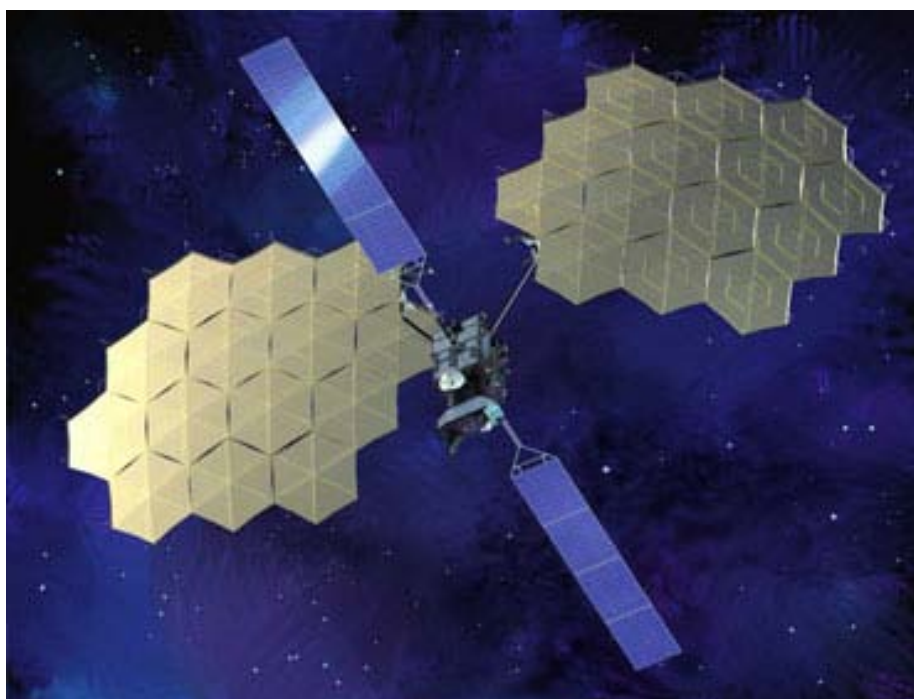




委20-1

技術試験衛星Ⅷ型「きく8号」(ETS-Ⅷ) 定常段階終了と後期利用計画について



平成22年6月2日

宇宙航空研究開発機構
執行役 道浦 俊夫
ミッションマネージャ 高畑 博樹
情報通信研究開発機構
グループサブリーダー 平良 真一
主任研究員 高橋 靖宏
日本電信電話株式会社
グループリーダー 小林 聖
ETS-Ⅷ利用実験実施協議会
事務局 法橋 誠



「きく8号」の経緯

- (1) 平成18年12月18日にH-IIAロケット11号機により種子島宇宙センターから打上げ。
- (2) 平成19年4月25日に定常段階移行前審査会を開催し、初期機能確認段階の終了及び定常段階へ移行。以降、基本実験並びに利用実験を実施。
- (3) 平成21年10月20日 これまでのETS-VIIIの技術実証結果や利用実証の成果報告等のため、「きく8号」成果・利用シンポジウムを開催。
- (4) 平成21年12月18日 3年間のミッション期間を越えて運用を継続。
- (5) 平成22年1月8日に定常段階終了審査会を開催。ミッション期間における運用・実験成果の達成状況を確認し、後期利用段階への移行。



「きく8号」の開発目的

ETS-VIIIは、今後の宇宙活動に必要となる先端的な衛星共通基盤技術の開発並びに先端衛星通信システム技術開発を通じて、高度情報化へ進む社会に貢献することを目的とした我が国最大の静止衛星である。そのために必要となる下記技術の開発並びにそれらの実証・実験を行う。

- ① 多様なミッションに対応可能な世界最高水準の**3トン級静止衛星バス技術**
- ② 世界最大・最先端の**大型展開アンテナ技術**
- ③ 携帯端末による**移動体衛星通信システム技術**、並びに画像や高品質な音声の伝送を可能とする移動体衛星デジタルマルチメディア同報通信システム技術
- ④ **衛星測位システムの基盤技術**



「きく8号」プロトフライトモデル @筑波宇宙センター



「きく8号」の運用スケジュール

	2006 年度 (平成 18 年度)	2007 年度 (平成 19 年度)	2008 年度 (平成 20 年度)	2009 年度 (平成 21 年度)
マイルストーン	 (12/18) 打 上 げ	 (4/25) 定常段階移行前 審査会		 (12/18) ミッション期間終了  (10/20) 成果・利用  (1/8) 定常段階終了審査会
運用フェーズ	 初期段階	ミッション期間 (打上げ後 3 年)		 後期 利用 段階
実験運用		基本実験		
		利用実験		



「きく8号」の成果概要

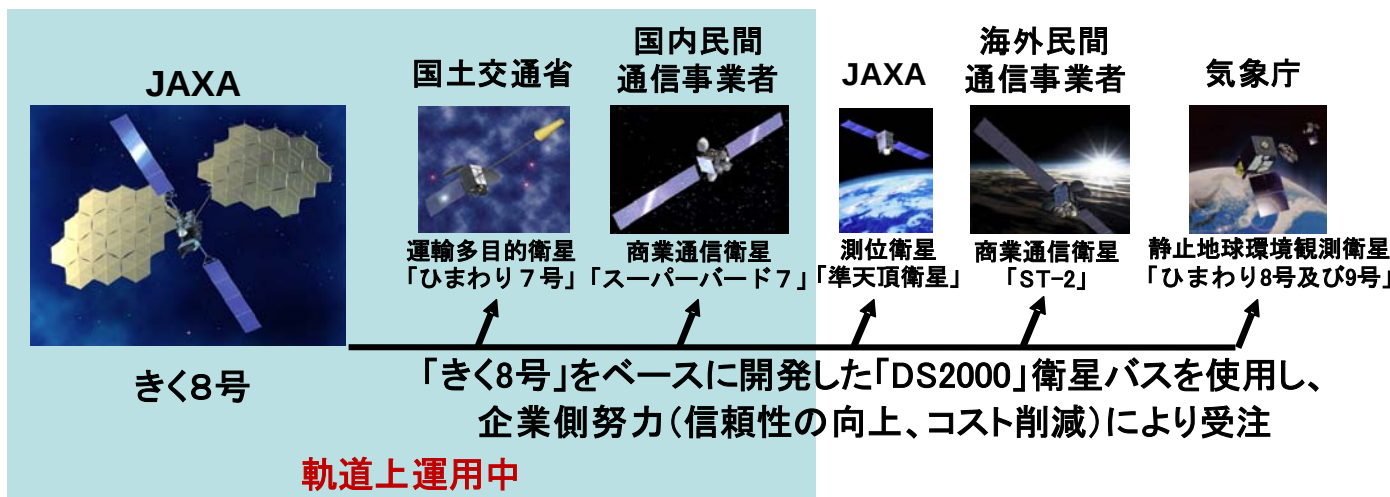
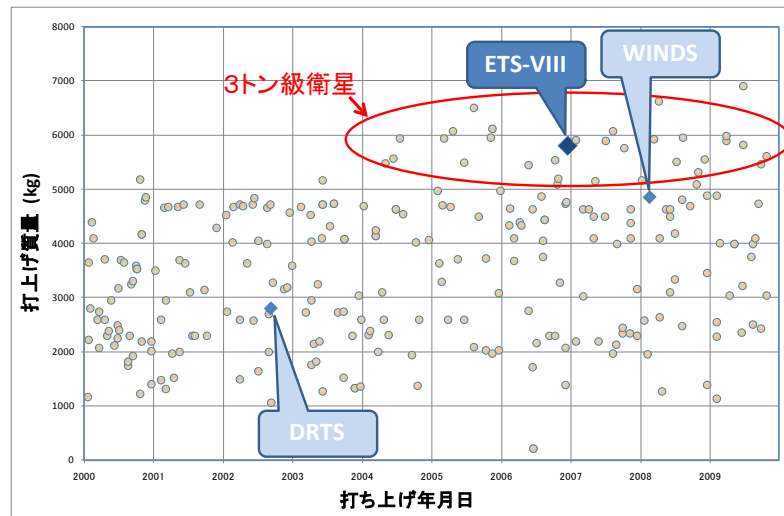
衛星バス技術

- 3年間の軌道上運用を経た現時点における衛星状態に顕著な変化もなく、イオンエンジンを除いて現在も正常に動作中であり、後期利用段階においても引き続き運用継続可能な状態にある。
 - 電源系
バス電圧は日照時100～103 V、日陰時97～100 Vの範囲で安定して電力供給
 - 太陽電池パドル系
最低発生電力は約8,730 Wでシステム要求仕様(7,500 W)に対して1,200 W以上の余裕
 - 姿勢制御系
大型展開アンテナなどの大型柔軟構造物を搭載している中で、衛星は極めて安定に姿勢制御
 - イオンエンジン
不具合によりスラスタの噴射時間は有効寿命15,600時間に対して、最長3,748時間にとどまる
 - 熱制御系
南北連結ヒートパイプにより南北のペイロードパネルの温度を等温化
- 軌道上での衛星の主な不具合を以下に示す。
 - ① S帯給電部受信系の低雑音増幅器用電源(LNA-PS)異常(2007年1月30日発生)
衛星においては測位用アンテナを使用し、地上装置では外付けアンテナや高出力増幅器の追加などの対策を実施し、不具合による衛星能力低下(約1/100)をカバーして通信実験を行った。
 - ② イオンエンジン電源装置A(PPU-A)異常(2008年1月15日発生)
 - ③ イオンエンジン電源装置B(PPU-B)異常(2009年7月7日発生)
PPU-A異常後は、冗長系のPPU-Bにより南北軌道制御を継続したが、PPU-Bの異常によりイオンエンジンが使用できなくなり、バックアップの化学推進系により南北軌道制御を実施した。



「きく8号」の成果概要 衛星バス技術

- 世界トップクラスのペイロード質量比44%達成し、ミッション搭載性を向上させ、2004年頃から打ち上げられ始めた大型静止3トン級(打上げ質量約6トン)の衛星群の中で、**ETS-VIIIは世界に比肩する大型衛星バス技術を開発実証**
- ETS-VIIIで開発実証した大型静止衛星バス技術の成果は、気象衛星や国内外の商業通信衛星などこれまで**6機の衛星に活用**

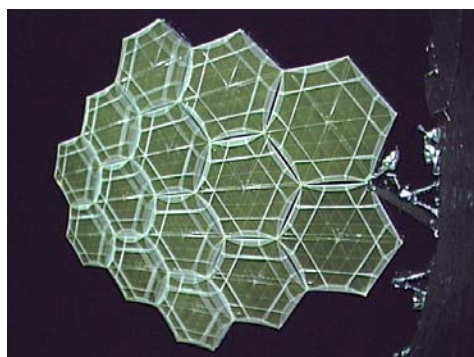




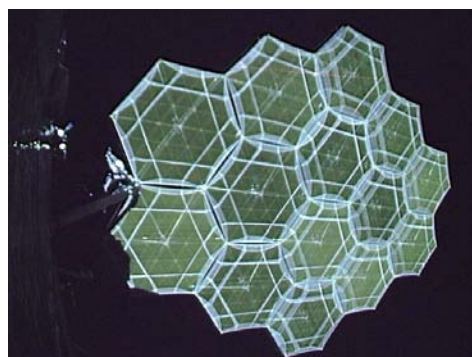
「きく8号」の成果概要

大型展開アンテナ技術

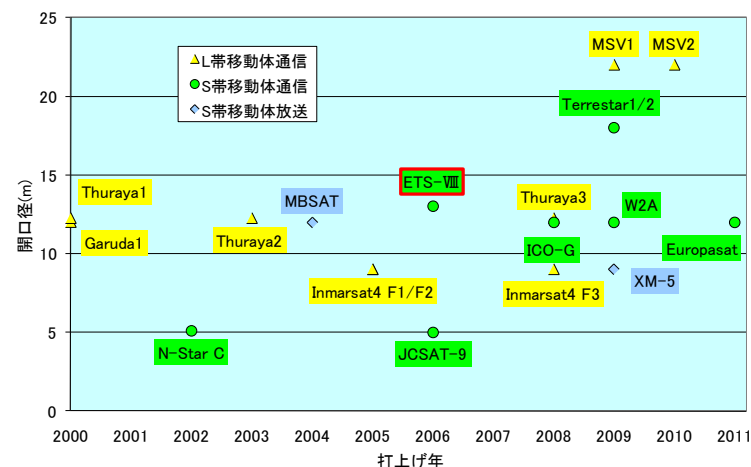
- 「きく8号」に搭載した送信アンテナと受信アンテナの2基とアリアンロケットで実証した小型部分モデル(LDREX-2)の3基の大型展開アンテナの展開に成功して軌道上実績を積み上げた。
- アンテナパターンを含む電気特性も解析通りで劣化傾向もなく、機能・性能は正常に維持されている。
- 2006年(平成18年)の「きく8号」打上げ時点では、世界最大のアンテナであり、世界で米国と日本しか保有していない技術を確立した。



受信アンテナ



送信アンテナ





「きく8号」の成果概要

JAXA通信実験

□ 防災実証実験

- 通信回線や通信端末のみでなく、映像やデータのアプリケーションを含めたトータルパッケージとして5つの「防災アプリケーション」を整備し、7つの自治体等主催の防災訓練において「防災アプリケーション」を実証した。
- ICタグを用いた避難所管理で避難者管理の作業効率を飛躍的に向上（22分から1分へ短縮）できることを実証するなど、自治体等職員から有効なシステムとして期待できると高い評価を得た。
- 被災地状況を確認するには、リアルタイムでの映像情報の入手に極めて高いニーズがあり、「きく8号」のように限られた通信帯域でも、十分な品質の映像を含めたデジタル情報を提供可能であることを実証した。
- 「防災アプリケーション」の実証実験成果は、国土地理院や防災科学技術研究所をはじめとする災害対応指定行政機関、公共機関との共同実験へ継承した。

□ 超小型携帯通信端末通信実験

- 超小型端末出力の増強（約2倍）等により当初の開発目標である「きく8号」との携帯型端末による直接通信を実現した。
- 山岳、海洋、防災の各利用シーンでの評価実験成果から、システムの改善を行い、さらに超小型携帯通信端末の「小型・省電力」である特長を生かした簡易情報伝送機能を追加して、新規ユーザとの共同実験へと発展させた。



「きく8号」の成果概要

JAXA測位実験

目標を大幅に上回る精度を達成した

□ 衛星測位に必要な基盤技術を獲得した

- 軌道決定精度 **$\pm 6 \text{ m}$** (目標 $\pm 100 \text{ m}$)
- 時刻決定精度 **$\pm 5 \text{ ns}$** (目標 $\pm 30 \text{ ns}$)

□ 常時可視の衛星(きく8号)が測位衛星として機能(GPS補完機能)することを準天頂衛星に先立ち事前実証した

付加的な成果

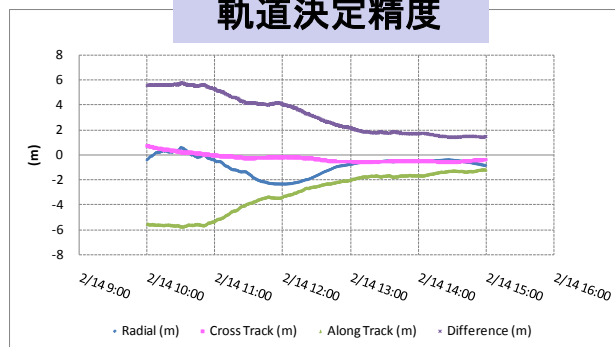
□ 準天頂衛星の事前実証

- 高仰角に存在するGPS以外の測位衛星が有効であることを実証

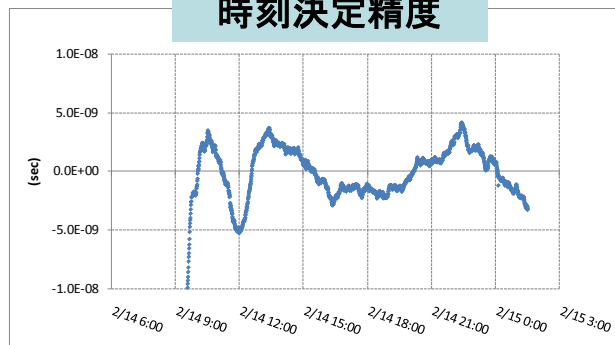
□ きく8号のレーザ測距反射器が国際レーザレンジング機構(ILRS)が参考にすべき反射器と認定

□ 準天頂衛星への技術継承を実施

軌道決定精度



時刻決定精度





「きく8号」の成果概要

NICT通信実験

* 衛星搭載機器の性能評価実験

大型展開アンテナ、中継器、パケット交換機、回線交換機につき評価試験を実施して、大型展開アンテナ受信系を除き、静止軌道上において所望の機能・性能を有していることを実証した。

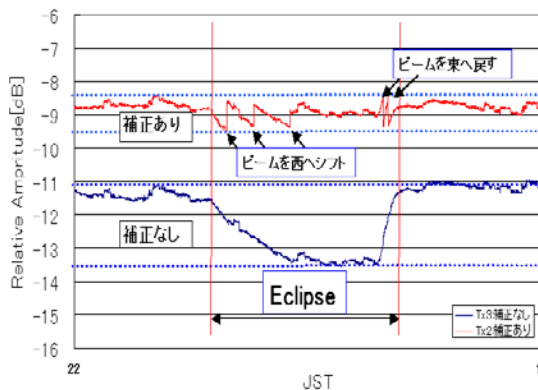
* 衛星通信システム評価実験

各種地球局を用いた衛星通信システム評価試験を実施し、基礎データを取得した。また、デモンストレーション実験を行い、衛星通信システムの有効性を示した。

代表的な評価実験例

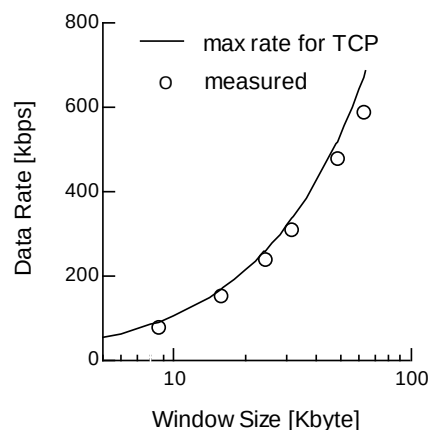
(a) 大型展開アンテナ指向補正実験

「食」時間帯の熱環境の変化によるアンテナパターン(指向方向)の変動(東方向に約0.15度)に対して、給電部の電子ビーム走査機能で指向方向の補正を行い、受信レベルの変動幅を約2.5dBから1dBに低減できることを実証した。



(b) 高速データ伝送実験

パケット交換機を経由し、標準的プロトコルであるFTPを用いたデータ伝送試験を行い、計算上の最大速度にほぼ等しいデータ転送ができることを実証した。



(c) 音声伝送実験

自治体主催の防災訓練等に参加し、音声による情報伝達のデモンストレーション実験を実施した。





「きく8号」の成果概要

NICT時刻比較実験

目標を達成し、応用実験も実施した

□ 衛星測位に必要な基盤技術を獲得した

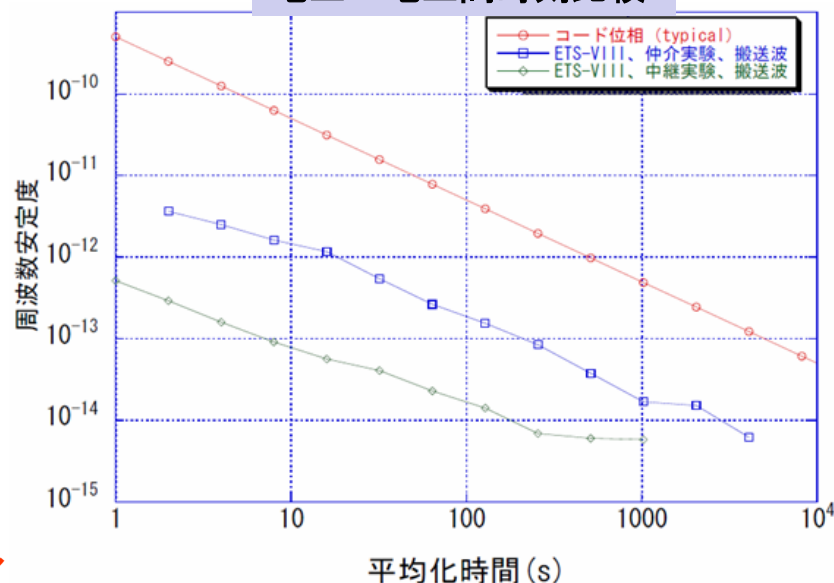
- 時刻比較精度**3ps**(1秒平均値)
(世界初の衛星—地上間の高精度時刻比較を実現した)
- 搭載原子時計の軌道上での経年変化を確認した

□ 応用実験

- 地上一地上間時刻比較を従来方式の**1/100~1/1000**の精度で比較できることを実証した
(時刻の国家標準同士の時刻比較の高精度化、高安定な時計の比較を可能にするもの)
- 測距を**±1 m**の誤差(SLRとの比較)の高精度でできることを実証した
(軌道決定の高精度化を可能にするもの)

これらの成果は準天頂衛星システムに引き継がれる

地上一地上間時刻比較



- ・赤線: 従来方式(通信衛星中継、コード位相)
- ・青線: ETS-VIII搭載時計仲介(搬送波位相)
- ・緑線: ETS-VIII中継(搬送波位相)

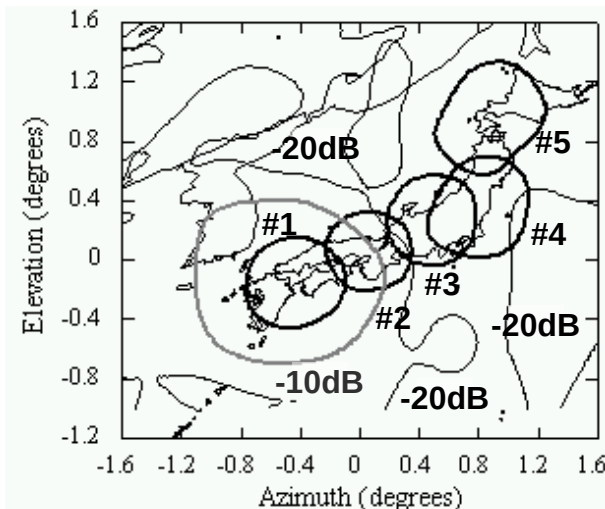


「きく8号」の成果概要

NTT通信実験

□ 搭載ビーム形成装置(BFN2)によるマルチビーム形成実験

- NTTが開発したフェーズドアレー用ビーム形成装置(BFN2)の機能・性能を軌道上で検証した。
- アンテナパターン測定結果が解析結果と良く一致したことから、BFN2を含む衛星搭載アンテナが軌道上で正常に機能、動作していることを確認した。
- 大型柔構造を有する衛星搭載アンテナの軌道上性能評価法として、少ない衛星姿勢変更回数で広域のアンテナパターンを高精度に手法の有効性を実証した。



アンテナパターン測定結果

□ 衛星通信用中継器における周波数高密度利用技術の実証実験

- 各地のセンサ群から、情報を一元集信する「多地点データ集信型衛星通信システム」の実現性を検証した。
- 本システム向けに開発した高効率アクセス制御技術、高精度信号生成／分離技術により、信号を状況に応じて動的かつ稠密に配置して伝送することで、衛星中継器の限られた周波数帯域幅を有効利用できることを実証した。
- 洋上船舶からのセンサ情報を集信するデモ実験を実施し、報道発表した。見学者から有用性を高く評価された。



集信局と実験船 11



「きく8号」の成果概要 利用実験

□ 実験実施状況

利用実験実施協議会19機関中、16機関が実験完了、または継続中

- **平成19年度実績**： **2機関、2回、3日間**（連続受信実験は日数に含まず）

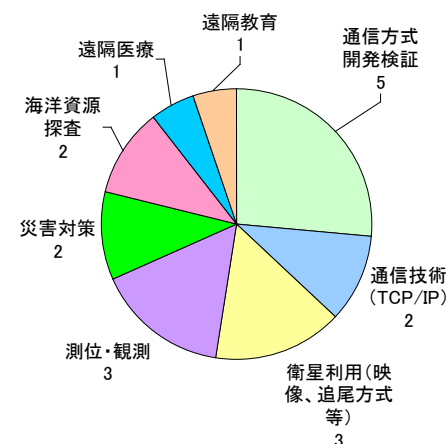
打上げ直後に発生した衛星の受信アンテナ給電部の不具合のため、実験スペックが満たされず、実験は2機関にとどまった。

- **平成20年度実績**： **12機関、29回、77日間**

JAXA／NICT殿による上記不具合対策が進み、実験環境が整備されたことなどで、前年度は実験を見合わせていた機関が実施に転じ、一転大幅に盛況となった。

- **平成21年度実績**： **8機関、15回、47日間**

7機関が、前年度までに所定の実験成果が得られたため定常段階での実験は完了としたこともあり、実施機関数は減少しているが、実験需要は依然として活発である。



実験実施分野

□ 成果総括

- 結果として、[世界初の実験成功\(2件\)](#)（海洋研究開発機構）を含め、全16機関の実験において、各々大きな成果を上げることができた。
- アウトリーチ活動として、[関係各学会への論文投稿・発表\(20件\)](#)のほか、[プレス発表](#)（東北大学、海洋研究開発機構）、[学会の場でのデモセッション実施](#)（首都大学東京）、一般に対する[デモ公開](#)（東北大学）、[メディア報道](#)（九州工業大学、千葉大学、海洋研究開発機構、東北大学など）、[ETS-VIIIシンポジウムでの成果発表](#)（5機関）など、対外発表も多数実施された。



「きく8号」の成果概要

反映事項

□ 衛星運用における反映事項

軌道上で発生した不具合については、WINDS、準天頂衛星等の衛星開発、運用手順等に反映済みであるが、今後の関連プロジェクトに対しても引き続き反映を行っていく必要がある。

□ 衛星利用における反映事項

これまでの衛星利用(主に利用実験)から得られた反映すべき事項は以下のとおり。

① ユーザ利用を想定した地上実験端末の整備

地上端末の更なる小型化、運用の簡素化、およびユーザインタフェースを考慮した地上端末の整備が必要である。

② 利用実験支援

利用実験の支援体制について、極力運用支援の不要で、ユーザの主体的な実験が可能となるよう、地上端末開発と併せた検討が必要である。



後期利用段階の運用計画

実験計画

- 平成22年度も引き続きNICT、利用実験実施協議会が実験を行う。
- JAXA、NTTは定常段階において予定されていた実験をすべて行い、所定の成果を挙げて開発目的を達成したことから、実験は行わない。

衛星状態

- 衛星状態は正常であり、以下の2点以外は、定常段階と同じ衛星運用が可能な状態にある。
 - 平成22年4月以降は南北軌道制御を行わない運用により、バス設計寿命10年まで運用可能な推薬を確保。
 - 不要となったイオンエンジン推進剤の排出作業を平成22年2月から実施中。(平成22年9月に完了見込み。)



まとめ

当初の目標に対し、不具合により完全に実施できなかった項目はあるものの、3年間の運用・実験結果から可能な範囲内で最大限の成果が得られ、目的を達成したことから、定常段階を終了し、後期利用段階に移行する。

ミッション達成基準と達成状況については、別紙に示すとおりである。



(別紙)ミッション達成基準と達成状況

達成度*1	開発項目	達成基準	達成状況
レベル1 (30%)	大型衛星バス	3トン級静止衛星バスが、システムとして正常に動作すること。	● イオンエンジンを除き左記基準を達成 ● 開発成果は海外を含め商用衛星等6機に活用
レベル2 (10%)	測位ミッション	各機器の機能・性能が正常であり、3年間にわたり基本実験を実施できること。	● 左記基準を達成 ● 搭載レーザ反射器が国際標準に認定および準天頂衛星初号機の設計変更に貢献
レベル3 (30%)	大型展開アンテナ	大型展開アンテナが正常に展開すること。	● 左記基準を達成 ● 電気性能も正常であり、ビーム形状再構成技術を実証
レベル4 (30%)	移動体衛星通信 ミッション	各機器の機能・性能が正常であり、3年間にわたり基本実験を実施できること。	● S帯給電部受信系以外は機能・性能の正常動作を確認、当初計画の実験形態ではないが、測位用アンテナを代替として、地上側での対応によりPIM特性*2以外の実験項目は全て実施 ● 基本実験成果を基に国土地理院をはじめとして、協定等を締結して実証実験を実施
レベル5	(運用期間の延長) (国外における 利用実験)	3年以上運用し、国内外の機関、研究者の参加を得た利用実験を実施できること。	● 左記基準を達成

*1: ミッション達成度: 宇宙開発委員会 ETS-VIII分科会(平成12年11月)で設定された「達成度に基づく評価基準」より

*2: 大電力照射によりアンテナ鏡面で発生する高調波(PIM: Passive Inter-Modulation)の給電部受信系への影響評価