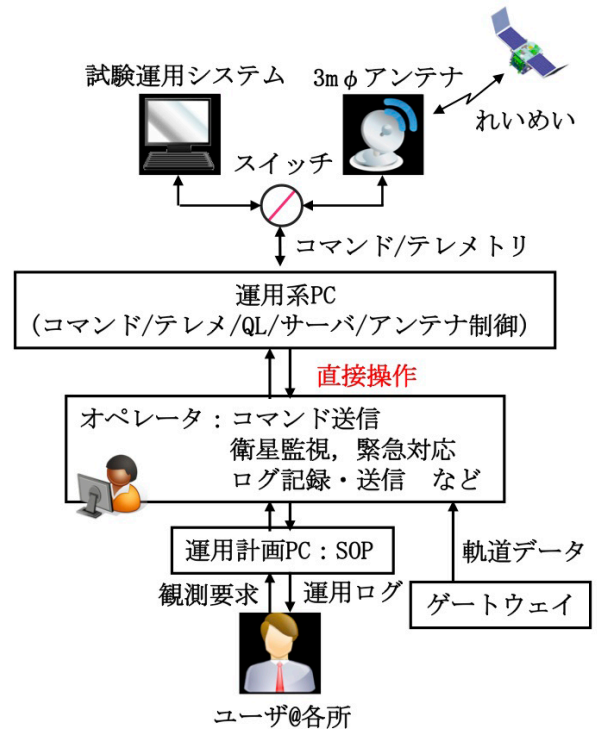


図2. 「れいめい」地上局の概略

Look)-PC、テレメトリデータをコマンドPCやQL-PCへ配布するサーバPC、運用計画コマンド(後述のSOP)を作成・検証するための運用計画PC、軌道データサーバおよびデータ分配蓄積の役割を担うゲートウェイ、アンテナ(図3、φ3m、アップリンク/ダウンリンク



図3. 相模原局φ3mアンテナ

[裏へ続く]

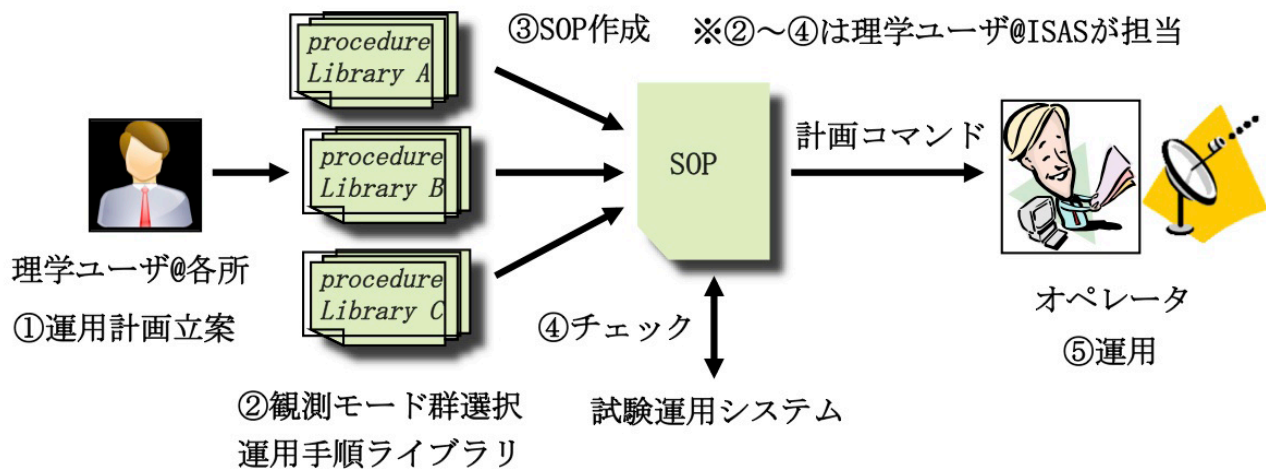


図4. 運用計画立案から運用までの流れ（イメージ）

ともSバンド対応)のサーボ制御を行うアンテナ制御PCです。試験運用システムは、「れいめい」搭載計算機のプロトタイプを利用したもので、スイッチによってアンテナと切り替えて使用します。新しい観測計画の事前検証で威力を発揮します。

2.2 地上局のソフトウェア開発環境と観測計画の立案

ソフトウェア開発環境としては一般に広く利用されているものを活用しています。例えば、XML(eXtensible Markup Language)ベースのSOP(Satellite Operation Procedure)によるコマンドの自動生成、CVS(Concurrent Version System)によるソフトウェアのバージョン管理などです。XMLベースのSOPは、個々のサブシステム担当者が作成した運用手順ライブラリ(procedure libraries)を適宜組み合わせてコマンドを生成する仕組みを提供します。

観測計画に基づくSOPの作成は「れいめい」運用計画立案の要です。その手順は、以下ようになります。図4に運用計画立案から運用までの流れをまとめます。

- (1) 理学観測要求(日時、観測モード)は、宇宙研や遠隔地(他大学など)の理学ユーザより出されます。
- (2) 観測要求を統合し、実際の運用計画立案ファイルを作成する作業は、理学ユーザの宇宙研メンバが行います。観測要求の優先順位は、以下の通りです。
 1. キャンペーン観測:「れいめい」と地上オーロラ観測レーダやカメラ、あるいは他衛星との共同観測で、観測時刻が一意に決定します。
 2. 「れいめい」単独での粒子センサ・カメラによる同時観測:キャンペーン観測の空き時間に設定します。
 3. 磁力線追尾観測、粒子センサまたはカメラによる単独観測など:1、2の空き時間に設定します。

4. 工学実験:GPS受信機などを用いた工学実験、SAP評価のための電源系試験などを、要求に応じて運用計画に取り入れます。
- (3) 運用手順ライブラリ群より観測要求に応じて観測モードを選び、SOPおよび姿勢変更手順を作成します。
- (4) コマンドの安全性を確認します。
 1. 運用計画の妥当性の検証は、姿勢系ソフトウェアシミュレーションにより行います。結果がNGの場合、(3)の手順に戻り、観測計画を見直します。
 2. 初めて実施するコマンドに対しては、試験運用システムを用い、OBCハードウェアによる検証を行います。
- (5) 以上で問題がなければ、作成したSOPで運用を行います。

なお、得られたテレメトリデータの蓄積、処理は

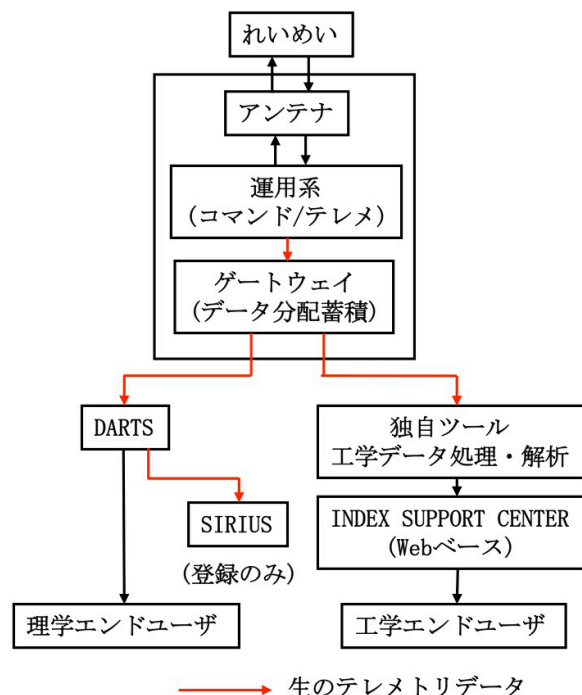


図5. 「れいめい」データフロー概略

「れいめい」独自のシステムを構築し、日々の運用、データ解析に役立っています。宇宙研外のユーザもアクセス可能です。処理済みの理学観測データはDARTSにて公開されています（図5）。

「れいめい」の科学目的について本稿では具体的には触れませんが、ご興味のある方は、PLAIN News 192号（http://www.isas.jaxa.jp/docs/PLAINnews/192_contents/192_1.html）をご覧くださいければ幸いです。

3. 運用の現状

2010年9月現在、「れいめい」は2で紹介した専用地上局にて運用を継続しています。定常運用の体制は以下の通りです。

- (1) ISAS/JAXA 教職員、学生を含めた1～3名の体制で運用を行っています（図6）。



図6. 相模原局での定常運用の様子

- (2) 定常運用には、以下の地上局を活用しています。3、4はダウンリンク専用局で、一日あたりの可視はいずれの局も最大15パスです。

1. 相模原局（SCA φ3m）：コマンドアップリンク（姿勢制御 / タイムラインコマンド）およびテレメトリデータのダウンリンクを行います。一日あたりの可視は4～5パスです。
2. 内之浦宇宙空間観測所（USC φ20m）：相模原局のバックアップ局です。また、打ち上げ後の初期運用は本局にて行いました。
3. ノルウェー、スバルパード（SVL φ13m×2、φ10m）
4. 南極昭和基地、多目的アンテナ（SYO φ11m）

- (3) 定常運用の一年単位での基本的なスケジュールは、以下の通りです。

1. 10月中旬～5月上旬：北極域でのオーロラ観測、低緯度域でのリム観測など
2. 5月中旬～10月上旬：南極域でのオーロラ観測、低緯度域でのリム観測など
3. 不定期：SAP 評価試験（電源系試験）、姿勢系メンテナンス運用など

- (4) 定常運用の一週間単位での基本的なスケジュールは、以下の通りです。

1. 月、水、金昼可視：観測計画をアップリンク

します。スバルパード、昭和基地のダウンリンク計画を含みます。

2. 火、木、土昼可視および平日夜可視：観測データのダウンリンクを行います。

4. 自動運用の試み

相模原局では現在、定常運用における運用者の負担軽減を目的に、自動運用の実験を行っています。ただし、運用時には無線主任技術者が監視する必要があります。

従来の運用システムでは、運用者は運用系操作卓を操作する（例えばキーボードやマウスを操作したり、画面を見たりする）ことでコマンド送信、テレメトリ受信、アンテナ操作、衛星状態監視、緊急時対応、ログ記録などを行います。自動運用システムでは、「スケジューラ」と呼ぶソフトウェアが、SOPより生成されるスケジュールファイルに基づいて、コマンド送信、テレメトリ受信、アンテナ操作など運用シーケンス全体を管理・統括・制御し、運用者の代役を果たします。図7に、自動運用システムの概略を示します。

自動運用システムを構築する際、相模原局のつぎの特長を活かしました。(1) 衛星運用に必要な設備一式が相模原キャンパス内にすべて揃っている。(2) 他の科学衛星の運用と干渉しない。(3) ある程度自動化対応したシステムである。既存の設備をほぼそのまま使い、ソフトウェアのみの改修で、できる限りシンプルなシステム構成での自動運用を目指しています。スケジューラの設計方針は、「現行運用系とは独立性が高く、開発やデバッグ、ユーザによる機能拡張、適用範囲の拡大が容易な、見通しのよいシステムとする」ことで

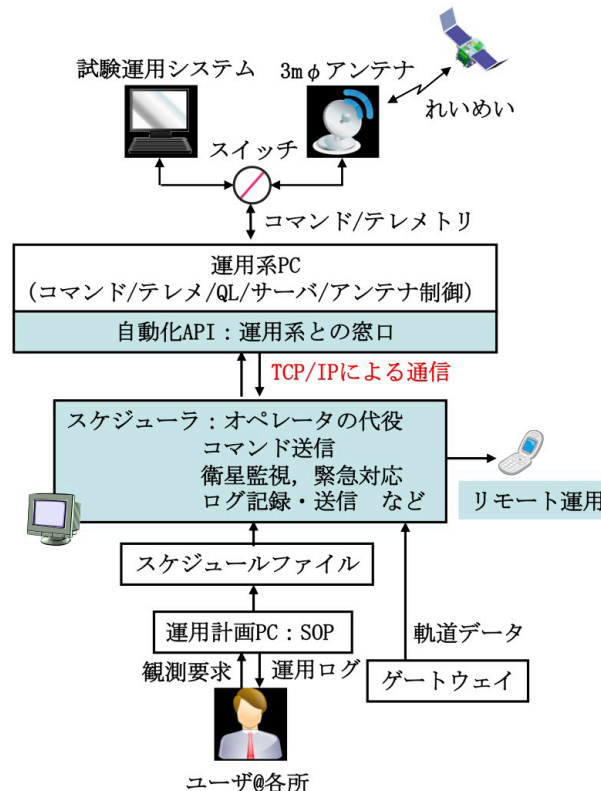


図7. 「れいめい」地上局の自動化

[裏へ続く]

す。そのため、スケジューラから運用系の機能を利用するための通信窓口として自動化 API (Application Program Interface) を作りました。スケジューラは自動化 API を通じて運用系の機能を利用し、運用シーケンス全体を制御します。自動化 API を作ることで、相模原局の従来の運用系を自動化のために直接改修する必要はなくなり、スケジューラを新たに追加することによって自動運用を実現することができます。

2010 年 4 月より観測データのダウンリンクを対象に「れいめい」実機による自動運用実験を定期的に行っています。実験の結果は良好で、自動運用実現へ向けての目処が立ったところです。最終的には定常運用のシーケンスすべてを自動化し、定常運用のさらなる負担軽減を目指しています。緊急時のリモート運用にも対応してゆく予定です。

5. おわりに

小型科学衛星「れいめい」は宇宙科学研究所が開発し、現在も同相模原キャンパスの専用地上局にて運用を継続しています。本稿では、「れいめい」の地上局的に的を

絞り、その概要および日常の運用の様子を紹介させていただきました。

他の科学衛星の運用とは少し違う雰囲気があると思います。例えば、定常運用にはメーカーの方が参加されることはなく、教職員と学生が交代制で行います。また、運用局自体も非常にコンパクトで、専用の設備一式が相模原キャンパスに揃っています。可視と可視の間に観測要求の変更などがあった場合も比較的早く対応できる（次の可視でコマンド送信可能）など、非常に軽快なフットワークで運用している点も特徴的かと思います。テレメトリデータの処理も「れいめい」独自のシステムで行っています。最近では運用自動化の実験も行っています。このような雰囲気を多少とも感じていただければ、また、何かのご参考になれば幸いです。

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、この場を借りてお礼申し上げます。

H22 年度 第二回 科学衛星運用・データ利用センター運営委員会 報告

海老沢 研 (C-SODA 運営委員会副委員長)

2010 年（平成 22 年）第二回 科学衛星運用・データ利用センター (C-SODA) 運営委員会が、9 月 15 日、宇宙科学研究所 G 棟二階会議室にて開催されました。

7 月 29 日に第一回が開催されたばかりですが、前回の委員会報告 (PLAIN ニュース先月号) にも書いたとおり、今年度の委員会のタスクは国内の科学衛星データの公開・利用状況と将来の望ましい体制についての詳細なレポートを策定することが目的であるので、今年度ではできるだけ頻繁に集まって議論を重ねることにしています。出席委員は (順不同、敬称略)、JAXA 外からは尾中 (東大)、水本 (国立天文台)、村田 (NICT)、出村 (会津大)、山内 (奈良女子大)、JAXA 内からは福田 (EORC)、ISAS 内からは阪本、依田、篠原、松崎、山本、海老沢、オブザーバーは本田 (C-SODA データ利用 G) でした。このように、様々な分野にわたる衛星データ公開・利用の専門家が一堂に集まり、長時間にわたり活発な議論が交わされました。特に、依田宇宙環境利用科学委員長から、将来的には国際宇宙ステーション (ISS) の与圧部における実験データ (画像、動画など) も他の科学衛星データと同様にアーカイブ化すべきだということという意見があり、本レポートは ISS 与圧部データもスコープに含むことにしました。

レポートは「科学衛星データの公開・利用について」と題され、年度内に理学委員会に提出、理学班員に対して公開することを目指しています。今回の委員会では、

前回の議論を踏まえ、JAXA の科学衛星がデータ公開・利用に関して従うべき三つの原則が提案され、確認されました。以下にそれを簡単に紹介します。

1. データプロダクションの原則 … すべての科学衛星データから、公知の知識だけでそこから科学的成果を引き出せるような高次データプロダクトを生成する。
2. データアーカイブの原則 … データプロダクトは永久保管し、占有期間が過ぎた後は世界に向けて無償公開する。
3. データサービスの原則 … ユーザーがそれらのデータプロダクトを使えるようにするために、必要なサービスを提供する。

その後、天文学、月惑星科学、太陽地球系科学、太陽物理学の各分野におけるデータ公開・利用の現状と将来の望ましい姿が、それぞれの分野を専門とする委員から報告されました。しかし、それらの記述レベルや目指す方向はばらばらで、まだ足並みがそろっていません。よって、上記の原則に沿って、各衛星または検出器ごとにデータ公開・利用の現状と問題点を整理し、課題を洗い出した後に、もう一度将来の望ましい体制に向けての議論を行うことにしました。

今回の委員会は 11 月 5 日に開催の予定です。今後とも C-SODA 運営委員会をよろしくお願いいたします。

編集発行：宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 科学衛星運用・データ利用センター 科学データ利用促進グループ
〒252-5210 相模原市中央区由野台 3-1-1 Tel.050-3362-2460 住所変更等 e-mail : plainnews@plain.isas.jaxa.jp
本ニュースはインターネットでもご覧になれます。http://www.isas.jaxa.jp/docs/PLAINnews

●編集後記：残暑が残る東京を離れ、遊牧民が暮らすモンゴルの僻地に一週間。東京に戻ってきたらすっかり秋になっていました。(K.E.)