

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)「きく8号」の  
受信系故障に係る原因究明及び今後の対策について

報告書

平成20年7月30日

総務省独立行政法人評価委員会  
情報通信・宇宙開発分科会 情報通信研究機構部会  
きく8号受信系異常に関するWG

目次

はじめに

I. 「きく8号」の概要

1. 衛星の概要
2. 移動体通信ミッションのS帯受信系の概要
3. 「きく8号」の開発経緯
4. 地上試験等の実施状況
5. 「きく8号」の運用概要

II. 受信系故障の状況と原因究明について

1. 受信系故障の状況
  - 1-1. 異常事象の発見
  - 1-2. 「きく8号」から得られたテレメトリデータ
2. 原因究明
  - 2-1. 故障の木解析(FTA)
  - 2-2. 「きく8号」搭載LNAのSバンドアップリンク試験
  - 2-3. 異常事象として否定されていない原因についての検討
  - 2-4. Sバンドアップリンク試験で観測された特異事象についての検討
  - 2-5. 直列抵抗の増加原因についての検討
  - 2-6. 直列抵抗の増加を考慮した等価回路解析
  - 2-7. 特異事象発生時の検討
  - 2-8. 不具合原因の推定

3. 故障箇所の復旧可能性について

4. LNA-PSに設けられたヒューズについての検討

5. 信頼性向上の検証

III. 今後の衛星開発へ反映すべき事項について

1. 短絡防止に関する事項

2. 再発防止徹底に関する事項

3. 信頼性確保のための体制強化

#### IV. 衛星実験への影響について

1. 移動体衛星通信実験

2. 移動体衛星通信実験以外の実験

3. 今後の衛星実験について

おわりに

#### V. 図表集

#### VI. 用語・略語集

(参考) きく8号受信系異常に関するWG 構成員

#### はじめに

総務省独立行政法人評価委員会情報通信・宇宙開発分科会情報通信研究機構部会きく8号受信系異常に関するWGは、平成19年1月30日に発見された技術試験衛星Ⅳ型(ETS-Ⅳ)「きく8号」の受信系異常に係る原因究明及び今後の対策等の調査及び分析を行い、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)の業務の実績に関する評価に資することを目的として、平成19年3月19日から審議を行ってきた。

本WGでは、審議開始以来9回の会合を開催し、「きく8号」から得られたテレメトリデータの解析、検証試験等の結果をもとに、調査審議を進め平成19年5月9日に中間報告書、その後、更なるテレメトリデータの解析、検証試験等を実施し判明した事実等に基づき原因究明及び今後の対策等について報告書としてとりまとめた。

今回の「きく8号」受信系故障については、給電部受信系への二次電源系において、事前に必要な試験を実施していたにもかかわらず異常が発生し、未だ復旧に至っていないものであり、当該部分を開発した独立行政法人情報通信研究機構及び製造会社を含めた関係者が重く受け止めるべき事態であると考えられる。

今回の故障原因究明の過程を通じ、設計から開発に関する貴重な知見や経験が得られており、今後独立行政法人情報通信研究機構等においては、短絡防止のための施策強化等、今回の教訓を今後の衛星開発に活かしていく必要がある。本報告書の提言を踏まえ、衛星開発の信頼性確保のための真摯な取り組みがなされることを強く希望する。

調査審議に当たっては、関係機関に多大なご協力をいただいた。ここに心から感謝の意を表したい。

## I. 「きく8号」の概要

### 1. 衛星の概要

#### (1) 「きく8号」の目的

技術試験衛星Ⅶ型（ETS-Ⅶ：Engineering Test Satellite-Ⅶ）「きく8号」（以下「きく8号」という。）は、①大型展開アンテナ技術、②移動体衛星通信技術、③3トン級衛星バス技術、④高精度衛星測位システム技術の確立等を目的として、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という。）、独立行政法人情報通信研究機構（以下「NICT」という。）及び日本電信電話株式会社（以下「NTT」という。）が共同で開発した衛星である。

#### (2) 「きく8号」の概要

「きく8号」は、通信衛星用として世界最大級の大型展開アンテナ（17m×19m）を2面（送信用、受信用それぞれ1面）有する技術試験衛星であり、東経146度の静止衛星軌道に投入されている。外観及び主要諸元を図I-1-1、表I-1-1に示す。また、大型展開アンテナの展開状況の画像を図I-1-2に示す。

### 2. 移動体通信ミッションのS帯受信系の概要

今回の異常の原因となっている「きく8号」の移動体通信ミッションは、大型展開アンテナ反射鏡部、アンテナ給電部、中継器部等から構成されている。

地上携帯端末等からの電波は、「きく8号」の大型展開アンテナで集められ、アンテナ給電部にある31台の低雑音増幅器（LNA：Low Noise Amplifier）で並列に増幅され、ビーム形成部（BFN：Beam Forming Network）に入力された後、合成される構成となっている。移動体通信ミッションの全体構成を図I-2-1に、S帯受信系の構成図を図I-2-2に示す。

#### (1) 低雑音増幅器（LNA）の概要

「きく8号」には、受信側31台、送信側1台（注1）の合計32台のLNAが搭載されている。LNAの外観を図I-2-3に示す。部品の高信頼化、ディレーティング（注2）による故障対策がとられている。

LNA32台には、低雑音増幅器用電源（LNA-PS：LNA-Power Supply）から電源が供給されている。

注1）送信側1台のLNAは、送信用大型展開アンテナの金属メッシュ鏡

面で発生する相互変調による干渉波（PIM：Passive Intermodulation）を測定する目的で設置されている。

注2）ディレーティングとは、部品の故障率を少なくする目的で、意図的に、素子の定格よりも十分に低い使用条件で使用すること。

#### (2) 低雑音増幅器用電源（LNA-PS）の概要

「きく8号」には1式のLNA-PSが搭載されており、衛星バスから供給される一次電源供給系の100Vの電圧を6.3Vに変換し、LNAに電源供給している。LNA-PSの外観を図I-2-4に、構成図を図I-2-5に示す。

LNA-PSを構成するDC/DCコンバータについては、主系及び従系（A系及びB系）の2系統の待機冗長構成として内部冗長化が図られている。また、LNA-PSにはLNAが短絡した場合に短絡したLNAを分離するためのヒューズが設けられている。さらに、LNAの短絡故障による波及故障を防止するため、DC/DCコンバータには規定以上の電流を一定時間以上連続して流さないように過電流保護機能が備わっている。過電流保護機能の特性を図I-2-6に示す。

### 3. 「きく8号」の開発経緯

#### (1) 「きく8号」の開発経緯

「きく8号」は、平成4年度に郵政省（現：総務省）により概念設計がなされ、平成6年度の宇宙開発委員会において、ミッション機器の開発研究（郵政省及び通信総合研究所（現：NICT））及び次世代技術の実証システムに関する研究（宇宙開発事業団（現：JAXA））が認められている。

平成9年度の宇宙開発委員会で、技術試験衛星Ⅶ型としての衛星全体の開発研究が認められた。

平成10年度には、開発研究から開発へのフェーズアップが認められ、平成11年4月に基本設計審査（PDR：Preliminary Design Review）、平成13年12月に詳細設計審査（CDR：Critical Design Review）が行われ、維持設計の後、平成18年12月18日に打ち上げられた。

#### (2) S帯受信系の開発経緯

S帯受信系のLNA及びLNA-PSは、平成6年度から平成12年度にかけて年度ごとの請負契約により製造会社にて開発されている。

平成6年度から平成8年度にかけエンジニアリングモデル（EM：Engineering Model）が製作され、平成9年度から平成11年度にかけブ

ロトフライトモデル（PFM：Proto Flight Model）が製作されている。  
なお、平成12年度に改修が加えられ、LNA-PSへヒューズが追加されている。

また、S帯衛星移動通信系の送信系又は受信系に万が一異常が発生した場合のバックアップを可能とするため、測位実験ミッションとの接続機能の追加が平成10年度に実施されている。

LNA及びLNA-PSの配置位置及びハーネス実装状況図を図I-3-1に示す。

### (3) S帯受信系の冗長化設計の考え方

#### ①現状の設計内容

S帯受信系のLNA-PSには32台のLNAが並列に接続されており、LNA側の故障の場合は、そのままでは1台のLNAの短絡によりLNA-PSが機能しなくなる。そこで、LNA-PS内のDC/DCコンバータとLNAの間にヒューズを設けて、故障分離を図っている。ヒューズは、4台のLNAに対して1個のヒューズを挿入している。これにより、1台のLNAが短絡すると、それを含む4台までのLNAは機能しなくなるがその他28台は機能を維持できる設計となっている。

電源側の故障については、ダイオードOR接続をして電源を冗長構成としている。この場合でも、ダイオード出力からヒューズまでの間は単一故障点として残るが、絶縁被覆の配線及び半田付け部のコーティングにより信頼性を確保する設計となっている。

#### ②現設計を選択した理由

設計当初のシステム要求は、「各コンポーネントの単一故障が、他のコンポーネントの故障を誘発したり、きく8号の機能障害となることを少なくするよう設計することであり、この結果に基づき、必要な部分の冗長化、部品の高信頼化、ディレーティングの強化を行うこと」であり、受信系の設計においてLNA電源は、内部にDC/DCコンバータを有す内部冗長構成にし、LNAは、高信頼化、ディレーティングの強化で対応した。

しかしながら、故障の分離をより確実に実施することとなり、設計変更を行った。その際に、電源とLNAの間にスイッチを実装して異常時に分離する方式は、コマンド、テレメトリ、及び質量の再配分が必要となり、衛星システムへの設計インパクトが大きくなる。そのため、スイッチではなくヒューズにより、かつLNA4系統にヒューズ1台といった構成を採用し、衛星システムへのインパクトを最小限にして、故障分離を行う方式を採用した。

## 4. 地上試験等の実施状況

### (1) 地上試験の実施状況

地上試験等の実施状況は次のとおりである。

#### ① コンポーネントレベルの地上試験結果

コンポーネントレベルにおける振動試験、熱真空試験、電気性能試験の実施状況は表I-4-1に示すとおりであり、NICT及び製造会社からの説明によれば、試験等は全て網羅的に実施され、かつ、試験結果も正常であった。

#### ② システムレベルの地上試験結果

移動体通信ミッション機器は、平成14年11月にNICTからJAXAに引き渡された後、システムへのインテグレーション、システムプロトフライト試験（PFT）、射場搬入後試験が実施されている。その実施状況は表I-4-2に示すとおりであり、JAXAからの説明によれば、試験等は全て網羅的に実施され、かつ、試験結果も正常であった。

システムプロトフライト試験の実施状況を図I-4-1に示す。

#### ③ 保管管理状況

製造時の部品レベルの保管管理状況及び製造時・検査時の作業環境、コンポーネントレベルの保管管理状況、衛星保管管理状況はそれぞれ表I-4-3、表I-4-4、表I-4-5に示すとおりであり、NICT等からの説明によれば、衛星搭載機器に適用される通常的环境下で適切に保管管理されており、特段の異常は認められない。

#### ④ 打上げ時の衛星に対する振動環境条件

「きく8号」は、H-IIA204型ロケットで打ち上げられている。打上げ時の振動環境（複合加速度荷重、正弦波振動、音響環境等）を実測値により確認したところ、打上げ環境として提示されていた環境条件を満たしている。打上げ環境を表I-4-6に示す。

### (2) 「のぞみ」の電源系統の不具合等を踏まえた処置

第18号科学衛星（PLANET-B）「のぞみ」に生じた電源系統の不具合に関し、平成16年5月26日に宇宙開発委員会から報告書が公表されているほか、平成16年6月18日には信頼性技術情報が発行されている。信頼性技術情報に記載された留意事項の概要を表I-4-7に示すが、主な留意事項は次の3点である。

#### ① 不具合の影響度の評価

② 故障分離

③ 輸入品に対する検証

このような不具合に対し「きく8号」においては、同種の原因による異常が発生しないようETS-Ⅷ総点検等が平成16年6月に実施されている。

ETS-Ⅷ総点検は、製造会社文書「ETS-Ⅷ中継器部・アンテナ給電部点検計画書」(第二版 平成16年6月2日)に基づいて実施されており、主に以下の3点が点検されている。

①設計検証結果の再確認

- ・ I F FMEAの再確認
- ・ 機能FMEAの再確認
- ・ 装置単位での単一故障箇所の有無確認・識別

②試験内容の再確認

③不具合評価(※)

(※) PFT以降の発生不具合について処置妥当性を確認。

の3点が点検されている。

この点検においては表I-4-8に示す書類が対象である。

5. 「きく8号」の運用概要

(1) 打上げ後の運用状況

「きく8号」は、平成18年12月18日15時32分(日本時間)に種子島宇宙センターよりH-IIAロケット11号機により打ち上げられた。

ロケットから分離後、太陽電池パドルの展開を実施し、4回のアポジエンジン噴射を経てドリフト軌道に投入後、三軸制御確立、大型展開アンテナ反射鏡面部(LDR)展開を完了し、12月27日に定常モードへ移行し、クリティカルフェーズの運用を終了した。その後、バス系の各サブシステム及びミッション系のチェックアウトを実施し、移動体通信用Sバンド受信系異常で実施できない項目を除き、平成19年4月25日までに初期機能確認が完了し、初期運用から定常運用に移行した。

(2) 運用によって得られた成果

「きく8号」の基本実験としては、移動体通信搭載機器実験、移動体通信実験(超小型携帯通信端末実験)などを実施している。

移動体通信搭載機器実験では、大型展開アンテナの特性評価として平成19年夏至の時期のアンテナパターンを全国9カ所の地上局で測定した。結果としては、図I-5-1に示すとおり解析と実測がほぼ一致し良好な結果が得られ、大型アンテナ等の展開位置やアンテナの機能、

性能など大型アンテナ技術が送信系で確実に実現できていることを確認している。

また、移動体通信中継器の軌道上での性能評価では、中継器の利得、入出力特性、振幅周波数特性及びスプリアス特性などについて、地上での測定データとほぼ一致しており、中継器技術が確立されていることを確認している。

さらにパケット交換機特性評価では、搭載されているパケット交換機の軌道上BER特性を測定し、図I-5-2に示すとおり地上のデータとほぼ一致しており、交換機技術も確立されていることを確認している。

次に移動体通信実験では、図I-5-3に示すとおり防災訓練などで衛星通信実験用端末による情報伝達実験を実施した。具体的には、災害時における双方向音声伝送、避難所に避難する住民が携帯するICタグからの情報や住民の避難状況を確認するための映像情報等を「きく8号」を介して迅速に伝送する防災アプリケーションに関する評価を行い有効性を確認している。

## II. 受信系故障の状況と原因究明について

### 1. 受信系故障の状況

「きく8号」に生じているS帯受信系故障について、「きく8号」から得られるテレメトリデータによる実測値を示す。

#### 1-1. 異常事象の発見

平成19年1月30日に実施されたS帯受信系機器の初期機能確認試験において、LNA-PSのDC/DCコンバータ主系(A系)をONにするコマンドを送信したところ、LNA-PSのテレメトリ信号が一瞬だけONとなるがすぐにOFFとなる異常事象が繰り返し観測された。LNA-PSのDC/DCコンバータ従系(B系)にも切り替え、A系で2回、B系で1回実施したが、同様の異常事象であった。なお、このような異常事象は地上試験では生じていなかった。異常事象の発見時の測定データを図II-1-1に示す。

この時点でのテレメトリは、2秒に1回の測定間隔で、LNA-PSがONかOFFかの2値を判定するモードであった。仮にLNA-PSの過電流保護回路(動作周期約260ミリ秒)が動作したとすれば、動作周期(約260ミリ秒)と測定間隔(2秒に1回)が一致した場合のみONとなりそれ以外はOFFという観測結果となる。

なお、この異常事象の発生に伴う経緯を表II-1-1に示す。

#### 1-2. 「きく8号」から得られたテレメトリデータ

「きく8号」のテレメトリには、故障解析のために約8ミリ秒に1回(1秒間に約128回)の測定間隔で、電圧値を0.02V単位で測定可能なデュエルモード機能が用意されている。そこで、このデュエルモードテレメトリを用いてLNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧値を測定した。なお、テレメトリデータは、DC/DCコンバータの出力電圧値の約0.7倍を示している。

なお、異常事象発生から現在まで継続して測定実施した結果を図II-1-2に示す。図には衛星構体温度を30℃(高温状態)と0℃(低温状態)に設定して測定したものを併せて示す。

#### ① 電圧値について

LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧値を測定したところ、正常値(約6V)より下回っていた。平成19年5月頃に2.4V程度であったテレメトリ電圧の変動を継続的に監視したところ、8月下旬頃(不具合発生時から通算日190日頃)から2.7V程度に上昇し、11月上旬頃(通算260日頃)から3.4V程度まで上昇するなど急激な変化が測定され、平成20年1月上旬頃には3.3V程度、平成20年4月上旬には3.2V程度と若干下がった。

#### ② 周期について

テレメトリデータを解析したところ、パルス幅4~5ミリ秒、繰り返し周期約260ミリ秒のパルスであることが確認された。

平成19年4月3日以降においてはそれまでの繰り返し周期が約260ミリ秒に加え約160ミリ秒の混在が確認された。DC/DCコンバータの製造会社によれば、このような繰り返し周期の変化は負荷状況に応じて生じることがあり得ることが判っている。

このパルスはLNA-PSの過電流保護回路の動作とほぼ一致することから、LNA-PSの過電流保護回路が動いていると考えられる。平成19年1月30日のテレメトリ異常事象もこの現象によるものと考えられることができる。

## 2. 原因究明

故障の木解析(FTA)によって原因究明を行った。故障の木解析における絞り込みにおいては、テレメトリデータや搭載LNAの特性測定データ、地上再現試験等を用いた。各々の実施状況を図II-2-1に示す。

### 2-1. 故障の木解析(FTA)

「LNA-PS内のDC/DCコンバータをONにするコマンドを送信してもLNA-PSのテレメトリ信号が安定してONにならない事象」をトップ事象とする故障の木解析(FTA)を行った。結果を図II-2-2に示す。

この事象が生じる1次要因として次の4つの可能性が考えられたが、検討の結果、衛星内のミッション系の異常以外の可能性は無いことがわかった。

- ① 衛星内のバスの電源系の異常
- ② 衛星内のミッション系の異常
- ③ 衛星内のバスのテレメトリ・コマンド系の異常

#### ④ 衛星外の異常

次に、衛星内のミッション系の異常について検討を行ったところ、異常事象の要因として可能性が否定されていないものは以下の5ケースとなった。5ケースのいずれも短絡である。また、5ケースを場所で分類すると、①と②はダイオードの出力端短絡、③から⑤の3ケースはLNA内部短絡であることから、2箇所（5ケース）と分類することができる。

- ① ダイオード絶縁シート損傷 (整理番号：3-3-3)
- ② ダイオード出力端の異常 (整理番号：3-3-4)
- ③ LNA入力部の貫通コンデンサの異常 (整理番号：4-2-1)
- ④ LNA内コンデンサの異常 (整理番号：4-2-4)
- ⑤ LNA内の異物 (整理番号：4-2-6)

可能性が否定されていない5ケースの詳細は次のとおりである。

#### ① ダイオード絶縁シート損傷 (整理番号：3-3-3)

ダイオード絶縁シートが損傷した場合には、ダイオードの出力側がグラウンドと短絡することとなる。ダイオードはDC/DCコンバータのA系B系にそれぞれ1つずつの合計2つあるが、どちらかのダイオードの出力端が地絡しても、A系B系2つのDC/DCコンバータのいずれにおいても過電流保護機能が働く。この挙動は軌道上の挙動と一致する。

#### ② ダイオード出力端の異常 (整理番号：3-3-4)

ダイオード出力端に何らかの導電性異物が打上げ振動等により移動して、コーティングしていないダイオード出力端に付着した結果、短絡することとなる。ダイオードはDC/DCコンバータのA系B系にそれぞれ1つずつの合計2つあるが、どちらかのダイオードの出力端が地絡しても、A系B系2つのDC/DCコンバータのいずれにおいても過電流保護機能が働く。この挙動は軌道上の挙動と一致する。

#### ③ LNA入力部の貫通コンデンサの異常 (整理番号：4-2-1)

LNAの電源入力部の貫通コンデンサが偶発故障により短絡状態となった場合には、電源の負荷が異常となる。32台あるLNAのうち1台でも短絡が発生すれば、A系B系2つのDC/DCコンバータのいずれにおいても過電流保護機能が働く。この挙動は軌道上の挙動と一致する。

#### ④ LNA内コンデンサの異常 (整理番号：4-2-4)

LNA内コンデンサが偶発故障により短絡状態となった場合には、

電源の負荷が異常となる。32台あるLNAのうち1台でも短絡が発生すれば、A系B系2つのDC/DCコンバータのいずれにおいても過電流保護機能が働く。この挙動は軌道上の挙動と一致する。

#### ⑤ LNA内の異物 (整理番号：4-2-6)

LNA内に潜在した導電性異物が打上げ振動環境などにより移動し、基板線路間などに付着し短絡を生じた場合には、電源の負荷が異常となる。32台あるLNAのうち1台でも短絡が発生すれば、A系B系2つのDC/DCコンバータのいずれにおいても過電流保護機能が働く。この挙動は軌道上の挙動と一致する。

### 2-2、「きく8号」搭載LNAのSバンドアップリンク試験

「きく8号」のS帯受信系のビーム形成部(RX-BFN1)には、受信部にある31台のLNAに1つずつ対応して、最大40dBの減衰(1万分の1の減衰)が可能な可変減衰器が31台搭載されている。したがって、可変減衰器をコントロールし、測定対象LNAの減衰量を0とし、他のLNAの減衰量を大きくすることにより31台あるLNAのうちどれが正常に動作し、どれが異常であるかを実測することができる。(Sバンドアップリンク試験)また、送信部にある1台のLNAはビーム形成部にかかわらず動作を直接測定できる。そこで、「きく8号」を用いた軌道上検証を行った。

なお、前述したように現状ではLNAへの印加電圧は、約5ミリ秒の繰り返しパルスであるため、これらの測定はLNAに電圧が印加される約5ミリ秒間で行っている。また、この軌道上の実験系及び地上での受信測定例を図II-2-3に示す。

#### (1) 測定された受信信号の電力値

正常であれば、回線設計上-3dBm~-12dBm程度の電力値の受信信号が地球局側で測定されるはずであるが、これまで実施した軌道上実験では、最大でも-37dBmの電力値であり、25dB~60dB以上低い電力(300分の1~100万分の1以下の電力)しか測定されていない。

#### (2) 32台のLNAの動作

正常であれば、受信信号はノイズレベルより40dB以上(1万倍以上)大きな電力値で測定できる。しかし、ノイズレベル以下の受信信号しか測定されない場合には、LNAが動作していないのか、動作してい

るがノイズに埋もれているのが区別できない。

検証結果においては、ノイズレベルより大きな受信信号が測定され動作が確認できたLNAがあったが、別の測定日においてはノイズレベル以下となっており、正常であるとの判断はできない。

なお、地球局からの送信電力を大きくすればこれらの改善が期待されることから、平成19年4月19日以降は、現状で最大の送信電力が出力できる機器(33W)を用いて実験を実施した。

### (3) 打上げ前の地上試験結果

打上げ前の平成18年10月2日には、この軌道上検証とほぼ同様の構成で地上試験が行われており、32台のLNAそれぞれの正常動作が確認されている。この地上試験結果を図Ⅱ-2-4に示す。ノイズレベルよりも十分大きな電力値が測定されている。

### (4) 「きく8号」搭載LNAのSバンドアップリンク試験

「きく8号」を用いた軌道上検証は、表Ⅱ-2-1に示す測定結果となっており、32台あるLNAのうちどれが正常に動作し、どれが異常であるかの特定に有益な測定データが得られていない状況にある。

## 2-3. 異常事象として否定されていない原因についての検討

故障の木解析(FTA)で絞り込んだ5ケースについて、故障発生を検証を実施した。

### (1) ダイオード絶縁シートの損傷についての検討

#### ① 概要

図Ⅱ-2-5に示すダイオードと筐体間の絶縁のために実装している絶縁シート(注)の絶縁効果が低下するケースとしては、次の3つの可能性が考えられる。

- ア ねじれ：取り付け時に絶縁シートにねじれが生じ絶縁効果が低下
- イ 傷：絶縁シートの傷もしくは傷つけにより絶縁効果が低下
- ウ 異物：取り付け時に異物を挟み込み、打上げ時の振動などで絶縁シートを突き破り絶縁効果が低下

注：使用された絶縁シートは、材質シリコンゴム、厚さ0.38mm、引っ張り強度27kg/cm<sup>2</sup>、引き裂き強度18kg/cm。

#### ② 検証及び結果

まず、ねじれと傷の影響について検証した。具体的には、意図的に

絶縁シートを切り欠き絶縁不良となるかどうか検証した。用いた絶縁シート及び検証結果を図Ⅱ-2-6に示す。

検証の結果、B(絶縁シートをダイオードの縁まで残して切断)やC(絶縁シートを切らずに使用)では、ダイオードと筐体間に絶縁シートが入っていればトルクが大きくなっても絶縁が保たれるが、A(絶縁シートを半分に切断)ではトルクの大きさによって絶縁シートがつぶれダイオードと筐体が接触し絶縁不良となった。

ここで、絶縁シートがAやBの状態となっていれば作業員が容易に検知できる。また、Cの場合、今回の結果から考えれば、ダイオードに挟まれている部分に傷や亀裂があったとしても、その傷や亀裂が外側まで進展の上脱落し、筐体と接触を生じさせるような外力がなければ絶縁不良は生じないが、打上げ以降にこのような外力が作用することは考えにくい。したがって、ねじれや傷による故障メカニズムの可能性は低いと考えられる。

次に、異物による影響を検証した。具体的には、異物を挟み込み、規定トルク(120N・cm)まで締め付け、絶縁シートが突き破れるかどうか確認した。概要を図Ⅱ-2-7に示す。

検証の結果、半田屑の挟み込みにより、絶縁シートが突き破れ、絶縁不良(147mΩ)となった。このことから、ある程度の大きさの異物を絶縁シートに挟み込めば、シートが破れ絶縁不良が発生することがわかった。

検証に用いた異物は0.4mm程度の大きさであるが、作業員がその異常を検知できるものである。また、この箇所での短絡は、1Ω以上の抵抗値をもつソフトショートと推定されており、測定された147mΩと抵抗値が合わない。

しかしながら、大きさに関しては、作業員が見逃しかねない程度の小さな異物であっても絶縁シートに圧痕が生じることは想定される。また、この部分は取り付け圧力を受け続けていることから、圧痕が地上環境試験負荷などにより徐々に拡大し、打上げ振動により最終的に裏面まで貫通した場合も考え得るところであるため、故障メカニズムの可能性も否定できないことから、抵抗値についてリード線等で挟み込み後の短絡抵抗の試験を行った。

さらに、ダイオードを取り付ける筐体の表面処理の影響を確認するため、図Ⅱ-2-8のような実機と同じ有色クロメートで表面処理をした固定座とアルミ素地の固定座を用意し、締め付けトルクを変化させ、導電性異物の挟み込みを行った場合の抵抗値を測定した。この結果、表面処理が無い筐体を利用した評価結果と表面処理を利用した筐体との評価結果とでは、大きな違いがないことがわかった。それぞれ



の測定結果を表Ⅱ-2-2に示す。

(2) ダイオード出力端の異常についての検討

① 概要

ダイオード出力端に何らかの導電性異物が打上げの振動等により移動して、コーティングしていないダイオード固定部のラグ端子と支持ブラケット間に付着した場合には短絡する。

② 検証及び結果

図Ⅱ-2-9に示すダイオード固定部で短絡する状況について検討したところ、(1)で記述した図Ⅱ-2-5の $\alpha$ 点で異物を挟み込み、絶縁シートが破断して短絡に至る場合以外に、導電性異物が打上げ振動等により移動し $\beta$ 点に付着する可能性がある。

$\beta$ 点はクリアランスが1mm程度で目視検査で異物を確認できる大きさであるが、 $\beta$ 点は視認性が悪い部分であることから、検査が比較的難しいポイントと考えられる。この部分はコーティングが無い部分であり、1mm以上の大きさを持つ導電性異物がコンポーネント製造過程等で混入し、打上げ振動環境等で移動して付着すると短絡を起こしうる。図Ⅱ-2-9にあるダイオード取り付け部の写真では、ラグ端子が絶縁スリーブ(赤色)でカバーされているが、これをナット側の根本までカバーするようにするとラグ端子をナットで締める場合に、ラグ端子とワッシャの間に絶縁スリーブを挟み込む可能性があるため写真のようなクリアランスを設けている。また、ラグ端子を取り付けた後でコーティングをするとコーティング材がラグ端子やワッシャの接触部にしみこんで接触状態を劣化させる可能性があり、この部分はコーティングの実施が困難である。地上再現試験の結果からも異物による故障メカニズムの可能性はあると考えられる。

(3) LNA入力部の貫通コンデンサの偶発故障についての検討

① 故障発生の説

LNAの電源入力部貫通コンデンサに短絡故障が発生した場合には短絡する。

② 検証及び結果

使用したLNAではこれまで貫通コンデンサの故障事例はなかったが、同種部品や類似構造を持つ部品について、過去の故障事例を調査した。貫通コンデンサについては、数多くの部品に用いられおり製造会社においても地上における複数の故障事例が報告されており、次の4つに分類される。

(7)貫通コンデンサの部品不良

(f) LNAへの貫通コンデンサの取り付け時のストレス

(g)装置組み立て時のストレス

(x)試験時の過電圧、過電流

(7)及び(f)は初期不良となるが、LNAとして全数240時間のバーンインを実施して初期不良を取り除いている。また、地上試験で検知できることから、この可能性は低い。

(g)については、長時間のはんだ付けによるストレスが考えられるが、製造時にそのようなストレスは与えていないと製造会社から報告されている。また、この要因については地上試験で検知できる。

(x)については、耐電圧50V、許容電流値5Aに対して、6V、100mAという十分なディレーティングがとられている。

貫通コンデンサは、数多くの部品に用いられおり製造会社においても地上における複数の故障事例が報告されているものの、製造会社ではスクリーニングなどを通して、高信頼化をはかり宇宙用途での高信頼LNAでは、貫通コンデンサが原因となる故障の事例が無いとの調査結果がある。このことから、LNA入力部の貫通コンデンサで故障が発生する場合は、偶発故障によるものと考えられる。なお、調査結果を表Ⅱ-2-3に示す。

(4) LNA内のコンデンサの偶発故障についての検討

① 概要

LNA内のコンデンサに短絡故障が発生した場合には短絡する。

② 検証及び結果

使用したLNAに用いられている内部コンデンサは、MOSタイプの単板コンデンサと呼ばれるタイプであり、製造会社での故障事例はなかった。しかし、コンデンサの構造から考えるとこのタイプの単板コンデンサはMOSタイプのICのゲートと同等の故障メカニズムを持つと想定される。この場合の故障の可能性は次の3つに分類される。

(7)製造時の汚れによる絶縁抵抗の低下

(f)コンデンサ内部のポイド(気泡又は空洞)による絶縁抵抗の低下

(g)過電圧による酸化膜の破損

これらの要因の検出にはバーンイン(電気的なストレスの印加)が効果があると言われているが、LNAとして全数240時間のバーンインを実施して初期不良を取り除いていることがわかっている。

LNA内のコンデンサは、製造会社ではスクリーニングなどを通して、高信頼化をはかり宇宙用途での高信頼LNAでは、コンデンサが原因となる故障の事例が無いとの調査結果もあり、LNA内のコンデンサで故障が発生する場合は、偶発故障によるものと考えられる。

(5) LNA内の異物についての検討

① 概要

LNA内部のコーティングしていない基板線路間に、LNA内部に残っていた導電性異物が打上げ時の振動で移動して基板線路間などに付着した場合に短絡する。

② 検証及び結果

LNA内部の異物による短絡状態の確認のため、LNA EM品（搭載品の基板と同じ50マイクロメートルの基板）を用意し、考えられる導電性異物を付着させ、想定される短絡状態を地上再現試験にて確認した。

LNA内部（基板接続部）に金リボン及び半田屑による短絡を模擬し、短絡抵抗を測定した。金リボンでは、数100mΩから400mΩ程度の短絡抵抗であったが、半田屑による短絡においては、400mΩ程度以上の抵抗値を示したが、金リボンに比べ不安定であった。また、膜回路基板内での金リボン（約0.8mm長）による単板コンデンサ電極と接地パターン間の短絡を模擬し、短絡抵抗を測定した。パターン上に金リボンを置いた際には短絡を生じなかったが、軽く圧力を加えると短絡抵抗値は、約400mΩ程度を示し、その後は特に圧力を加えなくとも安定した値を示した。基板接続部で金リボンによる接地に短絡した場合に比べて、ボンディングワイヤや基板パターン等の経路が増えた分、抵抗値が増大している。接地パターンと単板コンデンサ電極間の短絡を試みたが、単板コンデンサの厚みのため短絡しなかった。従って、本モードでの短絡は特殊な形状の導体異物が無いと生じないため、可能性は低いと考えられる。以上の検証の状況を図Ⅱ-2-10に示す。

地上再現試験の結果から膜回路基板内での接地パターンと単板コンデンサ電極間の短絡では単板コンデンサの厚みのため短絡はしなかったが、基板接続部では短絡抵抗値を確認していることから、LNA内部での金リボン及び半田屑による短絡の故障メカニズムの可能性は否定できない。

2-4. Sバンドアップリンク試験で観測された特異事象についての検討

LNAが故障したと想定して、どのLNA系統が故障したかを特定するために地上からSバンドのアップリンクを送信し、衛星搭載LNA経由で戻ってくる信号の地上での受信強度を測定する試験を実施した。

(1) Sバンドアップリンク試験結果についての検討

Sバンドアップリンク試験では、LNAが1個短絡しているとして28系統のリターン信号が観測されるはずであったが、LNA-PSのテレメトリ電圧が2.6Vであった平成19年3月時点では16系統で受信信号が確認された。しかし、それ以降は1系統のみの受信、若しくは全く受信が確認できない状況であり、かつ、リターン信号の受信レベルは回線設計と比べて約50dB低い結果であった。その後、LNA-PSのテレメトリ電圧は平成19年8月下旬には2.7Vに上昇し、11月上旬には3.4Vまで更に上昇し、リターン信号の受信電力は7dB程度増大したが、それでも平成19年3月の結果に比べ約7dB程度低く、また、リターン信号は1系統しか観測できなかった。つまりLNA-PSの出力電圧（テレメトリ電圧）が上昇したのにLNA印加電圧（LNA利得）は上昇しなかった。この現象は、本不具合現象の大きな特徴（特異事象）であると考えられる。結果を表Ⅱ-2-4に示す。

(2) 「特異事象」を発生させる要因についての検討

① 特異事象を発生させる要因

特異事象を発生させる要因としては次の2つが考えられる。

(7) ほとんどのLNAが劣化または故障した。(LNAは全部で32台搭載)

(4) LNA-PSのテレメトリ電圧は上昇したが、LNA印加電圧は低下している。(LNA印加電圧が低下するとRF電力も低下する特性)。

② 特異事象を発生させる要因の可能性

(7)の可能性

LNAは軌道上で長期にわたり定格電圧による動作でなく、パルス状のON/OFF動作を繰り返したので、LNA内部にトランジエント電圧が発生し電子部品にストレスが加わり、劣化または故障した可能性を考え、同一設計のEM品4台を使用した実証試験を実施した。その結果、特に劣化・故障は発生しなかった。

したがってほとんどのLNAの劣化または故障の可能性は低いと考えられる。

(4)の可能性

LNA-PSは過電流保護動作領域（V-I特性が傾斜）で動作していることから、条件によって可能性がある。衛星の詳細回路モデル【LNA-PS→供給ライン（分配あり）→LNA（32台）】を用いた検討の前に、図Ⅱ-2-11のような回路の簡略モデル化により定性的な検討を行った結果、特異事象が起こる条件は、「軌道上でDC/DCコンバータ出力端から短絡点までの直列抵抗が増加した場合、LNA-PS

S出力電圧が上昇するにもかかわらずLNAに印加される電圧は逆に減少し、LNA利得が減少する」であることがわかった。なお、この減少は、LNA32台が接続されるモデルでも成立する。

テレメトリ電圧から試算されるLNA-PS出力電圧とLNA印加電圧の相関関係は図Ⅱ-2-12のとおりであり、「軌道上でDC/DCコンバータ出力端から短絡点までの直列抵抗が増加し、かつ、短絡部の状態変化により短絡抵抗が変化すると「特異事象」が生じる」場合、LNA-PS出力電圧とLNA印加電圧が正の関数を持たないという現象を合理的に説明できる。また、シミュレーションを行った結果、軌道上の特異事象を再現することがわかった。(詳細は2-7に記述)

#### 2-5. 直列抵抗の増加原因についての検討

ダイオード固定部付近の電源電流は、図Ⅱ-2-13に示すようにダイオードの筐体(カソード端子)から取付ナット→ワッシャー→ラグ端子へと流れる。この部分は接触により接続されており、接触抵抗が増加する可能性があることから、地上での再現実験を行った結果、β点の手前で直列抵抗が増加することを確認した。

再現実験は、軌道上のダイオード部と同じ組立を4台作り、-40℃～+100℃の温度試験(加速試験)を960サイクルおこなった。その結果、接触抵抗が徐々に増加する現象を4台中2台について確認した。

原因は、シリコンゴム製の絶縁シートの変化、及びガラスエポキシ(複合材)製の絶縁ワッシャーの変化により取付ナット→ワッシャー→ラグ端子の接触圧が変化したためと推定される。なお、この直列抵抗(R1)の増加は非常に小さい値であるため、短絡が発生していなければ電源電圧の変動としては無視できるものであり、今回のLNA電源としてもLNAの性能に影響を与えない範囲のものである。なお、このダイオードを固定する構造はASTRO-E2(すざく)で実績のあるものである。

#### 2-6. 直列抵抗の増加を考慮した等価回路解析

LNA-PSのLNA用DC/DCコンバータからLNAまでの電源回路を等価回路で再現して、回路シミュレーションを行った。この回路シミュレーションにより、回路上の任意の位置で短絡が発生させた場合に、DC/DCコンバータのON/OFFテレメトリ電圧、あるいはLNA印加電圧がどのように現れるかを調査し、軌道上のデータと比較して、異常事象の原因を絞り込んだ。

シミュレーションに使用した回路の概略図を図Ⅱ-2-14に示す。LNA用DC/DCコンバータからLNAまでの電源回路に直列抵抗の増

加を考慮しない場合、DC/DCコンバータのON/OFFテレメトリ電圧が高くなると、LNA印加電圧が高くなり、Sバンドアップリンク試験結果と合致しない。電源回路に直列抵抗を考慮して再度シミュレーションを行った。シミュレーションの結果を、図Ⅱ-2-15に示す。図Ⅱ-2-14に示すA点(α点)で短絡した場合は、挿入した直列抵抗が非常に大きく現実的でない。

また、図Ⅱ-2-14に示すB点では直列抵抗を考慮してもLNA印加電圧が高い値を示し、Sバンドアップリンク試験結果と合致しない。LNAの貫通コンデンサ・内部コンデンサ並びに内部の異物で短絡した場合の等価回路解析の結果、完全短絡状態ならば現在観測されているテレメトリ電圧(2.2V～3.4V)を取り得る。しかし、LNA印加電圧は、直列抵抗を考慮したとしても1.7V以上であり、LNAの利得が、電源正常時に比べて22dB程度の利得低下に留まることから、Sバンドアップリンク試験結果の50dB程度の利得低下とは矛盾する。したがって、LNAにおける3つのケース(ケース3～ケース5)による短絡の可能性は低いと考えられる。

#### 2-7. 特異事象発生時の検討

これまでの検討結果から、ダイオード固定部(β点)で異物による短絡が生じた可能性が高いと推定できることから特異事象発生について検討する。LNAが1台のみの簡略モデルにより検討した。LNAが1台の場合で、電源供給ライン上で短絡が起こったと想定すると、図Ⅱ-2-11の右上の図のようになる。図中に使用している各パラメータは次のとおりである。

- R<sub>0</sub> : DC/DCコンバータ内部抵抗(@過電流保護動作時)
- R<sub>1</sub> : DC/DCコンバータ出力端から短絡点までのハーネス抵抗
- R<sub>2</sub> : 短絡点とLNA間のハーネス抵抗
- R<sub>s</sub> : 短絡抵抗
- E : DC/DCコンバータの電圧(@無負荷時)
- I : 短絡時にDC/DCコンバータから流れる負荷電流
- V<sub>1</sub>(I) : LNA-PSテレメトリ電圧ピックアップ点の電圧
- V<sub>2</sub>(I) : LNA印加電圧

図Ⅱ-2-11の右上の図はT型回路となり正確な計算は複雑となるので、更に簡略化したものを図Ⅱ-2-11の右下の図に示す。ここでは、以下の事象を考慮した。

・LNAの入力抵抗が数10Ωであることから、R<sub>2</sub>(<1Ω)は無視で

きる。

・短絡抵抗  $R_s$  が LNA の入力抵抗より非常に小さいと考えられることから、負荷電流  $I$  は  $R_s$  だけに流れるとしてもよい。

この簡略モデルを用いて  $I$  および  $V_r(I)$  と  $V_L(I)$  の計算式を作った。負荷側の各抵抗出力端子での電圧は、ソースの電圧 ( $E$ ) からその箇所までの抵抗による電圧降下を差し引いた電圧となり (一次式)、その傾きは負荷電流 ( $I$ ) の係数 ( $E$  出力点からその算出点までの合計抵抗) である。図 II-2-11 の右下の図の場合は以下となる。

$$\left. \begin{aligned} \cdot I &= E / (R_0 + R_1 + R_s) & (1) \\ \cdot V_r(I) &= E - R_0 \cdot I & (2) \\ \cdot V_L(I) &= E - (R_0 + R_1) \cdot I & (3) \end{aligned} \right\} \dots \text{(一次式)}$$

次に軌道上で変動し得る負荷抵抗要素としては、 $R_1$  と  $R_s$  とが考えられる。これらが個別に増加した場合の上記計算式を検討した。

先ず負荷電流  $I$  について言えば、 $R_1$  が増えた場合も  $R_s$  が増えた場合も差は無く減少し、その減少量  $\Delta I$  は以下となる。

$$\begin{aligned} \cdot \Delta I &= (E \cdot \Delta R) / \{(R_0 + R_1 + R_s)(R_0 + R_1 + R_s + \Delta R)\} \\ \cdot \Delta R &= \Delta R_1 + \Delta R_s \end{aligned}$$

次に  $V_r(I)$  の変動を考える。 $V_r(I)$  の直線は、 $R_1$  や  $R_s$  の影響で変化しない。したがって、 $R_1$  や  $R_s$  が変化して負荷電流  $I$  が変化すると、 $V_r(I)$  の直線に沿って変動する。

$$\cdot V_r(I + \Delta I) = E - R_0 \cdot (I + \Delta I) \quad \dots \text{増分は } R_0 \cdot \Delta I$$

次に  $V_L(I)$  の変動を考える。 $R_s$  が変化した場合、一次式 (3) を見ると  $V_L(I)$  の直線は変化しない。 $R_s$  が変化した場合は  $\Delta I$  だけが変化するため、一次式 (3) の直線に沿って  $V_L(I)$  と負荷電流  $I$  が変化する。

一方、 $R_1$  が変化した場合、一次式 (3) によると  $V_L(I)$  の直線は、 $R_1$  の影響を受けて傾きが変化する。 $R_1$  が増えた場合は以下のように計算される。式から明らかなように縦軸との切片は同じ (縦軸との切片 =  $E$ ) で、負荷電流  $I$  に対する係数がマイナス側に大きくなるため、この場合は  $V_L(I)$  が減少する。

$$\cdot V_L(I + \Delta I) = E - (R_0 + R_1 + \Delta R_1) \cdot (I + \Delta I)$$

上記の状態を図示すると、図 II-2-12 のようになる。

図 II-2-12 によると、LNA 用 DC/DC コンバータから LNA までのハーネスの抵抗 (直列抵抗  $R_1$ ) が増加すると、LNA 電源電圧は上昇しても LNA に印加される電圧は低下する。従って、時間の経過とともに、「きく 8 号」のテレメトリ電圧が上昇しても LNA 出力は増加しない。また、短絡点での短絡抵抗 ( $R_s$ ) が増加すると LNA 電源の電圧は上昇するが、直列抵抗が増加した後では LNA 印加電圧は上昇しない。軌道上では、この「直列抵抗の増加」と「短絡抵抗の変化」が発生しているものと推定する。軌道上のテレメトリ電圧変化に対応した直列抵抗 ( $R_1$ ) と短絡抵抗 ( $R_s$ ) の変化の状態を推定したものを、図 II-2-16 に示す。

図 II-2-16 において、

- ・ LNA-PS 電圧の変化は、①から順に⑦までの順で発生。
- ・各時点の LNA-PS 出力電圧、LNA-PS 出力電流の値は以下。  
( $V$  は LNA-PS テレメトリ電圧値から換算、 $I$  は電源電圧  $V$  と直列抵抗と短絡抵抗から求めた 2 次側の抵抗から算出した。2 項目の ( ) 内は LNA-PS テレメトリ電圧値を示す)
  - ① 3.68V (2.65V)、3.96A …… 不具合発生当初の平成 19 年 2 月
  - ② 3.13V (2.25V)、4.18A …… 平成 19 年 3 月頃
  - ③ 3.39V (2.44V)、4.02A …… 平成 19 年 5 月～8 月末頃
  - ④ 3.78V (2.72V)、3.93A …… 平成 19 年 9 月～11 月末頃
  - ⑤ 4.78V (3.44V)、3.75A …… 平成 19 年 11 月後半
  - ⑥ 4.58V (3.30V)、3.79A …… 平成 20 年 1 月以降
  - ⑦ 4.44V (3.20V)、3.82A …… 平成 20 年 4 月以降

・①の不具合発生当初 (平成 19 年 2 月) は LNA-PS 出力電圧は 3.68V であり、6CH の S バンドリターン信号が確認できた。不具合発生初期には確認できた S バンドリターン信号の数が多かったこと、EM 品における LNA の測定結果と受信レベルの比較から、LNA 印加電圧は 1.5 ~ 2.0V 程度であったと推定される。

・②では時間の経過とともに、LNA-PS 出力電圧が 3.13V に低下した。この現象は当該電圧が傾斜特性 1 ( $V_r(I)$ ) に沿って下がる動作であることから、負荷電流の増加、即ち負荷抵抗 ( $R_1 + \Delta R_1 + R_s$ ) が低下したことを示唆している。ここで  $R_1$  は固定であるから、( $\Delta R_1 + R_s$ ) の減少によるものである。もし  $\Delta R_1$  の低下によるものとする LNA から見た傾斜特性 2 の傾斜は緩くなる方向になることから、LNA 印加電圧は上昇することになり、S バンドアップリンク

試験では①より多くのSバンドリターン信号が受信されるはずであるが、実際受信されたSバンドリターン信号数は減少している。一方、 $R_s$ が減少すると、LNA印加電圧は減少する。Sバンドアップリンク試験結果によると、LNA印加電圧が低下していると考えられるため主に短絡抵抗( $R_s$ )の減少が関係していると考えられる。

#### ③、④について

④の変化の後、①の時期とほぼ同じ電源電圧になっているにもかかわらず、Sバンドアップリンク試験の結果からは、LNA印加電圧は①の時期の値に戻っていないことが推定される。従って、④の時点で $\Delta R_1$ は既に増加していることが推定される。

この $\Delta R_1$ は③の期間に増加し、④の変化となったと考える。また、③の期間の緩やかな変化に対して④時点の急激な変化は、その原因が異なると考えられる。つまり、『③の期間に $\Delta R_1$ が増加し、④の急変では $R_s$ が増加したと考えられる。 $\Delta R_1$ 増加のために傾斜が急峻になり、④でLNA-PS出力電圧が①とほぼ同じになっていてもLNAの印加電圧が初期状態に回復しなかったことが想定される。』また、④の期間に電源電圧が微小ではあるが、緩やかに増加している。上記の推定に従うと、『④の期間にも $\Delta R_1$ が増加して、電源電圧が微小に増加した。』

#### ⑤～⑦について

⑤～⑦の急激な変化も前述と同様に $R_s$ の変化と推定する。⑤の急激な変化の直後に、電圧が緩やかに変化しているところがあり、この部分は $\Delta R_1$ の変化も考えられる。『⑤の変化の直後も $\Delta R_1$ の増加があり、電源電圧が微小に増加した。』

この単純化モデルによる検討を受けて、回路シミュレーションを行った。結果を図Ⅱ-2-17に示す。この結果から、直列抵抗( $R_1$ )は時間の経過とともに増加し、これによりLNA印加電圧は不具合発生当初に戻らないことが分かる。また、テレメトリ電圧の変動は、短絡抵抗( $R_s$ )の増減に追従しており、軌道上の状況が再現されていることが分かった。

### 2-8. 不具合原因の推定

以上の検討において、軌道上で発生している特異事象の原因を推定し、推定結果に基づいてシミュレーションを行い、ほぼ一致する状況を確認した。これらの検討の結果、軌道上の不具合の原因を推定した。結果を以下に示す。

- 1) 異常発生は、導電性異物がコンポーネント製造過程等で混入し、打上げ振動環境等で移動し、ダイオード固定部で短絡を引き起こした可能性が高いと推定する。
- 2) その後のテレメトリ電圧値が急激に変動しているのは、短絡抵抗( $R_s$ )の変動による可能性が高いと推定する。
- 3) テレメトリ電圧が上昇してもLNAの出力が復帰しないのは、ダイオード固定部の接触抵抗が時間の経過とともに一方方向の増加を続けた可能性が高いと推定する。

### 3. 故障箇所の復旧可能性について

FTA、シミュレーション結果に基づく短絡箇所の推定及び直列抵抗発生メカニズム解析から、ダイオード固定部 $\beta$ 点での短絡の可能性が高いことがわかった。なお、このダイオードORの接続については、ASTRO-E2(すざく)、SELENE(かぐや)、SOLAR-B(ひので)等で実績がある。図Ⅱ-3-1に示すとおり、今回の場合、故障分離のために追加したヒューズの前段となるため、短絡部の異物が何らかの要因で移動した場合にのみ復旧の可能性が生じる。しかしながら、衛星構造上、異物を移動させるだけの加速度を加えることは困難であると考えられる。したがってこの故障箇所の復旧可能性は低いと考えざるを得ない。

### 4. LNA-PSに設けられたヒューズについての検討

ダイオード固定部 $\beta$ 点は故障分離のために追加したヒューズの前段となるため、ヒューズによる故障分離はできない。しかし、今回、原因究明等と並行してLNA-PSに設けられたヒューズについて検討を行った内容を次に述べる。

#### (1) ヒューズによる故障箇所分離の設計

前述したように、「きく8号」には、合計32台のLNAが搭載されている。LNAに短絡故障が生じた場合、故障したLNAを分離する機能がなければ、正常なLNAに所要の電流が供給されないことからS帯の受信機能が全損となる可能性がある。このため、短絡したLNAシステムを分離することによってS帯の受信機能全損となることを回避する目的で、ヒューズを挿入する対策が行われている。衛星全体の重量及びスペースの制約から、4台のLNAごとに1系統のヒューズを挿入する設計となっている。また、振動等によるヒューズ切断の影響を排除するため、各系統には2つのヒューズが並列に挿入されている。

#### (2) 使用されたヒューズの溶断特性

LNA-PS内に実装されているものと同規格のヒューズの断面図及び構造を図Ⅱ-3-2に示す。金の厚膜パターンを樹脂でモールドした構造(厚膜全面体化タイプ)であり、規定値を超える電流が流れると発生した熱により金の厚膜パターン部分が熔融して回路断となる。

今回用いられたヒューズについて、ヒューズに流れる電流値及び過電流時間に対するヒューズ断線耐性の関係を示す特性(ヒューズの断線特性)を図Ⅱ-3-3に示す。

### (3) ヒューズに流れる電流値の見積もりについての検討

LNA-PSの過電流保護機能は、ヒューズの設計当初、過電流保護が働く電流の閾値が4.2A、過電流を検出した場合10ミリ秒後にシャットオフするように動作し、シャットオフした後は、700ミリ秒後に自動的にDC/DCコンバータが立ち上がるという動作を繰り返す仕様であった。

しかし、その後、過電流保護回路の電流閾値は3.6A程度、シャットオフするまでの時間は約5ミリ秒、自動復帰するまでの時間は約260ミリ秒に変更されている(図Ⅱ-3-4)。

### (4) ヒューズ断線のために必要な条件についての検討

設計当時、4.2Aの電流が流れて過電流保護回路が働いた場合には8ミリ秒以内にヒューズが断線することが、製造会社から報告されている。また、ヒューズは高温になるほど断線しやすくなるため、LNA-PSやLNAの周囲温度をヒータ等により変化させることでヒューズが断線できる可能性がある。本衛星の場合、衛星バス内の推薬タンクの最大予測動作圧力の観点から、許容最高温度は45℃とされており、安全を見込み40℃程度までの範囲で制御することが適当である。図Ⅱ-3-5に示すように地上再現試験(5ミリ秒のパルス状の電流)において常温では2.64A以下では断線していないが、40℃においては2.45Aで断線している。ヒューズ単体試験の構成図を図Ⅱ-3-6に示す。なお、ディレーティング要求、実装位置の妥当性等を検討する際に、電流が分流する影響を評価できなかったことから、異常系のヒューズの断線に十分な電流は流れないと考えられる。

## 5. 信頼性向上の検証

現状より信頼性を高める方法は、部分的な異常や劣化が生じても容易には故障に至らないロバストなシステム設計として①と②、単一故障により劣化を起こさないように2重化、3重化する冗長化設計として③の方法が考え

られる。

- ①全てのLNAに単一、若しくは冗長構成の電源を有する方式
- ②32のLNAシステムを数系統ずつに分割してグルーピングし、各グループに対してLNA-PSを接続する方法
- ③電源とLNAとの間にスイッチを実装し、異常時に分離する方式

それぞれの構成における検討結果を次に示す。

### ①全てのLNAに単一、若しくは冗長構成の電源を有する方式

32台のLNAが配置されているものであり、全てのLNAへの電源供給について完全冗長を採用した場合、非常に大きなスペースと質量を必要とする。

例えば、完全に冗長性を持たせるならば、32台のLNA毎にDC/DCコンバータを2系統ずつ配置することになり、この場合LNA-PSは現在の32倍必要であり、単純計算でこの部分だけでも約80kgの増加となる。

また、LNA1系統毎にDC/DCコンバータを1系統実装し、異常時には個別に切り離せる構成とした場合でも、45kg程度の増加となるが、きく8号の受信系質量の設計値は80kg強であり、LNA電源の冗長系増大は、受信系への質量割り当てへの見直しを伴い、いずれのケースも、衛星の質量リソース配分を大きく変動することとなり、衛星全体の機能、性能実現へ波及する。したがって、衛星全体の機能・性能を維持して、受信系の信頼性を高めるため受信系で完全冗長構成をとることは、大幅な質量増を招くため、質量・スペースの制約の中では採用困難な方式と考えられる。

### ②32のLNAシステムを数系統ずつに分割してグルーピングし、各グループに対してLNA-PSを接続する方法

例えばLNAを16系統ずつ2グループに分割し、それぞれにLNA-PSを接続すれば、全損のリスクを低下させるがLNA-PSは、2台となり質量増は小さい。また、LNA-PSの数量増によるテレメトリ増、コマンド増に関してもシステム設計への影響は小さい。一方、片方に異常が生じた場合は、32系統のうち16系統が使えないことになり、機能の全損は避けられるものの、アンテナのビーム形成能力やアンテナ利得が低下し大きなアンテナ性能の劣化は生じ、携帯端末のような小型地上局を対象とする移動体衛星通信システムにとってインパクトが大きい。

### ③電源とLNA間にスイッチを実装し、異常時に分離する方式

スイッチを実装して故障を分離する場合、スイッチの切替制御が必要となり衛星バスシステムからコマンドでスイッチの切替制御を行うためのディスクリートコマンドが増加する。現構成では、ディスクリートコマンドは、3系統であるのに対して、スイッチの数分だけ増加するため、ディスクリートコマンドの配分率は数倍になり、スイッチのステータスなどのテレメトリデータの増加も伴うことから、スイッチによる電圧ドロップ(0.7V~0.8V)の考慮、配線エリア、実装エリアの確保、スイッチの信頼性などの検討が必要となり、数kg程度の質量増となる。

このため、設計の初期段階からの検討・採用が必要になるが、技術的には可能性があると思われ、故障分離の精度、確実性は高まる。

なお、想定される構成図を図Ⅱ-4-1に示す。

以上の3方式を簡単に整理すると表Ⅱ-4-1のとおりとなる。

### Ⅲ. 今後の衛星開発へ反映すべき事項について

#### 1. 短絡防止に関する事項

短絡発生要因については、今後の衛星開発において次のような事項の対策を講じていくことにより、今後の我が国の衛星開発の信頼性向上に資するものと考えられる。

##### (1) 導電性異物の発生防止・検出強化

今回の故障事象の発生要因として最も可能性が高い事象は「導電性異物の付着による短絡」であり、これは機器内部に潜在する導電性異物の付着によって短絡したものと考えられる。

導電性異物を発生させないためには、異物が発生しにくいナットなどを使用することが重要であるほか、部品に付着しているバリ等の廃除を確実にするため、製造委託メーカーに発注元の会社が認定(教育)した検査員を配置し、より、確実な製造を進める必要がある。また、部品の開梱場所についても製造のエリアとは隔離された専用エリアにて実施し、異物の混入を廃除することが重要である。

また、異物を検出する観点からは、目視検査エリアに図Ⅲ-1-1のような専用のステレオ顕微鏡を常備するなどにより視認性の向上を図ることも重要だと考える。

##### (2) 導電性異物に対する短絡防止の強化

導電性異物の付着による短絡対策としては、コーティングなどが可能

な部位については付着した場合でも短絡状態とならないように処理することが適当である。具体的には、単一故障点が識別された場合等重要な部分には2つ以上の絶縁対策をする二重絶縁を実施する。二重絶縁とは、基礎絶縁と付加絶縁の双方からなる絶縁方式である。今回のケースでは、β点の十分なクリアランスをとるとともに、ラグ端子の接触部分を除去すべくコーティングを実施しておく、近傍の支持ブラケットをコーティングし絶縁しておくなどが考えられる。

#### 2. 再発防止徹底に関する事項

##### (1) 故障分離機能の充実を考慮した設計思想の徹底

多くの機能を損ねるような故障に対しては、故障に対する様々なケースが起こりうることから、最悪ケースにおいても故障箇所を確実に分離・復旧、または、代替措置がとれるような設計思想をとることが適当である。なお、今回の故障箇所の明確化のためにテレメトリデータが有用であったことから、全体のバランスを踏まえつつ、テレメトリデータの収集機能を充実することが適当である。

##### (2) 地上試験の充実

同一設計で過去に試験を実施していない回路を用いる場合には、開発段階において、不具合時の対策の妥当性を試験にて検証することを徹底することが適当である。

##### (3) 品質管理監査等の実施

設計の妥当性、試験の実施状況、試験結果の評価について、開発者とは別の第三者が検証する体制の構築等により、確認、検証、助言を行う体制を構築するとともに、衛星プロジェクトに関する審査を強化することが適当である。

##### (4) 部品等に対する対策充実

###### ① ダイオード絶縁材等の劣化対策

機器製造に使用する材料は、より耐性の強い、経年劣化が小さいものを選択することが適当である。やむを得ず使用する場合は、破損の可能性があることを事前に識別し、実装時に十分な処置と検査を実施することが適当である。また、経年劣化等を考慮し、地上試験で用いた部品は必要に応じ交換することが適当である。

###### ② 外部から調達する機器対策

コンポーネント、部品を海外から調達する場合には、国内で製作する

信頼性部品と同様のスクリーニングレベル、品質向上策の実施を要求するとともに、調達部品がブラックボックスとならないよう契約段階で、製造会社と調整のうえ部品、調達先の選定を行うことが適当である。

③部品の偶発故障による短絡対策

機器で使用する部品は、選定基準などから設計上故障が生じる可能性が極めて少ない部品を使用するが、偶発故障を皆無にすることはできず、品質要求のみで抜本的な対策とはならない。このため、故障が起こりうることを想定し、故障の際の分離、復旧機能の実装を考慮した設計思想を徹底するとともに、その妥当性を予め試験で検証することが適当である。

④過電流保護機能のついた電源対策

ヒューズが切れるだけの十分な電流が流れる前に電源の過電流保護機能により電流がシャットダウンするケースがある。このためヒューズによる故障分離機能が働かない。この対策としてインタフェースFMEAにおいて故障時の検討だけでなく、保護機能動作時の検討も合わせて実施することが適当である。

3. 信頼性確保のための体制強化

衛星プロジェクトの信頼性を確保するためには、衛星開発機関、メーカー等が緊密な連携のもとに1、2の事項が実施されるよう体制の強化を図ることが重要である。

NICTでは今回の知見を他の衛星プロジェクトへ反映するため、図Ⅲ-4-1に示すとおり「信頼性対策チーム」を整備し、打上げを控え既に検査済みであったWINDSの特別点検を実施するとともに、その他の衛星について審査の強化を実施した。また、JAXA等への情報提供を行った。

なお、NICTによって行われたWINDS搭載再生交換部（NICT 開発担当）については、打ち上げ前に次の項目について信頼性の再確認を実施した。

- (1) 原因究明の迅速化に関する事項：  
故障箇所の早期明確化のためのテレメトリデータ収集機能の充実
- (2) 再発防止に関する事項：
  - (a) 冗長設計、機能復旧設計の徹底
  - (b) 地上試験の徹底
  - (c) チェック体制の確立・充実
- (3) 短絡発生に関する事項
  - (a) ダイオード絶縁材の劣化対策

(b) 導電性異物の付着による短絡対策

(c) 部品の偶発故障による短絡対策

(4) その他WINDSで追加した事項

平成19年7月中旬～10月中旬の間にNICT担当チームと担当メーカーが協力し点検作業を実施した。また、品質管理監査は外部の専門会社の支援も得て点検を実施した。最終的に外部評価委員、JAXA参加による最終確認会を行った。



#### IV. 衛星実験への影響について

S帯受信系が故障となっていることから、「きく8号」を用いた衛星実験への影響について、移動体衛星通信実験とそれ以外の実験に分けて評価した。

##### 1. 移動体衛星通信実験

移動体衛星通信実験に用いる端末の概要を図IV-1-1に示す。今回のS帯受信系故障により、地上携帯端末から衛星向けの送信が実施困難となることから、その影響についてまとめた。

###### (1) 移動体衛星通信実験への影響評価

移動体衛星通信実験への影響について検討した結果を表IV-1-1に示す。

S帯受信系故障により大型展開アンテナの使用ができなくなるため、地上携帯端末単体での利用が困難になるなど、移動体通信実験の実施に大きな影響を受けることとなる。

ただし、代替の手段として、高精度時刻基準装置(HAC)受信系を使用することにより若干の制約を受けるが予定されていた実験のほとんどが実施可能である。

この場合、ギャップフィルと呼ばれる地上設置中継装置を設置することにより、実施場所等の制約を受けるものの地上携帯端末での実験が可能となる。また、地上携帯端末の外部アンテナとして開口径70cm程度の高利得アンテナに接続すれば、ギャップフィルを使用しなくても伝送速度等の制約を受けるものの地上携帯端末での実験が可能となる。これらギャップフィル等による実験概念図を図IV-1-2に示す。

なお、ギャップフィルについては、NICTにより、平成20年度初めに整備済みである。

###### (2) 利用実験プロジェクトへの影響

総務省が行った「きく8号」利用実験プロジェクトの公募の結果、実験プロジェクトが26件採択されている。

これらの実験にはNICT及びJAXAが開発した小型携帯端末やポータブル端末の利用のほか、参加機関が独自に開発した端末の利用が計画されている。

小型携帯端末を利用する実験については、地上からの送信に高利得アンテナを外部接続又は地上設置中継装置の利用により、予定していた通信実験のほとんどを実施可能であるが、特定の実験場所を希望するものや高速度で移動しながらの通信実験の実施には、一部運用上の

制約が生じる可能性がある。

参加機関が独自に開発するアンテナを使用するプロジェクトについては、当該アンテナを使用する場合の回線設計等を詳細に再検討する必要がある。このため、総務省及びNICTより、参加機関に対し引き続き技術情報を積極的に提供し、利用実験を支援していくことが求められる。

##### 2. 移動体衛星通信実験以外の実験

今回発生した異常事象は、移動体衛星通信実験のうちS帯受信系実験への影響に限定されている。

したがって、移動体衛星通信実験のS帯送信系、Ka帯フィーダリンク、測位実験、時刻比較実験、バス系の実験には影響を及ぼさない。

##### 3. 今後の衛星実験について

移動体衛星通信実験のうちS帯受信系以外は全て正常に動作していることから、移動体衛星通信実験のS帯送信系、Ka帯フィーダリンク、測位実験、時刻比較実験、バス系の実験が可能である。

また、S帯移動体衛星通信実験については、代替である高精度時刻基準装置(HAC)受信系及び外付けアンテナやギャップフィルを使用することにより、若干の制約を受けるが予定していたほとんどの実験が実施可能であり、通信ミッションの目標設計寿命が3年であることから、関係機関は開発当初に設定された目標の達成に注力することが適当である。

## おわりに

総務省独立行政法人評価委員会情報通信・宇宙開発分科会 情報通信研究機構部会きく8号受信系異常に関するWGでは、NICTを中心とした関係者によって、「きく8号」のS帯受信系故障に関する原因究明及び今後の対策等に関する作業が実施された。

「きく8号」の開発過程においては、「のぞみ」の電源システムの不具合等を踏まえた処置として、平成16年6月に総点検が実施され、同種の原因による異常が発生しないよう処置されていたが、それでも完全を期するには至らなかった。

今回の故障発生は誠に残念なことであるが、宇宙開発は国民生活の向上、産業の発展等に不可欠なものであり、引き続き強力で推進していくことが必要である。

過酷な宇宙環境下で稼働する衛星においては、このような異常事象への対処からでなければ得られない貴重な知見や新たな発見、成果も数多くあると考えられる。こうした教訓を真摯に受け止め、我が国の衛星開発に関する最大限の成果が得られるよう不断の努力を遂行することが望まれる。

本報告書では、調査審議において得られた設計から開発に関する改善事項を整理し、まとめており、過去の改善事項に加えこれらの改善事項を実施することにより今後の衛星開発の信頼性向上が図られることを期待するものである。

## IV. 図表集

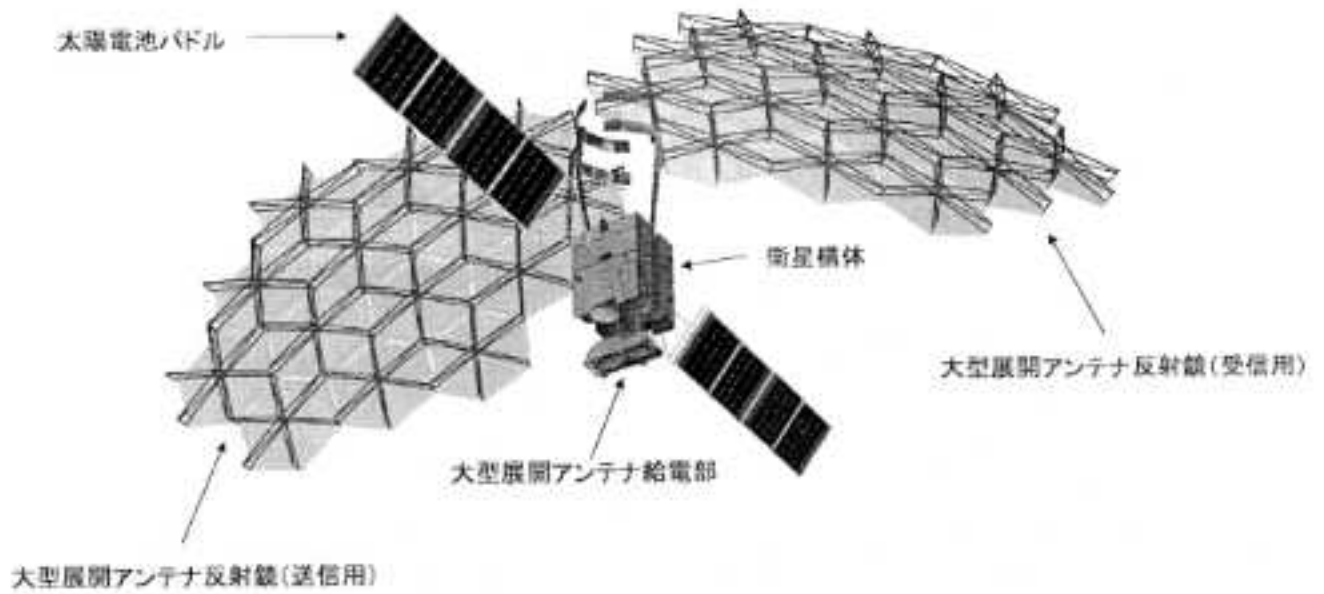


図 I - 1 - 1 「きく8号」軌道上外観図

表 I-1-1 「きく8号」の主要諸元

項目	諸元
大きさ	全長約40m、全幅約40m
寸法	衛星構体 約2.35m×2.45m×7.3m アンテナ 17m×19m (送受それぞれ)
重量	約2.8t (静止衛星軌道上初期)
発生電力	7500W (3年後夏至)
設計寿命	衛星バス10年、ミッション機器3年
軌道	静止衛星軌道 (東経146度)
姿勢安定方式	3軸姿勢制御方式
姿勢精度	ロール/ピッチ±0.05度、ヨー±0.15度
周波数	移動体通信機器 送信 2.5GHz帯、受信2.6GHz帯 時刻基準装置 1.6GHz帯、2.5GHz帯
打上げ日	平成18年12月18日

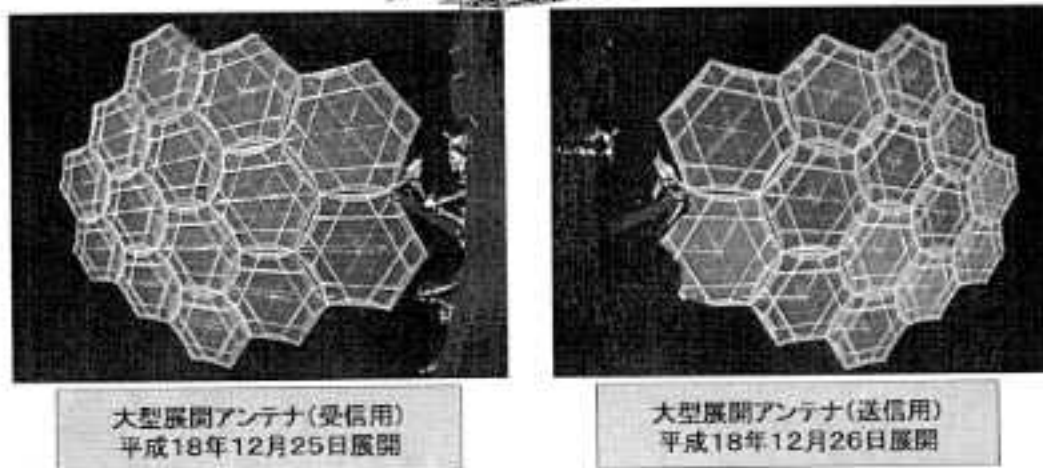
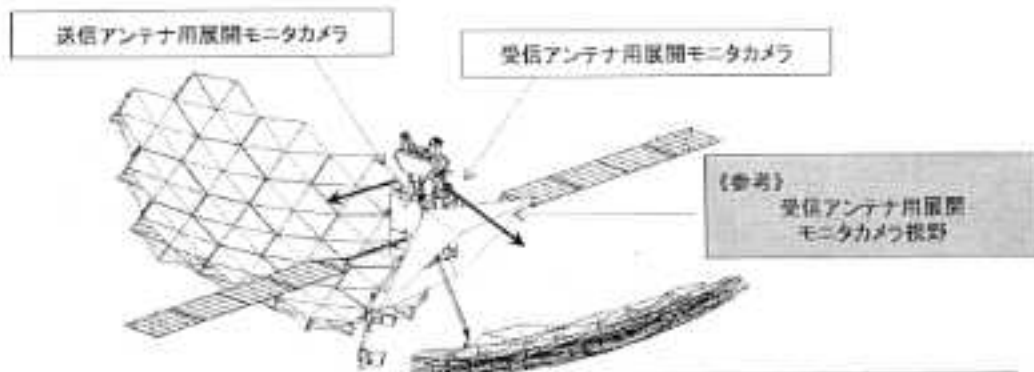


図 I-1-2 「きく8号」大型展開アンテナ展開画像

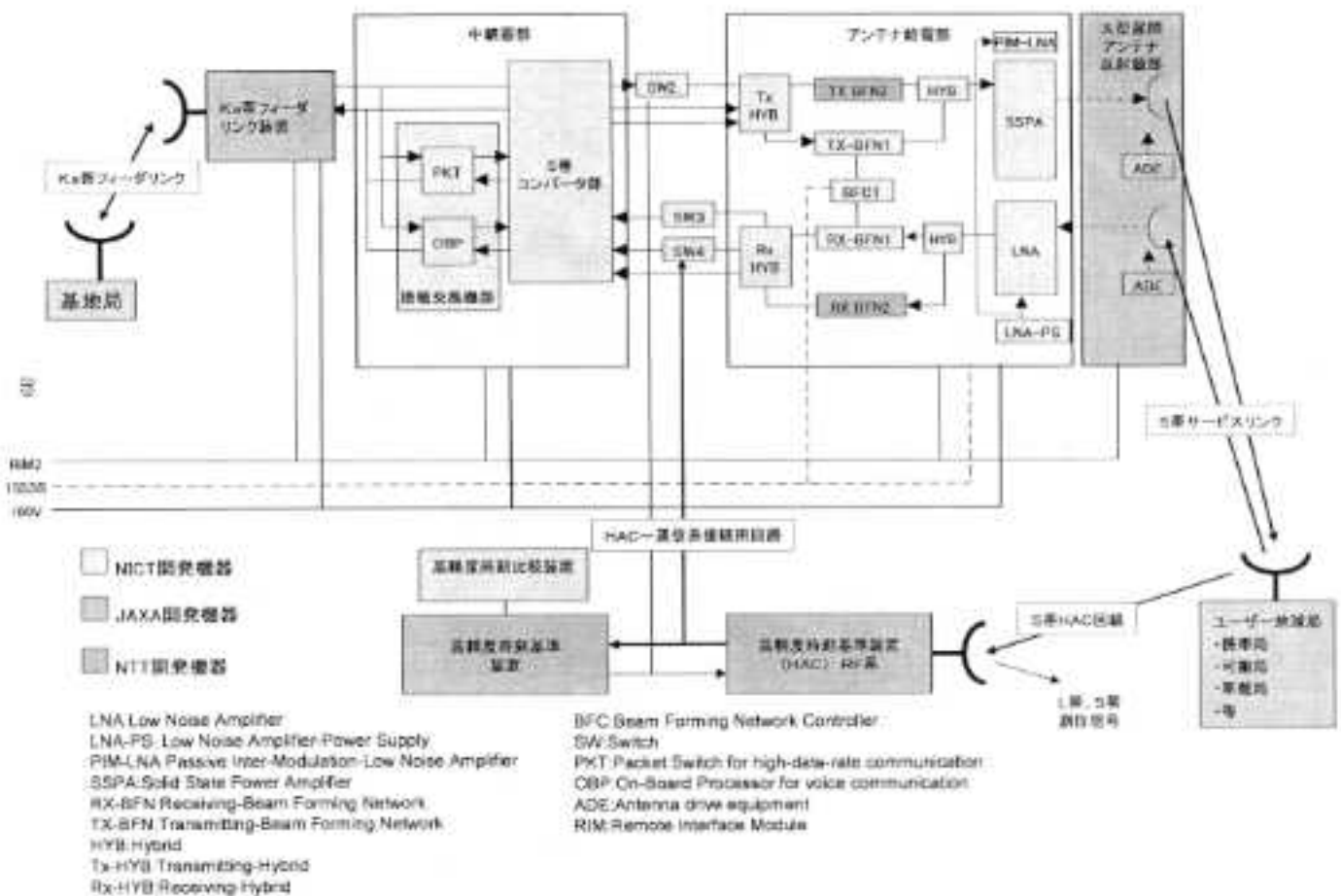


図 I-2-1 「きく8号」移動体通信ミッションの全体構成図

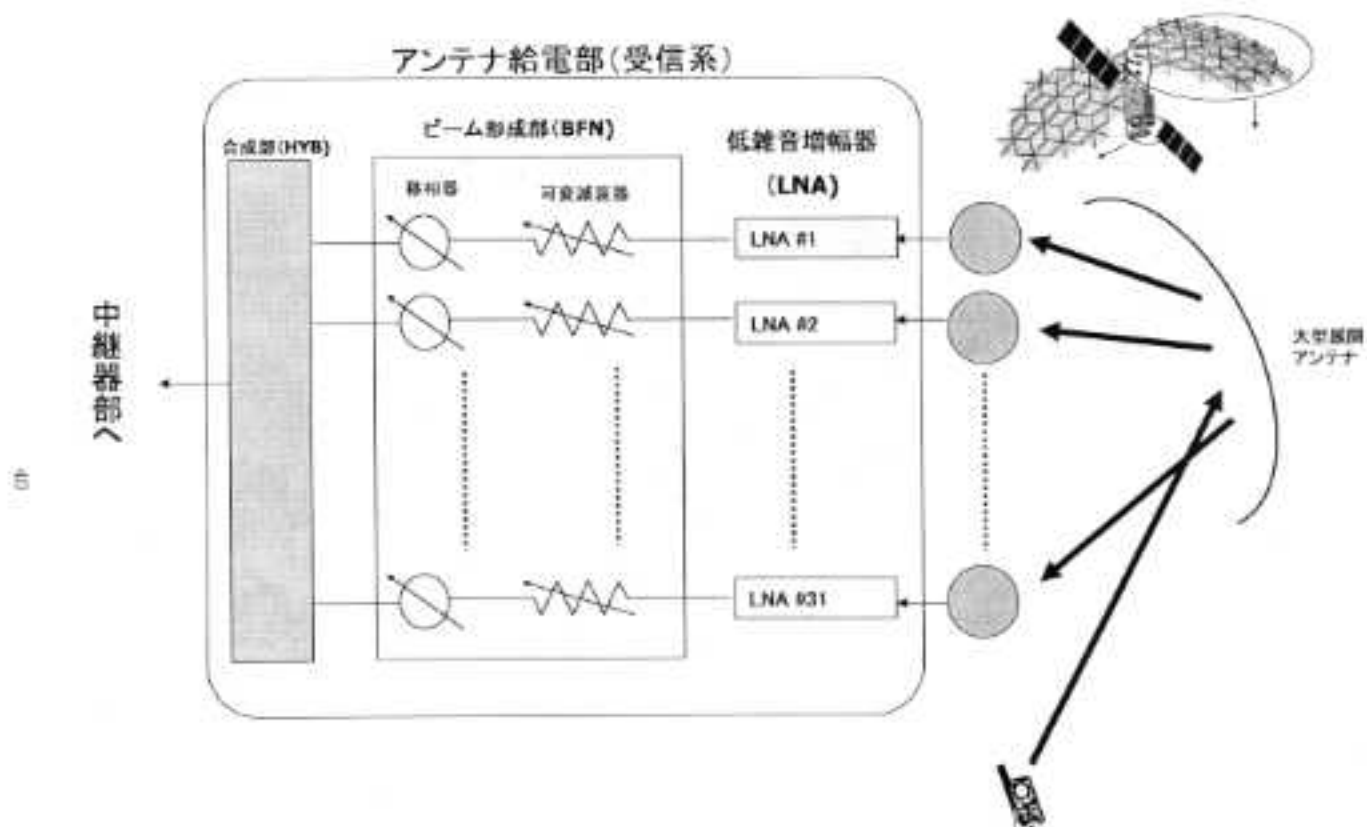
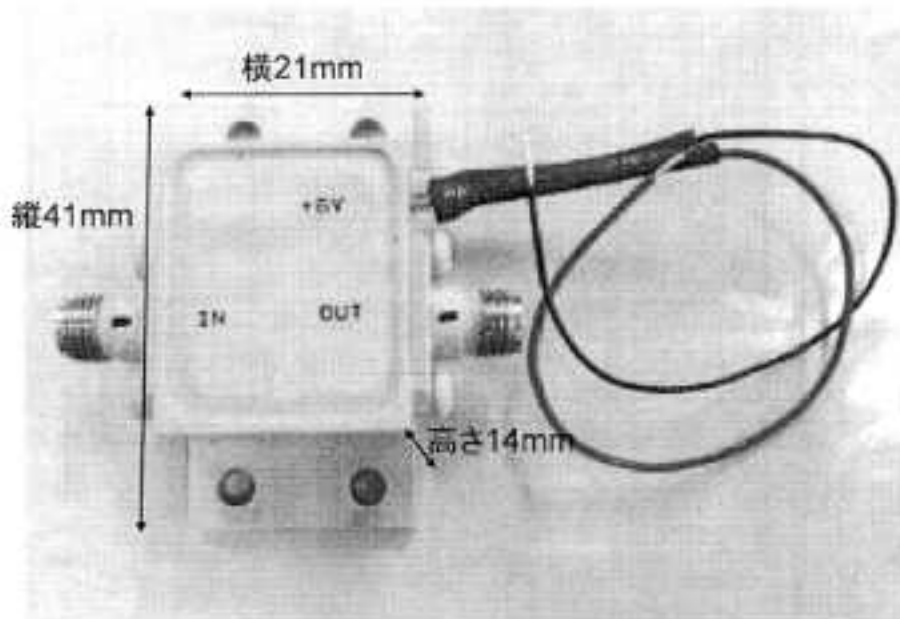


図 I-2-2 「きく8号」S帯受信系の構成図



取り付け台座の部分を含めて、ケースは横21mm、縦41mm、高さ14mm(コネクタ含まず)

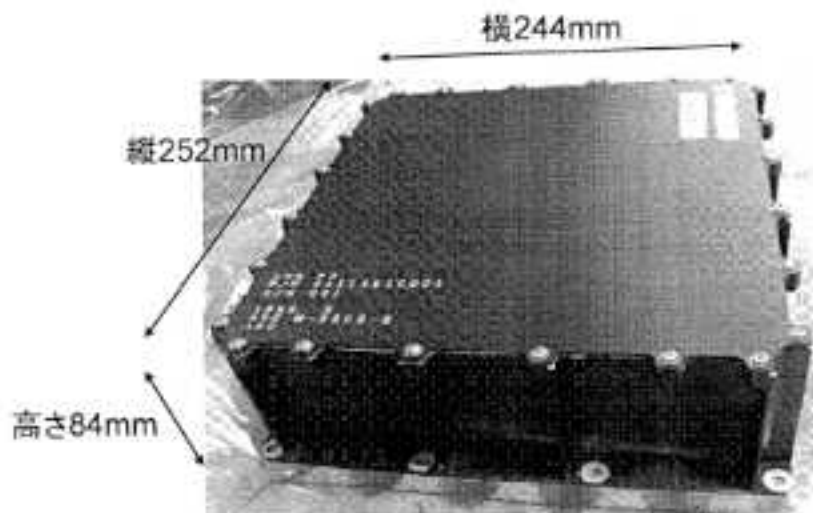
鼎コームサイズ、各種あるLNAの中では小型の部類。

入出力コネクタ部を含めると横41mm、縦41mm、高さ14mm。

LNA仕様スペック

- 電圧 6.1V
- 電流 100mA以下  
(実際では65mA程度)
- N/F雑音指数 1.5dB  
(等価雑音温度では約120K)

図 I - 2 - 3 LNA(低雑音増幅器)の外観



EM(エンジニアリングモデル)の外観

縦252mm×横244mm×高さ84mm  
(百科事典サイズ)

LNA-PS仕様スペック

- LNA出力電圧 6.1V 2.35A(ノミナル)
- ヒータ出力電圧 28V 0.45A(ノミナル)

図 I - 2 - 4 LNA-PS(低雑音増幅器用電源)の外観

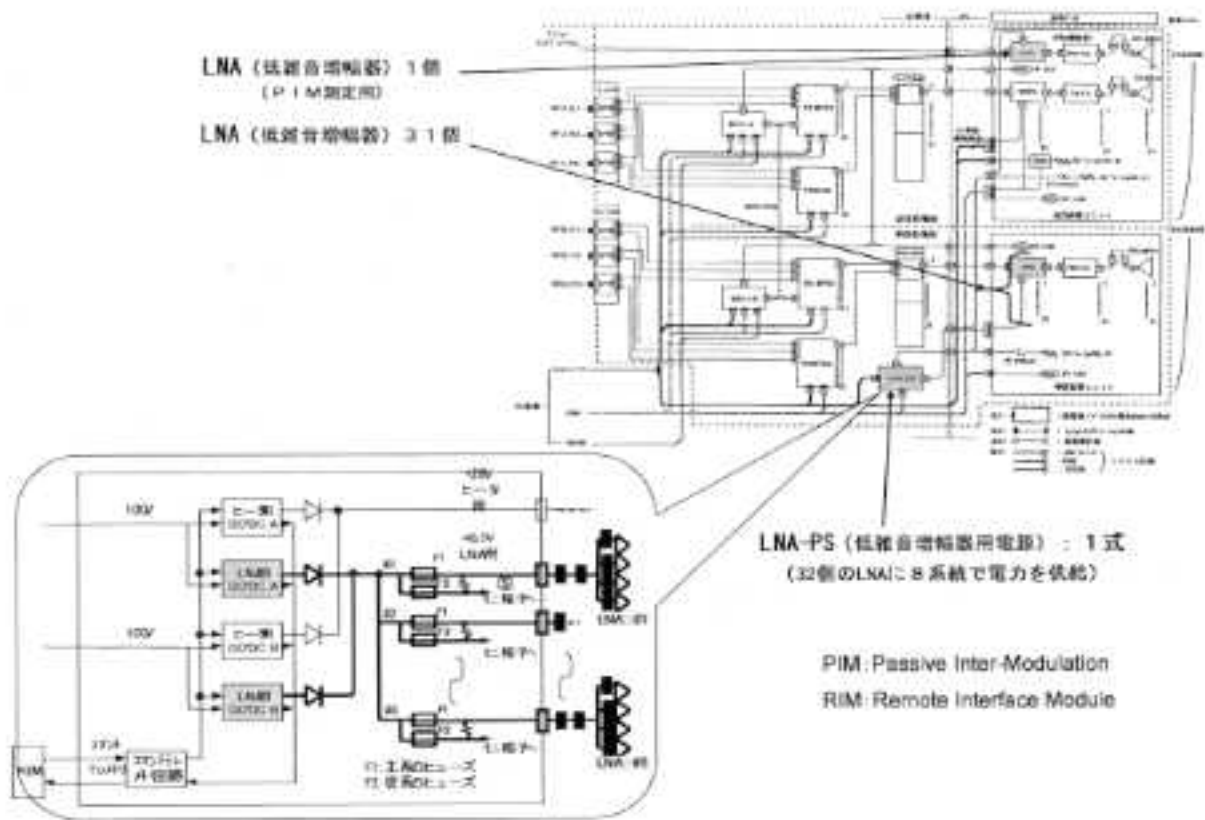


図 I-2-5 LNA-PSの構成図

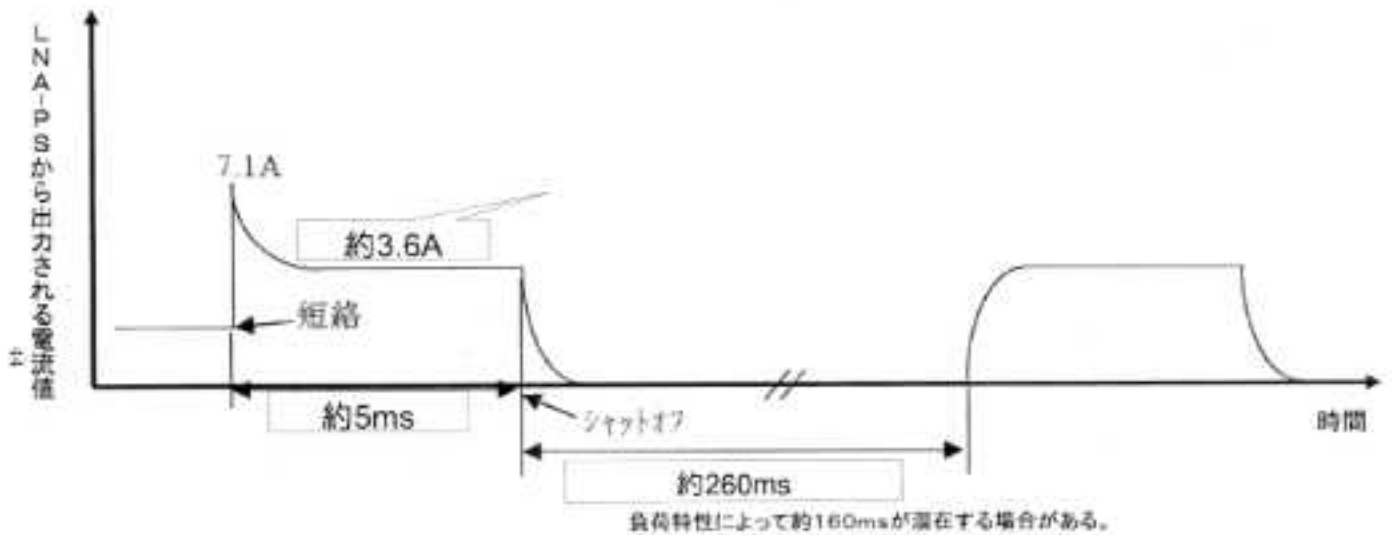


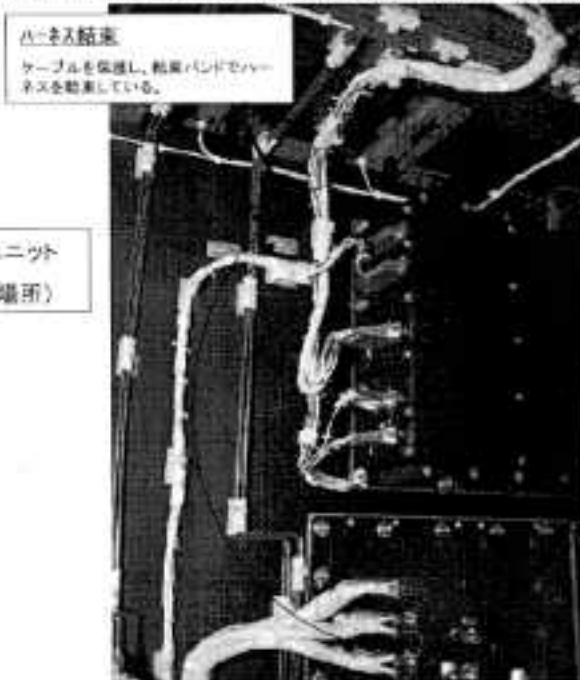
図 I-2-6 LNA-PSの過電流保護機能の特性

衛星構体内ハーネス実装状態

アンテナタワー/衛星構体内ハーネスレイアウトは協力機関との共同により実施



技術試験衛星(ETS-VII)

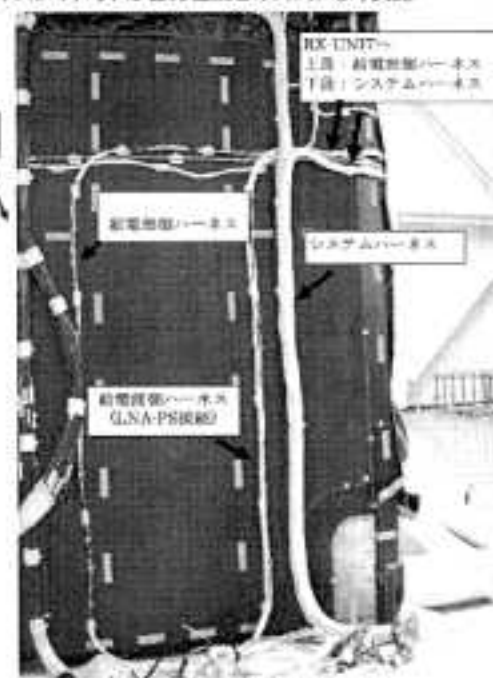
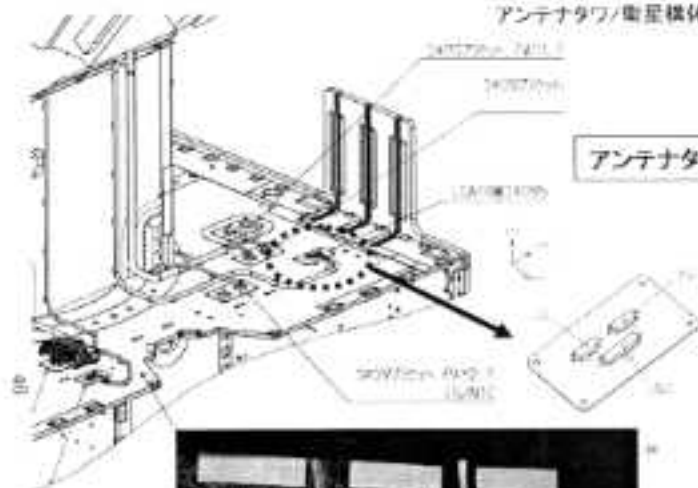


衛星構体内LNA-PS周辺ハーネス実装図

図 I - 3 - 1 LNA及びLNA-PSの配置位置及びハーネス実装状況図(1/3)

衛星構体・アンテナタワー間中継コネクタ実装状態

アンテナタワー/衛星構体内ハーネスレイアウトは協力機関との共同により実施



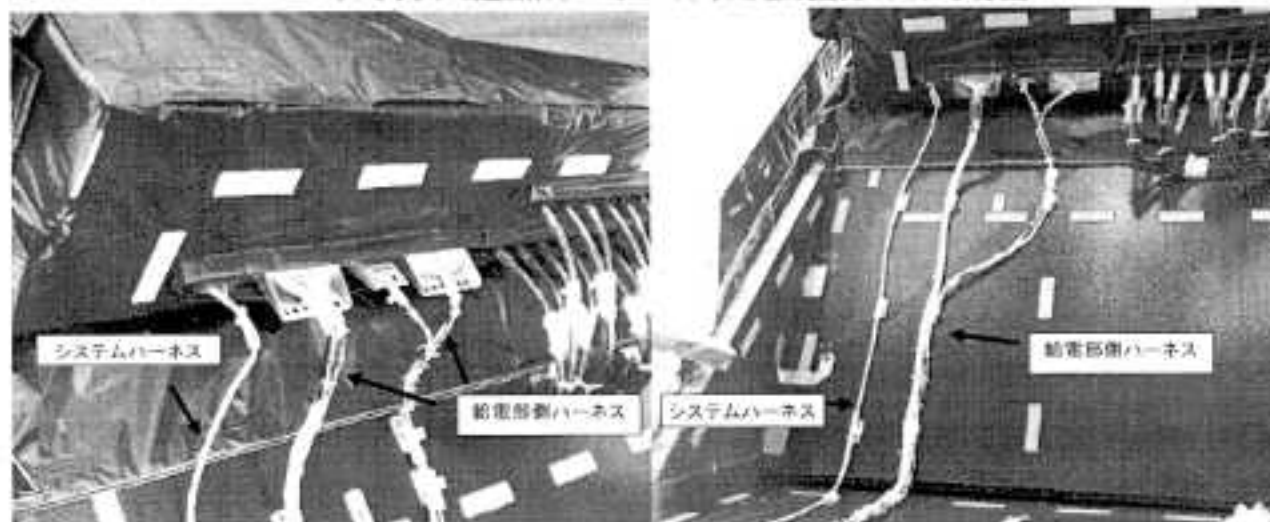
アンテナタワー 実装状況図

図 I - 3 - 1 LNA及びLNA-PSの配置位置及びハーネス実装状況図(2/3)



## アンテナタワー、受信給電ユニットハーネス実装状態

アンテナタワー/衛星機体内ハーネスレイアウトは協力機関との共同により実施



RX-UNITコネクタ近傍

アンテナタワー 実装状態図

図 I-3-1 LNA及びLNA-PSの配置位置及びハーネス実装状況図(3/3)

表 I-4-1 コンポーネントレベルにおける振動試験、熱真空試験及び電気性能試験の実施状況(1/6)

### 1 振動試験の実施状況(試験結果は正常)

給電部受信系を構成する機器に対して、以下に示すプロトフライトレベルの機械環境試験を実施し、試験結果は正常であった。

試験対象機器	試験項目	内容	日時・場所	試験結果
受信給電ユニット (RX-UNIT)	衝撃試験 (音響振動)	アンテナタワーを模擬した治具に取り付けて、受信給電ユニット(LNA-UNIT)、給電部放熱パネル(HFM)と共に、タワー給電部として、試験を実施。	2000/12/18~12/23 筑波宇宙センター 総合環境試験棟	・各試験の姿勢等の異常無し。 ・許容となるレベル超過は無いことを確認。
	正弦波振動試験	同上	2000/12/13 筑波宇宙センター 総合環境試験棟	・規定の正弦波振動環境に耐えることを確認。 ・固有振動数要求を満たすことを確認。 ・構造解析モデルとの適合性を確認。
受信音増幅器用電源 (LNA-PS)	ランダム振動試験	受信音増幅器用電源 (LNA-PS)は、単体でランダム振動試験を実施。	2001/1/25~1/26 (株)東芝 小向工場	・規定のランダム振動環境に耐えることを確認。
	正弦波振動試験	受信音増幅器用電源 (LNA-PS)は、単体で正弦波振動試験を実施。	同上	・規定の正弦波振動環境に耐えることを確認。 ・固有振動数要求を満たすことを確認。

### 2 熱真空試験の実施状況(試験結果は正常)

給電部受信系を構成する機器の熱真空環境に関する試験として、以下に示すプロトフライト試験を実施し、試験結果は正常であった。

試験対象機器	試験項目	内容	日時・場所	試験結果
受信給電ユニット (RX-UNIT)	熱環境試験 (以下を含む) -熱真空試験 -熱干渉試験 (機能/性能試験を含む)	アンテナタワーを模擬した治具に取り付けて、受信給電ユニット(RX-UNIT)、給電部放熱パネル(HFM)と共に熱環境試験を実施した。	2001/1/19~1/29 (株)東芝 小向工場	・熱真空環境下での機能・性能が、設計要求事項に合致していることを確認。
受信音増幅器用電源 (LNA-PS)	熱真空試験 (含まれず) -熱干渉試験を含む)	受信音増幅器用電源 (LNA-PS)は、単体で熱真空試験を実施した。	2001/1/29~2/1 (株)東芝 小向工場	・熱真空環境下での機能・性能が、設計要求事項に合致していることを確認。

表 I-4-1 コンポーネントレベルにおける振動試験、熱真空試験及び電気性能試験の実施状況(2/6)

3 電気性能試験の実施状況(1/2)

電気性能試験(試験結果は正常)

受信給電ユニット(RX-UNIT)及び送信給電ユニット(TX-UNIT)から低雑音増幅器用電源(LNA-PS)に至る経路の品目(ハーネス等)について通常行う試験は行っており、試験結果は正常であった。

給電部コンポーネントレベルのEM/PFM段階で、以下に示す電気性能試験を実施した。

構成品目名称	EM	PFM
受信給電ユニット(RX-UNIT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>周波数、雑音指数、線形利得、給電損失の確認</li> <li>消費電力の測定</li> <li>温度テレメトリの確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周波数、線形利得、入出力リターンロスの確認(雑音指数、給電利得は解析による)</li> <li>消費電力の測定</li> <li>温度テレメトリの確認</li> </ul>
送信給電ユニット(TX-UNIT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>周波数[送信帯域(通信)、送信帯域(放送)、PIM測定帯域]、入力電力、送信電力、給電損失、PIM測定系利得の確認</li> <li>消費電力の測定</li> <li>コマンド/テレメトリ試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周波数[送信帯域(通信)、送信帯域(放送)、PIM測定帯域]、入力電力、送信電力、PIM測定系利得の確認(給電利得は解析による)</li> <li>消費電力の測定</li> <li>コマンド/テレメトリ試験</li> </ul>
送信給電部OPHTRハーネスA 送信給電部OPHTRハーネスB 受信給電部LNAPWRハーネスA 受信給電部LNAPWRハーネスB	<ul style="list-style-type: none"> <li>導通/非導通試験</li> <li>絶縁抵抗試験</li> <li>絶縁耐圧試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>導通/非導通試験</li> <li>絶縁抵抗試験</li> <li>絶縁耐圧試験</li> </ul>
低雑音増幅器用電源(LNA-PS)	出力電圧(28V系、6.1V系)、出力リップル(6.1V系)	(主系/従系) 出力電圧(28V系、6.1V系)、出力リップル(6.1V系)、消費電力、効率

表 I-4-1 コンポーネントレベルにおける振動試験、熱真空試験及び電気性能試験の実施状況(3/6)

3 電気性能試験の実施状況(2/2)

給電部サブシステムレベルでの電気性能試験項目

構成品目名称	EM	PFM
給電部	<ul style="list-style-type: none"> <li>テレメトリ/コマンド確認</li> <li>S帯コンバータ部とのインタフェース条件確認</li> <li>受信給電部通過特性(通過利得、通過位相)、システム雑音温度、帯域外スプリアス、3次IM、線形利得測定</li> <li>送信給電部通過特性(通過利得、通過位相)、帯域外スプリアス、励振誤差測定</li> <li>消費電力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>励振分布、放射パターン測定</li> <li>テレメトリ/コマンド確認</li> <li>消費電力</li> </ul>

表 I-4-1 コンポーネントレベルにおける振動試験、熱真空試験及び電気性能試験の実施状況(4/6)

振動試験レベル

給電部正弦波試験レベル

加振軸	加振要求レベル		実際の加振レベル	
	振動数 [Hz]	加速度レベル	振動数 [Hz]	加速度レベル
X,Y,Z	5~24.22	12.7mmDA	5~19.78	12.7mmDA
	24.22~27	15G	19.78~50	10G <sup>(*)</sup>
	27~50	10G		
	50~100	5G	50~100	5G

\*加振機能力の限界により、19.78~27Hzではシステム側の了承を得て10Gでの試験を実施。

LNA-PS ランダム振動試験

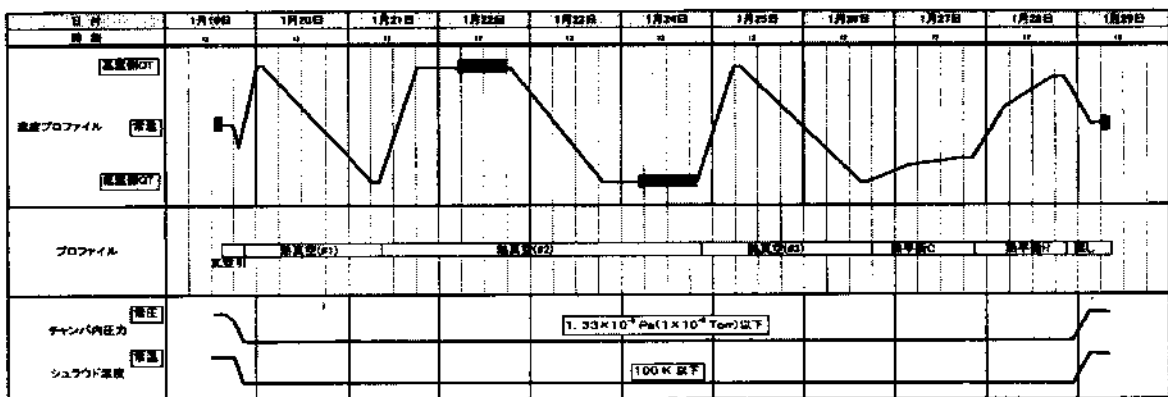
軸	振動数 [Hz]	加速度レベル [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]
	z軸	20~70
70~270		48.1 (0.5 G <sup>2</sup> /Hz)
270~400		-6dB/oct
400~1000		22.1 (0.23 G <sup>2</sup> /Hz)
x,y軸	1000~2000	-8dB/oct
	20~70	+6dB/oct
	270~700	19.2 (0.2 G <sup>2</sup> /Hz)
	700~2000	-8dB/oct

LNA-PS 正弦波試験レベル

軸	振動数 [Hz]	加速度レベル [m/s <sup>2</sup> ]
z軸	5~27.96	12.7mmDA
	27.96~100	196 (20G)
x,y軸	5~19.77	12.7mmDA
	19.77~100	98 (10G)

表 I-4-1 コンポーネントレベルにおける振動試験、熱真空試験及び電気性能試験の実施状況(5/6)

給電部熱環境試験 温度・圧カプロファイル



■：使用・試験期間

※2001年実施

	動作モード	SSPA	TX-MSA	TX-FIL	LNA	RX-MSA	RX-FIL
高温さらし	TX 動作(無符号), RX 動作(動作)	60℃	110℃	(60℃)	60℃	(60℃)	(65℃)
低温さらし	非動作	-30℃	-100℃	(-30℃)	-30℃	(-36℃)	(-36℃)

※ TX-MSA 作動温度範囲: -48/37℃

※ RX-LNA 作動温度範囲: 2.8/10.6℃

※ ( )で示す温度は独立温度制御ができないため他のコンポーネント (SSPA, LNA) の規定条件により決まる温度(予備値)である。

表 I-4-1 コンポーネントレベルにおける振動試験、熱真空試験及び電気性能試験の実施状況(6/6)

低雑音増幅器用電源(LNA-PS)単体熱真空試験 温度・圧力プロファイル

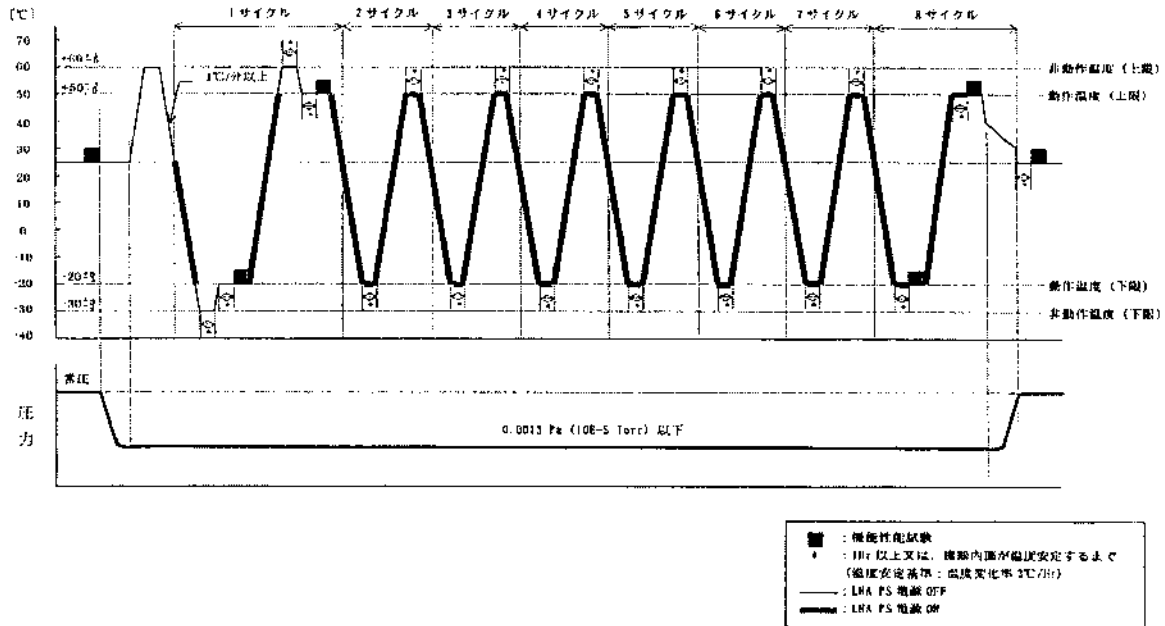


表 I-4-2 システムのインテグレーション、システムプロトフライト試験及び射場搬入後試験の実施状況

○システムプロトフライト試験状況 (試験結果は正常)

- |              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| (1) 熱真空試験    | 2003/11/18~2003/12/22               |
| (2) 正弦波振動試験  | 2005/ 9月~10月 筑波宇宙センター               |
| (3) 音響試験     | 2005/10月~11月 筑波宇宙センター               |
| (4) パドル解放の影響 | LNA、LNA-PSとも十分にスペックを満足する範囲であることを確認。 |

システムインテグレーション及びシステムプロトフライト試験、射場搬入後試験において、搭載機器への試験環境、保管管理を含め、衛星全機としての必要な全ての作業、試験を適切に実施しており、問題はなかった。また、打上げ時に付加された衛星環境条件も問題ない適切なレベルであり、温度等の軌道上の環境条件についても適切なレベルである。

該当機器(LNA及びLNA-PS)を含むミッション機器受領後、システムへのインテグレーション、システムプロトフライト試験、射場搬入後試験、衛星打上げ作業の実施状況は、以下のとおり。

- ▶ システムプロトフライト試験での機械環境(振動、熱真空、衝撃)試験は、付加された環境条件(全てインタフェース条件以下)も含め、全て適切に実施されている。
- ▶ インテグレーション後及びシステムプロトフライト試験(初期電気性能試験、機械環境試験前後、最終電気性能試験)、射場搬入後試験においても、全て正常動作を確認しており、問題はなかった。
- ▶ ミッション機器受領後から打上げまでは、適切な保管環境にて保管管理を実施している。  
また、システムへのインテグレーション時にはコネクタの外観検査、嵌合(かんごう)検査、ハーネス実装状態も含め、検査、対策が適切に取られていることを確認した。

## システムプロトフライト試験(熱真空試験実施状況)

衛星を軌道上と同等の熱環境に曝した状態における衛星ハードウェア性能、熱設計の妥当性、熱数学モデルの妥当性の確認のための熱真空試験を平成15年11月18日～12月22日にかけて実施した。

システム熱真空試験では、試験設備の都合上、衛星は衛星構体部とアンテナタワー部の分割コンフィギュレーションにて熱真空試験を実施している。

実際の軌道上における予想条件より厳しい熱真空環境条件における熱真空電気性能試験を実施し、問題ないことを確認している。

熱真空試験時におけるLNA-PS及びLNAの温度を次図に示す。



図 I-4-1 システムプロトフライト試験の実施状況 (1/7)

## 熱真空試験時におけるLNA、LNA-PS温度環境

ETS-VIIシステム熱真空試験時のLNA温度プロフィール

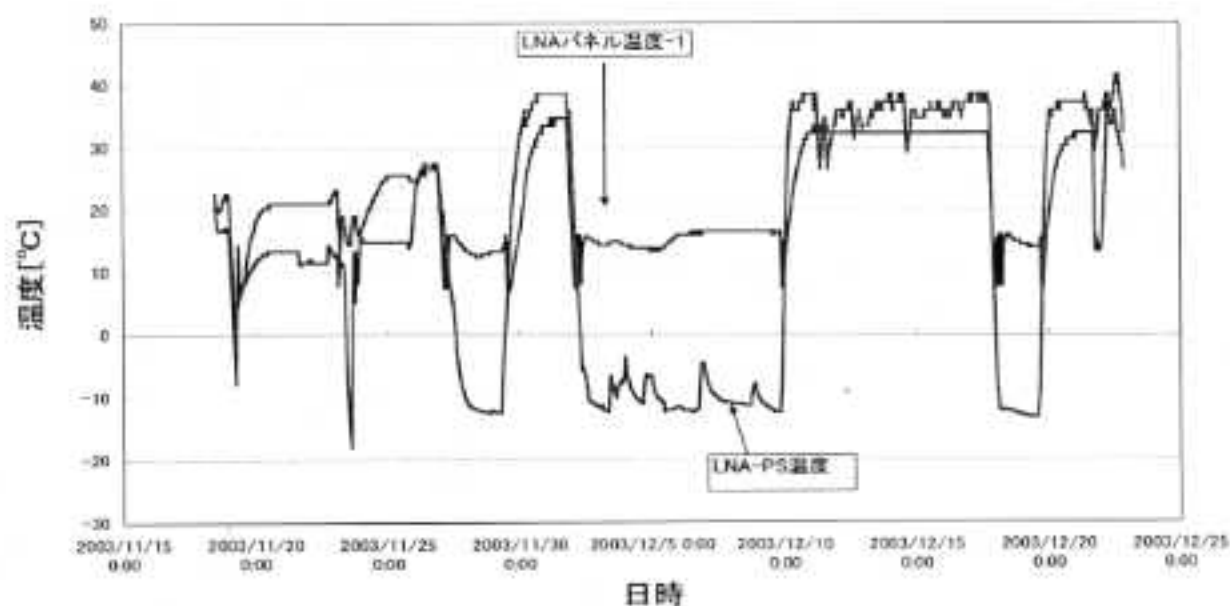


図 I-4-1 システムプロトフライト試験の実施状況 (2/7)

## 軌道上におけるLNA-PS及びLNAの温度環境

低雑音増幅器用電源ユニット（LNA-PS）及び低雑音増幅器（LNA）の軌道上温度環境

機器名	動作温度	非動作温度	軌道上温度環境		備考
			最低温度*	最高温度*	
LNA	-20~60℃	-30~60℃	-13.7℃	+27.0℃	温度制御は ミッション側で 行われている
LNA-PS	-20~50℃	-30~60℃	+6.0℃	+21.3℃	

\*：打上げ日（平成18年12月18日）から平成19年3月13日までの温度

図 I-4-1 システムプロトフライト試験の実施状況（3/7）

## システムプロトフライト試験（音響試験）

- 平成17年10月～11月、筑波宇宙センターにおいて音響試験を実施し、打上げ時の音響環境への耐性を確認するとともに、構造特性及び搭載環境の評価を行い、問題ないことを確認した。
- ロケットのインタフェースの規定に対して各周波数域において+4dBをPFTレベルとして衛星全機に負荷した。

PFT:プロトフライト試験



図 I-4-1 システムプロトフライト試験の実施状況（4/7）

## システムプロトフライト試験(正弦波振動試験)

- 平成17年9月～10月、筑波宇宙センターにおいて振動試験を実施し、打上げ時の大型柔構造物(大型展開アンテナ等)等の振動環境への耐性を確認するとともに、搭載環境を満足することの評価を行い、問題のないことを確認した。
- 試験は、三軸に対してモーダル・サーベイ→2/5PFT→4/5PFT→PFT→モーダル・サーベイの順に実施された。



図 I-4-1 システムプロトフライト試験の実施状況 (5/7)

## システムプロトフライト試験(パドル開放衝撃環境について(1/2))

- ①LNAはタワー上に配置されており、衝撃発生源からは遠い為パドル開放衝撃による衝撃影響を殆ど受けない。尚、開発試験時測定結果としては、Rxユニット受信面面外加速度はPeak値で10Gで十分に安全領域であり衝撃試験評価外とした。
- ②LNA PSはOBP PKT MODEMを挟んで南面パドル保持点3側に配置されている。  
開発試験結果においては、LNA PSに対するパドル開放衝撃環境がLNA PSのスペックを十分満たす範囲(LNA PSスペック1000Gに対して、発生衝撃Peak値650G)であったことを確認済みである。
- ③上記の通り、LNA及びLNA PSは開発試験の結果、十分に安全領域で有ることを確認済みである為、プロトフライト試験では、衝撃試験時のウオッチアイテムとはしていない。尚、プロトフライトモデルではパドル側での発生衝撃低減対策を実施しており、上記の衝撃レベルよりも更に低減されている。

### 【注】

衝撃環境は軌道上と地上での差異は無く、地上試験での確認により機器環境のギャランティが可能である為、軌道上での衝撃環境データ取得は実施していない。

図 I-4-1 システムプロトフライト試験の実施状況 (6/7)

# システムプロトフライト試験(パドル開放衝撃環境について(2/2))

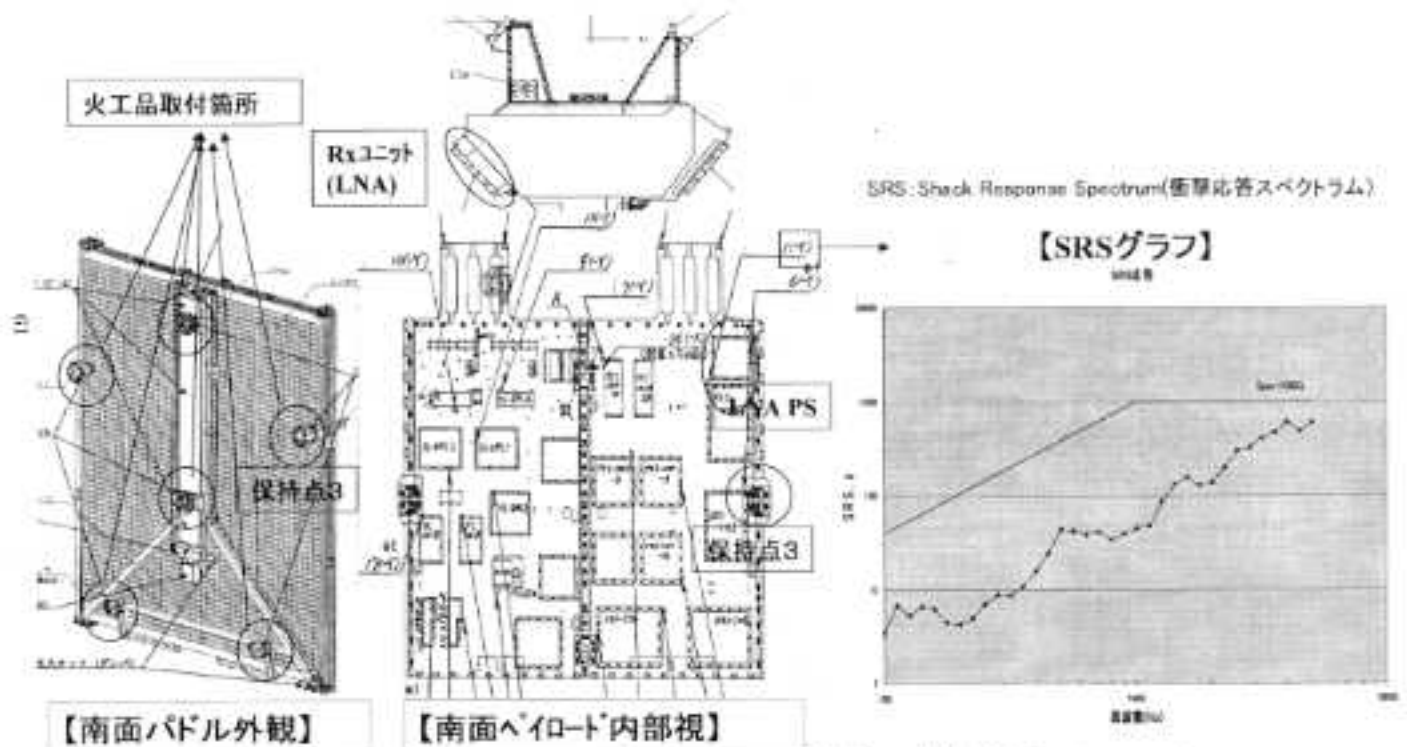


図 I-4-1 システムプロトフライト試験の実施状況 (7/7)

表 I-4-3 製造時の部品レベルの保管管理状況及び製造時・検査時の作業環境

- (1) 部品レベル 購入部品の入庫後の保管は、気圧、湿度、湿度が管理されたクリーンルームで保管されている。
- (2) 製造時 製造時は、気圧、湿度、湿度が管理されたクリーンルーム内で作業されている。
- (3) 検査時 検査時は、同様に気圧、湿度、湿度が管理されたクリーンルーム内で作業されている。

以上から保管環境において、問題になる点はないと考えられる。

LNA-PS

保管場所	保管期間	保管条件	環境記録
東芝小向工場 71号-2F	2000/12/14~2001/1/28	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup>	温度: 21~23℃ 湿度: 43~49% +1
東芝小向工場 71号-2F	2001/1/29~2001/1/28	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	温度: 21℃ 湿度: 44% +1
東芝小向工場 71号-2F	2001/1/29	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	温度: 22℃ 湿度: 43% +1
東芝小向工場 71号-1F 東京センター内	2001/1/29~2001/2/1	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	温度: 20.3~22.1℃ 湿度: 0.68x10 <sup>5</sup> Pa +1
東芝小向工場 71号-2F	2001/2/1~2001/2/13	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	温度: 20~22℃ 湿度: 37~43% +1
東芝小向工場 電気試験棟	2001/2/13~2001/3/13	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	+1
東芝小向工場 71号-2F	2001/3/13~2001/4/2	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	+1

LNAを含むRX-UNIT

保管場所	保管期間	保管条件	環境記録
東芝小向工場	2000/10/11~2000/11/10	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	温度: 20~23.3℃ 湿度: 46~56% +1
東芝小向工場 電気試験棟	2000/12/1~2000/12/10	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	+1
東芝小向工場 71号-2F	2000/12/14~2000/12/28	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	+1
東芝小向工場 71号-2F	2000/12/29~2001/1/19	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	+1
東芝小向工場 71号-2F 東京センター内	2001/1/19~2001/1/28	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	湿度: 47 気圧: 0.59x10 <sup>5</sup> Pa +1
東芝小向工場 71号-2F	2001/1/29~2001/2/13	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	温度: 22~23℃ 湿度: 37~43% +1
東芝小向工場 電気試験棟	2001/2/13~2001/3/13	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	+1
東芝小向工場 71号-1F	2001/3/13~2001/4/2	温度: 15~20℃ 湿度: 20~80% 気圧: 大気圧 清浄度: 7.5x10 <sup>5</sup> より良好なこと	+0

(\*)製造記録に記載のあるものは数値を示すが、それ以外については保管期間中に環境条件の不具合情報は発行されていないため、環境条件は満足していたと判断する。

(\*)製造記録に記載のあるものは数値を示すが、それ以外については保管期間中に環境条件の不具合情報は発行されていないため、環境条件は満足していたと判断する。  
(\*)構成部品毎に環境記録があり、環境条件は満足している。



表 I-4-4 コンポーネントレベルの保管管理状況

長期保管については以下の環境で、下表に示す場所に保管されていた。  
保管中にこの環境を逸脱したことはなかった。

保管環境

温度: +15~30°C

相対湿度: 20~60%

清浄度: FED-STD-209E CLASS100,000 に準ずる

日付	イベント	保管場所
2001/04/05	東芝→衛星システム担当メーカー	ミッションインテグレーション担当メーカー
2002/11/22	衛星システム担当メーカー→CRL移動	ミッションインテグレーション担当メーカー
2002/11/22	CRL→NASDA移動	ミッションインテグレーション担当メーカー
2002/11/22	NASDA→衛星システム担当メーカー移動	衛星システム担当メーカー
2002/11/26	搬入	NASDA・筑波

表 I-4-5 衛星保管管理状況

衛星本体、寿命管理要求(\*)がない搭載コンポーネントについては、特段の劣化対策は実施せず、温度、湿度、清浄度管理されたクリーンルーム内にて保管管理を実施している。

機器へ接続していないコネクタについては、静電防止用シートにて保護し、異物等の湿入、破損等を防止している。

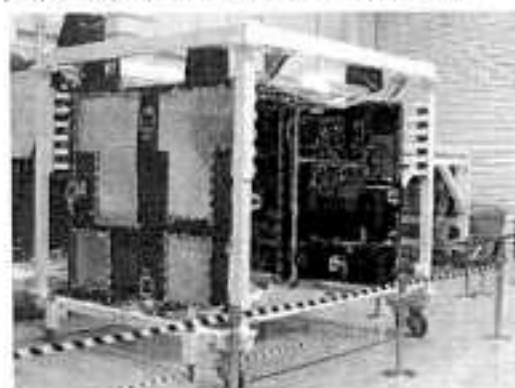
これまで筑波、種子島においていずれも適切な環境下で保管管理されている。

下表に管理状況を示す。

\*: ETS-VIIでは、寿命管理品である搭載バッテリー、イオンエンジンスラスタ、パドル駆動機構、加工品については個別に専用の環境にて保管管理を実施している。

ft<sup>3</sup>: 1立方フィート(1フィート=0.3048m、1ft<sup>3</sup>: 28.3リットル)

保管棟名	点検場所 要求	清浄度		温度	湿度
		100,000個 /ft <sup>3</sup>		16~24°C	40~60%
筑波 SITE	組立 準備室3	11018	0.5µ以上最大値	20.7~	51~
		0	0.5µ以上最小値	23.6°C	58.0%
種子島 SFA2	ベイロード 組立室	13111	同上	19.9°C~	44.9~
		44		21.5°C	50.1%
種子島 SFA1	フェアリング 組立室	6322	同上	18.2~	46.0~
		0		21.1°C	49.0%
種子島 SFA1	推進薬充 填室	2376	同上	16.1~	40.0~
		0		22.1°C	53.0%



筑波総合環境試験棟での衛星保管状況

ETS-VII耐環境性設計基準書では保管環境の要求条件は-10°C~40°C、湿度60%以下、CLASS100,000に準ずる旨規定している。

表 I-4-6 打上げ環境

打上げ状況

○H-II A204型の振動環境の実測値は、打上げ環境として提示されていた条件を満たしていることを確認（打上環境は正常）

(1) 複合加速度荷重

ロケットとのインターフェース条件を満足している。なお、複合加速度荷重については、通常、衛星の主構造の設計評定であり、コンポーネントの設計評定とはならない。参考に今回の不具合に関係するコンポーネントの設計条件は下記のとおりであり、ロケットのインターフェース条件と比較してコンポーネント設計条件が高く、打上げ環境が問題となるレベルではない。

コンポーネント名称	設計条件(軸線、軸線直交方向とも同一条件)
低雑音増幅器電源(LNA-PS)	20G(196m/s <sup>2</sup> )
低雑音増幅器(LNA)	15G(147m/s <sup>2</sup> )

(2) 正弦波振動

下表に示すロケットとのインターフェース条件を満足している。

	インターフェース条件
横軸方向	5 ~ 30 Hz 1.0 G <sub>rms</sub> 30 ~ 100 Hz 0.8 G <sub>rms</sub>
縦軸直交方向	5 ~ 18 Hz 0.7 G <sub>rms</sub> 18 ~ 100 Hz 0.8 G <sub>rms</sub>

なお、正弦波振動試験においては100Hz以下の大型構造物(ETU-1等では、太陽電池パドルや大型展開アンテナ等)や衛星の二次構造部材はノッキングを行う試験の対象であるが、一方、衛星のコンポーネントは、量産の固有振動数が120Hz以上の要求であり、100Hz以下には共振を許さないことから正弦波振動は設計の評定とはならないと判断する。

(3) 音響環境(ランダム環境)

フライト環境は、ロケットとのインターフェース条件(140.1dB)を満足するとともに地上での衛星試験に対しても問題ないレベルである。なお、ランダム環境が、通常、コンポーネントの設計評定となる。

(4) 温度 インターフェース条件(-10 ~ 40℃)を満たしている。

表 I-4-1~6のまとめ 地上試験、保管の実施状況、打上げ状況について

○コンポーネントレベル、システムレベルとも、通常の衛星開発に適用される地上試験は全て実施されており、試験結果は正常。  
○保管管理状況についても、製造時から打上時まで、温度、湿度、清浄度管理された適切な環境下で保管。  
○H-II A204型による振動環境の実測値は、提示条件以下であることが確認。

コンポーネント・サブシステム  
プロトフライト試験  
(PFT)



システム  
プロトフライト試験  
(システムPFT)



打上げ状況

①振動試験(試験結果は正常)

試験対象機器	試験項目	日時・場所
受信給電ユニット(RX-UNIT)	音響試験(音響振動)	2003/12/18~12/25 筑波宇宙センター 総合環境試験棟
	正弦波振動試験	2006/12/13 筑波宇宙センター 総合環境試験棟
低雑音増幅器用電源(LNA-PS)	ランダム振動試験、 正弦波振動試験	2007/1/25~1/26 (株)東芝小向工場

②熱真空試験(試験結果は正常)

試験対象機器	試験項目	日時・場所
受信給電ユニット(RX-UNIT)	熱環境試験(上下向き含む) 熱真空試験 熱衝撃試験(複数/性能試験を含む)	2001/1/19~1/29 (株)東芝小向工場
	低雑音増幅器用電源(LNA-PS)	熱真空試験(主系及び系の電気性能試験を含む)

③電気性能試験(試験結果は正常)

受信給電ユニット(RX-UNIT)及び送信給電ユニット(TX-UNIT)から低雑音増幅器用電源(LNA-PS)に至る経路の品目(ハーネス等)について通常行う試験は行っており、試験結果は正常であった。

○システムプロトフライト試験状況(試験結果は正常)

- (1) 熱真空試験 2003/11/18~2003/12/22
- (2) 正弦波振動試験 2005/9月~10月 筑波宇宙センター
- (3) 音響試験 2005/10月~11月 筑波宇宙センター
- (4) パドル解放の影響 LNA、LNA-PSとも十分にスペックを満足する範囲であることを確認。

○H-II A204型の振動環境の実測値は、打上げ環境として提示されていた条件を満たしていることを確認（打上状況は正常）

表 I-4-7 「のぞみ」電源系統における不具合を受けた信頼性技術情報の概要

「のぞみ」電源系統における不具合を受けた信頼性技術情報の概要	
① 不具合の影響度の評価	不具合が発生する可能性を完全に排除できないことから、不具合による影響度をFMEA (Failure Mode and Effect Analysis)、FMECA (Failure Mode and Effect Criticality Analysis) 等により適切に評価し、コンポーネント毎の重要性から対策の是非を判断すること。
② 故障分離	宇宙機搭載機器で不具合が発生する可能性を完全に排除することはできない。このため、下位の機器で不具合が発生してもミッションは継続可能なように保護抵抗、スイッチ等を設置し、故障分離対策を徹底することによって、上位システムへの影響をなくす必要がある。特にブラックボックス化した輸入部品に対しては、優先的に故障分離策を講じる必要がある。
③ 輸入品に対する検証	国内では調達できないため輸入部品・機器を搭載せざるを得ない場合がある。この際、製造会社と密に情報交換したとしても調達時に得られる情報には限界がある。このため、ユーザとしてDPA (Digital Pre-Assembly) や源泉検査等による確認、検証試験等の実施を検討する必要がある。

27

表 I-4-8 点検対象とした書類

点検対象とした書類
・ 開発仕様書
・ インターフェース管理仕様書
・ 調達仕様書
・ インターフェースFMEAシート
・ 機能FMEAシート
・ インターフェース管理文書(ICD)
・ 設計報告会、成果報告会、データ確認会資料
・ 文書パッケージ(納入時写し)
・ PFT以降不具合サマリ、関連資料

89

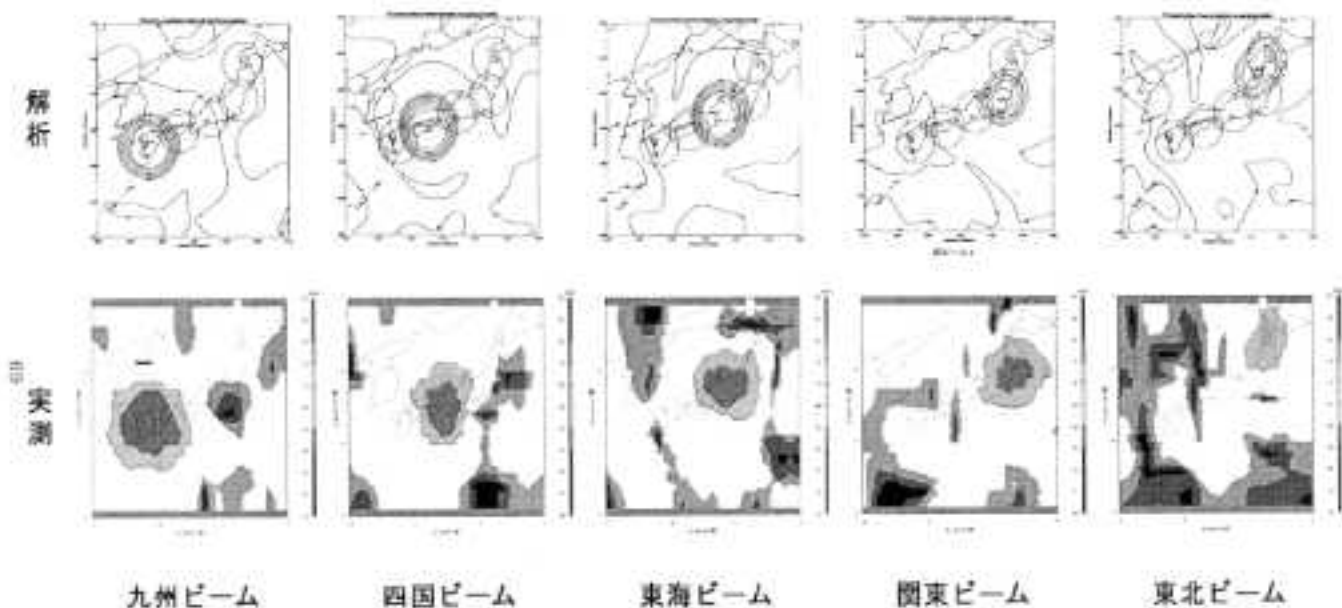
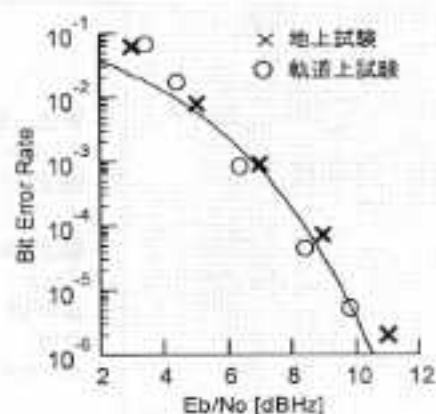
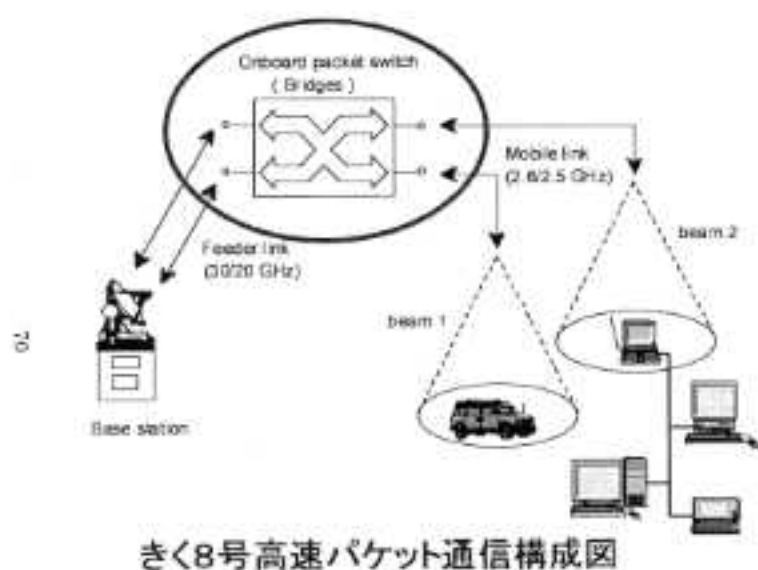


図 1-5-1 大型展開アンテナの特性評価実験



測定されたパケット交換機の軌道上BER (ビット誤り率)特性。  
信号S/Nに対し期待されたエラー率

図 1-5-2 パケット交換機特性評価実験

①ICタグを用いた避難住民把握 ②映像による住民避難状況確認



図 I - 5 - 3 各種通信実験

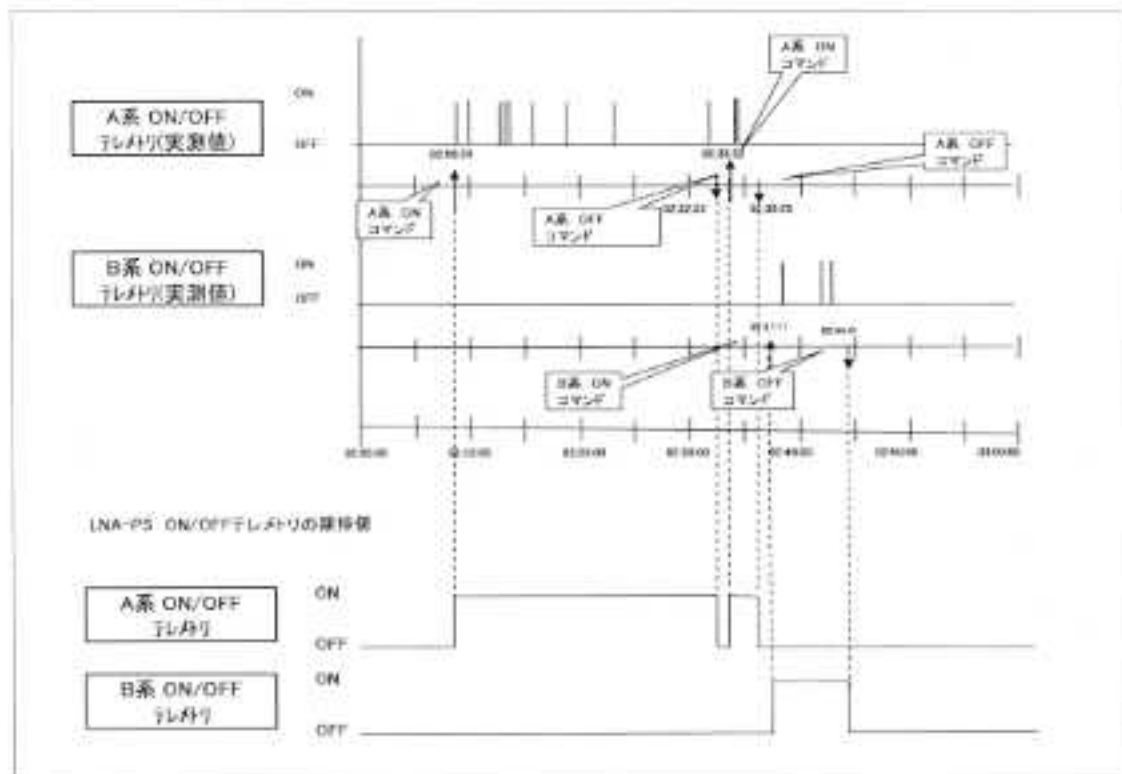
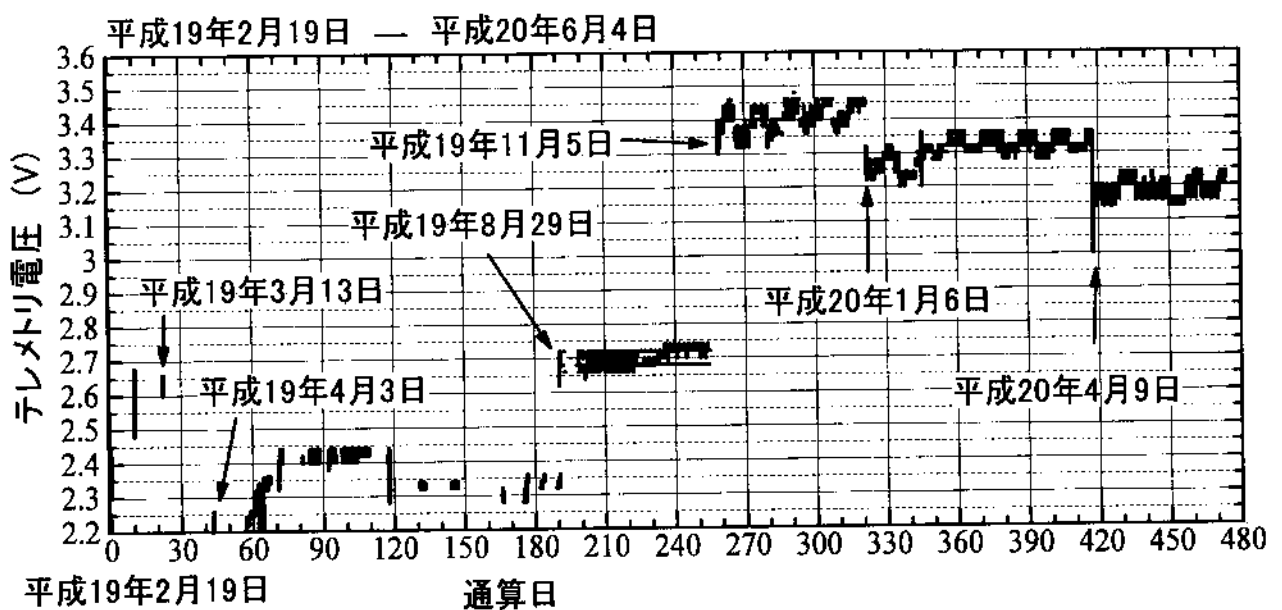


図 II - 1 - 1 低雑音増幅器用電源のテレメトリ異常の測定データ

表Ⅱ－1－1 異常事象の発生の経緯

- 平成18年12月18日 ETS－Ⅷ(きく8号)打上げ(種子島宇宙センター)
- 平成19年 1月 8日 初期機能の確認開始
- 平成19年 1月30日 受信系通信機器(NICT開発部分)において異常発見  
 【現象】電源をONにしても、直ちにOFFとなる  
 [ 異常箇所は打上げ前に種子島で実施した射場試験(平成18年10月2日)では正常に動作しており、その後、平成19年1月30日までの間に異常が発生したと推定(打上げ時の振動等は、規定されていた環境条件を満足。) ]
- 平成19年 4月25日 初期機能確認終了(受信系通信機器以外問題なし)  
 衛星実験の開始  
 [ 異常の影響を受ける「地上の携帯型端末から衛星向けの通信実験」についても、「きく8号」に搭載している測位実験用アンテナを代替として使用することにより、通信実験を実施中 ]



図Ⅱ－1－2 LNA－PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(1/11)

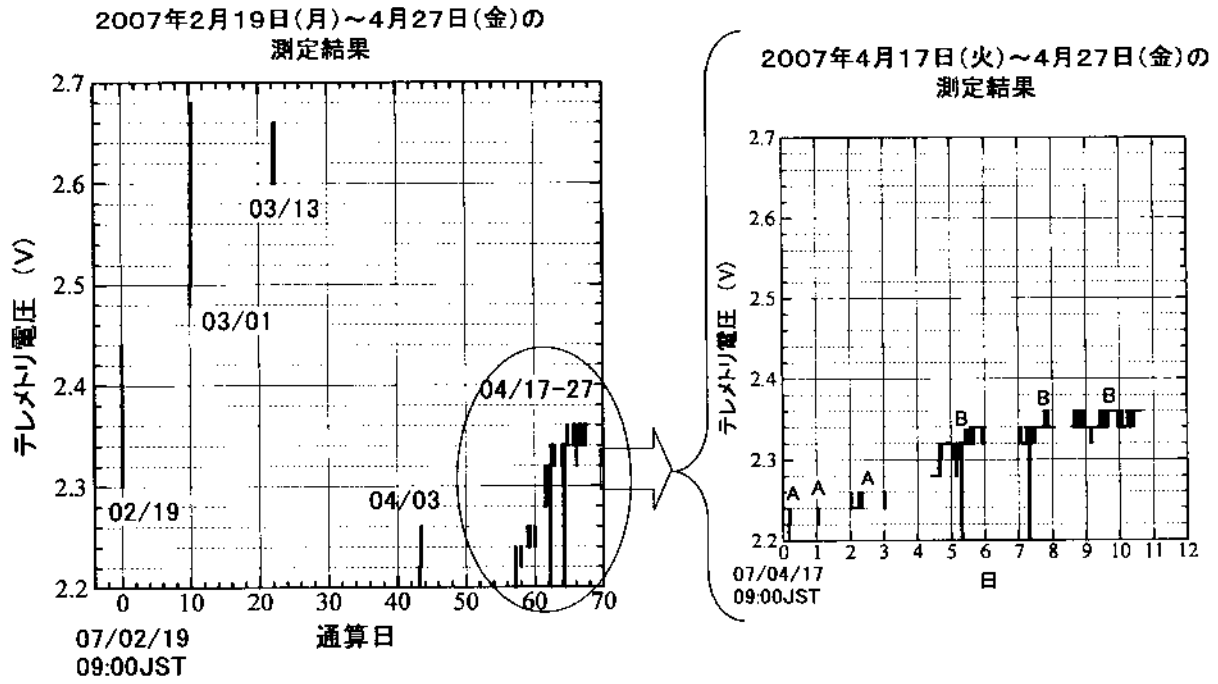
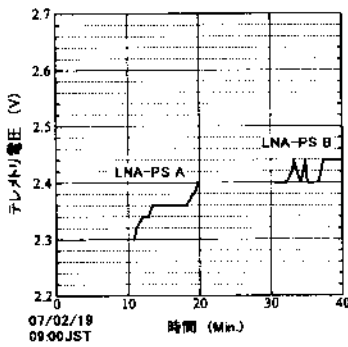
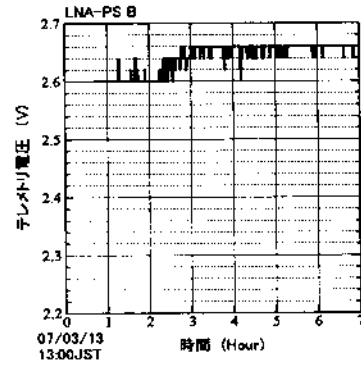


図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(2/11)

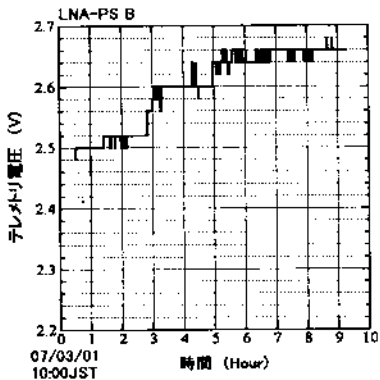
(1) 2007年2月19日(月)の測定結果



(3) 2007年3月13日(火)の測定結果



(2) 2007年3月1日(木)の測定結果



(4) 2007年4月3日(火)の測定結果

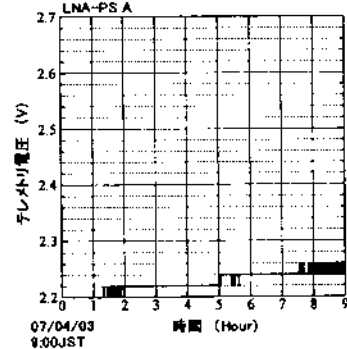
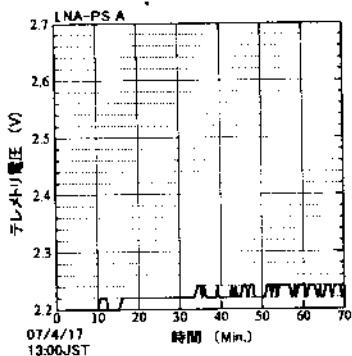
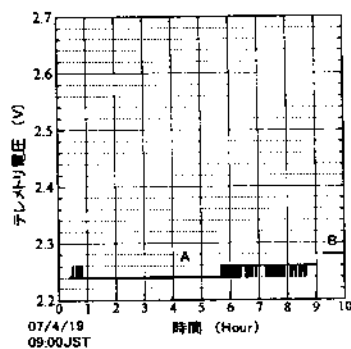


図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(3/11)

(5) 2007年4月17日(火)の測定結果

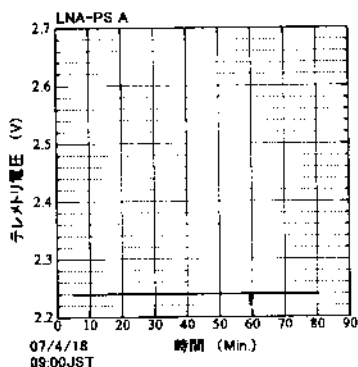


(7) 2007年4月19日(木)の測定結果



77

(6) 2007年4月18日(水)の測定結果



(8) 2007年4月20日(金)の測定結果

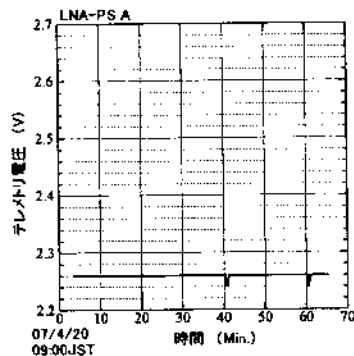
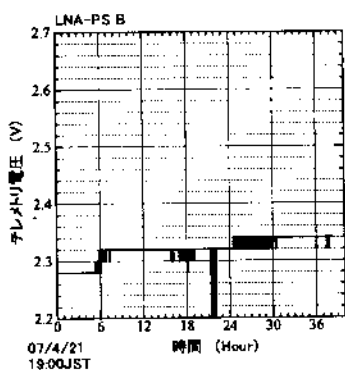
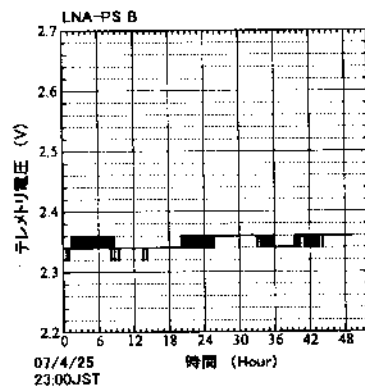


図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(4/11)

(9) 2007年4月21日(土)の測定結果

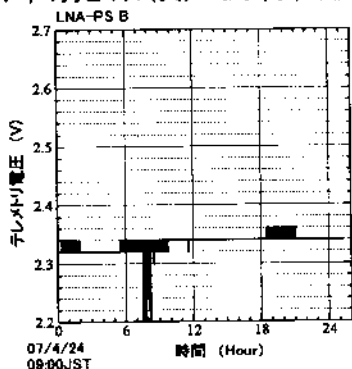


(11) 2007年4月25日(水)~27(金)の測定結果



78

(10) 2007年4月24日(火)~25(水)の測定結果



(12) 2007年5月1日(火)~6月3日(水)の測定結果

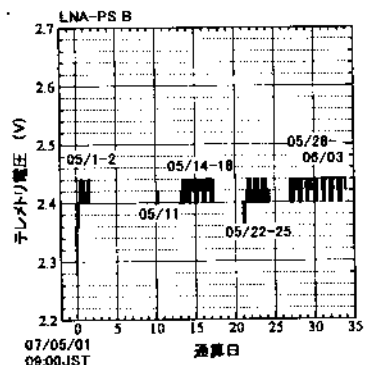
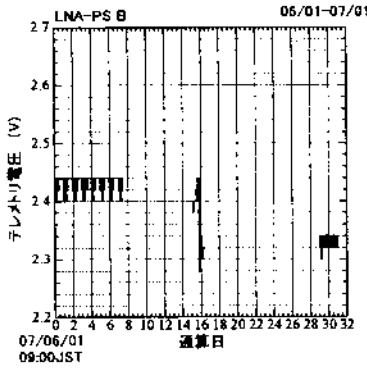


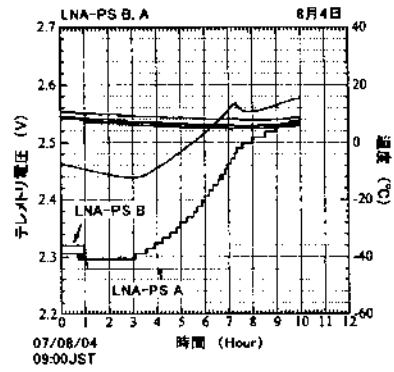
図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(5/11)



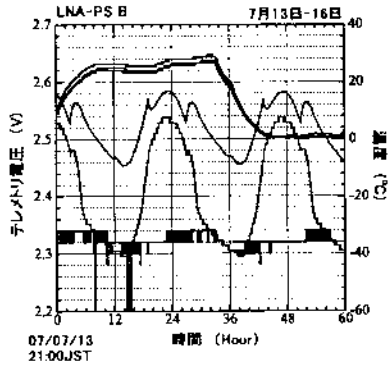
(13) 2007年6月1日(月)~7月1日(日)の測定結果



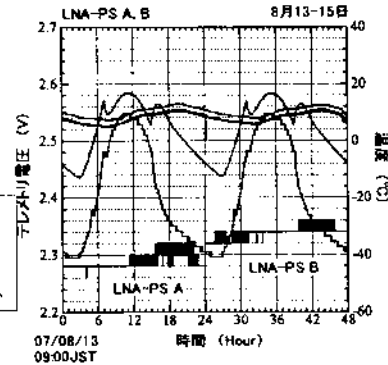
(15) 2007年8月4日(火)の測定結果



(14) 2007年7月13日(金)~16日(月)の測定結果



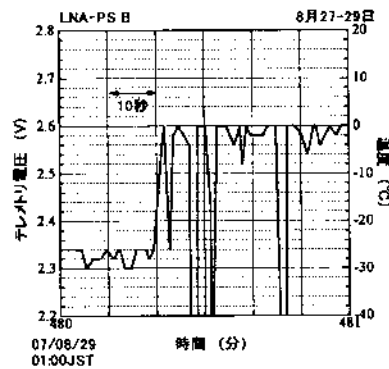
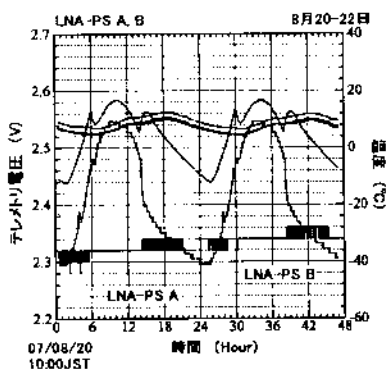
(16) 2007年8月13日(月)~15日(水)の測定結果



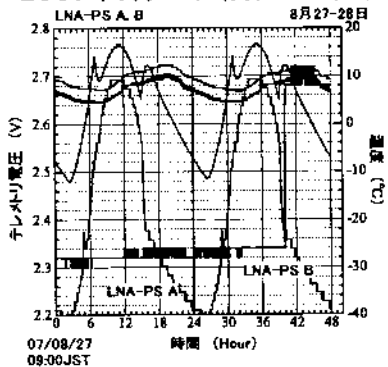
— LNAパネル温度1  
 — LNAパネル温度2  
 — LNA-PS温度  
 — ハーネス付近温度  
 — LNA-PSテレメトリ電圧

図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(6/11)

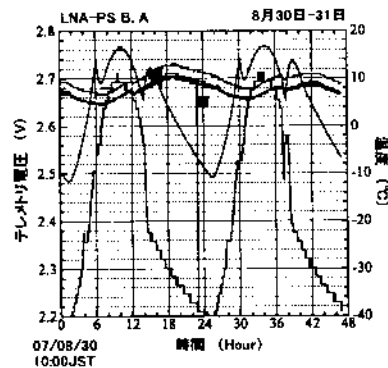
(17) 2007年8月20日(月)~22日(日)の測定結果 (19) 2007年8月29日(水)の測定結果



(18) 2007年8月27日(月)~29日(水)の測定結果



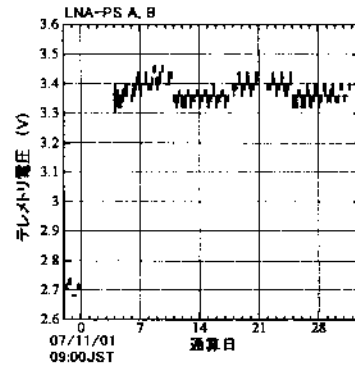
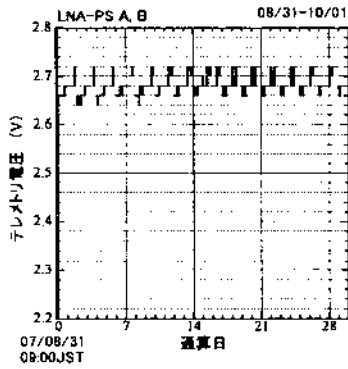
(20) 2007年8月30日(木)~31日(金)の測定結果



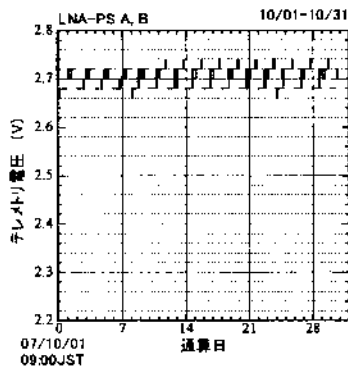
— LNAパネル温度1  
 — LNAパネル温度2  
 — LNA-PS温度  
 — ハーネス付近温度  
 — LNA-PSテレメトリ電圧

図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(7/11)

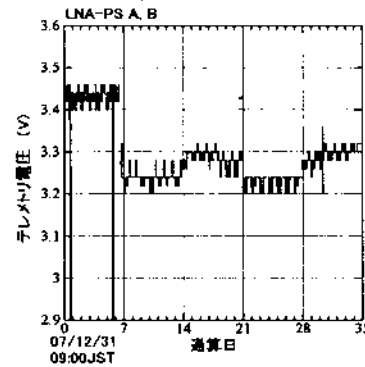
(21) 2007年8月31日(金)～10月1日(月)の測定結果 (23) 2007年11月5日(金)～12月2日(日)の測定結果



(22) 2007年12月3日(月)～30(水)の測定結果

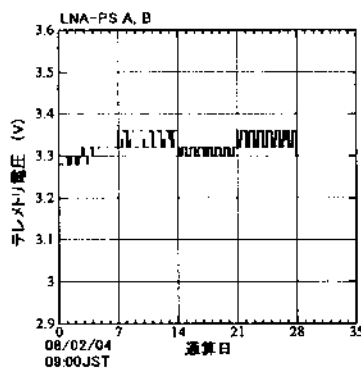


(24) 2007年12月30日(火)～2008年2月3日(日)の測定結果

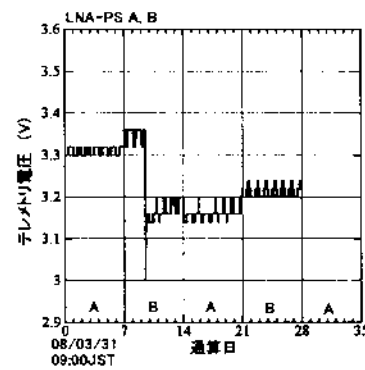


図Ⅱ-1-2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(8/11)

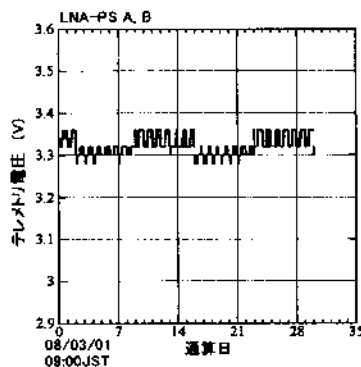
(25) 2008年2月4日(月)～29日(金)の測定結果



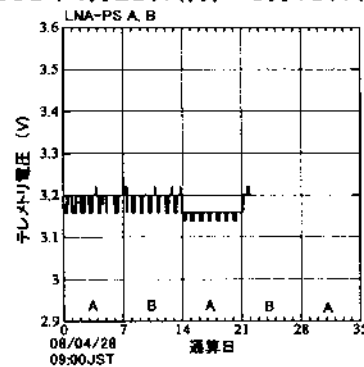
(27) 2008年3月31日(月)～4月27日(日)の測定結果



(26) 2008年3月1日(土)～30(日)の測定結果

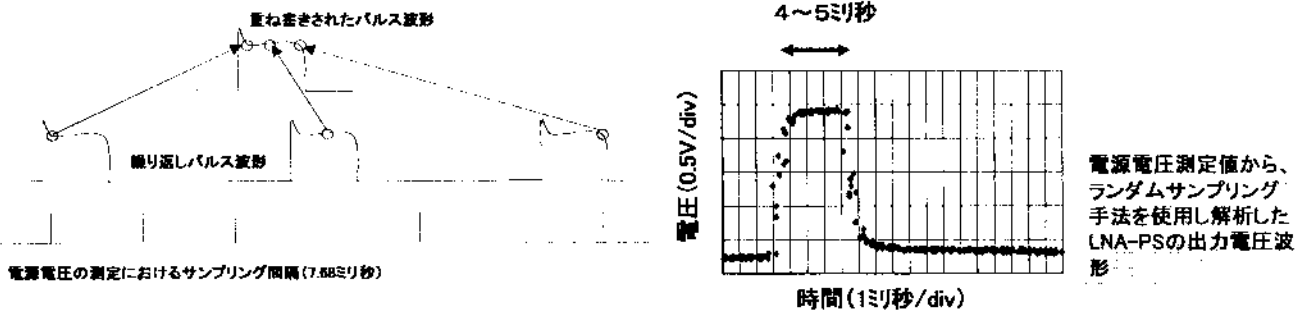


(28) 2008年4月28日(月)～5月18日(日)の測定結果



図Ⅱ-1-2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(9/11)

- ランダムサンプリング手法を使用して解析
- パルス幅5ミリ秒、パルス間隔260ミリ秒の繰り返しパルス波形に対して、サンプル間隔7.68ミリ秒のデュエルモードでサンプルを行い、パルス幅とサンプル周期のずれ(位相差)を利用して、基準点(たとえば、パルスの立ち上がりポイント)からの各サンプルポイント迄の位相差を求め、サンプルポイントの振幅値を書き換えることにより、出力パルス波形を求めた。



83

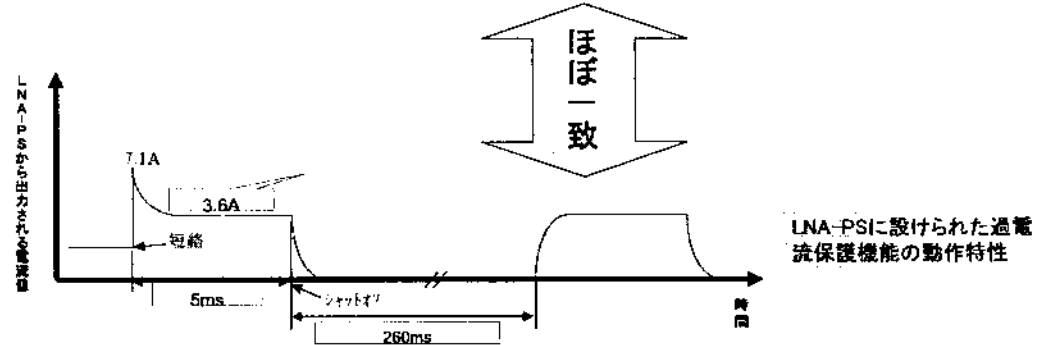
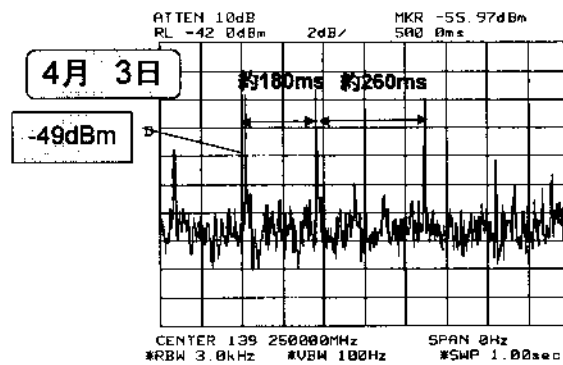


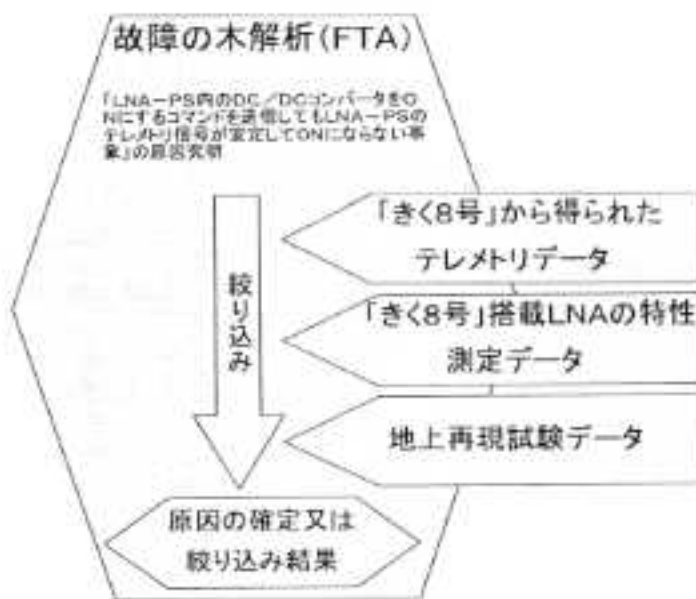
図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(10/11)



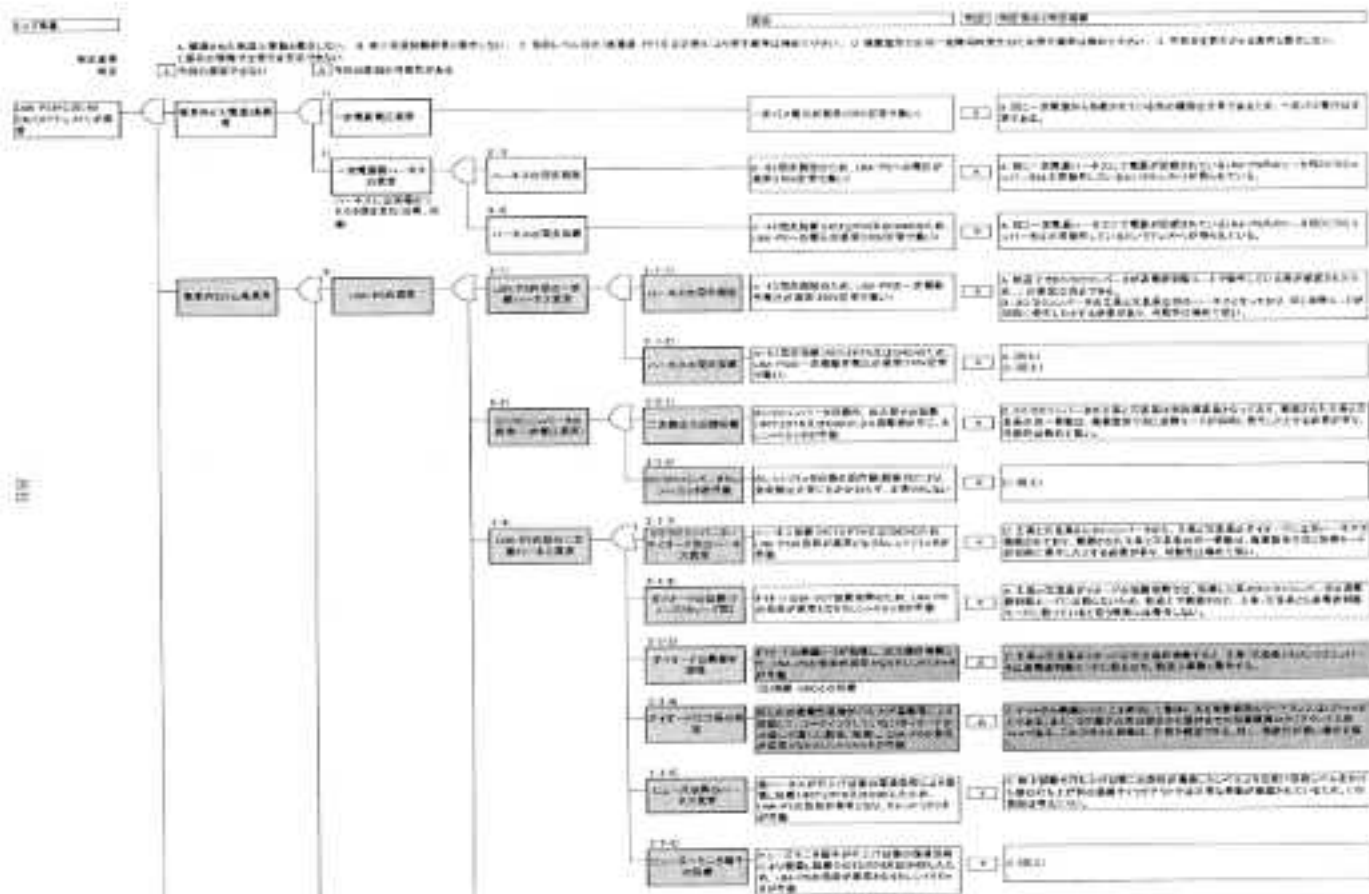
84

- 4月3日の測定において、LNA電源の電圧変化と共に、パルス周期が変化していることが確認された。(通常の260ミリ秒周期に、173ミリ秒周期が入り交じる状況。)
- この状態で今後も電源を使用することに関係がないかどうかDC/DCコンバータ製造メーカを訪問し、現地にて確認を行なった。
- 負荷状態が変化することによりパルス周期が変化することがあり得ること、特設LNA電源の使用に問題がないことがわかった。

図 II - 1 - 2 LNA-PS内のDC/DCコンバータの出力電圧測定結果(11/11)



図Ⅱ-2-1 故障の木解析(FTA)



図Ⅱ-2-2 故障の木解析(FTA) (1/3)

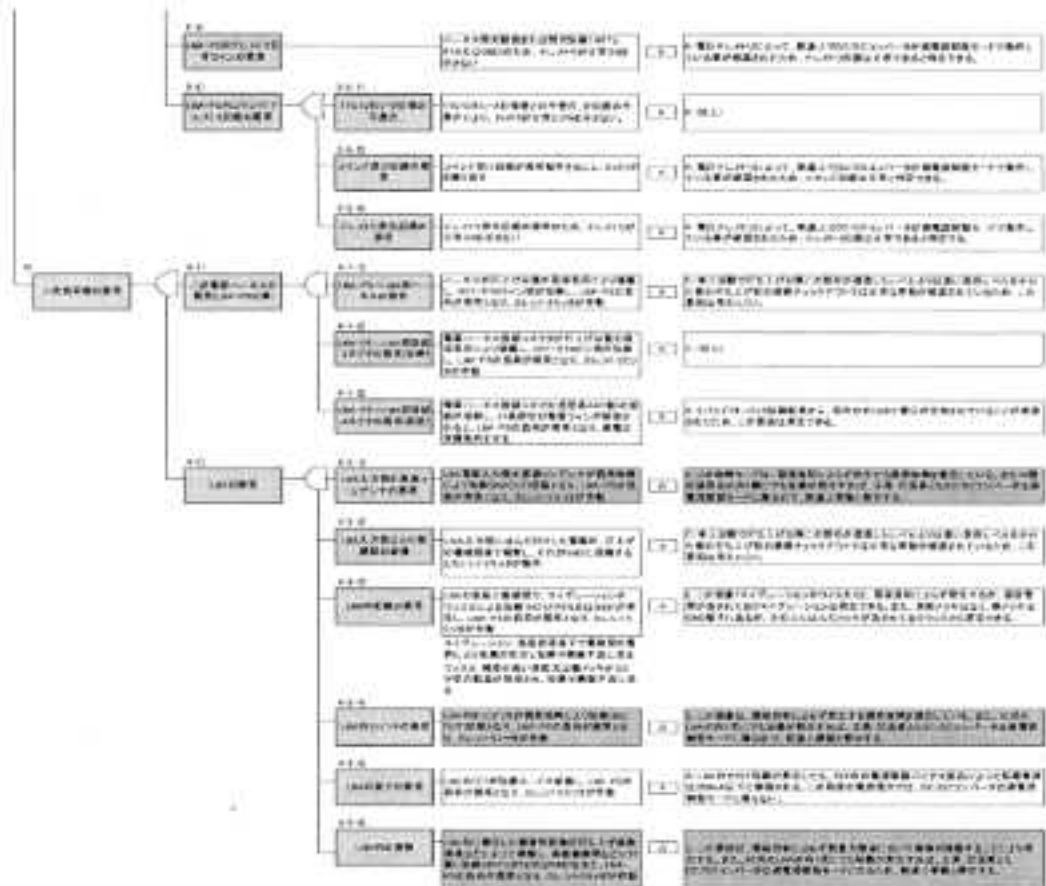
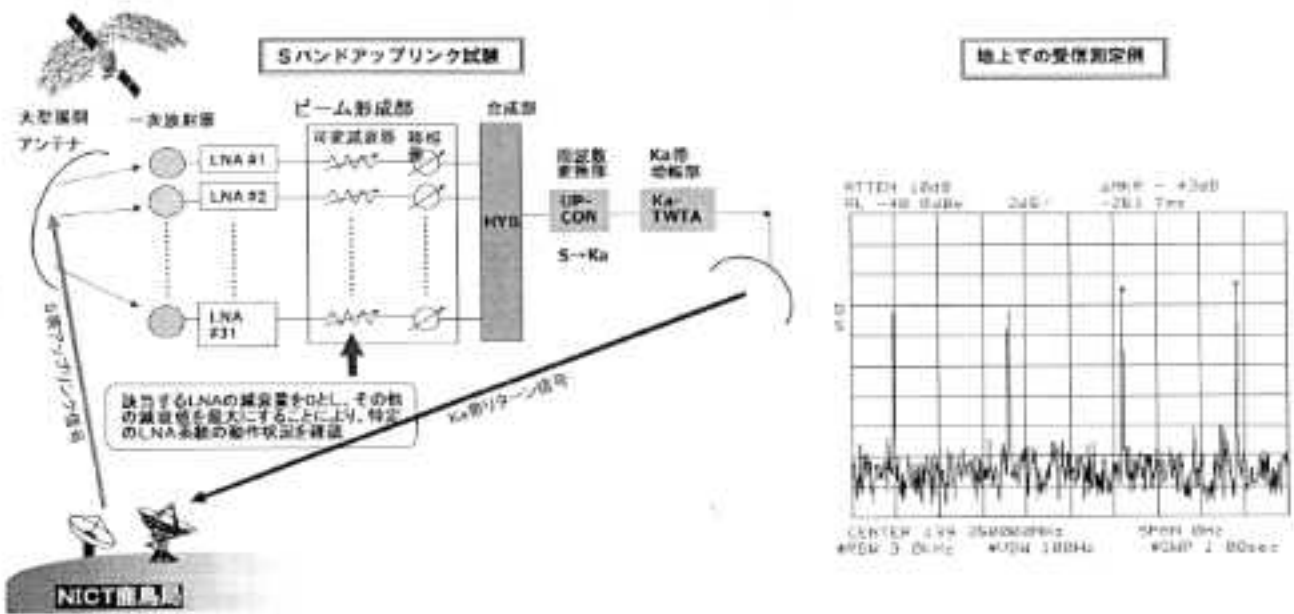


図 II - 2 - 2 故障の木解析(FTA) (2/3)



- ※ 電源供給の停止と手動リセット
- ※ 電源供給の停止と手動リセット
- ※ 電源供給の停止と手動リセット
- ※ 電源供給の停止と手動リセット
- ※ 電源供給の停止と手動リセット
- ※ 電源供給の停止と手動リセット

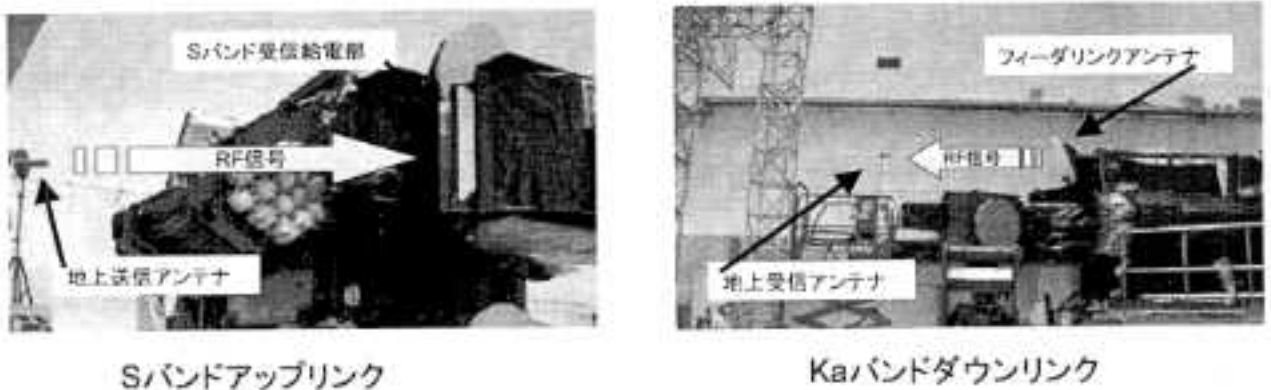
図 II - 2 - 2 故障の木解析(FTA) (3/3)



図Ⅱ-2-3 「きく8号」搭載LNAの特性試験の実験

## LNA最終動作(試験コンフィギュレーション)

- 地上でのLNAの最終動作確認は10月2日のRFプレゼンス試験である。
- 試験状況は下の写真に示すように、左下の写真の通りエアリンクで送信したSバンドアップリンク信号を衛星受信給電部で受信し、右下の写真の通り衛星で中継した信号をフィーダリンク装置からKaバンドで送信し、衛星のEnd-to-Endで正常動作を確認するものである。



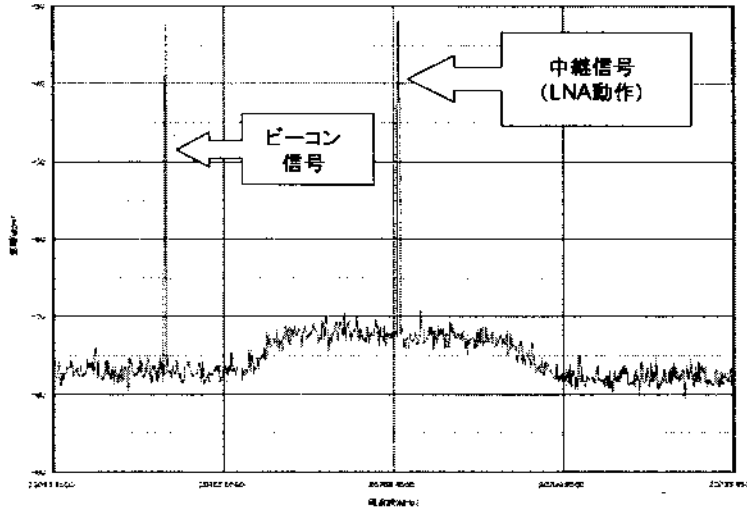
図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(1/11)

# LNA最終動作(試験結果)(1/9)

- RFプレゼンス試験では、32系統のLNAを個別に試験した。
- 32系統とも中継信号が確認されており、衛星は正常に動作している。
- 次ページ以降に32系統の結果を示す。

91

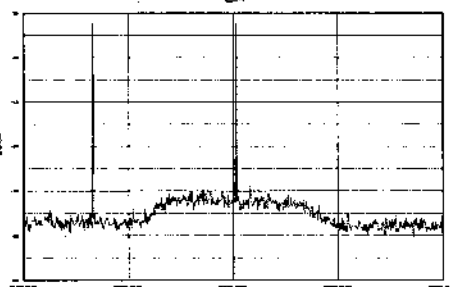
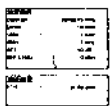
MSA01:LNA-02



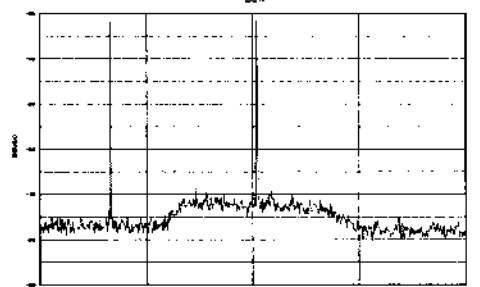
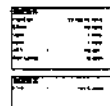
図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(2/11)

# LNA最終動作(試験結果)(2/9)

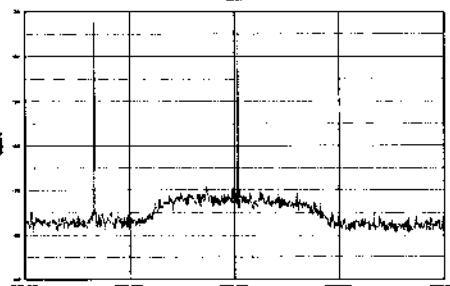
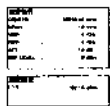
92



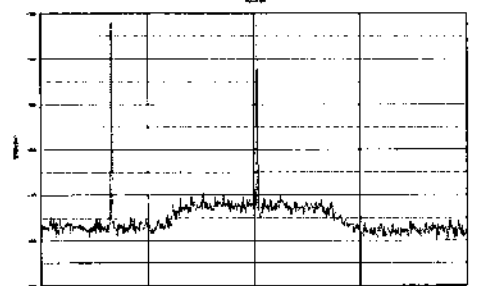
MSA01:LNA-02



MSA02:LNA-31



MSA03:LNA-01

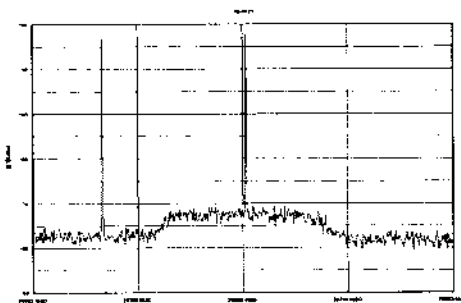
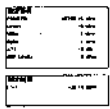


MSA04:LNA-21

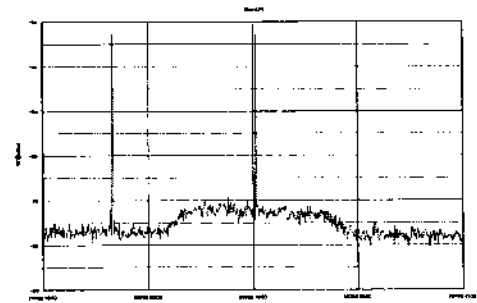
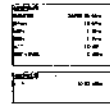
図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(3/11)

## LNA最終動作(試験結果)(3/9)

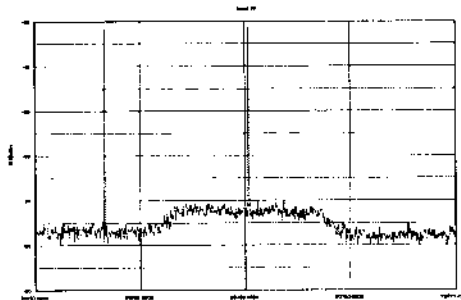
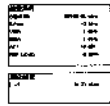
93



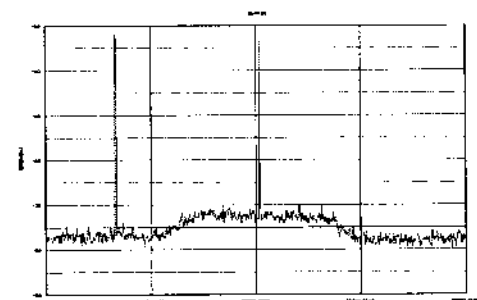
MSA05: LNA-16



MSA06: LNA-12



MSA07: LNA-05

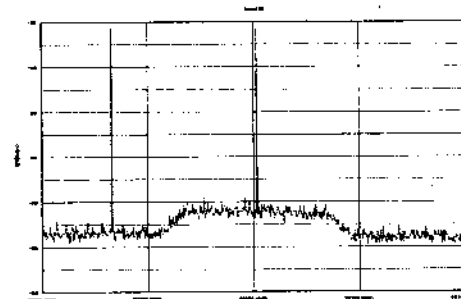


MSA08: LNA-15

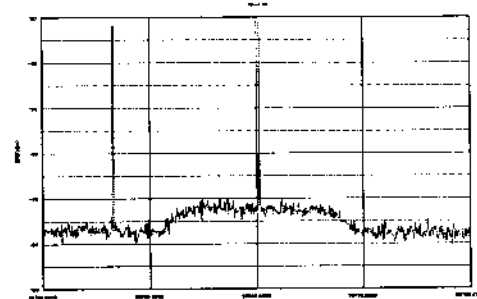
図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(4/11)

## LNA最終動作(試験結果)(4/9)

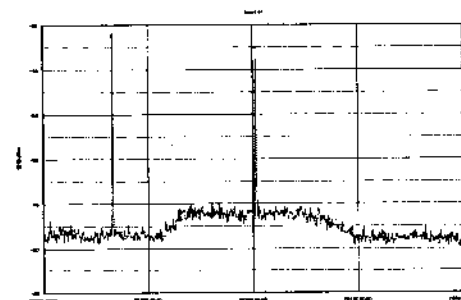
94



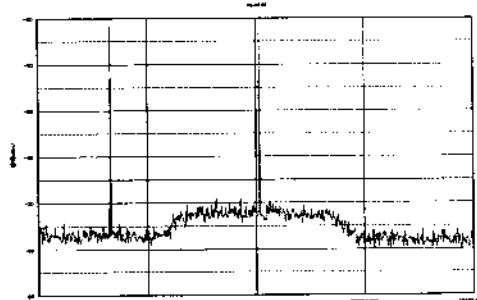
MSA09: LNA-11



MSA10: LNA-03



MSA11: LNA-17



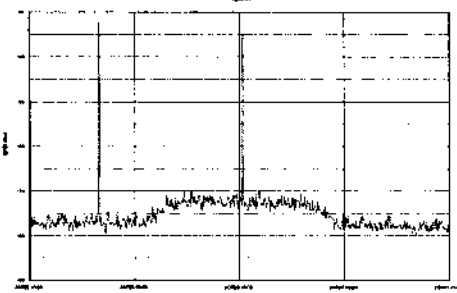
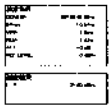
MSA12: LNA-06

図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(5/11)

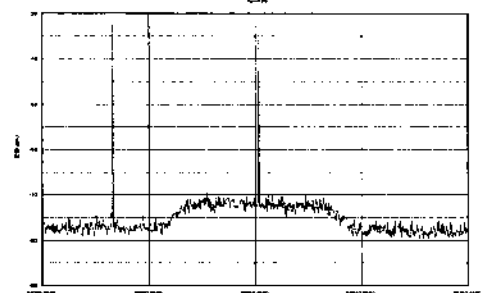
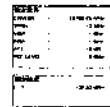


## LNA最終動作(試験結果)(5/9)

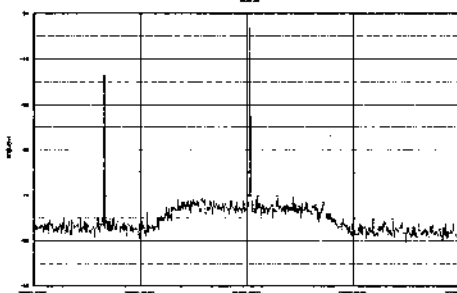
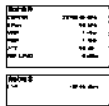
95



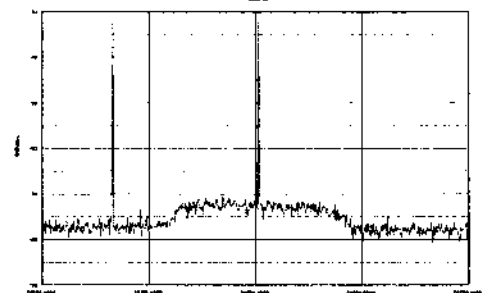
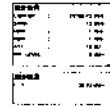
MSA13: LNA-04



MSA14: LNA-14



MSA15: LNA-26

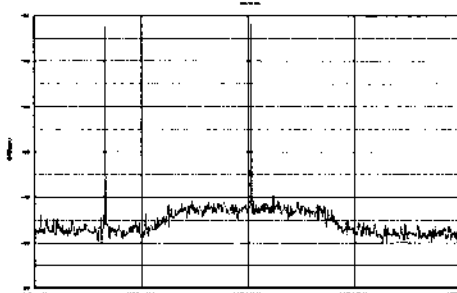
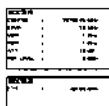


MSA16: LNA-07

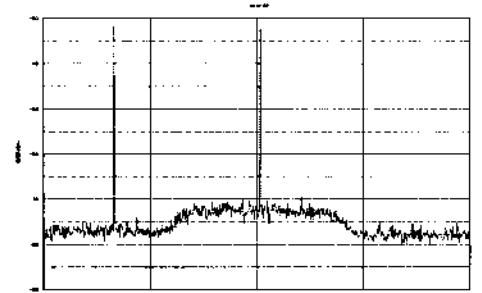
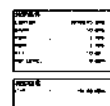
図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(6/11)

## LNA最終動作(試験結果)(6/9)

96



MSA17: LNA-30



MSA18: LNA-18

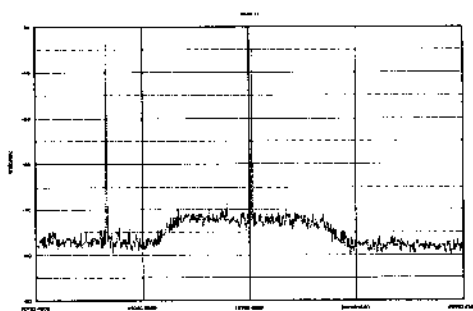
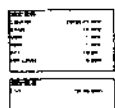
MSA19: LNA-22

MSA20: LNA-19

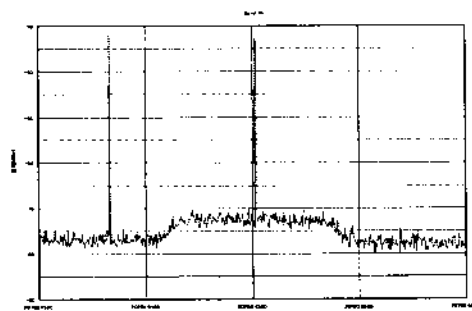
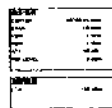
図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(7/11)

## LNA最終動作(試験結果)(7/9)

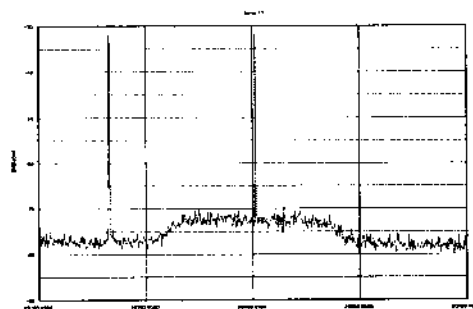
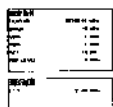
97



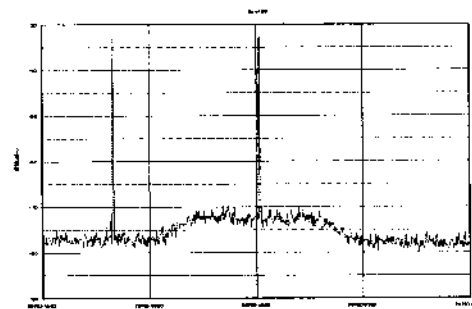
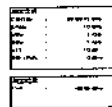
MSA21: LNA-25



MSA22: LNA-20



MSA23: LNA-13

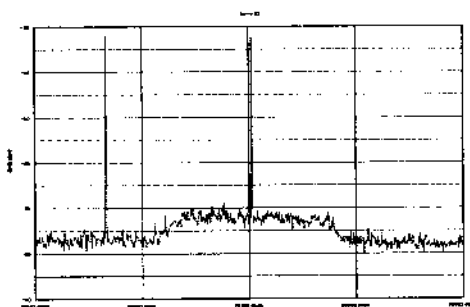
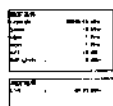


MSA24: LNA-27

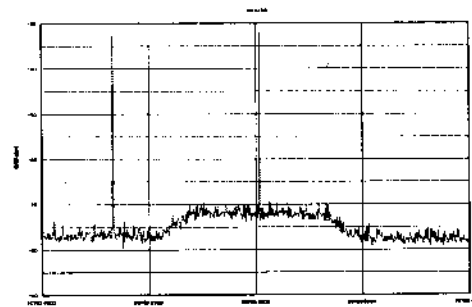
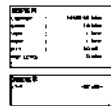
図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(8/11)

## LNA最終動作(試験結果)(8/9)

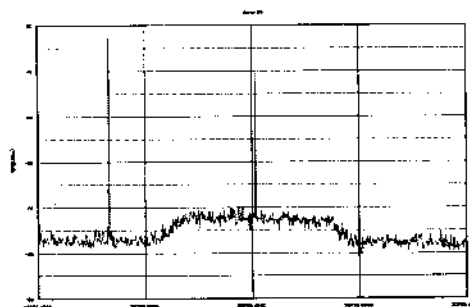
86



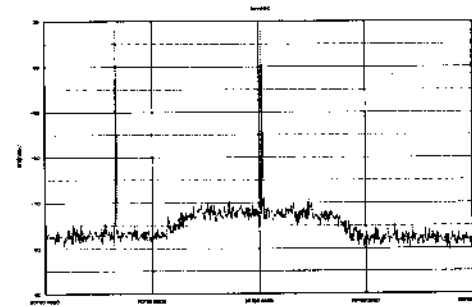
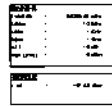
MSA25: LNA-24



MSA26: LNA-10



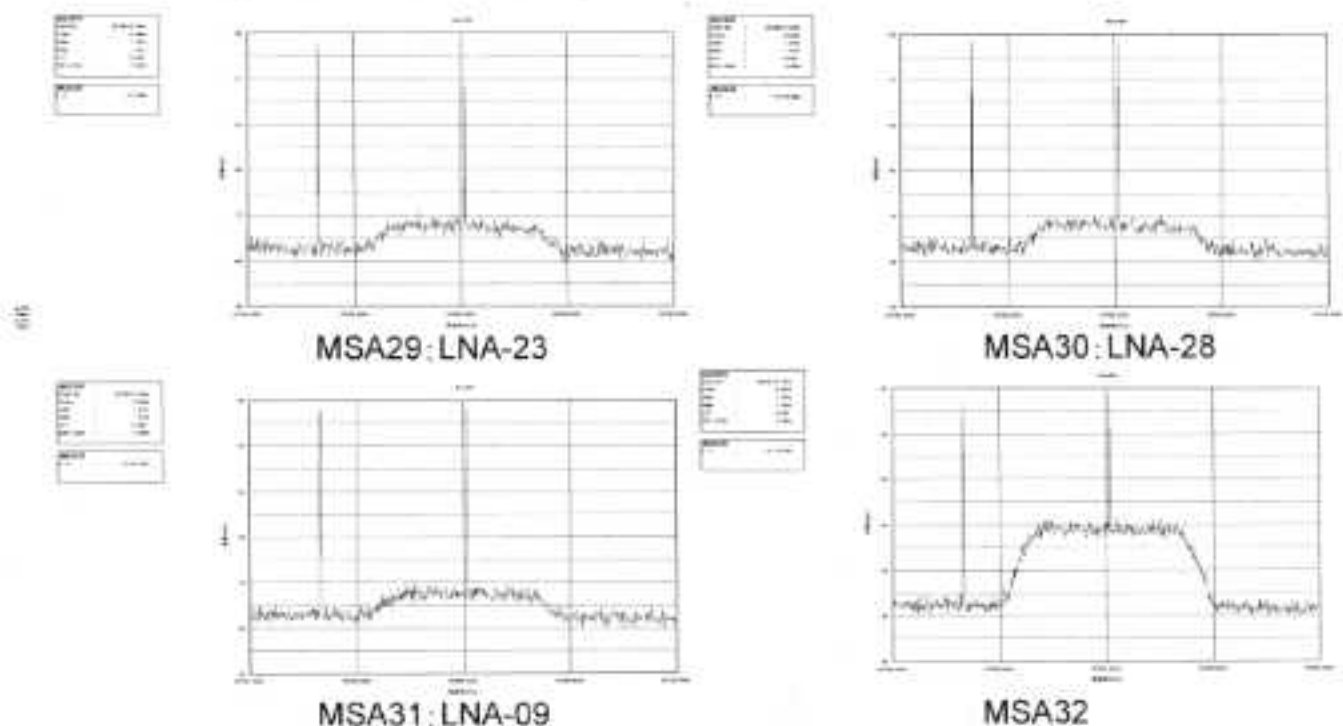
MSA27: LNA-29



MSA28: LNA-08

図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(9/11)

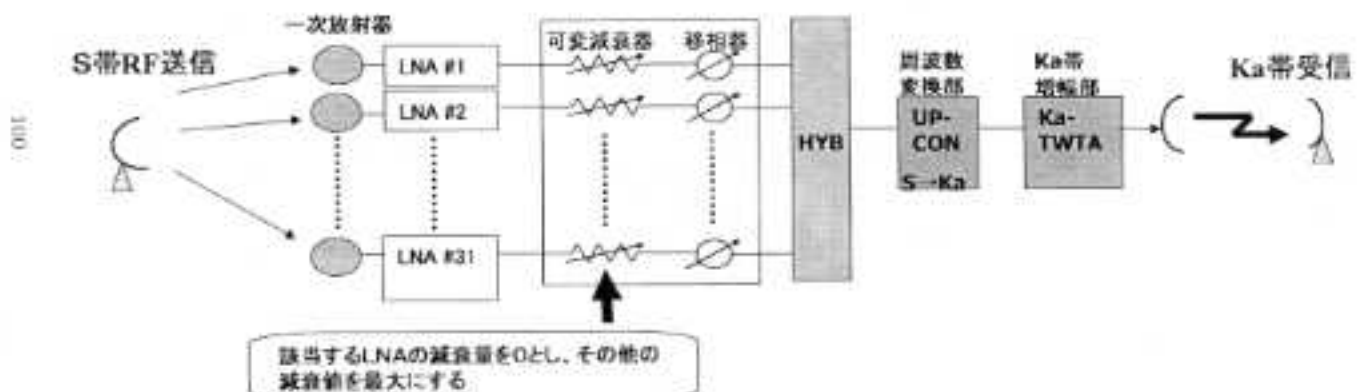
## LNA最終動作(試験結果)(9/9)



図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(10/11)

## LNA最終動作試験コンフィギュレーション

LNA最終動作試験コンフィギュレーションは、現在軌道上において実施しているSバンドリターン試験コンフィギュレーションとほぼ同じコンフィギュレーションにて実施している。(大型展開アンテナを使用していないのみ)



- ・ 受信系ビーム形成部の各LNA素子毎に挿入されている可変減衰器をコマンドで操作。
- ・ 特定の1個のLNAシステムの減衰量をゼロとし、他のシステムの減衰量を最大にすることにより、特定のLNAシステムの動作状況を確認。

図Ⅱ-2-4 打上げ前の地上試験結果(11/11)

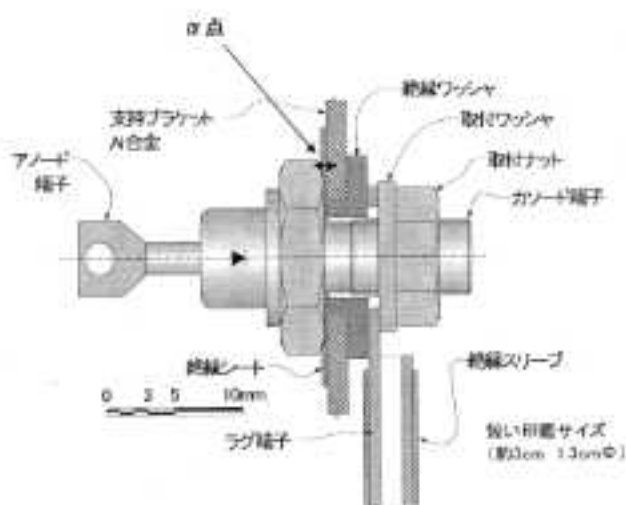
表Ⅱ-2-1 「きく8号」搭載LNAの特性試験 実験結果

	試験日 変化係 LNA系統 送電電力 ATT	3月13日		3月14日		4月19日		4月21日		5月1日		5月2日		5月11日		7月14日		8月4日		8月10日		8月19日		11月7日		4月15日			
		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周		Ka周	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LNA系統 1	数値未定	-52	-48	-51	-49	-50	-48	-50	-48	-50	-48	-49	-48	-49	-48	-49	-48	-49	-48	-49	-48	-49	-48	-49	-48	-49	-48	-49	
LNA系統 2	7	-54	-52	-52	-50	-50	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	
LNA系統 3	6	-54	-52	-52	-50	-50	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	
LNA系統 4	2	-55	-53	-53	-51	-51	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	
LNA系統 5	11	-51	-49	-51	-49	-49	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	
LNA系統 6	4	-54	-52	-52	-50	-50	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	
LNA系統 7	12	-54	-52	-52	-50	-50	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	
LNA系統 8	2	-54	-52	-52	-50	-50	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	
PIM測定系	14	-54	-52	-52	-50	-50	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	

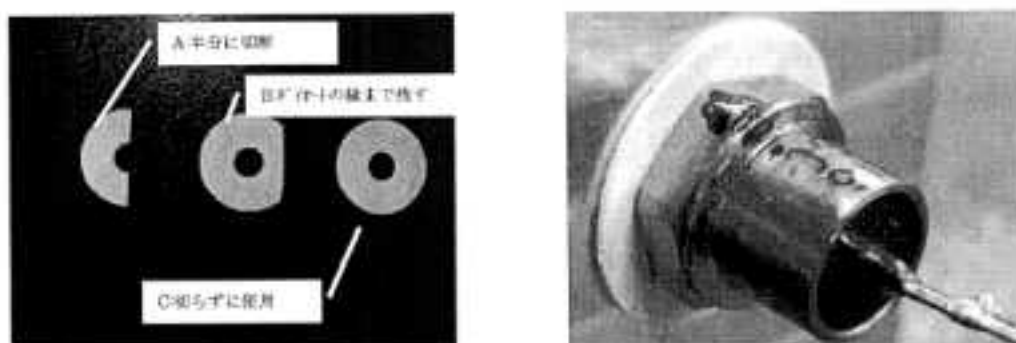
値はスペクトルアナライザでの測定値

単位: dBm

受信信号が検出できない(雑音レベル)    受信信号が不明瞭    受信信号が検出できる



図Ⅱ-2-5 ダイオード絶縁シート



絶縁シート	トルク 60N.cm	トルク 120N.cm	備考
A	○	X	
B	○	○	
C	○	○	

○:絶縁良好      X:絶縁不良

図 II - 2 - 6 ダイオード絶縁シートのねじれと傷の検証結果

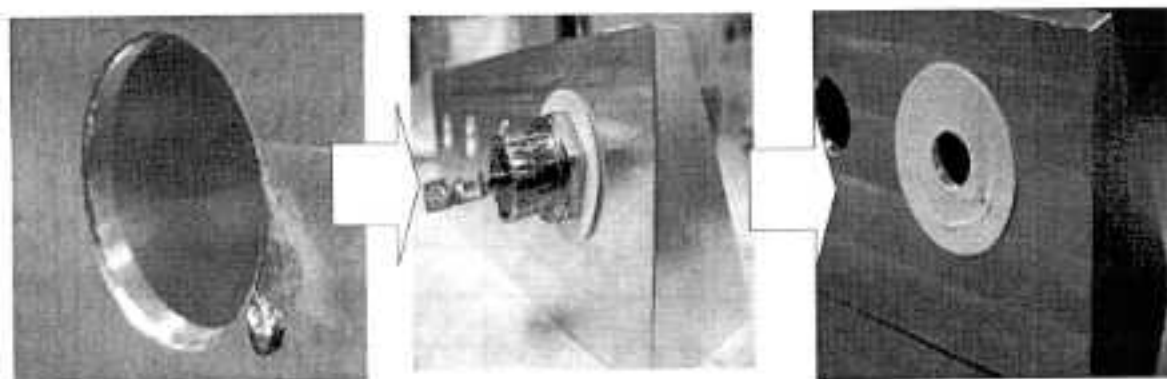
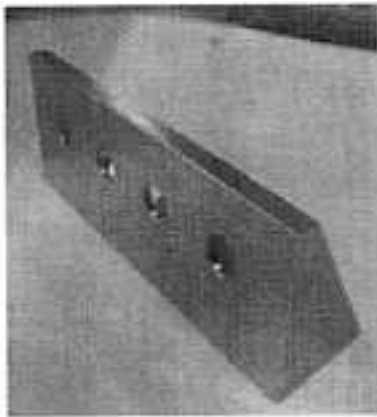


図 II - 2 - 7 ダイオード絶縁シートの異物による影響検証



有色クロメート処理をしたダイオード固定座



アルミ素地のダイオード固定座

図Ⅱ-2-8 ダイオード固定座

表Ⅱ-2-2 異物はさみこみの抵抗値

短絡抵抗の単位: mΩ

トルク [N・cm]	異物の大きさ							
	φ 830	φ 500	φ 400	φ 350	φ 300		φ 200	φ 140
40	30* 2.52*	0.62* 2.40*	48* ∞*	∞*	-	-	-	-
60			∞** ∞*	∞*	-	-	-	-
80			∞** 4.50*	∞*	-	-	-	-
100			∞** -	∞*	-	-	-	-
120			147** -	∞*	2.31#	∞#	∞#	∞#
140				∞*	-	∞#	∞#	∞#
160				4.1* -	-	3.80#	2.62#	∞#
175								∞#
180								∞#
200								9.20#

\*) 抜き込みの導電物質に抵抗のリードを使用

\*\*) 抜き込みの導電物質に平皿を使用

#) 抜き込みの導電物質に電線の束線を使用

上段: アルミ素地

下段: 実機と同じ表面処

理

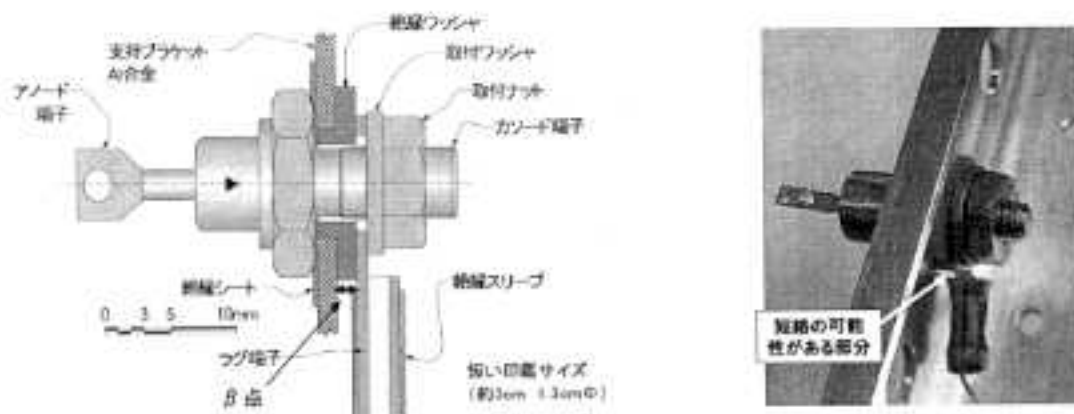
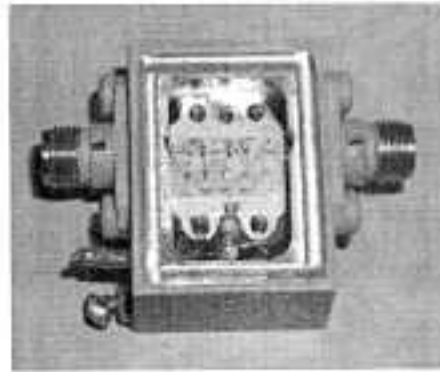


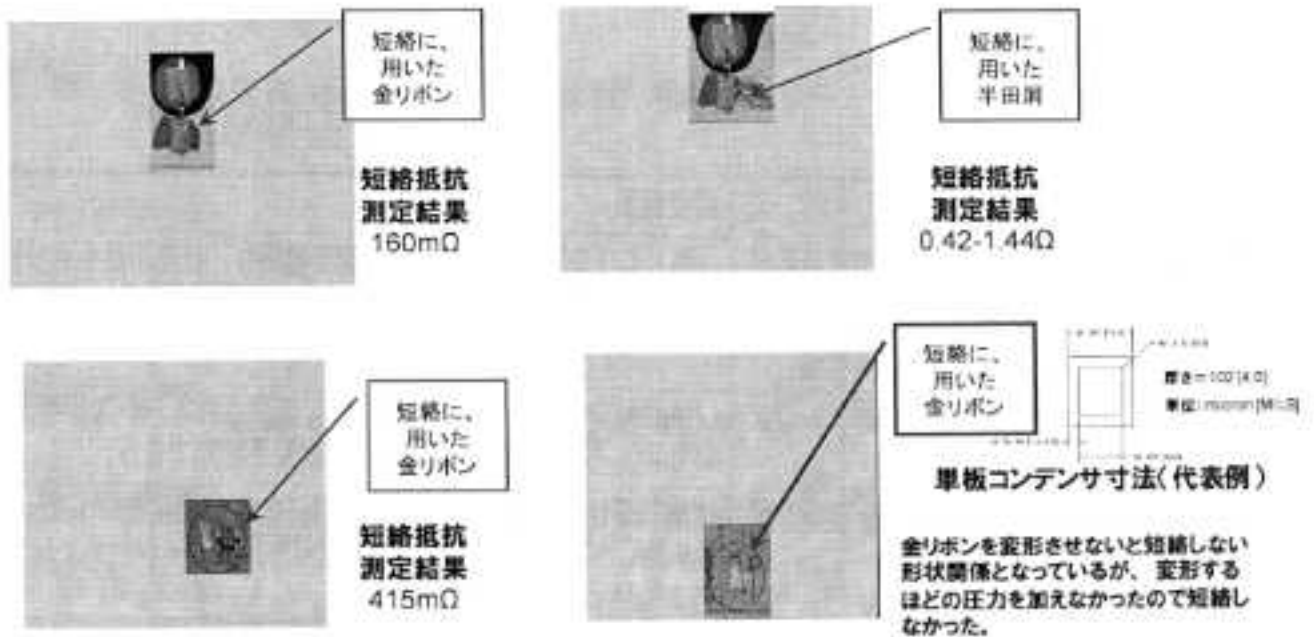
図 II-2-9 ダイオード断面図

表 II-2-3 LNA入力部の貫通コンデンサ調査結果

	故障事例	調査結果
1	貫通コンデンサの部品不良	LNAとして240時間のバーンインを実施し、初期不良を取り除いている。不良が発生しても試験で異常を検知できる。
2	LNAへの取り付け時のストレス印加による劣化	
3	装置組み込み時のストレス印加による劣化	LNA取付時のはんだ付けは短時間で実施されストレスは与えていない。不良が発生しても試験で異常を検知できる。
4	試験時の過電圧、過電流印加による劣化	使用しているコンデンサは、耐電圧50V、許容電流5Aに対して、6.3V、100mA以下で使用しており十分なディレーティングをとっている。



図Ⅱ-2-10 LNA内部(EM品) (1/2)



(注) 膜回路基板のノウハウを保護する目的から関係部分のみの掲載

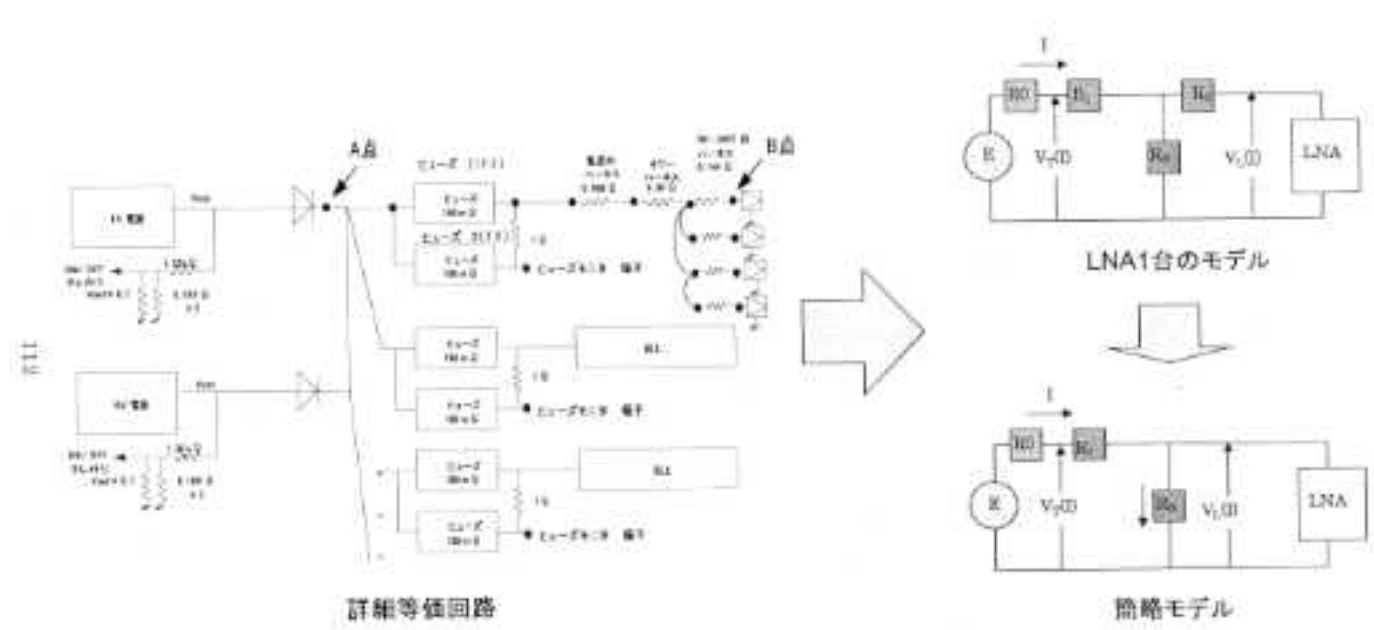
図Ⅱ-2-10 LNA内部(EM品) (2/2)



表Ⅱ-2-4 Sバンドアップリンク試験結果

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
実施時期	2007年 3月12日	4月3日	4月18日	4月21日	5月1日	5月2日	5月11日	7月14日	8月4日	8月30日	8月16日	11月7日	2008年 4月29日
テレメトリ電圧 (V)	2.6	2.3	2.2	2.4	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3	2.7	2.7	3.4	3.1
受信が確認された LNA系統数	16	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
C/N (MAX値) (dB, 1W送信機算)	+17	-4	-5	-4	-	-	-10	-	-	-1	+3	+10	+9

111



図Ⅱ-2-11 簡略化した等価回路

111

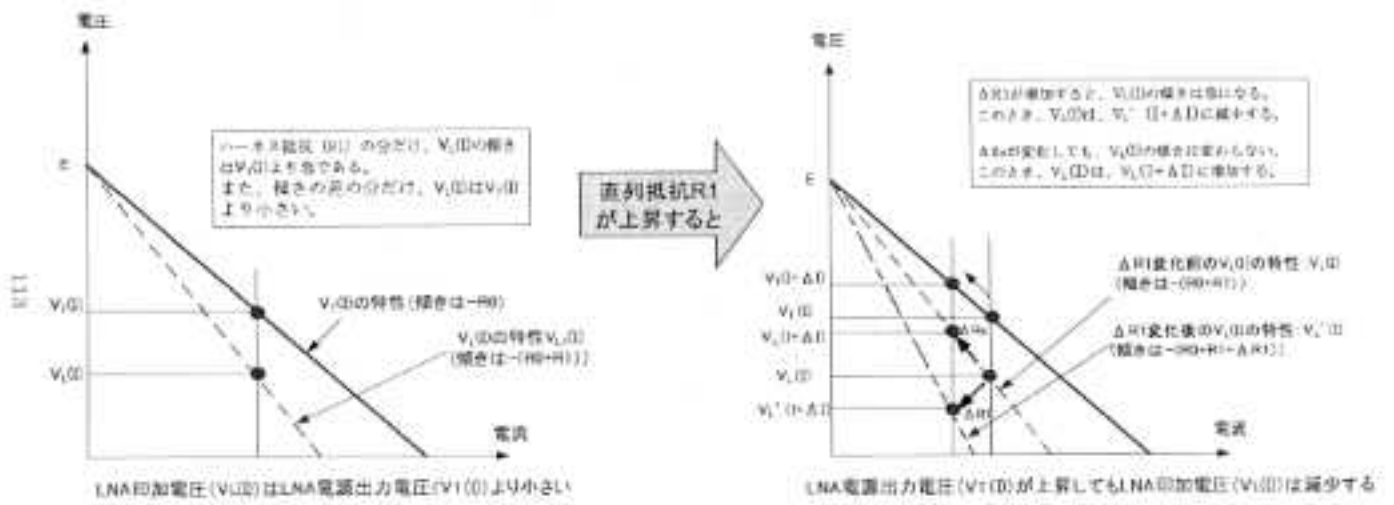


図 II-2-12 LNA電源出力電圧とLNA印加電圧の相関関係

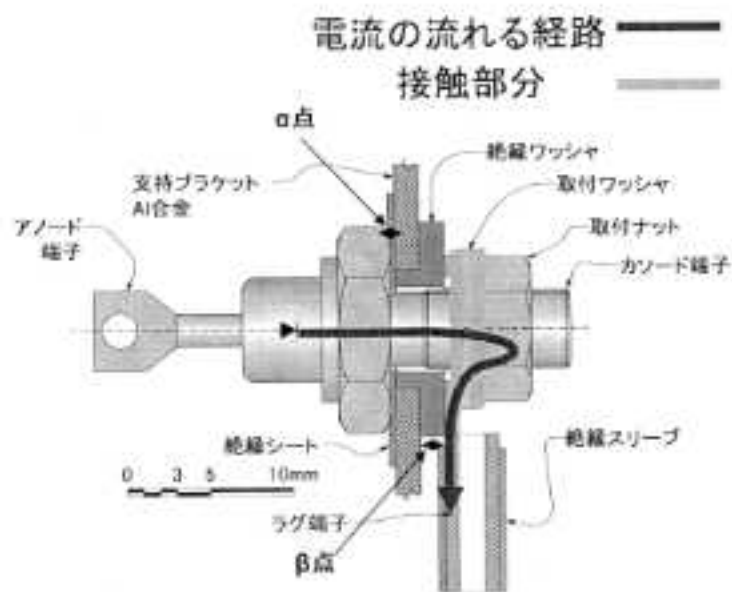


図 II-2-13 直列抵抗発生メカニズム

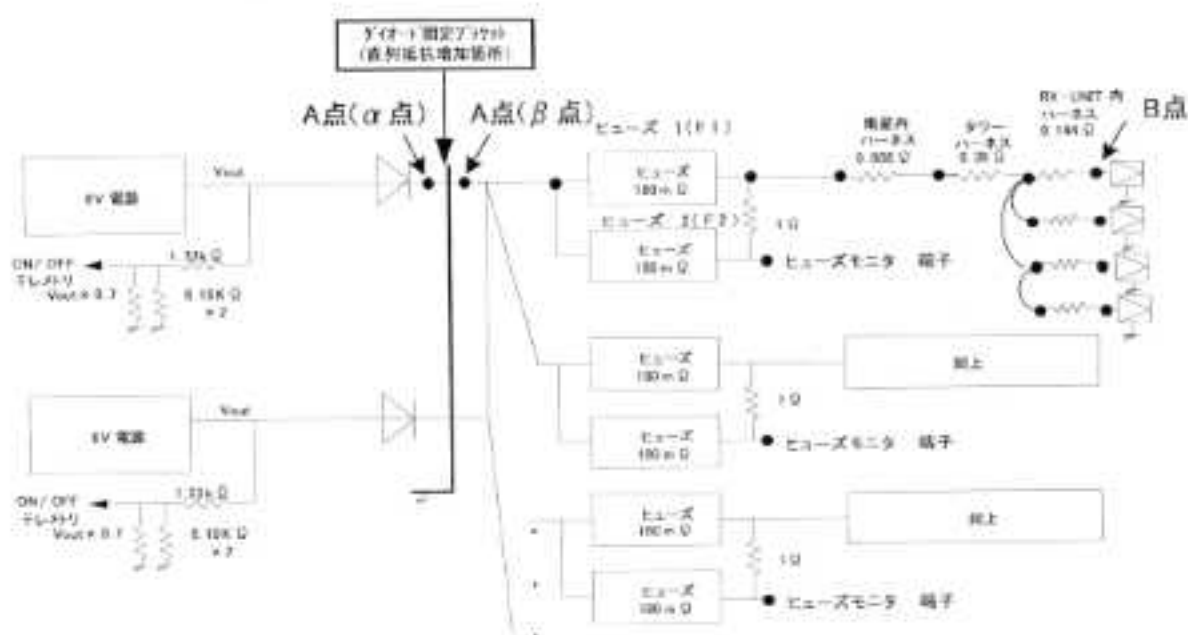
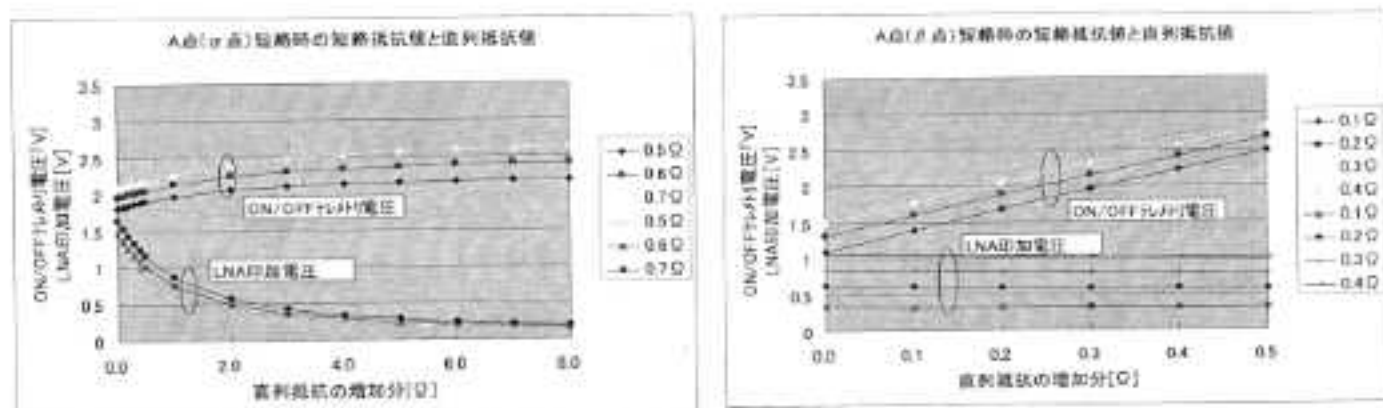


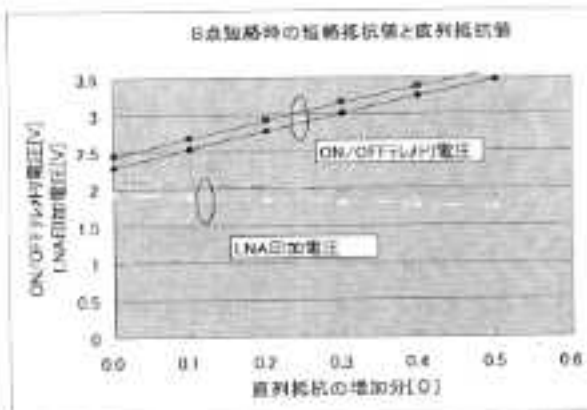
図 II - 2 - 14 解析に用いた等価回路



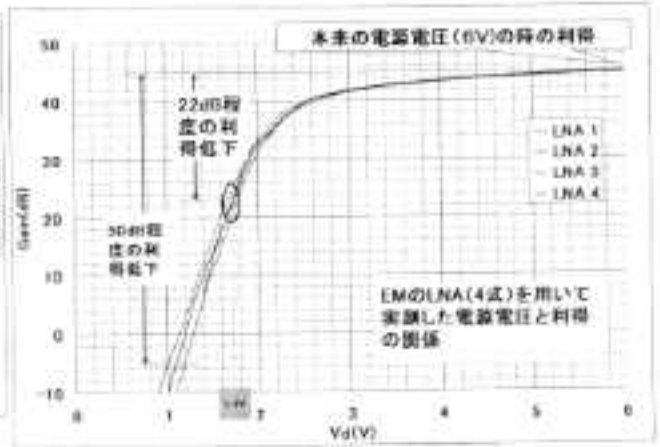
A点(α点)短絡時の短絡抵抗値と直列抵抗値

A点(β点)短絡時の短絡抵抗値と直列抵抗値

図 II - 2 - 15 解析結果(1/2)



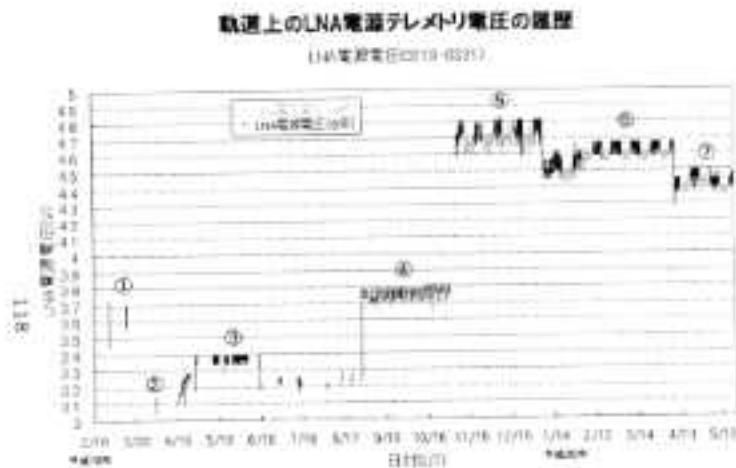
B点短絡時の短絡抵抗値と直列抵抗値



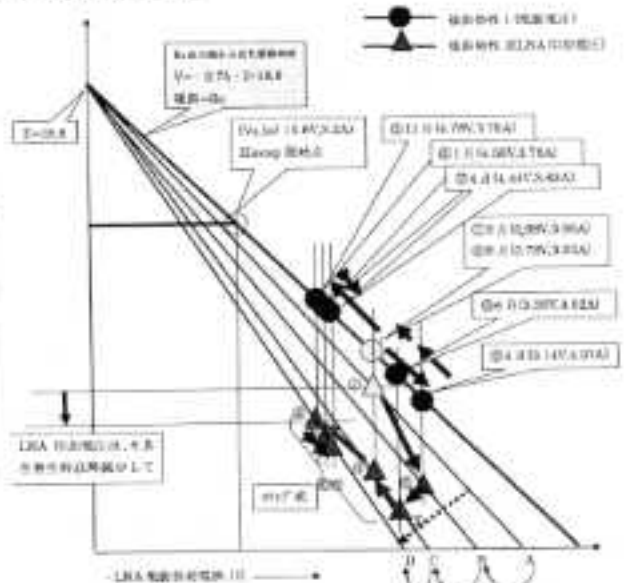
図Ⅱ-2-15 解析結果(2/2)

軌道上のLNA電源電圧とLNA印加電圧の発生状況の説明

LNA電源電圧及びLNA印加電圧



注)左側のON/OFF TLM電圧[V]は右側のLNA電源電圧の0.7倍の関係にある。



LNA印加電圧を示す直線は、AからDの直線へ傾きに変化した。つまり、時間の経過とともに、直列抵抗(共1)が等調増加した。

図Ⅱ-2-16 LNA電源電圧とLNA印加電圧の変化

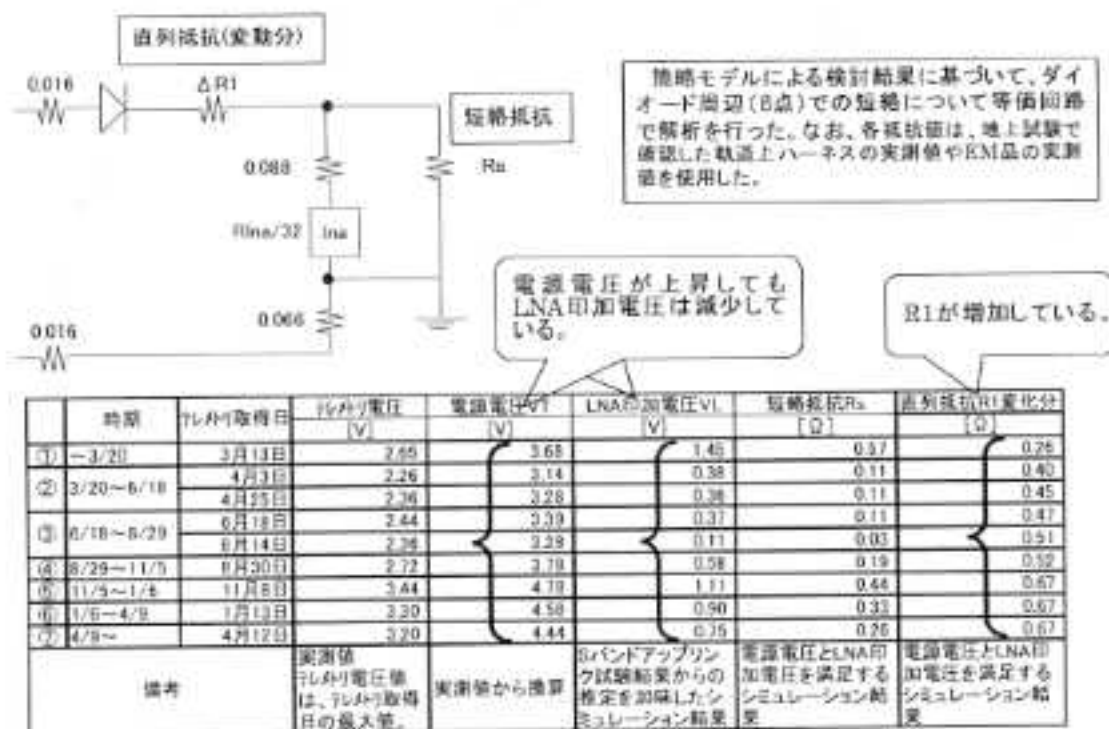
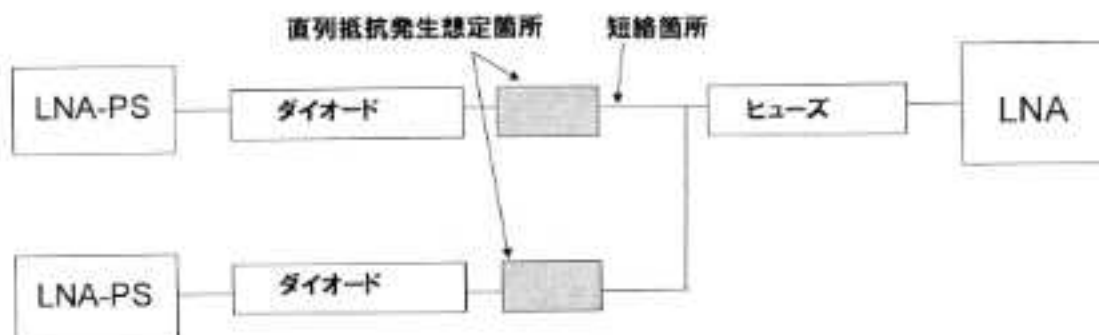


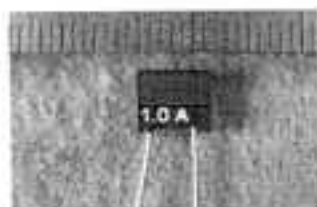
図 II - 2 - 17 シミュレーションの結果

## 異常想定部位

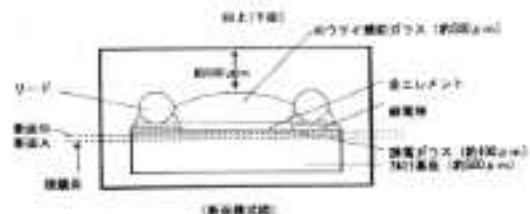
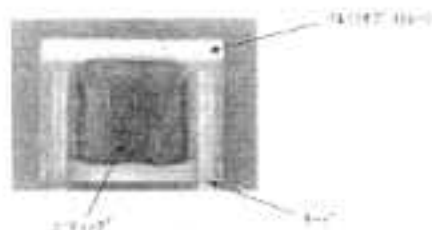


このダイオードORの接続は、ASTRO-E2、SELENE、SOLAR-B等で実績がある。

図 II - 3 - 1 想定される異常箇所



ヒューズの形状



ヒューズの構造

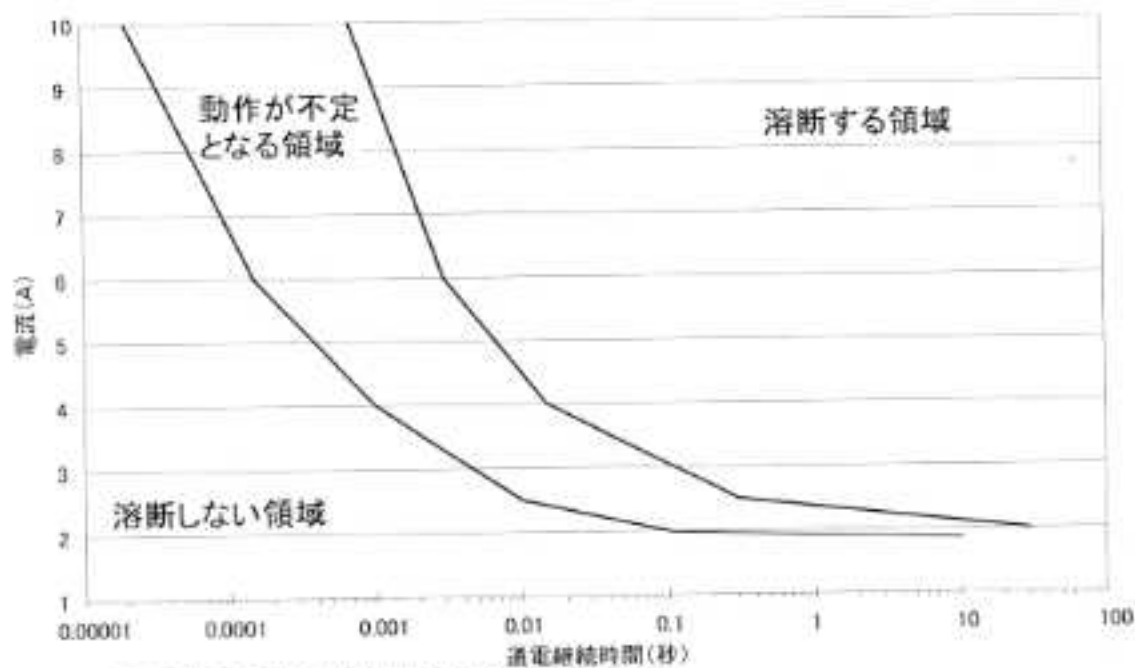
(リード線側から見た図)

- 金の厚膜パターンでモールド(厚膜全固体化タイプ)
- 過大電流により金厚膜パターンが溶融して開断部
- 定格電流は1A
- 通常時のヒューズ電流は0.25A、フェールレコーディングは45%以下

ヒューズの断面

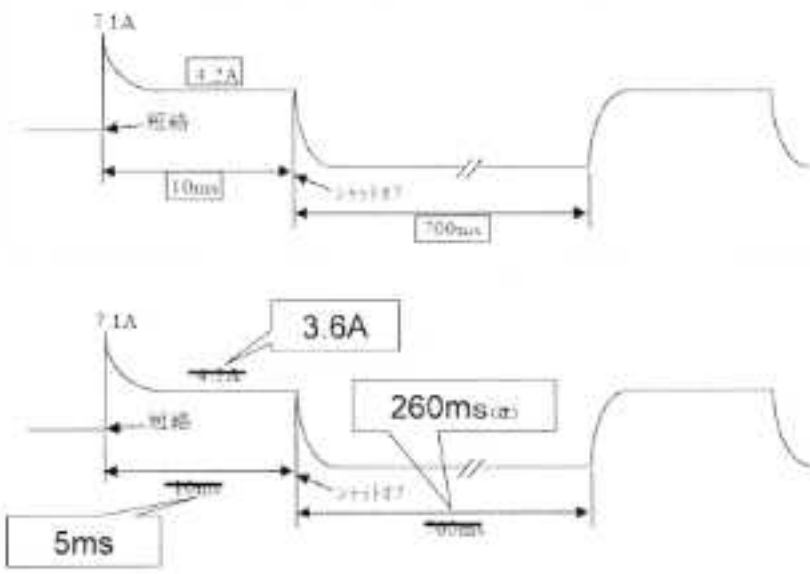
ヒューズの構造

図 II-3-2 LNA-PS内のヒューズの断面図及び構造



なお、図の中の各領域は、通電が継続する条件下での電流に対する特性。

図 II-3-3 ヒューズの溶断特性



設計時に想定されていた過電流保護機能の動作

軌道上機器のテレメトリ結果等より確認された過電流保護機能の動作

(注) 負荷状態により160msが混在する場合があります。

図 II - 3 - 4 過電流保護機能の動作について

パルス波形、ヒューズ温度環境について条件設定を行い、地上溶断実験を実施した。

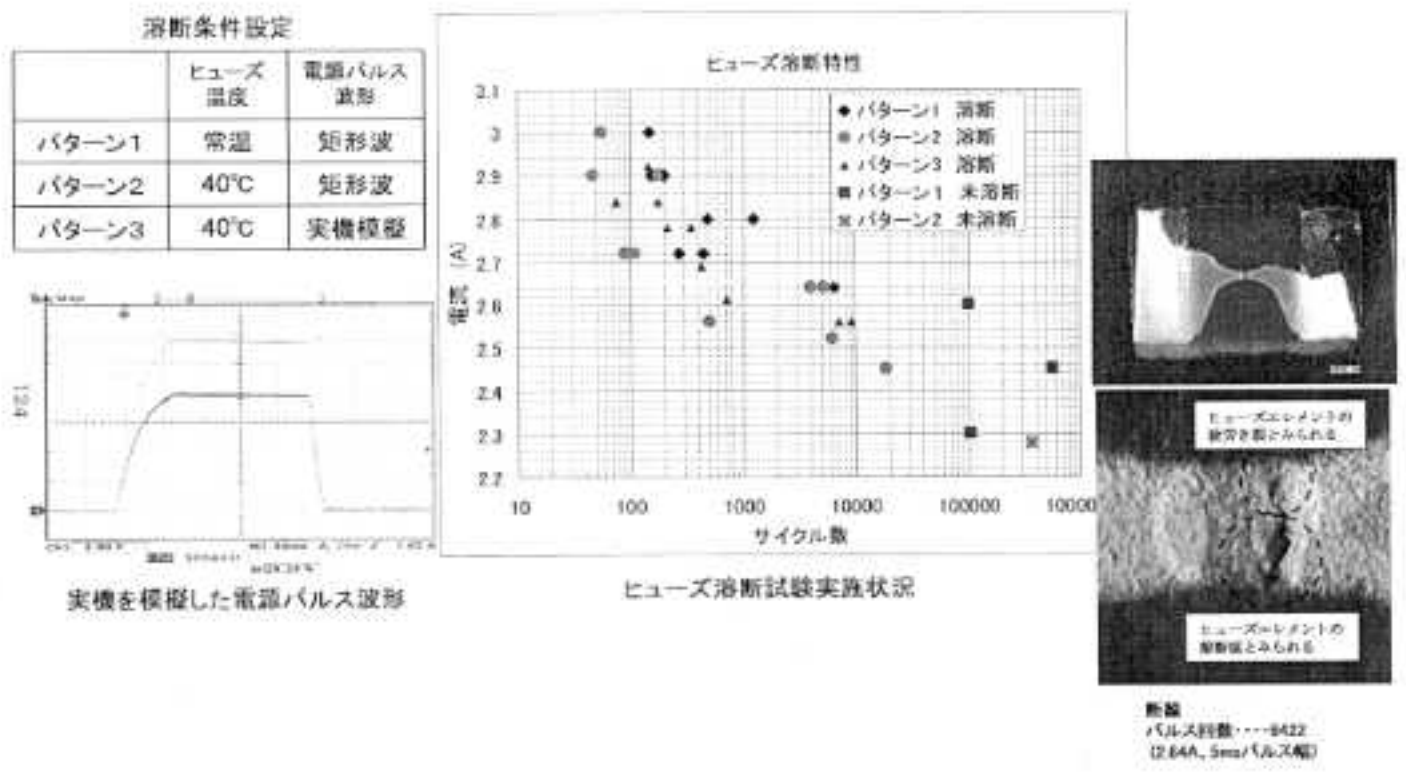


図 II - 3 - 5 パルス電流繰り返し印加時のヒューズ溶断に関わる地上での単体実験

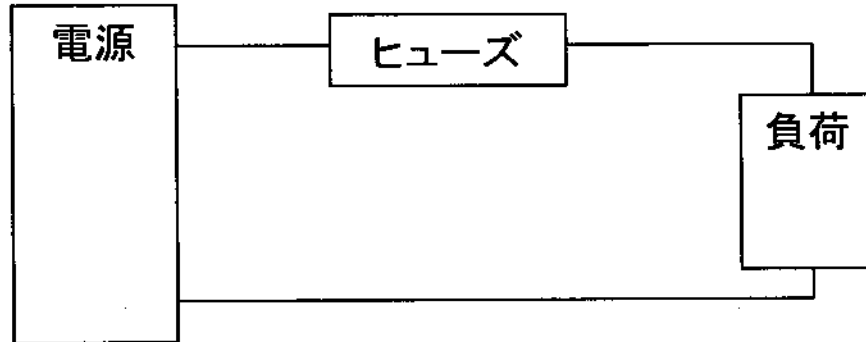


図 II - 3 - 6 ヒューズ単体試験の構成図

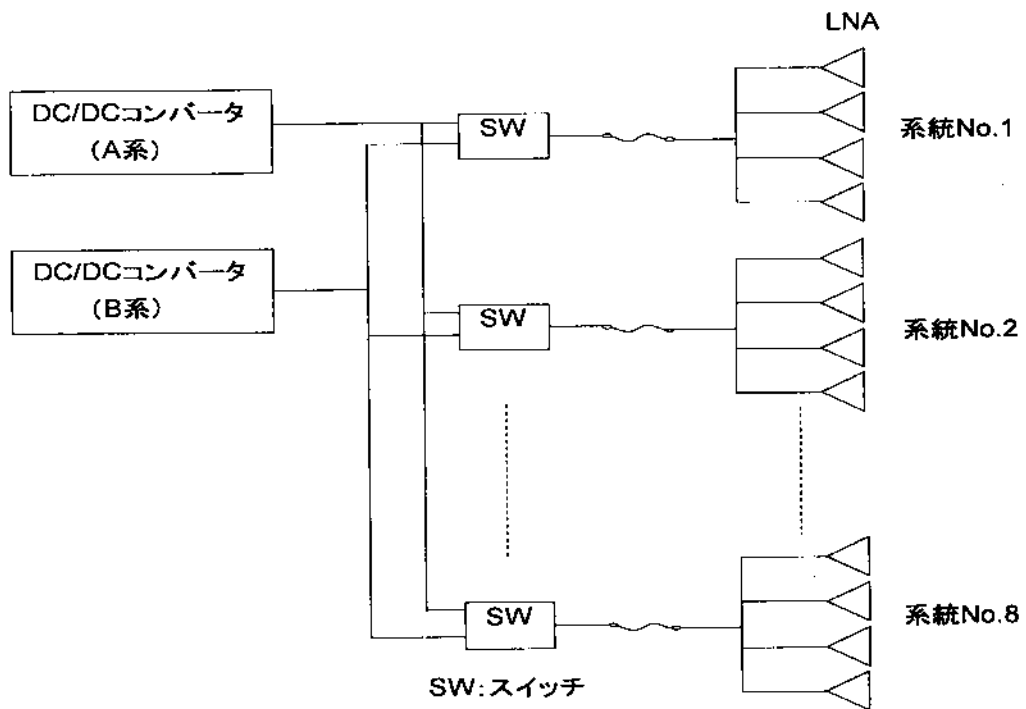


図 II - 4 - 1 スイッチを実装して異常時に分離する方式

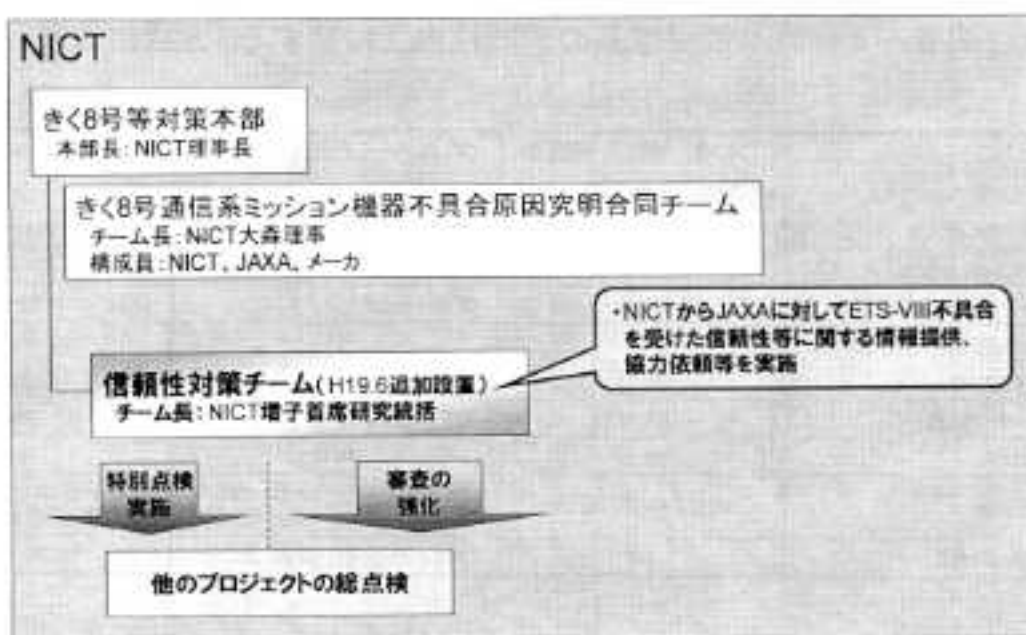


表Ⅱ-4-1 S帯受信系の信頼性向上に関する3方式の比較

	冗長構成電源	グループ毎に電源	スイッチ実装
質量増	大	中	小
取付面積増	大	中	小～中
コマンド、テレメトリ	大	小	小～中
故障分離単位	個々	グループ	スイッチ数による
短絡箇所への効果			
電源内	有り	無し	無し
ハーネス	有り	有り	有り
LNA	有り	有り	有り
その他	電源台数増大	異常切り分け後のアンテナ性能への影響	スイッチの影響を考慮する必要有り
総合評価	難	アンテナ性能劣化大	可能性あり



図Ⅲ-1-1 ステレオ顕微鏡



図Ⅲ-4-1 信頼性確保のための体制強化

【ETS-VIII端末装置の主な諸元】

・S帯携帯型送受信装置(HS(携帯)型装置)

項目	内容
寸法・重量	W58×D170×H37.5mm/ 約390g
周波数	送信: 2,450.5~2,458MHz 受信: 2,500.5~2,503MHz
編成	送受信とも独立行編成
変調方式	DPSK
取り回し方式	巻き込み方式・デジタル方式
音声符号化	DPSI-CELP (6.6kbps)
送信出力	1.12W以上
アンテナ利得	電磁方向: 45° 以内で1dB以上
伝送レート	6kbps
筐体可動回数	5回
製作	NICT



図Ⅳ-1-1 移動体通信実験に用いる端末の概要 (1/4)

-S帯低帯型送受信装置(PDA(非携帯)型装置)

項目	内容
寸法・重量	W105×D185×H45mm/約980g
周波数	送信：2,800.5～2,809MHz 受信：2,800.5～2,809MHz
編成	送受信とも左旋回編成
変調方式	FSK
振り直し方式	巻き込み符号・ビタビ符号
符号符号化	PSI-CRCP (5,0kbaud)
送信出力	1.15W以上
アンテナ利得	垂直方向±45° 室内で14dB以上
伝送レート	8kbaud
貸与可能台数	3台
製作	NICT



図IV-1-1 移動体通信実験に用いる端末の概要 (2/4)

+ ETS-帯利用実験ポータブル端末

項目	内容
寸法・重量	W285×D174×H125mm/約8.2kg
周波数	送信：2,800.5～2,809MHz 受信：2,800.5～2,809MHz
編成	送受信とも左旋回編成
変調方式	π/4-QPSK / QPSK
振り直し方式	巻き込み符号・ビタビ符号
G/T	-10.9dB/K (内蔵アンテナ使用時)
EIRP	20.6dBW (内蔵アンテナ使用時)
電圧	AC100V駆動 (オプションでカーポバッテリーからの受動あり)
伝送レート	64/128/256/512kbaud (内蔵アンテナ使用時) 768kbaud (内蔵アンテナ7.6cm口径式使用時) 1.5Mbaud (外部アンテナ1.2m口径使用時)
送信インターフェイス	140MHz×12入出力 (QRP, OPS用)、アンテナ端子 (外部アンテナ用)、LNA共有 (受信電力モニター用)、再送信機とはEthernetで接続
貸与可能台数	8台
製作	JAXA



図IV-1-1 移動体通信実験に用いる端末の概要 (3/4)

# 超小型携帯通信端末

NICT

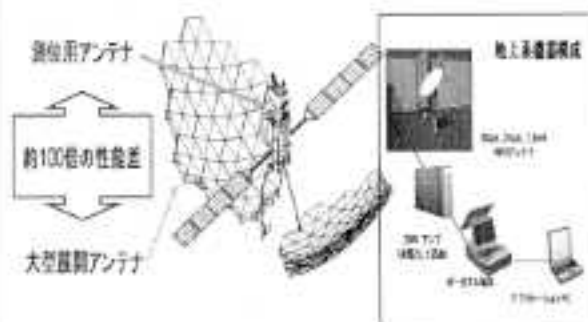


重量	約400g
サイズ	D28.5 × W78 × H216.5(mm)
台数	100台(予定)
周波数	端末送信: 2655.0~2656.8MHzで50kHz間隔 端末受信: 2502.0~2503.0MHz 基地局送信: 2657.0~2658.0MHz 基地局受信: 2500.5~2501.0MHzで50kHz間隔
変調方式	PSK
情報レート	端末送信: 50(基本), 400bps 基地局送信: 1.6kbps(制御情報、データ), 12.8kbps(データ)
誤り訂正方式	畳み込み符号化・ビタビ符号
端末EIRP	-10dBW(送信電力0.1W(想定))
端末G/T	-30dB/K
RFIDチップ	13.56MHz(短波帯)/2.45GHz(マイクロ波帯)
GPSレシーバー	市販品と同等

図IV-1-1 移動体通信実験に用いる端末の概要 (4/4)

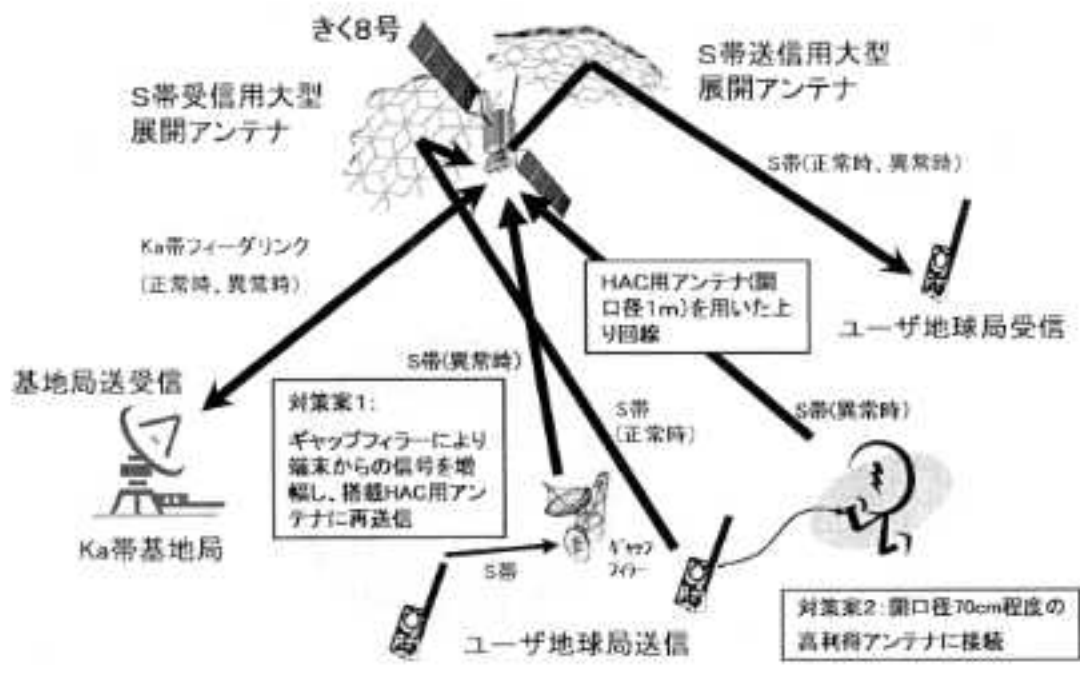
表IV-1-1 衛星実験への影響

実験担当機関	項目	従事	実験への影響
JAXA	移動体通信実験	大型展開アンテナ評価 衛星機体評価	受信系入室展開アンテナの性能評価ができない。
	遠征実験	衛星機体システム実証実験	影響なし。
	バス系実験	展開ソフトウェア、宇宙環境計測等の衛星バス軌道上評価実験	影響なし。
NICT	超小型携帯通信 端末通信実験	超小型端末を用いた通信実験	移動体端末からの送信は外付アンテナを使用し、受信する。
	移動体通信 性能評価実験	船電機、セーム形成装置(GFN)、 展開受信機等の性能評価の軌道上評価	・大型展開アンテナの受信性能の性能評価ができない。 ・送信アンテナの動作及び他の衛星機体の軌道上評価は可能
	移動体通信実験	機体端末、車載機、可搬型等を用いた移動体衛星通信実験、制御通信実験	・移動体端末からの送信は外付アンテナを使用し、受信する。 ・同機通信実験には影響なし。
NICT	性能比較実験	性能比較装置の評価実験	影響なし。
	NIT	RFN軌道上評価実験	RFNの評価
NIT	軌道実験	小型携帯端末を用いた通信実験	移動体端末からの送信は外付アンテナを使用し、受信する。



受信系設備への対策として、衛星側は測位用アンテナで代替し、地上側ではアップリンク回線(衛星受信)を成立させるために、機体端末などの送信機を受信・増幅して衛星へ再送信する地上中継装置を準備した。また、外付アンテナの搭載、30Wアンパによる送信電力の向上を実施。

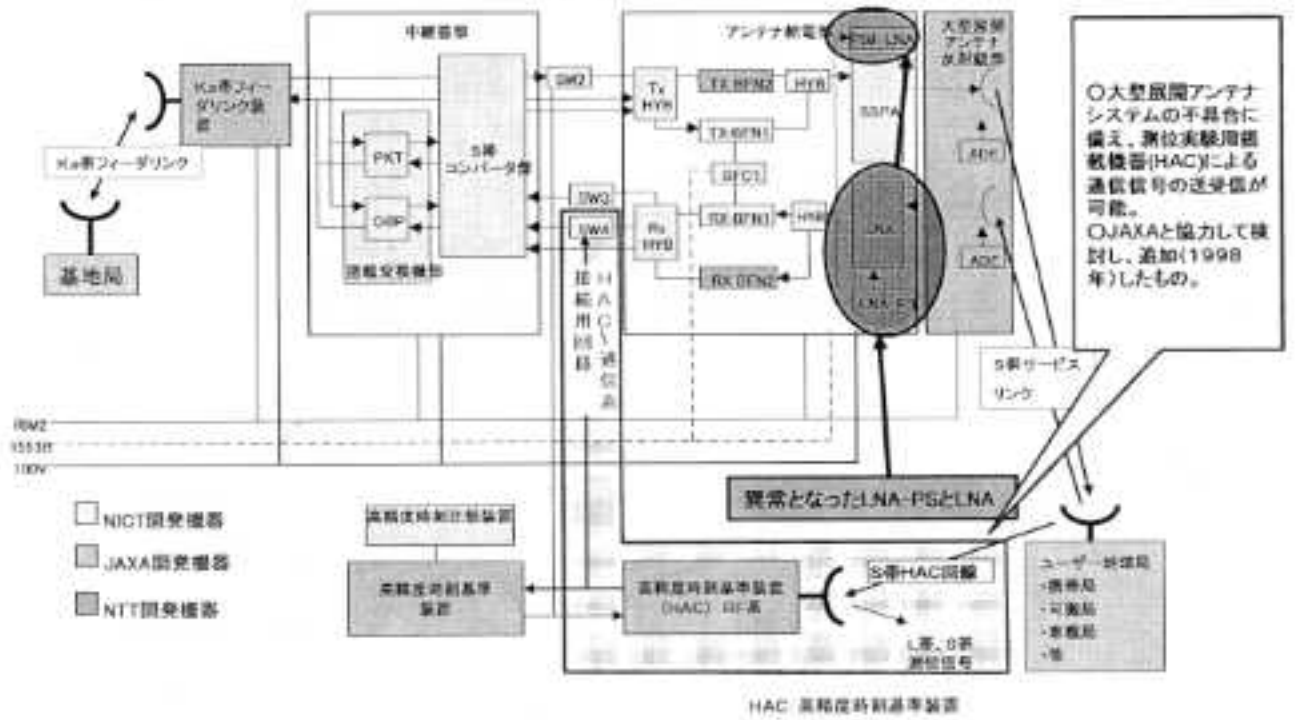
NICT



大型展開アンテナ及び高精度時刻基準装置(HAC)受信系を用いた衛星通信実験回線構成

図IV-1-2 ギャップフィルタ等による実験の概要 (1/2)

測位実験用システム機器を利用したバックアップについて



図IV-1-2 ギャップフィルタ等による実験の概要 (2/2)

VI. 用語・略語集

用語	意味
アクティブフェーズドアレイアンテナ	増幅等の能動的な機能を有するアンテナ素子を多数配列し、それぞれの位相を制御することにより指向性を合成することで、任意の指向性や利得が得られるアンテナ。
ウイスカ	電気メッキを施した場合に、メッキ処理後長時間経過すると電気メッキした部材の中に残っている応力(残留応力)により金属の分子が押し出され、ひげ状に押し出され成長していく現象
ギャップファイラー	地上設置中継装置
サービスリンク	→フィーダリンク参照
冗長系、冗長構成	システムの信頼性を高めるために、同一機能の複数の系統(予備装置)を設けること。
スラスタ	衛星の姿勢や軌道のずれを修正するために搭載されている推進器
低雑音増幅器(LNA)	受信機初段に挿入される雑音指数の小さな増幅器。きく8号の場合は、4つ1組で8組の計32個があり、動作電圧は6.1Vである。
ディレーティング	素子の故障率を少なくする目的で、素子の定格よりも十分低いストレスで意図的に使用すること。
デュエルモード	きく8号の場合、テレメトリで詳細にモニター可能なモード(8ミリ秒(通常2秒)ごとに測定可能等)
テレメトリ	衛星の状態をモニターする信号のデータ伝送。
ハーネス	(衛星の中の)配線部分
バーンイン	電氣的なストレスを印加してスクリーニングすること。
フィーダリンク	特定の固定する地球局と人工衛星局間の通信回線。これに対して、移動衛星業務の場合、移動端末と人工衛星局間の通信回線をサービスリンクという。
BFN(Beam Forming Network)	ビーム形成部
DC/DCコンバータ	直流電源を別の電圧の直流に変換する装置。きく8号の場合は、バスの100VをLNA電源用6V及びヒータ用28Vに変換している。
EM(Engineering Model)	エンジニアリングモデル
FED-STD(Federal Standard)	米連邦規格
FET(Field effect transistor)	電解効果トランジスタ

FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)	故障モード影響解析
FTA(Fault Tree Analysis)	故障の木解析
HAC(High Accuracy Clock)	高精度時刻基準装置
K <sub>a</sub> 帯	30/20GHz帯。きく8号の場合は、フィーダリンクに用いられている。
LDAF(Large Deployable Antenna Feed)	大型展開アンテナ給電部
LNA(Low Noise Amplifier)	→「低雑音増幅器」参照
LNA-PS(Low Noise Amplifier - Power Supply)	低雑音増幅器用電源装置
L帯	1.5GHz帯。きく8号の場合は、測位信号に用いられている。
MIL-STD(Military Standard)	米軍用規格
PFM(Proto Flight Model)	プロトフライトモデル
PFT(Proto Flight Test)	プロトフライト試験
PIM(Passive Inter-Modulation)	受動相互変調歪
RIM(Remote Interface Module)	コマンドの配信、テレメトリの収集を行うモジュール
RPNL(feed system radiation panel)	給電部放熱パネル
RX-UNIT	受信給電ユニット
SSPA(Solid State Power Amplifier)	固体増幅器
S帯	2.6/2.5GHz帯。きく8号の場合は、サービスリンク(小型端末向け通信回線)及び測位信号に用いられている。
TTC(Telemetry tracking and Command(Control))	人工衛星の状況のモニター、追跡管制及び制御指令
TX-UNIT	送信給電ユニット

(参考)

きく8号受信系異常に関するWG 構成員

主査 森永 規彦 広島国際大学 学長

主査代理 根元 義章 東北大学 理事 教授

國井 秀子 リコーソフトウェア(株) 取締役会長

原島 博 東京大学大学院 情報学環 教授

東倉 洋一 国立情報学研究所 副所長 教授

花澤 隆 日本電信電話(株) 取締役 研究企画部門長