



# きく8号 (ETS-VIII) 実験の状況について

平成20年7月30日

情報通信研究機構  
宇宙航空研究開発機構

# 実験実施概要(1/2)

きく8号は、ミッション達成に向けてほぼ計画通り着実に各種実験を実施している。受信系故障の影響をうける移動体通信実験においても、地上側での対策等により、計画された実験を実施している。また、衛星開発機関だけでなく、公募による第三者の大学、機関による実験(利用実験)も実施しており、きく8号の開発成果が有効に活用されている。

これまでに実施した実験の成果を以下にまとめる。

## ① 大型展開アンテナの特性評価実験

- ✓ 大型展開アンテナの機能・性能が設計どおりであることが実証され、展開動作とあわせて、世界最大級の展開アンテナ技術を習得した。
- ✓ 季節変化に伴う熱的影響が電気的特性に与える影響も小さく、実用に供しうるアンテナであることを確認した。

## ② 移動体通信実験

- ✓ 搭載機器が正常に動作しており、期待どおりの特性が得られている。
- ✓ 地上を含めた衛星通信システムとしての基本特性も取得できており、今後は移動環境における特性を取得する予定である。

## ③ 自治体防災訓練における実証実験

- ✓ 開発した防災アプリケーションとともに衛星通信の有効性を実証するとともに、自治体職員等による運用へ移行している。

# 実験実施概要 (2/2)

## ④ S帯受信系故障対応

- ✓ 高出力増幅器の追加、外部アンテナの使用により通信速度が最大1.5 Mbpsまで回復し、当初計画していた通信速度による実験が可能となった。
- ✓ 地上中継装置の使用により小型携帯端末単体での通信が可能となり、移動環境での実験実施が可能となった。
- ✓ さらに、当初計画の小型携帯端末を用いて低い伝送速度(50bps)できく8号と直接通信が実現できるよう、端末の改良を進めている。

## ⑤ 測位実験

- ✓ 軌道決定精度の目標を達成し、得られた技術を準天頂衛星設計に反映した。
- ✓ 衛星搭載原子時計の性能を地上で計測することに成功し、衛星時刻管理技術を検証した。

## ⑥ 時刻比較実験

- ✓ 衛星－地上間の双方向時刻比較実験を世界で初めて実施し、最高3ピコ秒(ピコ秒は1兆分の1秒)の精度を達成し、短時間での搭載原子時計の性能評価を実現した。
- ✓ 衛星－地上間の測距実験において、SLR(衛星レーザ測距)に匹敵する精度での測距結果を実証した。

## ⑦ 展開ラジエータ実証実験

- ✓ 年間を通じた軌道上における基本動作を確認(軌道上100日以上運転、国内二相流体ループ最長)し、実用化に向けた基礎データを構築している。

## ⑧ 宇宙環境計測

- ✓ 計測した磁場データの公開(米国海洋大気圏局(NOAA)のGOES衛星シリーズに次いで世界で2番目)するとともに、衛星警報システムへの組み込みによる精度向上に活用予定。

## ⑨ 利用実験支援

- ✓ これまで7件の利用実験を支援し、きく8号の開発成果の有効活用に寄与した。

# サクセスクライテリア達成状況

達成度 *	開発項目	達成基準	実績
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。	<b>システムは正常に動作しており、運用中。</b> イオンエンジンはB系電源にて運用中。 バス技術は国産商業衛星(スーパーバード7号機)等に活用。
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。	<b>基本実験を実施中。</b> 各機器は正常に動作。
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。	<b>達成済み</b> 送信系・受信系の2面の大型展開アンテナを正常に展開。 電気特性も正常。
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。	<b>基本実験を実施中。</b> S帯給電部受信系故障以外の全ての機能・性能は正常である。衛星の受信は測位用アンテナを代替として、各種基本実験を継続中。
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。	<b>利用実験を実施中。</b> 既に7件を実施。

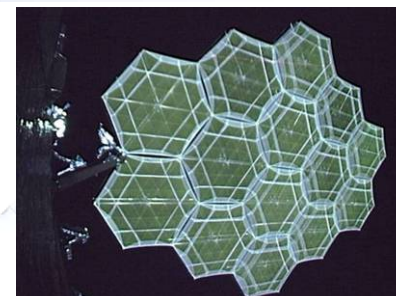
\* ミッション達成度: 宇宙開発委員会 ETS-Ⅷ分科会(平成12年11月)で設定された「達成度に基づく評価基準」より

# ① 大型展開アンテナの特性評価実験(1/2)

きく8号の大型展開アンテナ（LDR）の特性評価実験（アンテナパターン測定）は、NICTとJAXAの共同で実施し、これまで2007年度には4回（夏至、秋分、冬至、春分）、2008年度には1回（夏至）の計5回実施した。

測定の際には、衛星をピッチ軸回り及びロール軸周りに動かすことにより、地上に照射する通信ビームの中心位置を移動させて測定した。

評価結果のサマリを下表に、評価結果の例を次ページに示す。



(参考) 大型展開アンテナ反射鏡（LDR）が日本機械学会賞（技術）を受賞

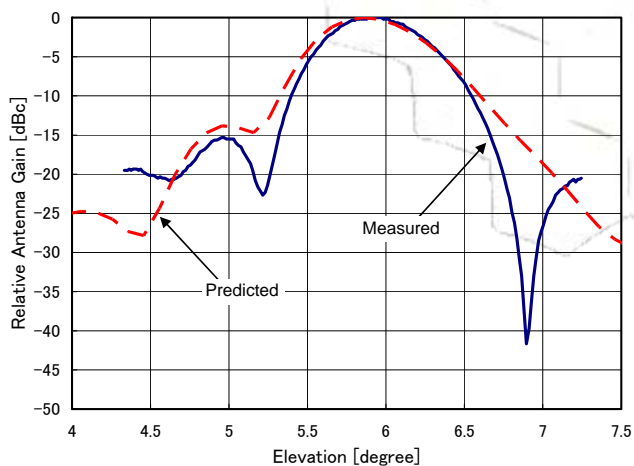
No.	実験名称(*)	試験項目	評価結果（サマリ）
1	大型展開アンテナの特性評価実験 (J-M-1-a)	アンテナ利得 (ピーク、エリア)	各ビームのアンテナ利得の実測値は、測定誤差を考慮しても解析値と1dB以内で一致している。
2		アンテナパターン (指向方向誤差含む)	各ビームの指向方向は、解析と0.2度以内で一致している。また、季節変化、経年変化は見られない。
3		サイドローブレベル	2ビーム離れた予定の位置にアンテナパターンのヌル点が形成できた。
4		熱環境変化時(食)のアンテナパターン	「食」（日陰）時の受信レベルの変動を計測し、熱環境の変化によるアンテナパターン（指向方向）の変化が解析どおりであることを確認した。
5	アンテナパターン補正実験 (J-M-2-a)	フェーズドアレー給電部を用いた、アンテナパターンの補正	大型展開アンテナの取付誤差を考慮したアンテナパターン指向方向の補正を実施し良好な結果を得た。また、鹿児島で実施した防災訓練のために新たに鹿児島向けビームを形成し、正確に鹿児島方向にビームが形成できることを確認した。

\* : 技術試験衛星VIII型（ETS-VIII）基本実験計画書

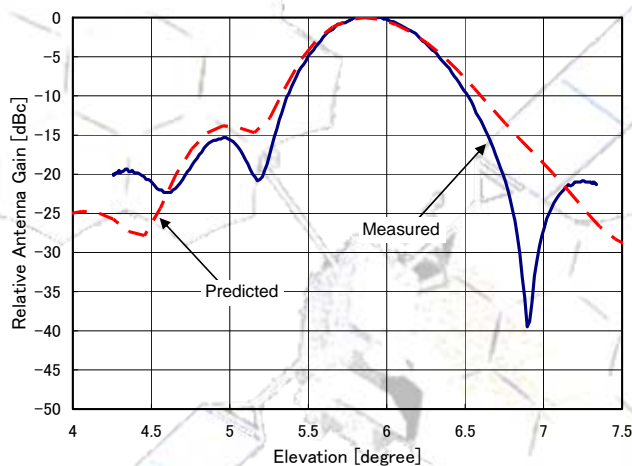
# ① 大型展開アンテナの特性評価実験 (2/2)

## 評価結果の例 ～ アンテナパターンの季節変化 ～

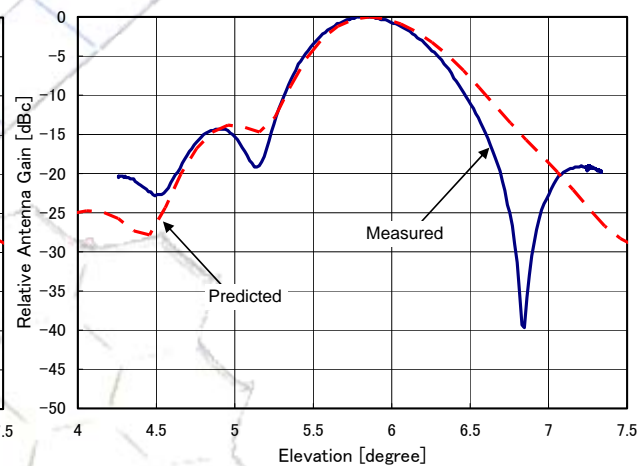
実測値から算出したアンテナパターン（青い実線）は、事前解析のパターン（赤い点線）と良く一致している。また、季節変化は見られない。



2007年夏



2007年冬



2008年春



## ② 移動体通信実験

### ● 搭載機器の性能実証実験

#### \* 中継器系特性評価

取得した特性は、地上試験結果をほぼ再現しており、中継器が軌道上において正常に動作していることを実証。

#### \* 衛星搭載交換機特性評価

基本特性であるビット誤り率を測定し、期待された再生中継特性であること、また、音声交換機能、パケット交換機能共に正常に動作し、衛星上において、所望の信号交換ができていることを実証。

### ● 通信システム評価実験

符号化変調地球局、同報通信地球局、携帯型地球局等の各種地球局を用いた移動体用デジタル通信システムにつき、ビット誤り率特性、伝送遅延特性等の基本特性を取得。今後は移動環境における特性を取得予定。



携帯型地球局

### ③ 自治体防災訓練における実証実験(1/2)

#### これまでの実施結果

- きく8号による災害時における衛星通信の有効性を実証するため、自治体開催の下記防災訓練に参加し、防災アプリケーションの評価を行なった。
  - 東京都総合防災訓練(平成19年9月1日@武蔵村山市、昭島市)
  - 桜島火山爆発総合防災訓練(平成20年1月11日@鹿児島市)
  - 鹿児島県総合防災訓練(平成20年5月20日@出水市)
- その結果、安定した通信を確保し、開発した防災アプリケーションとともに衛星通信の有効性について、実際に使用した自治体職員等から高い評価を得た。さらに、これまでの実証実験を通じて防災アプリケーションの段階的な改善を行なっている。

#### 今後の予定

- 今後も自治体との連携を深め、自治体職員等による主体的な運用が可能であることを実証するとともに、実験を通して、総合的な運用に対する自治体職員等の意見を吸い上げ、防災活動における衛星通信の有効性を実証し、利用の浸透を図る。
- なお、昨年度、訓練に参加した東京都総合防災訓練及び鹿児島市の桜島火山爆発総合防災訓練への参加打診がきており、平成20年8月31日の東京都総合防災訓練に参加予定である。



# ③ 自治体防災訓練における実証実験(2/2)

①②

## 防災アプリケーション

### ① ICタグを用いた避難所住民管理

ICタグを用いて避難所に避難した住民情報を対策本部に伝送。  
対策本部でリアルタイムに避難所の住民情報が確認できる。

### ② 映像による住民避難状況確認

①の避難所住民管理情報とあわせて映像を伝送。  
対策本部でリアルタイムに避難の状況が把握できる。

### ③ 映像による被災地の状況確認

ウェアラブルカメラで撮像した被災地の映像を対策本部に伝送。

### ④ 被災現場での救護活動支援

負傷者情報をICタグを貼り付けたトリアージタグに電子的に記録。  
記録したトリアージ情報を対策本部に伝送。

### ⑤ 被災地情報報告

超小型携帯通信端末で、被災地の被災情報を対策本部に伝送。

### ⑥ 衛星携帯電話による通話実験

一般市民参加による被災状況の報告。

①②

	人数	世帯数
詳細 赤生原会場 入口	221	117
詳細 赤生原会場 乗船	70	57
詳細 鹿児島駅会場	0	0



⑥

④

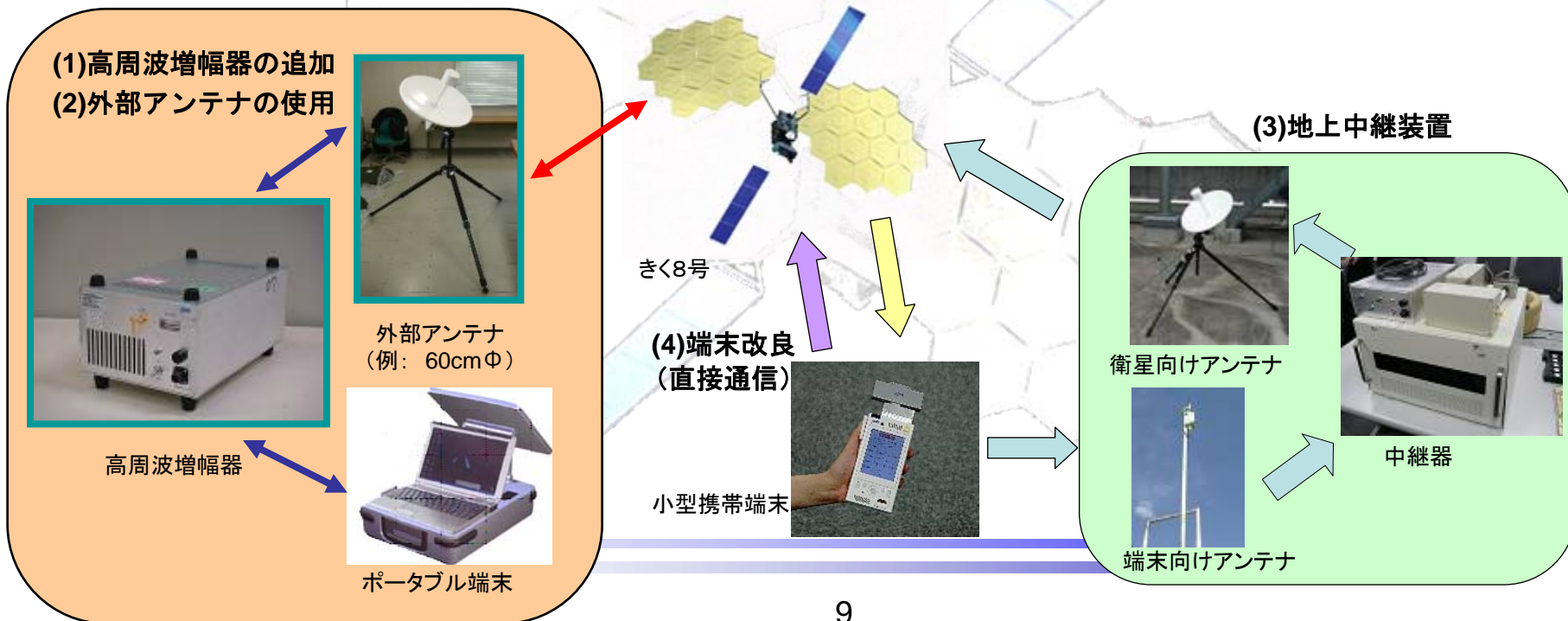
⑤

## ④ 受信系故障対応

アップリンク受信に測位実験用アンテナを使用することによる大型展開アンテナとの約20dBの性能差を地上側で補償するために、(1)高周波増幅器の追加、(2)外部アンテナの使用の措置を行ない、当初予定していた最大1.5Mbpsまでの通信速度の回復を実現した。

また、小型携帯端末の可搬性を損なうことなくS帯受信系異常に対応するため、(3)地上中継装置を整備し、小型携帯端末の信号を中継することにより、小型携帯端末ときく8号との通信を可能とした。

さらに、当初計画の小型携帯端末を用いて低い伝送速度(50bps)できく8号と直接通信が実現できるよう、(4)端末の改良を進めている。



## ⑤ 測位実験(1/3)

### 測位実験の目的

衛星測位を支える基幹技術は、衛星時刻管理技術、衛星精密軌道決定技術、衛星地上間時刻同期技術である。測位基盤技術の習得に向け、上記の技術検証・獲得を行う。

レーザレンジング(SLR)によるレーザ反射体の性能評価及びSLRデータ精度評価実施

レーザレンジングデータを使用した精密軌道決定を実施。

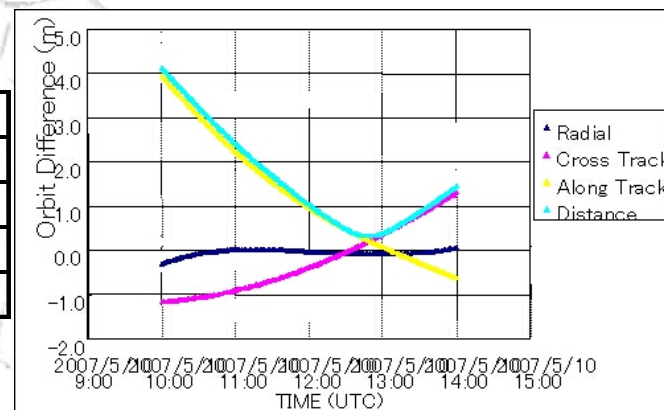
- **軌道決定精度は4m以内であった。(SLRは測位実験のキャリブレーションに使える事が明確になった。測位信号による軌道決定目標100mに対して十分高い精度である)**
- **静止衛星に対するSLR精密軌道決定は世界的にもほとんど例を見ない。**



ETS-VIII搭載レーザ反射鏡

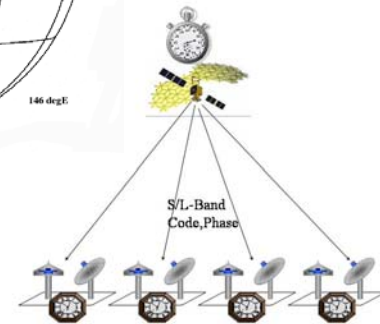
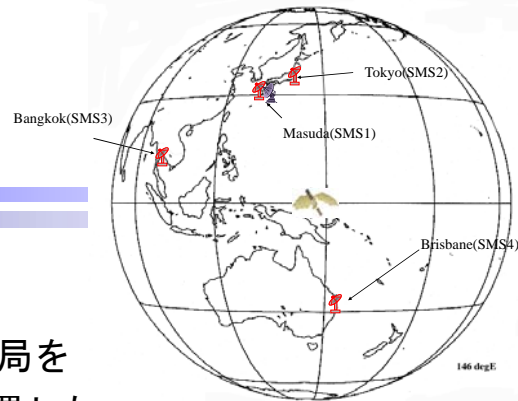
SLR局名	場所	緯度	経度
種子島	種子島	30.56N	131.02E
小金井	東京	35.71N	139.49E
ヤラガデ	西豪州	29.06S	115.35E
ストロモ	東豪州	35.32S	149.01E

本技術を準天頂衛星搭載  
反射体設計へ反映済み。



軌道決定結果

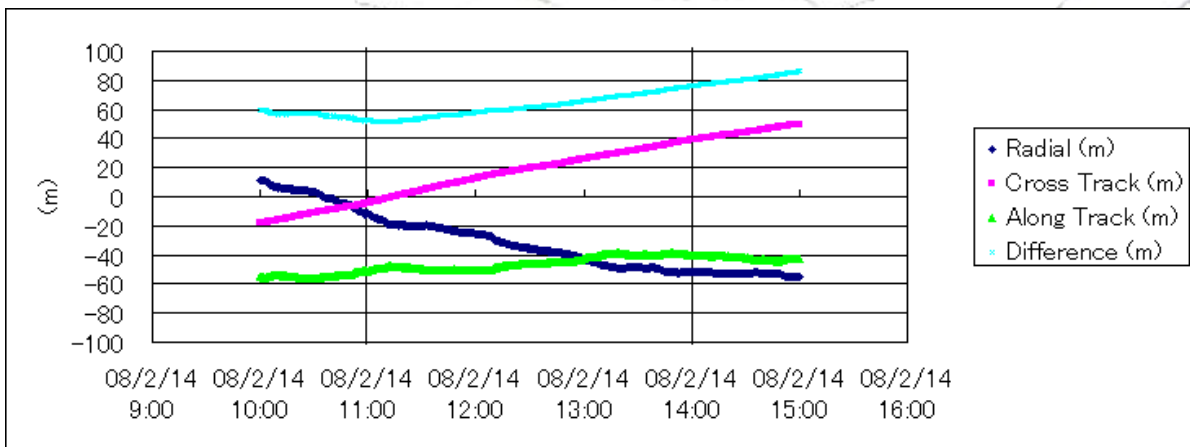
## ⑤ 測位実験(2/3)



### 時刻同期・軌道決定実験

ETS-VIIIからのHAC信号(測位信号)を受信するモニター局を小金井、種子島(増田)、バンコク、ブリスベンに設置した。各局の受信データから、逆GPS技術により、衛星の軌道と時刻を正しく推定する事が実験の目的である。

ETS-VIIIが送信するHAC信号(擬似距離データ)を使用した**軌道決定に成功した。**その妥当性が評価のため、SLR(衛星レーザレンジング)データと突合し、精度検証を実施した。



→HAC実験で重要な事は、Radial方向の軌道決定精度である(距離と時間を分離するため)。

**Radial成分の軌道決定精度は60m以内を達成。**  
**(目標精度は100m)**

**衛星測位の要となる要素技術(衛星精密軌道決定技術)を確認できた。** ←技術検証  
目標達成



## ⑤ 測位実験(3/3)

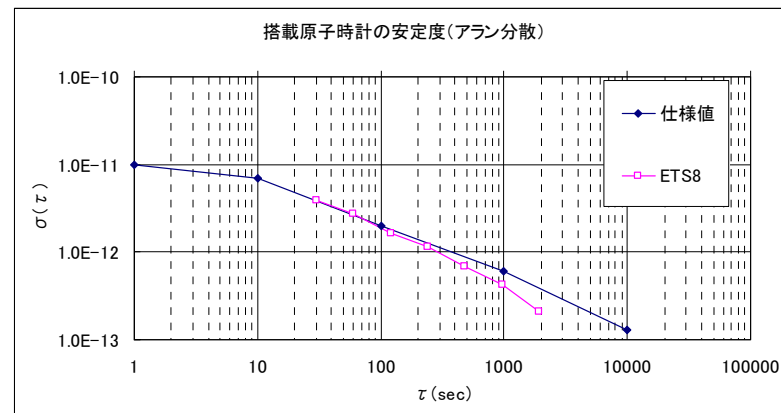
### 搭載原子時計の性能評価実施

到達可能な測位精度は、ETS-VIIIが搭載した原子時計(セシウム型)の時刻管理技術に依存する。

そこで、HAC信号(擬似距離データ)を用いて搭載原子時計の軌道上性能評価を実施した。

尺度として、周波数安定度を表現する分散値(アラン分散)を評価した。

衛星搭載原子時計の性能を地上で再現することに成功した。



衛星測位の要となる要素技術(衛星時刻管理技術)を確認できた。←技術検証目標達成

### 今後の計画

現在

打上  
2006/12

定常移行2007/4

HAC実験機器  
詳細動作確認

SLR性能確認  
SLR軌道決定

HACデータ  
品質確認

GPSとHACデータ  
組合せ検証

原子時計の  
軌道上評価

時刻同期・  
軌道決定実験  
(HAC擬似距離)

時刻同期・  
軌道決定実験  
(HAC搬送波位相)

GPSとHAC  
組合せ測位実験

測距技術  
誤差同定  
実験

測位信号  
衛星中継実験

運用性評価

ETS-VIII基本実験計画書に従い、  
残りの実験を進める。

現在、上記実験の更なる精度向上を図っている。

衛星の時刻管理に成功したので、  
次は地上も含めた「衛星地上間  
時刻同期技術」検証を行う予定  
である。

## ⑥ 時刻比較実験(1/2)

### ● 搭載原子時計の時刻比較実験

#### \* 搭載時刻比較装置の計測性能評価

ETS-VIII搭載高精度時刻比較装置（TCE）を使用し、TCE地球局との間で**高精度な双方向時刻比較実験**を世界で初めて実施し、コード位相だけで**1ナノ秒以下**（ナノ秒は10億分の1秒）、キャリア位相も使用して**3ピコ秒**（ピコ秒は1兆分の1秒）を達成した。  
これは**1秒間の測定で搭載原子時計の性能評価が実現できる計測精度**である。

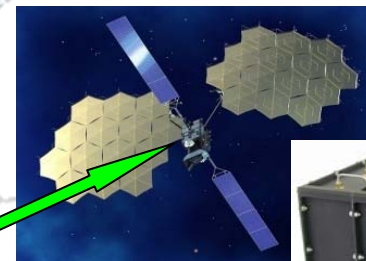
#### \* 搭載原子時計の性能評価

衛星－地上間の高精度時刻比較を定期的に実施し、搭載原子時計の周波数、安定度の評価を行っており、今のところ目立った経年変化は見られていない。

### ● 応用実験

#### \* 衛星の測距実験

TCEを使用して、衛星－地上間の測距実験を実施しており、SLR（衛星レーザ測距）と比較し、SLRに匹敵する精度での測距結果が出ている。



ETS-VIII



TCE



TCE地球局



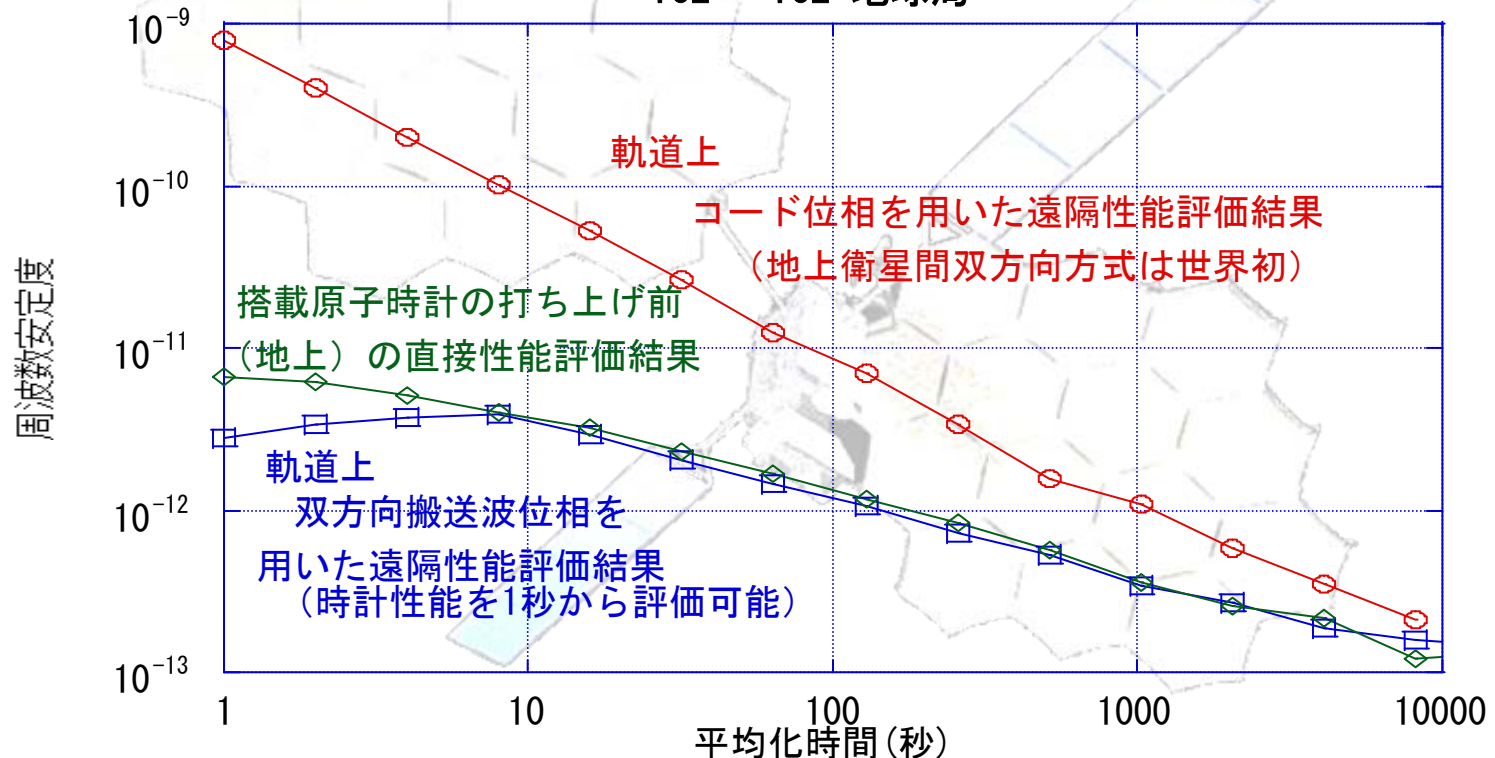
## ⑥ 時刻比較実験 (2/2)

### 時刻比較実験の成果例 ～短期安定度測定～

コード位相、搬送波位相ともに、衛星・地上間の双方向方式を世界で初めて採用。

搬送波位相方式による搭載原子時計性能評価では、打ち上げ前(直接)性能評価と有意な差はなく、コード位相方式よりも二桁以上高精度な計測が可能となった。

TCE - TCE 地球局



# ⑦ 展開型ラジエータ実証実験

## 展開型ラジエータ(DPR)について

DPRは、衛星の高発熱化が予想される中、放熱面を拡大する有効な手段として世界的に注目されている技術である。本DPRは、衛星構体からラジエータへの熱輸送に、従来のヒートパイプの約4倍以上の熱輸送能力をもつループヒートパイプ(LHP)を適用した新技术を確立するために開発した排熱能力300W級の実験装置である。

## スケジュール

<動作実験フェイズ: 2007年度>

年間を通じて基本的動作の確認を行った。

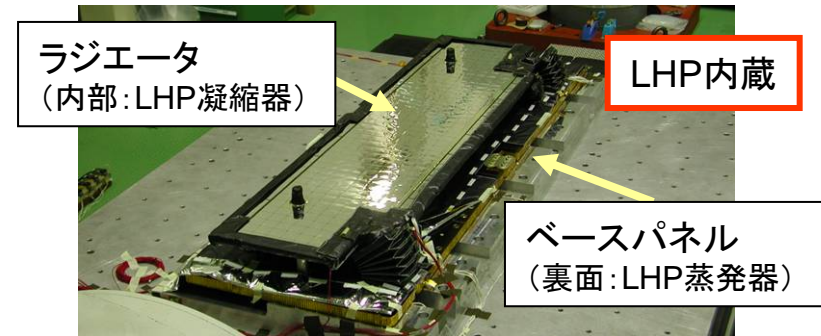
<長期運用実験フェイズ: 2008-2009年度>

宇宙環境下での性能変化の評価

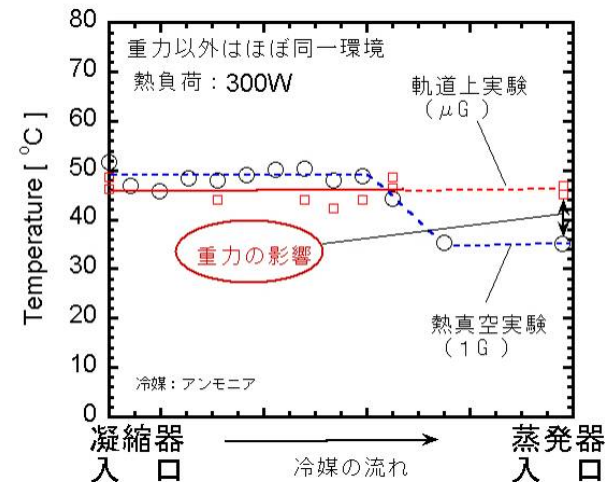
上記結果を踏まえ2010年度以降の長期トレンド評価を検討中

## 2007年度成果と今後の課題

- 軌道上における1年以上にわたるLHPの正常動作。軌道上100日以上運転(国内二相流体ループ最長)。
  - 年間を通じ、外部熱入力変動の環境の下で発熱量を変化させた性能データの取得
- 計測が難しい微小重力下での蒸発、凝縮熱伝達率などの基礎データ取得
  - 地上データと比較し分析を行い、実用化での基礎データとする。
- 軌道上実験データの解析、評価を進め、大容量通信衛星のほか、月面探査、科学衛星などでの実用化を目指す。
- 参考: 日本伝熱学会 技術賞受賞 2008.5 (DPRの開発)



DPR外観(ラジエータ閉状態)軌道上では開  
ラジエータサイズ:約1.8m × 0.5 m



微小重力環境と地上環境との差異

## ⑧ 宇宙環境計測

**技術データ取得装置(TEDA)** TEDAは、磁力計(MAM)、帯電モニタ(POM)、積算吸収線量計(DOS)、シングルイベントアップセットモニタ(SUM)から構成されている。

**目的** 磁場データは磁気嵐による静止軌道上高エネルギー電子警報システムの精度向上、帯電モニタは衛星帯電解析ソフト(MUSCAT)の検証、積算吸収線量計及びシングルイベントモニタのデータは放射線設計の妥当性確認等に活用する。

### これまでの成果

2006年12月28日にチェックアウト終了後、定常観測モードに移行し、問題なくデータ取得を継続している。

磁力計データに関してはJAXA宇宙環境情報システム(SEES, <http://sees.tksc.jaxa.jp>)において、DRTS衛星の放射線データとともに公開している。

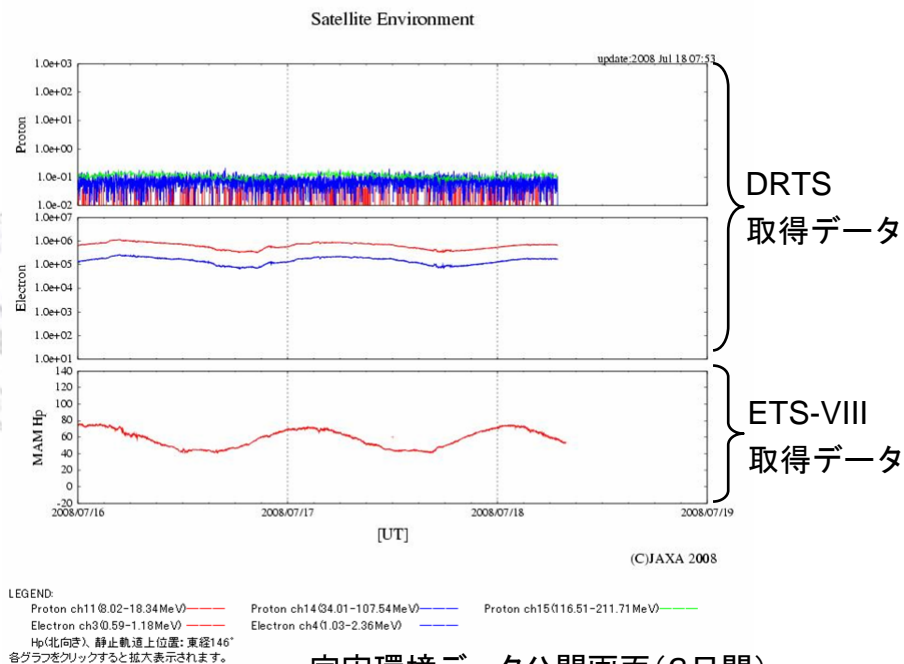
これはNOAAのGOES衛星シリーズに次いで、世界で2番目であり、ETS-VIIIはGOES衛星とは地球の反対側に位置することで、反対位相データのリアルタイム公開となる。

世界の宇宙天気予報のための定点観測としては画期的な役割を果たすことになった。

### 今後の予定

計測データについて、衛星警報システムの構築や耐放射線、帯電設計確認等に活用していく。

DRTS-W ETS-8 リアルタイムグラフ表示機能



宇宙環境データ公開画面(3日間)

## ⑨ 利用実験支援

利用実験に対し、NICT、JAXAは、衛星運用支援、地上実験機器の貸与並びに技術的支援を行なっている。これまでに実施した利用実験支援は以下に示す7件である。

日程	利用実験実施機関	利用実験タイトル
H19/11/24、H20/12頃	東北大学	衛星通信回線を使った災害救助・不整地走行ロボット遠隔制御技術の実験
H20/5/27～29	九州工業大学	DTN技術の衛星通信環境における評価
H20/6/16～21 H20/11～12頃	千葉大学	一般車両を対象とした簡易衛星追尾及び通信実験
H20/7/7～8、8/21～22	(独)メディア教育開発センター	フィールド教育実験
H20/7/14～19	大阪工業大学	多大学間での衛星ネットワークを用いた教育ならびに研究協力の高度化に関する研究
H20/7/22～23、8/4～8 H20/11頃、H21/2～3頃	(独)海洋研究開発機構	衛星を利用した深海巡航探査機「うらしま」の情報伝送
継続実験	電気通信大学	電離層擾乱観測プロジェクト

今年度中に実施する予定の利用実験支援は以下に示す6件である。

日程	利用実験実施機関	利用実験タイトル
H20/8/18～19、9/16	首都大学東京	衛星回線を利用した医療情報送受信解析とその評価および遠隔医療教育に関する研究
H20/9/2～3、9/24～28 10/29～11/2、11/5～7	欧州宇宙機関(ESA)	地上／衛星周波数共用技術に向けての小型携帯端末を用いた伝搬データ取得および伝送実験
H20/9/6、18、19、21、22、 H20/11月頃	JSAT(株) 三菱電機(株)	衛星通信用周波数の有効利用のための高能率伝送技術に関する調査研究に関する実験 S帯衛星通信における地上伝送方式の適応性検証
H21/1頃	ヤマハ発動機(株)	無人ヘリにおける衛星通信システムの開発・実証
H21/1～2頃	(独)電子航法研究所	準天頂衛星での利用を目指した高精度測位補正実験