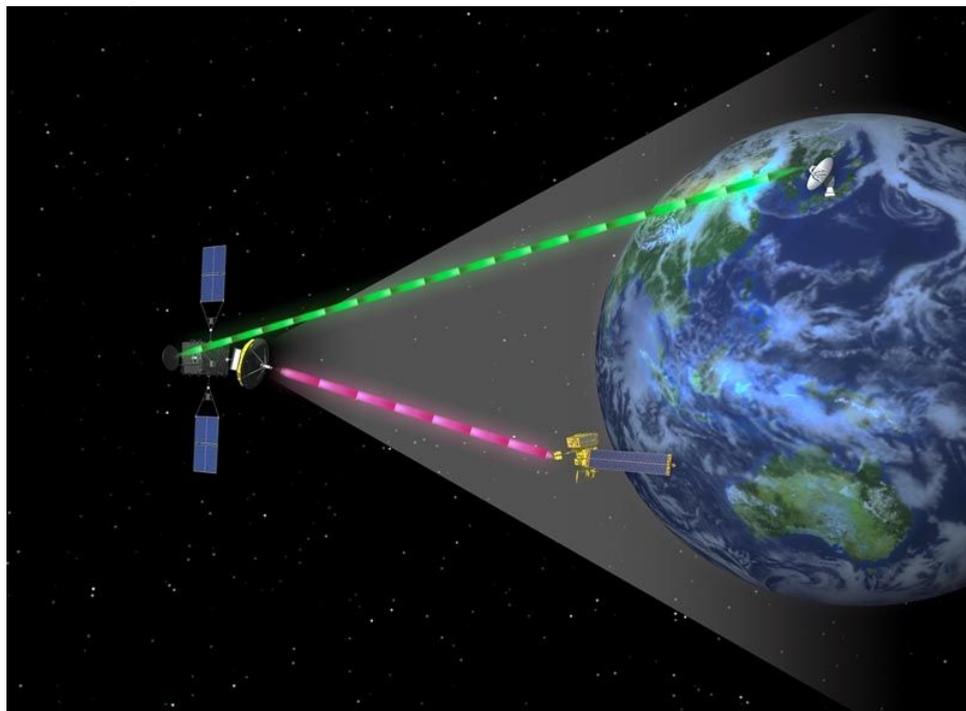




データ中継技術衛星「こだま」(DRTS)の 定常段階終了と後期利用計画について



平成21年10月7日

宇宙航空研究開発機構
執行役 道浦 俊夫



「こだま」の経緯

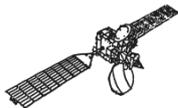
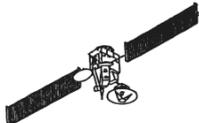
- (1) 平成14年9月10日 種子島宇宙センターからH-IIAロケット3号機により打上げ。
- (2) 平成15年1月10日 定常運用開始。
- (3) 平成15年2月にADEOS-IIとの衛星間通信実験に成功。以降、OICETS(平成17~21年)、ALOS(平成18年~)、欧州宇宙機関地球観測衛星ENVISAT(平成18年)、SDS-1(平成21年)、JEM(平成21年~)との衛星間通信実験に成功。
- (4) 平成21年9月28日にJAXA内の定常段階終了審査会を開催。ミッション7年間の実験成果を評価し後期利用段階に移行。今後もALOS及びJEMとの衛星間通信実験を継続予定。



「こだま」の開発目的

「こだま」は下記技術の開発及び実証を目的とした研究開発衛星である。

- 衛星間通信技術
- データ中継運用技術
- 中型静止三軸衛星バス技術

| 打上げ年 | 平成6年 1994年 | 平成9年 1997年 | 平成14年 2002年 |
|------|--|--|---|
| 衛星 | 技術試験衛星VI型 (ETS-VI: きく6号)  | 通信放送技術衛星 (COMETS: かけはし)  | データ中継技術衛星 (DRTS: こだま)  |
| 実験内容 | ・衛星間通信に関する 基礎的実験 | ・衛星間通信実験及び 捕捉・追尾基礎実験 | ・高速データ伝送 ・高精度捕捉・追尾 ・ネットワーク実験 |
| 通信速度 | 最大10Mbps *軌道上における地上模 擬衛星局との実験結果。 | 最大120Mbps *軌道上における地上模 擬衛星局との実験結果。 | 最大240Mbps |
| 通信相手 | UARS (NASA衛星) 地上模擬衛星局 | 地上模擬衛星局 | ADEOS-II ALOS きぼう OICETS |



「こだま」のスケジュール

| | 14年度 | 15年度 | 16年度 | 17年度 | 18年度 | 19年度 | 20年度 | 21年度 |
|---------|-----------------------------|-----------------|------|---------------------------|------|------|------|-----------------|
| マイルストーン | (9/10) 打上げ (1/10) 定常段階移行 | | | | | | | (9/28) 定常段階終了審査 |
| 運用フェーズ | ← 初期段階 | ミッション期間(打上げ後7年) | | | | | | → 後期利用段階 |
| 実験宇宙機 | | ADEOS-II | | OICETS ALOS ENVISAT | | | | SDS-1 JEM |



「こだま」の成果概要

➤ 衛星技術の検証(衛星システム)

- 衛星バス系、ミッション系は良好な機能、性能を維持。安定した運用を継続中。後期利用段階においても引き続き運用継続可能。
- 軌道上で発生した衛星不具合(全10件)は全て処置済み。
 - ー発生電力低下(2件)が発生したが、運用継続には支障なし。定常段階終了時点における発生電力約2kW以上(仕様値:2kW以上@寿命末期)。
 - ーパイロット受信機ロックオフ(1件)が発生したが手順修正により対処。
 - ーフィーダリンクアンテナの熱歪みによる指向誤差規格外れ(1件)が発生したが衛星姿勢バイアス機能を使って指向方向を補正することにより対処。
 - ー第3回AEF時に推力低下(1件)が発生したが20Nスラスタによる追加軌道制御により対処。追加軌道制御実施による衛星運用寿命への影響なし。
 - ー精太陽センサ及び地球センサの誤動作に伴う故障検知等(3件)が発生したが太陽フレア発生等に伴うもので故障検知閾値見直しにより対処。
 - ーアークジェットスラスタ動作不良及び1Nスラスタ推力低下(2件)が発生したが冗長系切替により対処。



「こだま」の成果概要

➤ 衛星間通信実験(技術実証状況)

| 実験項目 | 実験成果 |
|-----------|--|
| データ中継運用技術 | 複数ユーザに対するスケジューリングルール及び自動化運用を確立するとともに、99%以上の運用達成率(=運用実績時間/運用計画時間)を達成。 |
| 捕捉追尾技術 | 高い追尾精度(プログラム追尾:要求0.1度に対し対ALOS実績0.03度、RF自動追尾:要求0.043度に対し対ALOS実績0.006度)を達成。 |
| 通信技術 | ALOSの278Mbpsミッションデータ中継により高速データ伝送に必要な通信技術を実証。また、地上局からの送信出力を降雨減衰に応じて可変する機能及びサイトダイバシティの確保により降雨に弱いKa帯の利用技術を確立。 |
| 軌道決定技術 | 地上局ーデータ中継衛星一周回衛星ーデータ中継衛星ー地上局というルートでの4way測距データを用いた軌道決定技術を確立。 |
| 適合性試験 | 地上試験中の衛星実機と地上局間を光ケーブルで接続しRF信号を光信号に変換して中継接続する試験構成により適合性試験を実施する技術を確立。 |
| 国際相互運用実験 | 欧州宇宙機関の地球観測衛星ENVISATと衛星間通信実験を実施することにより国際相互運用性を実証。 |



「こだま」の成果概要

➤ 衛星間通信実験(運用状況)

- 各種実験対象宇宙機との間でS帯及びKa帯衛星間通信実験に成功。
- ALOSとは、平成18年(2006)年2月に、Ka帯を利用した世界最高速度278Mbpsの衛星間通信実験に成功。

| 実験対象 宇宙機 | 実験運用期間 | S帯 フォワード 回線 ^{注2} | S帯 リターン 回線 ^{注2} | Ka帯 フォワード 回線 ^{注2} | Ka帯 リターン 回線 ^{注2} | Ka帯 フォワード ビーコン 回線 ^{注2} | 実験運用 パス数 |
|-------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|---------------------|
| ADEOS-II | 2003.2.17～2003.10.24 | ○ | ○ | | ○ | ○ | 2808 |
| OICETS | 2005.9.1～2009.9.10 | ○ | ○ | | | | 359 |
| ALOS | 2006.2.19～現在 | ○ | ○ | | ○ | ○ | 15301 ^{注1} |
| ENVISAT | 2006.4.4～2006.9.26 | | | | ○ | | 19 |
| SDS-1 | 2009.3.3～2009.6.16 | ○ | ○ | | | | 4 |
| JEM | 2009.8.18～現在 | | | ○ | ○ | ○ | 5 ^{注1} |

注1)現在も運用継続中のALOS及びJEMについては、2009年9月10日時点の運用パス数を記載。

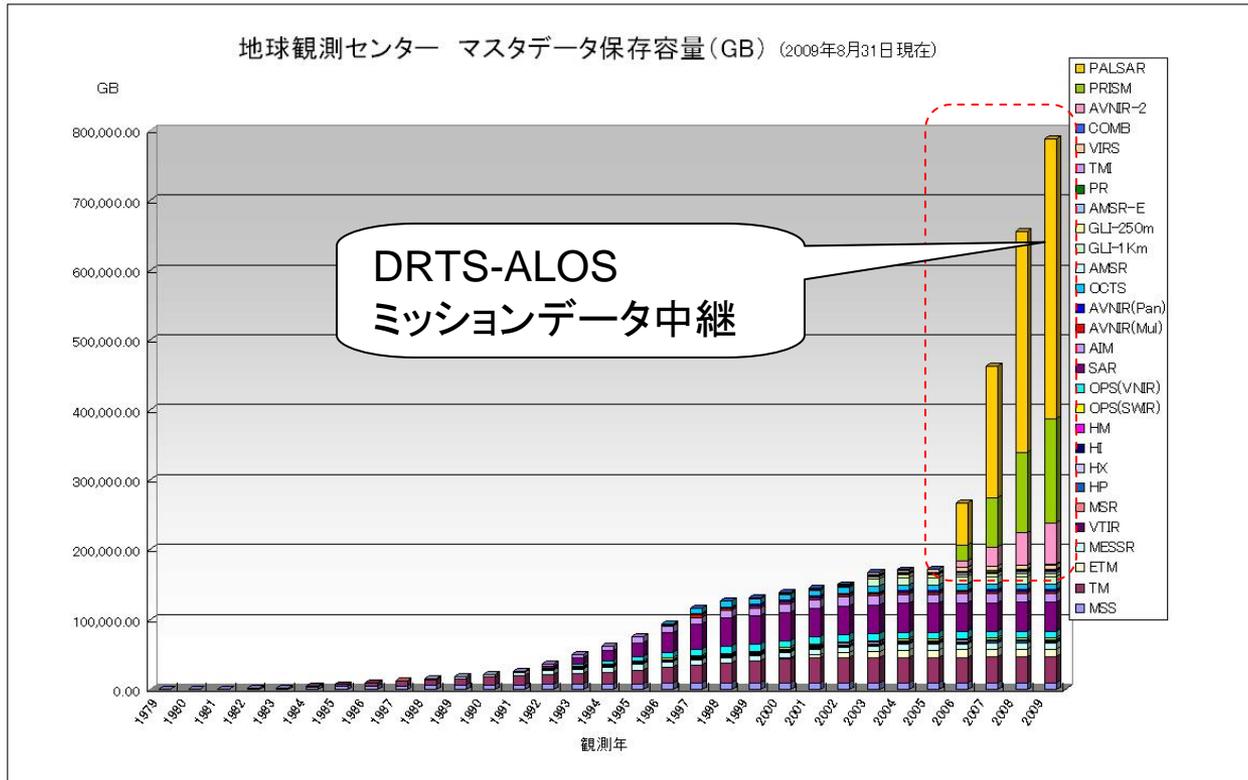
注2)フォワード回線:データ中継衛星→周回衛星、リターン回線:周回衛星→データ中継衛星。



「こだま」の成果概要

- ALOSミッション運用への貢献(データの集計は平成21(2009)年8月末時点)
 - 定常段階移行後約3年3カ月のALOSミッションデータ保存量は約600TB*1(レベル0データ相当)。
 - この量は1978年から始まり30年以上かけて鳩山地球観測センターで取得した内外の地球観測衛星からのミッションデータの保存量約180TB*1(ALOS以外)を大きく上回る。

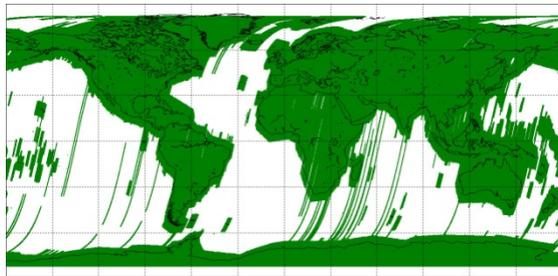
* 1 TB(テラバイト)
=約10¹²バイト



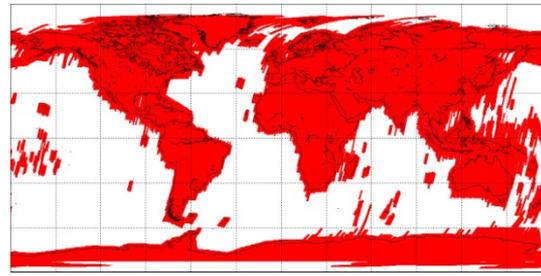


「こだま」の成果概要

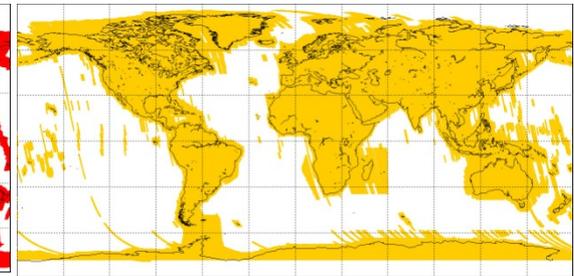
- ALOSミッション運用への貢献(データの集計は平成21(2009)年8月末時点)(続き)
- ALOSミッションデータの受信方法の内訳は、DRTS経由:3200万秒(98.9%)に対し、直接受信:35万秒(1.1%)と、DRTS経由のデータ取得が圧倒的な割合を占める。
 - 観測されたデータのセンサ毎の内訳は、PRISM (パンクロマチック立体視センサ)約178万シーン、AVNIR-2(高性能可視近赤外放射計2型)約80万 シーン、PALSAR(フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ)約133万シーンである。
 - 以下に各センサ毎のデータ取得済みエリアを示す。同図から、全球データが取得済みであることがわかる。現在も日々、データの累積取得が行われている。



PRISM



AVNIR-2



PALSAR

- 「こだま」を用いて、全地球規模で収集することにより地図作成、地域観測、災害状況把握、資源探査等に利用されており、中国の四川省や岩手・宮城の大地震などの大規模災害時に緊急観測により災害状況の早期把握に寄与している。



「こだま」の成果概要

- ALOSミッション運用への貢献：緊急観測への迅速な対応
 - ALOSにおいては災害状況把握を目的とした緊急観測を実施したが、DRTSを利用することにより、世界のどの地域で災害が発生しても短時間で観測し、データ提供することが可能となった。以下に、主な事例、その成果などを示す。
- ① 国内24件、海外106件の大規模災害に対し、国内は半数以上、海外は殆どをDRTSを利用して緊急観測を実施。観測要求日から5日以内の観測という目標に対し、ユーザからの観測日の指定等、特別な理由以外、目標日数内に観測を実施した。
- ② 緊急観測データの提供において、タイ洪水に対しタイ地理情報・宇宙技術開発機関(GISTDA)より、中国四川省大地震に対し中国国家防災委員会(CNCDR)及び中国国家防災センター(NDRCC)よりそれぞれ感謝状が贈られた。
- ③ 緊急観測以外での迅速な観測・提供の事例として、ブラジルの環境・再生可能天然資源院 (IBAMA)と共同研究を締結し、JAXAはSCANSARデータ(100m分解能)を観測後10日以内に、IBAMAに提供し、森林監視に貢献した。



「こだま」の成果概要

➤ JEMミッション運用への貢献

「こだま」とJEMとの衛星間通信実験は平成21年8月に開始されたばかりであるが、捕捉追尾系及びRF送受信系ともに問題ないことを確認済みであり、画像ダウンリンクも正常に実施できることが確認できた。

「こだま」-JEM間の衛星間通信回線は国際宇宙ステーションとの間における日本独自の通信回線であり、JEMの実験データを迅速に取得する手段が確保できた。



JEMから「こだま」
経由でダウンリンク
された試験画像



「こだま」の成果概要

空へ挑み、宇宙を拓く

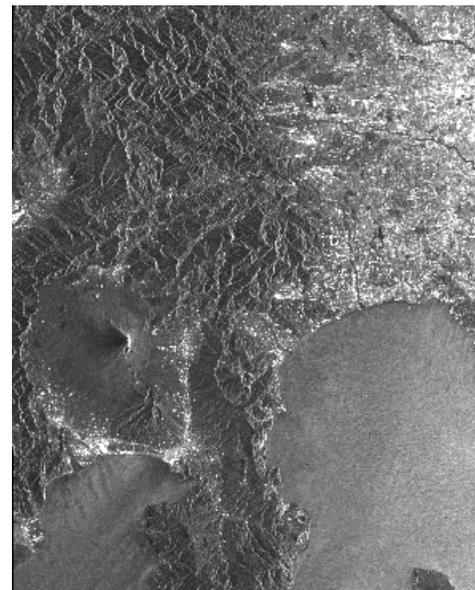


➤ 国際相互運用性の実証

衛星間通信分野における国際相互運用性を実証するため、「こだま」と欧州宇宙機関の地球観測衛星ENVISATとの間で、Ka帯リターン回線を用いてミッションデータを受信する衛星間通信実験を平成18(2006)年4、9月に実施。軌道上における適合性試験、捕捉追尾試験及びミッションデータ受信実験の成功により、国際相互運用性について実証。



ENVISAT MERIS(中解像度画像分光計)で撮影された北海道



ENVISAT ASAR(Cバンド改良型合成開口レーダ)で撮影された富士山¹²



「こだま」の成果概要

空へ挑み、宇宙を拓く



➤ 反映事項

定常段階における衛星運用、衛星間通信実験運用等を通して得られた知見から、DRTS「こだま」は将来の衛星間通信技術・データ中継運用技術のための機能・性能を有していることが軌道上の実験成果から確認できた。なお、DRTS後継ミッションの最適化につながる反映事項は以下のとおり。

- (1) S帯リターン回線のチャンネル数の変更(2波→1波)
- (2) Ka帯フォワードビーコン回線の送信元の変更(地上→オンボード)
- (3) RF自動追尾機能の削除の検討(高精度プログラム追尾)
- (4) リアルタイム制御項目の削減(運用簡略化)
- (5) オートアンローディング機能の見直し(運用簡略化)
- (6) サイトダイバシティの確保(信頼性向上)
- (7) 複数データ中継衛星から構成されるデータ中継衛星ネットワークシステムの整備(将来需要対応)
- (8) 国際周波数調整及び国内免許業務の継続的かつ確実な実施(ノウハウ)



「こだま」の後期運用計画

空へ挑み、宇宙を拓く



- 後期利用段階においても、現状の定常段階で実施している運用を継続する。
- 後期利用段階においては、ALOS及びJEMによる「こだま」の継続利用が予定されている。運用の優先度は調整済みである。
- 推薬消費の低減による寿命延長を目的として、南北制御用アークジェットスタの噴射回数制限に達する平成22年11月以降、南北制御を中止し、東西制御のみ行う運用に切り替える。
- 南北制御中止により軌道傾斜角が増大するため、当面の運用クライテリアは南北方向(軌道傾斜角)1度に達するまで(推定到達時期:平成24年1月)とし、それ以降の運用については衛星状況等を判断して決定する。

なお、デブリ防止の観点から確実に軌道離脱を行う必要があるため、今後の不具合発生状況によっては早期に軌道離脱を実施する可能性がある。



まとめ

- 我が国の衛星間通信データ中継システムは、技術試験衛星VI型(ETS-VI)「きく6号」、通信放送技術衛星(COMETS)「かけはし」を経てDRTS「こだま」に継承された。
- 「こだま」の定常段階運用で得られたミッション成果概要は以下のとおり。
 - ALOSと世界最高速度278Mbpsの衛星間通信実験に成功した。また、打上げ後7年のミッション期間終了までにADEOS-II、OICETS、ENVISAT、SDS-1、JEMの様々なミッションと、Sバンド及びKaバンドによる衛星間通信実験を実施し、フルサクセスを達成した。
 - 欧州宇宙機関の地球観測衛星ENVISATとの衛星間通信実験成功による国際相互運用性の実証や、ALOSとの衛星間通信実験で99.9%以上という非常に高い運用達成率によりミッションデータ伝送のインフラ回線として実運用に耐えられるレベルであることを実証するなどのエクストラサクセスを達成した。
 - 大量データを伝送することで、ALOSミッションの地図作成、地域観測、災害状況把握、資源探査に貢献し(ALOSミッションデータ保存量は約600TB)、さらに、緊急観測を実現することにより中国の四川省や岩手・宮城の大地震などの大規模災害時に災害状況の早期把握に寄与した。
- 上記のとおり定常段階で目標とした成果を得たことから、後期利用段階においてもこれまでどおりの運用を継続していく。



参考：ミッション達成状況（1／2）

| (1) ミニмумサクセス | |
|---------------|--|
| 基準 | ADEOS-II、ALOS との衛星間通信リンクを確立でき、衛星間通信実験を実施できること |
| 達成状況 | ① ADEOS-IIとの衛星間通信リンクに関しては、2,808パスの衛星間通信実験を実施 ② ALOSとの衛星間通信リンクに関しては、15,301パス(平成21年9月10日現在)の衛星間通信実験を実施し、現在も衛星間通信実験を継続中 以上から、ミニмумサクセスを達成 |
| (2) フルサクセス | |
| 基準 | ALOS との278Mbps の衛星間通信実験を実施できること。ミッション期間(打上後7年)中に亘り、衛星間通信実験を継続できること |
| 達成状況 | ① 平成18年2月に、Kaバンドを利用した世界最高速度278Mbpsの衛星間通信実験に成功 ② 平成21年9月10日のミッション期間終了まで、ALOSだけでなく、ADEOS-II、OICETS、SDS-1、JEMの様々なミッションと、Sバンド及びKaバンドによる衛星間通信実験に成功 以上から、フルサクセスを達成 |



参考：ミッション達成状況（2／2）

| (3) エクストラサクセス | |
|---------------|--|
| 基準 | 将来のデータ中継ミッションに有効的な、運用手段又は通信実験手段を確立できること |
| 達成状況 | <p>① 欧州宇宙機関の地球観測衛星ENVISATとの衛星間通信実験に成功し、国際相互運用性を実証</p> <p>② ALOSとの衛星間通信実験において、回線設計上の要求値99%以上を大きく上回る運用達成率99.88%(平成19年度)、99.99%(平成20年度)を達成し、ミッションデータ伝送のインフラ回線として実運用に耐えられるレベルであることを実証</p> <p>③ ALOSにおいては、10局の地上局が受信するデータの26倍、取得画像(シーン)数の約99%をDRTS経由で取得し、さらに、災害緊急観測時の迅速な対応を可能とし、②とあわせてALOSのミッション運用にDRTSは不可欠であることを実証</p> <p>④ 衛星間通信リンク確立に必要なアンテナの駆動方式について、軌道上で全駆動方式を実証し、対象宇宙機の軌道予報値の正確さに応じたアンテナの捕捉・追尾方式を確立</p> <p>⑤ 定常段階の運用を通じて得られた実績から、DRTS後継機に対する反映項目を明確化</p> <p>以上の将来のデータ中継ミッションに有効な通信実験手段を確立し、エクストラサクセスを達成</p> |