



委26－2

技術試験衛星VIII型「きく8号」(ETS-VIII)の 最近の成果と現状

平成21年9月2日

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
独立行政法人 情報通信研究機構

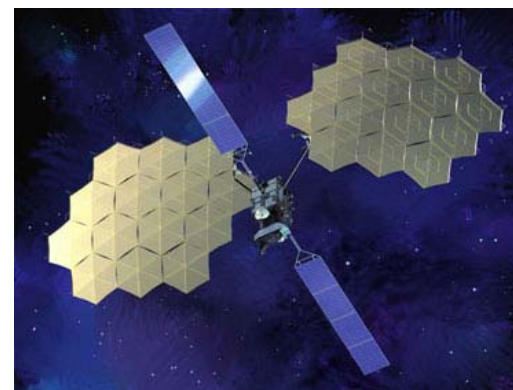
理事 本間 正修
宇宙通信ネットワークグループ
サブリーダー 平良 真一
光・時空標準グループ
主任研究員 高橋 靖宏



報告概要

「きく8号」については、平成20年7月30日に「きく8号(ETS-VIII)実験の状況について」として、実験実施状況全般を報告した。また、平成21年2月4日に「技術試験衛星Ⅷ型「きく8号」(ETS-VIII)の基本実験および利用実験の成果について」として、海洋研究開発機構の利用実験ならびに桜島火山爆発総合防災訓練における通信実験について報告した。

今回の報告は、これらの報告以降に実施した基本実験および利用実験の実施状況を踏まえた最近の成果について報告する。併せて、平成21年7月7日に発生したイオンエンジン異常に対する原因と対策についても報告する。





基本実験および利用実験の実施状況

基本実験実施状況

機関	項目	概要	実施状況
JAXA	移動体通信用搭載機器実験	大型展開アンテナ評価	- 電気特性評価は実施済み(平成20年7月30日報告) - 大型展開アンテナビーム形成機能の評価を実施 ⇒ 1項
	移動体通信実験	超小型端末を用いた通信実験および防災実証実験	- 超小型端末の通信実験(中継装置経由)実施済み(平成21年2月4日報告) - 超小型端末の通信実験(衛星直接)実施 ⇒ 2項 - 自治体との防災実証実験実施済み(平成21年2月4日報告) - 防災関連機関との利用実証を実施 ⇒ 3項
	測位実験	衛星測位システム実証実験	- 各種技術実証を実施済み(平成20年7月30日報告) - 精度向上、準天頂衛星の事前実証を実施 ⇒ 4項
	バス系実験	展開ラジエータ、宇宙環境計測等の衛星バス軌道上評価実験	- 評価実験は実施済み(平成20年7月30日報告) - 長期トレンド評価、データ取得を継続中
NICT	移動体通信用搭載機器実験	給電部、BFN ^(*) 、搭載交換機等の搭載機器の軌道上評価	- 性能実証実験は実施済み(平成20年7月30日報告) - 大型展開アンテナビーム走査機能の評価を実施 ⇒ 5項
	移動体通信実験	携帯端末、車載局、可搬局等を用いた移動体衛星通信実験、同報通信実験	- 自治体との防災実証実験実施済み(平成21年2月4日報告) - 位置情報携帯端末を用いた通信実験を実施 ⇒ 6項
	時刻比較実験	時刻比較装置の評価実験	- 性能評価実験を実施済み(平成20年7月30日報告) - 応用実験(地上一地上間時刻比較、測距実験)を実施 ⇒ 7項
NTT	BFN ^(*) 軌道上評価実験	BFN ^(*) の評価	BFNの評価を実施済み

*1 BFN:ビーム形成回路

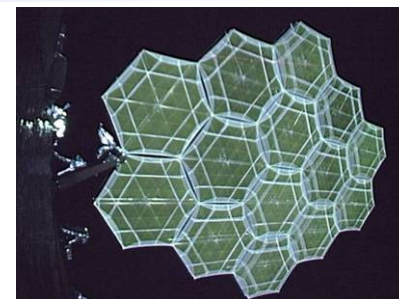
利用実験実施状況

- 20件の実験プロジェクト(平成21年3月18日現在)
- 平成19年度に2件、平成20年度に12件の利用実験を実施済み
- 平成21年度は9件の利用実験を実施予定(うち、5件は既に実施済み ⇒ 8項)

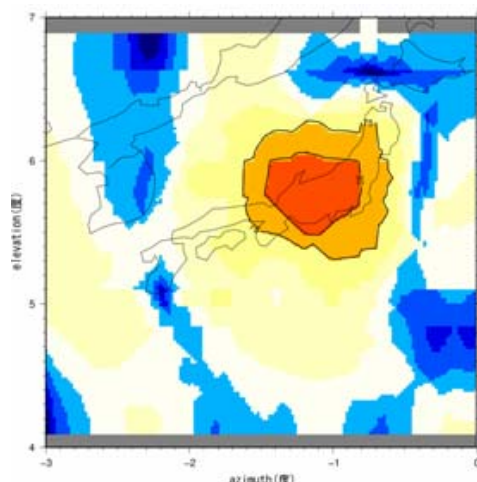


1. 大型展開アンテナ評価(ビーム形成機能)

- ❑ 搭載ビーム形成機能を用いて基準ビーム(日本列島を5ビームでカバー)以外に広域ビームを新規に形成することにより広域での通信を可能とし、平成21年6月に筑波～種子島間ならびに筑波～小笠原間の通信実験に成功した。
- ❑ これにより、要求に応じて軌道上で自由にビーム形状(通信エリア)を変更、再構成できるビーム形状再構成技術を実証した。
⇒【エクストラサクセス】



(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



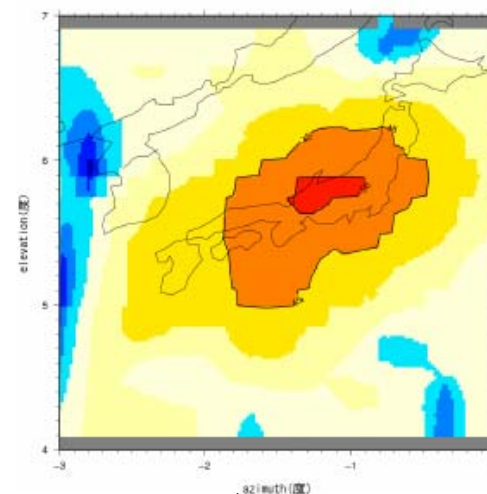
基準ビームコンタ
(東海)



通信エリアの拡大



広域での通信を実現

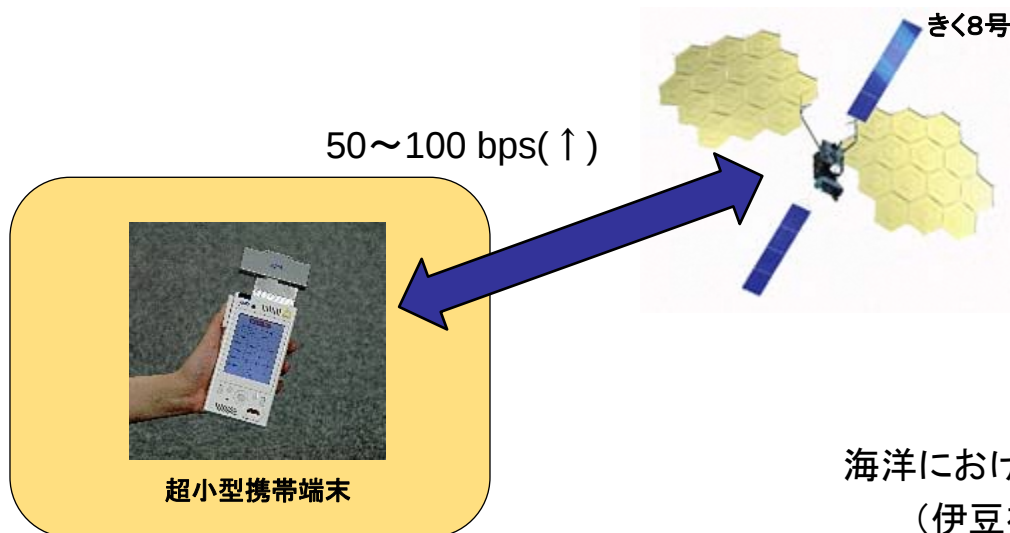


広域ビームコンタ

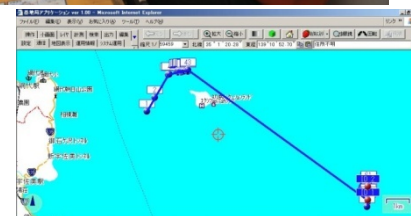


2. 超小型端末を用いた通信実験

- S帯受信系故障のため、地上中継装置を用いて「きく8号」と超小型携帯端末との通信を確立し、実験を行ってきたが、衛星の実力値等を考慮し、端末出力の増強(約2倍)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。⇒【フルサクセス】
- 平成21年3月、伊豆初島沖で船上の超小型端末との直接通信を実証した。
- 平成21年9月に富山県立山で山岳通信実験を実施予定。



海洋における実証実験
(伊豆初島沖)



端末位置情報(基地局画面)

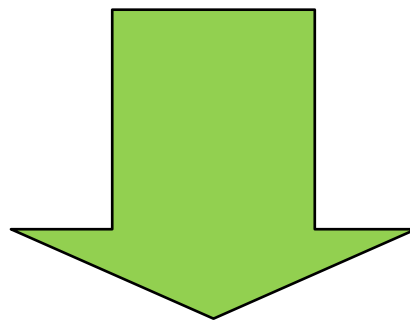


3. 防災利用実証

- 平成21年5月17日の鹿児島県総合防災訓練(枕崎市)に参加し、災害対策本部長(伊藤鹿児島県知事)が「きく8号」を用いて、避難所との映像による被災状況確認等の実証実験を行った。
- これまでの、地方自治体等との連携による防災実証実験を通して得られた成果をもとに、防災関連機関と共同で防災利用実証を実施する。



防災利用実証に使用する
車載型通信端末



「きく8号」を用いて
被災状況確認を行う
伊藤鹿児島県知事

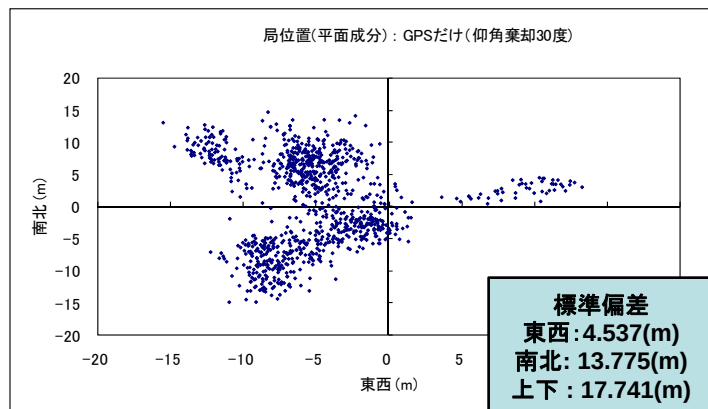
- 平成21年2月16日、国土地理院と被災地映像等伝送実証実験協定を締結
- 平成21年9月、静岡県掛川において実施される国土地理院の訓練で利用予定⇒【エクストラサクセス】



4. 測位実験

- ① 「きく8号」の測位信号による衛星標定実験において、目標である軌道決定精度100m以下、時刻決定精度30ns以下を大幅に上回る軌道決定精度20m以下、時刻決定精度20ns以下を達成した。⇒【フルサクセス】
- ② 「きく8号」測位信号をGPS測位信号に加えて測位をおこない、GPS衛星の可視条件が悪い場合においても測位精度が向上・安定化し、常時可視である衛星が有効に機能することを実証し、準天頂衛星の補完機能の有効性を事前実証した。⇒【フルサクセス】
- ③ 「きく8号」搭載のレーザ反射器(SLR)により、精密軌道決定に十分な性能を有することを準天頂衛星に先立ち実証し、さらに、JAXAが開発した静止衛星用の反射鏡が、静止衛星軌道における反射鏡の国際レーザレンジング機構標準として定義された。⇒【エクストラサクセス】

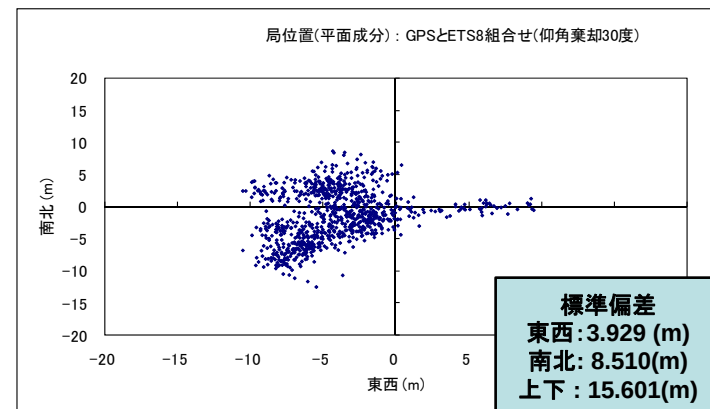
●衛星測位に係る基礎的技術(GPS補完技術)



GPS衛星だけをを使った測位結果、仰角棄却30度
縦軸: 南北方向の残差(m)、横軸: 東西方向の残差(m)

測位精度向上
(GPS補完)
東西、上下は1割向上
南北は3割向上

「きく8号」をGPS群に加えることにより、測位結果が小さな領域に収束している。静止衛星がGPS衛星の補完として機能している。

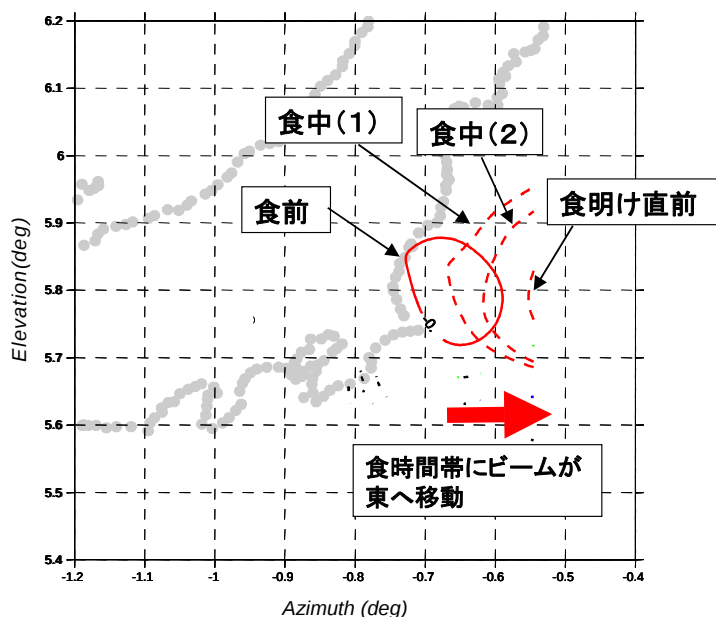


GPS衛星に「きく8号」を組み合わせた測位結果、仰角棄却30度
縦軸: 南北方向の残差(m)、横軸: 東西方向の残差(m)

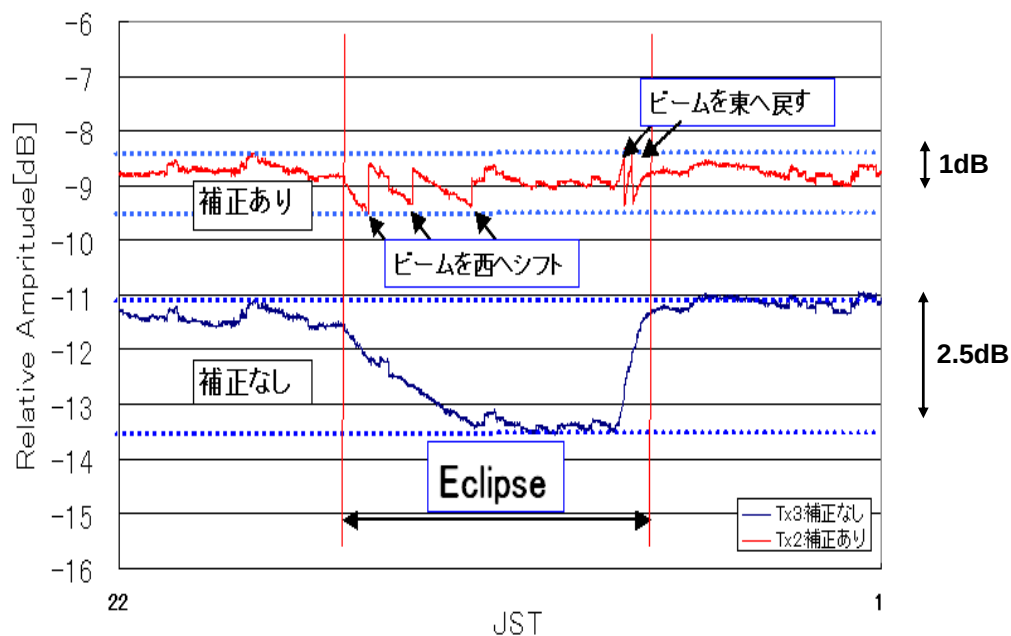


5. 大型展開アンテナ評価(電子ビーム走査機能)

- 「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、解析どおり)に対して、平成21年3月に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、アンテナシステムとして実用に供しうるレベルであることを確認した。⇒【フルサクセス】



食時間帯にアンテナビームが移動する様子



アンテナビームの指向方向を補正した結果



6. 位置情報携帯端末による移動体通信実験

- GPS受信機を内蔵した位置情報携帯端末による移動体通信実験を実施した。地上インフラの整っていない場所で、災害救助者・登山者・子供などの位置情報の把握を目的とする。
- 端末は、約40gのマッチ箱大で、アンテナは軽量で柔軟な布製アンテナを使用している。これまで、NICT構内や世田谷公園等で実証実験を実施した。⇒【エクストラサクセス】

位置情報携帯端末

布アンテナ
本体

ヘルメットの中へ



中継局

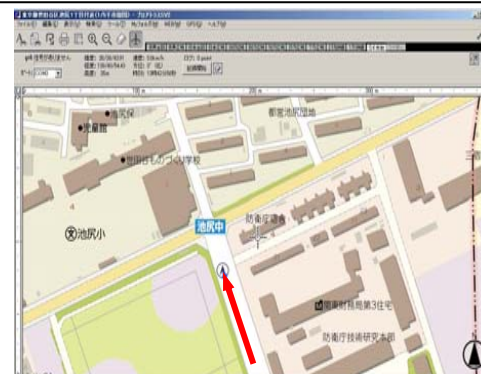
基地局



子供が位置情報携帯端末が内蔵されているヘルメットを被って歩いている様子

基地局とその画面

↓(子供の位置と軌跡を表示)



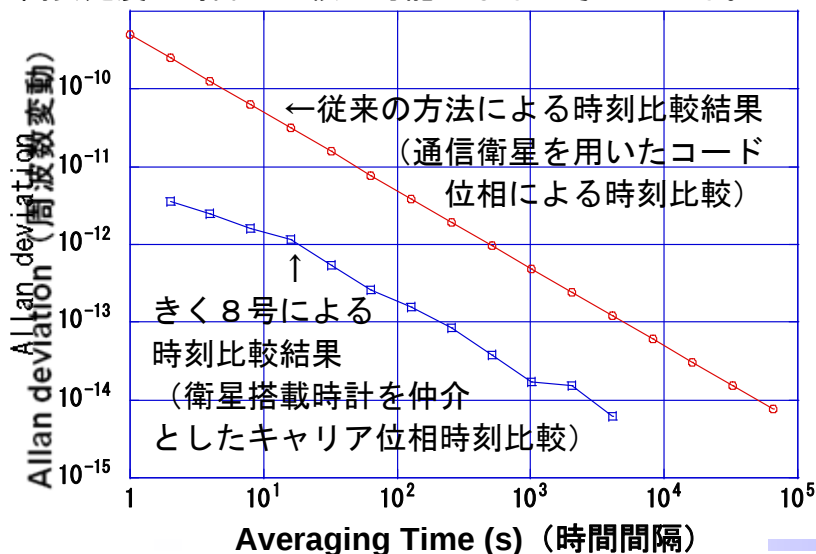


7. 時刻比較実験

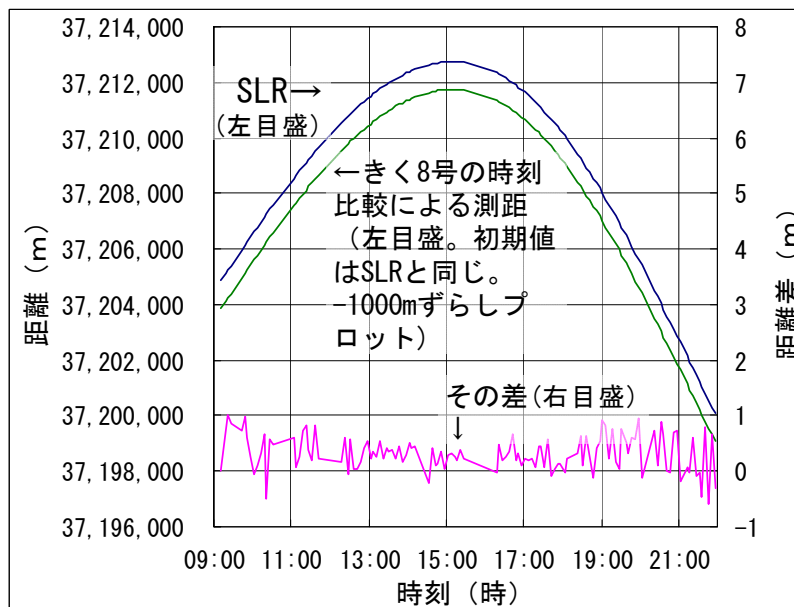
- ① 「きく8号」との衛星ー地上間時刻比較を断続的に実施し、**1秒平均で数psの精度で比較**している。これにより、「きく8号」搭載原子時計の軌道上での安定度、及び周波数の経年変化等を確認している。⇒【フルサクセス】
- ② 「きく8号」との衛星ー地上間時刻比較を地上の2箇所で同時に実施することにより、搭載原子時計を仲介として、**地上一地上間高精度時刻比較が可能であることを実証**した。(小金井ー鹿島基線) ⇒【フルサクセス】
- ③ 「きく8号」との衛星ー地上間時刻比較データを用いて測距計算を行い、SLRでの測距結果と比較した。その結果、**高精度測距が可能であることを実証**した。⇒【エクストラサクセス】

●地上一地上間時刻比較結果の一例

従来の方法よりも1~2桁改善している。これを用いて、高安定度の時計の比較が可能になると考えられる。



●測距結果の一例



きく8号で、時刻比較測定データを用いた測距は、SLRと比較して、相対値であるが、 $\pm 1\text{m}$ 以内の差で測れている。

これを用いて、高精度軌道決定を行うことが可能と考えられる。



8. 利用実験

□ 平成21年度は以下の5件の実験を既に実施済みであり、今後も継続して利用実験を行う。

- (株)NTTドコモ(平成21年5月～7月):映像アプリケーション検証
(将来の移動体衛星通信アプリケーションの候補)
- (独)海洋研究開発機構(平成21年7月):深海探査機遠隔制御
(平成22年1月に日本沿岸で実施予定の直接通信による探査機遠隔制御実験の事前検証)
- 首都大学東京(平成21年7月～8月):災害遠隔医療(下記参照)
- 大阪府立大学(平成21年4月～継続):電波伝搬特性評価
- 電気通信大学(平成21年4月～継続):電離層擾乱観測



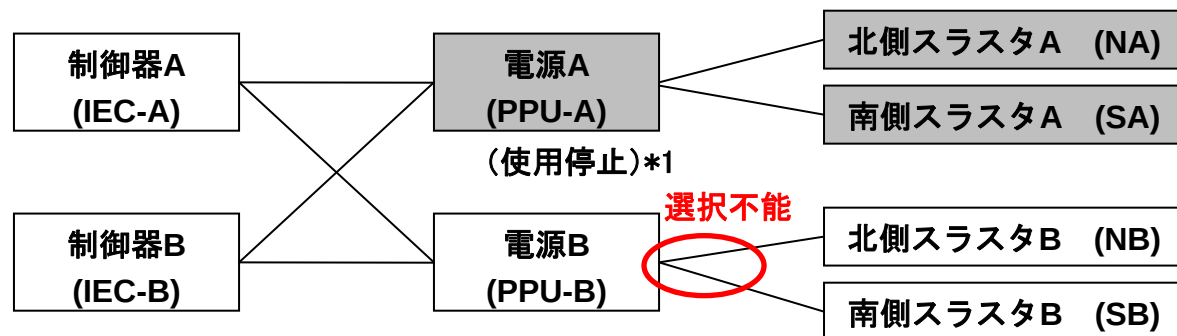
8月4日～5日に首都大学東京の利用実験として、日本医用画像工学会(@中京大学)の「衛星通信を利用した災害遠隔医療の可能を探る」のデモセッションにおいて、筑波～中京大学の医用画像の伝送デモを実施し、日本で初めての災害遠隔医療への適用としてアピールした。



9. イオンエンジン異常の原因と対策

1. 異常の状況

- 平成21年7月7日15時57分(日本時間)、南北軌道制御のためイオンエンジン運用を開始したところ、スラスタを南側スラスタB(SB)に選択するコマンドに対して、スラスタの切り替え状況を示すテレメトリでSBが選択されたことが確認できない異常が発生。



*1: A系統の電源Aおよびスラスタ(北側・南側スラスタA)については、平成20年1月15日に発生した異常により使用できない状況である。

イオンエンジン 制御器－電源－スラスタ接続図

- 軌道上確認試験および異常事象の整理、関連テレメトリデータの解析や、部品レベルでの調査・検討結果から、故障箇所は、電源装置B内の高圧電源(PPU PS1/2)を制御する基板に実装されている集積回路(CMOS IC)部品と推定。
- 当該IC部品の故障は、異常が発生した直前(約半日前)の北側スラスタ(NB)運用時であることが判明した。なお、この時の北側スラスタ(NB)の噴射自体は正常に完了している。



9. イオンエンジン異常の原因と対策(つづき)

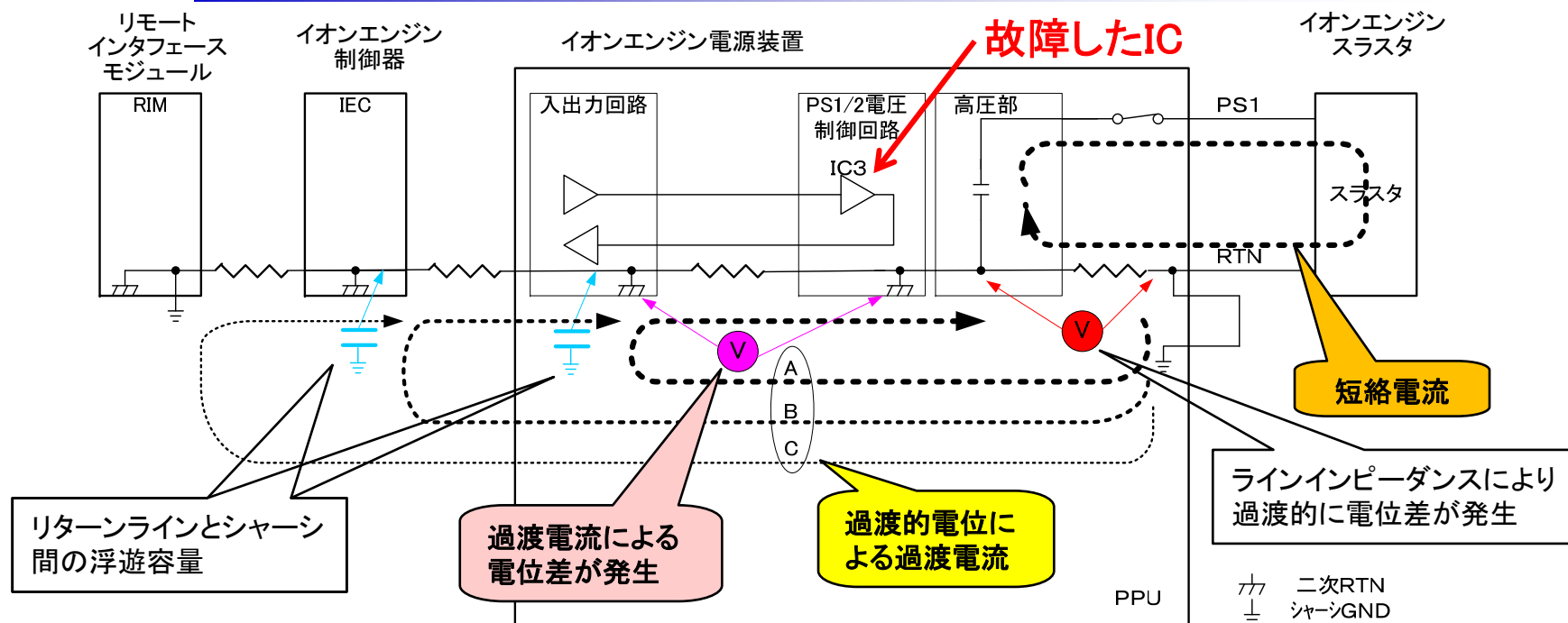
2. 故障の推定発生原因

- テレメトリデータ等から、当該IC部品は最初にラッチアップが発生し、IC内に過電流が流れることで最終的に故障に至ったと推定した。CMOS IC部品でラッチアップを発生させる要因と部品の実装、配線状況から、当該IC部品は「入出力端子から入る外来ノイズ」によりラッチアップを起こしたと推定される。
- 当該IC部品は、入出力端子の一部が外部基板に直接配線しており、基板間に発生した電位差(外来ノイズ)が重畳されることにより、入出力端子電圧がIC部品の電源電圧またはグランド電位と逆転し、ラッチアップが発生した。
- 基板間の電位差は、異常発生時にスラスタの高圧絶縁破壊(HVBD、運用毎に数回程度発生)と中和器放電消滅(年間に数回程度発生、ビーム噴射中としては今回初めて発生)が同時に発生したため、通常のHVBDの約2倍の短絡電流が流れ、その短絡電流の一部が浮遊容量を介して基板のリターンラインに流れ込んだために生じたと推定される。
- 基板間のリターンラインの電位差をシミュレーションした結果、約2Vの過渡的な電位差が生ずることが確認された。

3. 今後の運用計画

- 今回の異常により、イオンエンジンサブシステムは正常に起動できない状況にあるため、再プログラミングにより異常を回避して起動できるようにし、ミッション期間終了後に、軌道上での動作確認を行う。(推定原因の検証)
- 南北軌道制御は、バックアップの化学推進系スラスタを用いて平成22年7月頃まで実施する。それ以降は東西軌道制御のみ実施する。(10年間の東西軌道保持のため)
- 南北軌道制御中止後についても、軌道変動分を衛星の姿勢を変更することで補償することにより、通信実験の継続は可能である。

9. イオンエンジン異常の原因と対策(つづき)



イオンエンジン系の電流回り込み

4. 後続衛星への反映

- イオンエンジンのように高圧電源(きく8号では1000V)を有する装置では、放電等による短絡電流回り込みにより、基板間に電位差が生じる可能性があるため、CMOS ICで基板間をまたがる信号インタフェースを行わないようにする。基板間をまたがる信号インタフェースをする場合には、CMOS ICにラッチアップが生じないように、入出力回路に抵抗を挿入し、保護する。



10. 3トン級静止衛星バス

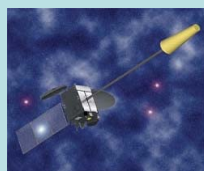
□開発成果は、気象衛星や国内外の商業通信衛星に活用
(これまで6機)

JAXA



きく8号

国土交通省



運輸多目的衛星
「ひまわり7号」

国内民間
通信事業者



商業通信衛星
「スーパーバード7」

JAXA



測位衛星
「準天頂衛星」

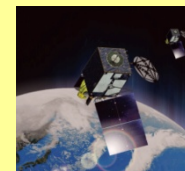
海外民間
通信事業者



商業通信衛星
「ST-2」

平成21年7月17日
発表

気象庁



静止地球環境観測衛星
「ひまわり8号及び9号」

「きく8号」をベースに開発した「DS2000」衛星バスを使用し、
企業側努力(信頼性の向上、コスト削減)により受注

軌道上運用中



(参考)ミッション達成目標と達成状況

達成度*1	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。	機能・性能の正常動作は確認済 寿命評価を継続中。開発成果は海外を含め商用衛星等6機に活用されている。 イオンエンジンについては、予定されていた運用を確認できなかったが、システムとしては化学推進系でバックアップ。
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。	機能・性能の正常動作は確認済 精度目標(100m、30ns)を達成済 基本実験を実施中。
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。	達成済 送信系・受信系の2面の大型展開アンテナを正常に展開。電気特性も正常であることを確認済。
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済 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できる見通し。
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。	欧州宇宙機関(ESA)を含め、14件実施済 利用実験を実施中。

*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