

技術試験衛星Ⅶ型（ETS-Ⅶ）の運用状況について

宇宙開発事業団

1. 報告事項

技術試験衛星Ⅶ型（ETS-Ⅶ）のこれまでの運用状況と、この間に発生した異常事象等に関する原因及び処置対策について報告する。

2. これまでの運用状況

（１）ETS-Ⅶの打上げから平成１０年２月９日までの主要な運用イベントは次のとおりである。

平成９年１１月２８日 打上げ及び３軸姿勢捕捉及び確立、

太陽電池パドルの展開と太陽捕捉・追尾開始

同 ３０日 第１回軌道変換テストマヌーバ

１２月１３日 第２回軌道変換テストマヌーバ

同 １５日 第１回軌道変換

同 １６日 第２回軌道変換

同 １９日 第３回軌道変換

同 ２０日 アンテナ展開、ロボットアーム保持機構の解放

同 ２４日 ロールバイアス運用（平成１０年１月１０日まで）

平成１０年１月 ７日 初期機能確認試験開始

２月１１日までの実施項目：

- ・通信／データ処理系（チェイサ／ターゲットＵＳＢ系）
- ・通信／データ処理系（チェイサ／ターゲットＳＳＡオムニ系）
- ・通信／データ処理系（チェイサ／ターゲットＳＳＡハイゲイン系）
- ・姿勢制御系（チェイサ／ターゲット）
- ・熱制御系（チェイサ／ターゲット）
- ・推進系（チェイサ／ターゲット）
- ・視覚系（チェイサ）

１月２６日 NASA／TDRSとのＳＳＡオムニ回線設定（ターゲット）

１月２８日 NASA／TDRSとのＳＳＡオムニ回線設定（チェイサ）

及びチェイサ／ターゲット間通信回線設定

２月 ２日 NASA／TDRSとのＳＳＡハイゲイン回線設定（チェイサ）

（２）初期機能確認の結果

①通信・データ処理系

チェイサ／ターゲットともにテレメトリ・コマンド機能、送・受信機能、測距機能などが正常であることを確認した。特に、通信系については、地上局との回線であるＵＳＢ系もデータ中継衛星回線であるＳＳＡ系のオムニ回線及びハイゲイン回線も、地上局あるいはNASAのTDRSシステムと問題なく適合していることが実証された。

ただし、ハイゲイン回線において送信出力が低下する現象が発生している。

また、NASAにとっては初めてであるパケット通信方式によるデータ伝送も、TDRSによるSSA回線により正常に行われていることが確認された。

②姿勢制御系

平成9年11月30日の姿勢異常時及びその後も数回FDIRが動作しているが、チェイサ／ターゲットの姿勢制御系各機器の機能動作及びハイゲインアンテナの駆動制御機能が正常であることを確認した。

③熱制御系

衛星各部のヒータ機能が正常であることを確認した。

④推進系

チェイサ推進系の遮断弁開閉機能及びターゲット推進系のスラスト動作が正常であることを確認した。

但し、ターゲットの機能確認時に衛星の姿勢変動及び通信回線の断が、また機能確認終了後に低圧側配管内の圧力が低下する現象が見られている。

⑤視覚系

ロボット実験運用及びランデブ・ドッキング実験運用で使用する4種のカメラが正常に動作することを確認した。

(3) 姿勢異常等に関連するその後の状況

平成9年11月30日の姿勢異常に関連する対策の一環として、平成10年1月21日に慣性基準センサ(IRU)出力に時々発生するスパイク状のノイズをリジェクトする機能を搭載ソフトウェアの書き換えにより付加した。これにより設定値(0.04度/秒;ホイール制御時)以上のノイズはリジェクトされ、図1の例に示すように、この機能が正常に動作していることが確認された。

3. 異常事象とその原因及び処置対策

前回の運用状況報告(平成10年1月28日)以降の運用で発生した異常事象について以下に記す。

(1) ハイゲイン系リターン回線出力の低下

[現象]

平成10年2月2日にNASAのTDRSを使用してチェイサ衛星のSSAハイゲイン回線を初めて設定した。回線はつながって衛星のテレメトリデータが正常に取得されたものの、衛星からのリターン回線の送信出力テレメトリ値は地上試験時の値と比べて約10dB程度低い値を示した。但し、送信系オン後正常な値を示す場合もある。

また、このリターン回線についてはNASAのTDRS側で地上での受信データを基に回線品質である信号対雑音電力比（C/N₀）を求め、筑波宇宙センターに伝送してきているが、送信出力テレメトリ値の変化に応じたデータを示している。但し、その変化幅は送信出力の変化幅の約10dBに対して約7dBと食い違いがある。図2に代表的なデータを示す。

〔原因〕

NASAからのC/N₀データも連動して変化していることから、送信出力自体が変化しているものと推定される。

また、同じハイゲイン回線のうち衛星への地上からのコマンド信号を伝送するフォワード回線については、衛星の受信レベルテレメトリが安定しており、実際にコマンドも問題なく受信されている。

さらに、ハイゲインパワーアンプはA系及びB系の2系統から構成されているが、A系からB系に切り替えても現象には大きな差異が見られていない。

以上のことから、異常発生箇所としては図3に示すように、パワーアンプを切り替えているスイッチと、送受信を分けているダイプレクサまでの間と考えられる。具体的には、スイッチ、バンドリジェクションフィルタ、ダイプレクサの3つである。

また、送信系オン後しばらくは正常値を示したのちに急に低下するという現象から、原因としては温度変化により接続部等の接触状態が変化してこのような挙動を示しているものと推定しているが、詳細は検討中である。

なお、送信電力テレメトリの変化幅とNASAからのC/N₀の変化幅の食い違いについては調査中である。

〔処置対策〕

現在、送信出力レベルが低下している場合においても、上記のようにテレメトリデータは正常に取得されている。従って、当面の衛星運用においては特に支障はないものと考えられるが、今後画像データを含む実験データを取得するランデブ・ドッキング実験及びロボット実験運用に対する影響の有無、特にCOMETSを使用する場合でも問題がないかどうかについては、十分な調査検討が必要である。

クイックな検討では、送信出力が低下した状態でもNASAからのC/N₀データから判断すると実験運用に支障はない。従って、このC/N₀データの精度及び信頼度についてNASA側に情報を求めて確認するとともに、今後の機能確認の中で取得する画像データ等から詳細に回線状態を評価することとする。

（2）ターゲット衛星推進系の機能確認時のヨー軸姿勢変動

〔現象〕

平成10年2月5日にターゲット衛星推進系の機能確認を行った際に、ヨー軸回りに衛星姿勢が変動し始めた。このため姿勢制御モードを捕捉モードに移行させ、姿勢は正常に回復したことが確認された。なお、結果的に姿勢は最大約29度まで変動した。

〔原因〕

ターゲット衛星の推進系はランデブ・ドッキング実験における単独飛行時に動作させるように設計されている。このため、チェイサ衛星と結合時に1Nスラスト動作させた場合には、特にヨー軸回りに大きな外乱トルクを発生させることになる。

今回、ターゲット衛星推進系の機能確認としてチェイサと結合状態でスラスト動作を確認することとしたが、この場合の衛星の挙動についてC/T結合時という特別な状況でのヨー軸回りの事前検討が不十分であったため、発生した外乱トルクが定常制御モードであるホイール制御の能力を超えてしまい姿勢が大きく変動した。

なお、スラスト動作による姿勢変動の評価を行うために、姿勢FDIRを非動作状態にして姿勢誤差では働かないようにするとともに、万一のためのバックアップとして姿勢捕捉モード移行のコマンドを準備していた。

[処置対策]

上記の衛星動作はいずれも正常に動作したもので、衛星ハードウェア及びソフトウェアの異常ではない。従って、衛星自身に対する処置対策は特に必要ではないが、運用上特別な状態での事前の解析や手順の検討など衛星の運用への反映が必要である。

具体的には、今後の運用計画あるいは運用手順の作成において、シミュレーション解析を含む衛星の挙動解析を可能な限り行って十分検証された手順とするとともに、事前の運用手順・体制のレビュー、ドライランの充実、さらに異常発生時の手順等についても再度チェックを行い万全を期すこととする。

(3) 姿勢制御モード切替時の通信回線断

[現象]

上記のターゲット衛星推進系の機能確認を行った際に、最初のパスにおいて姿勢捕捉モードに移行させたときの数分間、また3パス目においても姿勢制御モードの変更時に通信回線の断が発生し、続く4パス目においても通信は断となったままであった。

[原因]

最初のパスにおける通信回線の断については、ヨー軸姿勢変動が発生した時も正常にハイゲインアンテナの追尾駆動制御が行われていたが、定常制御モードから捕捉モードに移行させたため、アンテナ駆動系は衛星姿勢の変動を考慮しなくなって追尾が外れ通信回線が断となった。但し、その後姿勢誤差の収束とともに回線は回復した。これらは前記のヨー軸姿勢変動の発生以外は予測どおりの挙動であった。

3パス目の回線断については、1パス目で切り替えた捕捉モードから定常制御モードに復帰させるために、まず捕捉モードに切り替える際に従系に切り替えたセンサ系等を元に戻す必要があり、この場合手順上一時的に姿勢制御停止状態にする必要があった。この作業に予測以上の時間を要し、この間アンテナ駆動制御も停止状態となっているため、捕捉モードに戻した際にTDRSの追尾を外し回線断となったものである。

この姿勢制御停止モードにおける通信回線断に関しては、あらかじめその対策として

- ①捕捉モードで姿勢を再捕捉した後定常モードとする。
- ②アンテナ制御FDIRにより2分間以上フォワードリンクが断となった場合には自動的にオムニモードに切り替わる。
- ③姿勢制御停止モードでは、地球捕捉モードに移行させられなくても3分後にはソフトウェアにより自動的に地球捕捉モードに移行するようになっている。
- ④もしオムニアンテナ切替がうまくいかなくてもUSBモードへ移行するように、あらか

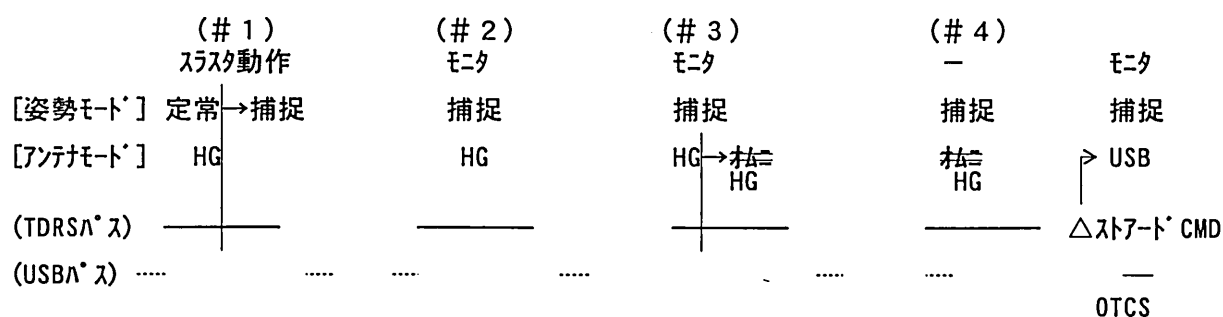
じめストアードコマンドを送信しておく。

などの手順を講じており、実際に通信回線が断となる前に①の姿勢捕捉モードへの移行コマンドを送信した。しかしながら、①または③により捕捉モードに戻ったものの、アンテナが追尾を停止していた時間が長かったために、パス中に回線が復帰するには至らなかった。

また、通信モードについても、実際にはフォワードリンクの回線マージンがリターン回線に比べて余裕があったため、②の切替は行われずハイゲインモードのまま維持されてしまった。

一方、リターンリンクが断となったことで②の切替が行われたと判断してしまい、4パス目では地上のモード設定をオムニモードにして待ち受けていたため、やはり通信が回復できなかった。なお、④の切替は正常に行われてその後の地上局によるパスで通信が再開された。

以上を図示すると以下のとおりである。



[処置対策]

今回の通信回線断の反映として、今後の運用においては以下の対策をとることとする。

- ・ハイゲイン回線が運用の主回線、そのバックアップとしてオムニ回線、さらにそのバックアップとしてUSB回線という位置づけはこれまで通り。
- ・ただし、姿勢制御モードの変更を行う場合などにおいては衛星の安全性、確実性を最優先してオムニモードまたはUSBモードで行うこととする。

(4) ターゲット衛星低圧側配管内圧力の低下

[現象]

上記のように2月5日にターゲット衛星のスラスタを動作させ機能確認を行った後、高圧遮断弁及び遮断弁を”閉”とした。しかし、翌2月6日のターゲット衛星の運用において、タンク圧力及び低圧側B系の配管内圧力は変化していないのに、低圧側A系の配管内圧力は低下していることが判明した。(図4を参照。)

[原因]

高圧遮断弁及び低圧側A系とB系を繋いでいる遮断弁を閉じた状態でA系のみに圧力低下が見られることから、高圧遮断弁及び遮断弁にはリークがないものと言える。従って、低圧側A系の安全弁またはスラスタ弁からのリークが最も可能性として考えられる他、低圧側配管溶接部からのリークも要因としては挙げられる。

特に、2月5日に最初に高圧遮断弁を開いたときに安全弁からと思われるガスのリークによ

る姿勢変動が観測されており、これとの関係を含めて現在調査検討中である。

[処置対策]

まず、ターゲット衛星推進系のチェックアウトが完了していないため、調査結果を含め今後計画の見直しを行う。

次に、高圧遮断弁及び遮断弁はともに正常な”閉”状態となっており、これらの部分からのリークはない。従ってリークによる推進の損失は低圧側A系配管内だけの約20g程度と見込まれる。

また、ランデブ・ドッキング実験中に今回と同じ変化率でリークが発生したとしても、6回の実験全て合計しても約120g程度であり、推進のマージン約1kgに比べて十分少ない量であり、かつそのリークがスラスト推力性能に与える影響はないので、A系によるミッション遂行について支障はない。

また、万一の場合にはB系での運用に切り替えることが可能である。但し、この場合にはスラストは片系（B系）のみの運用となる。

4. 今後の予定

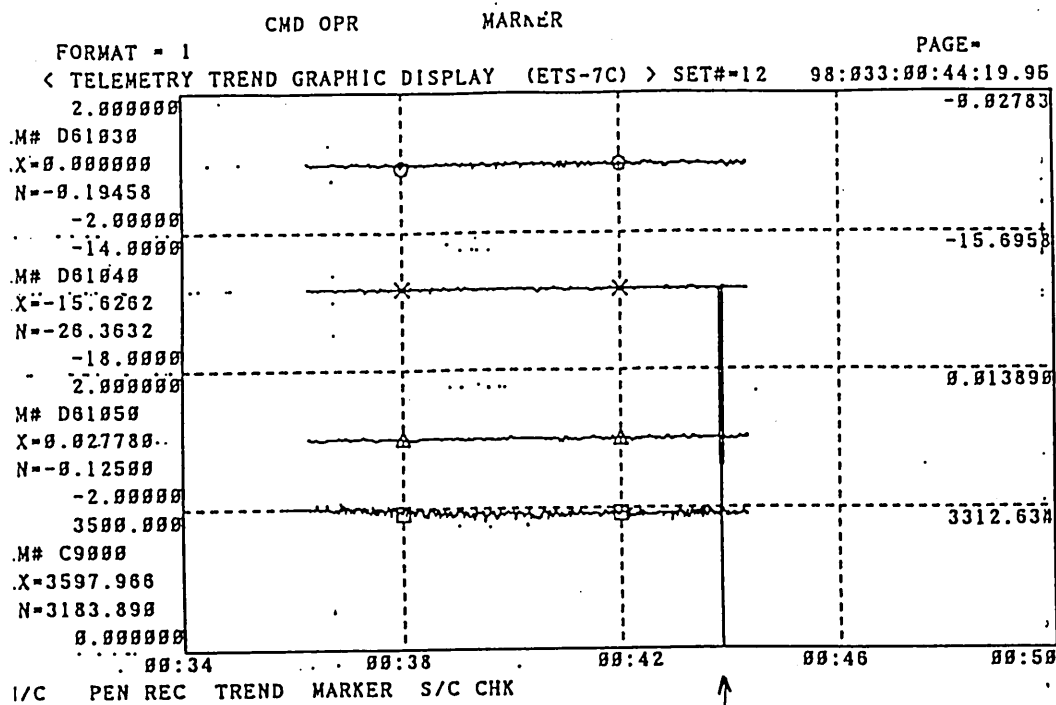
現在初期機能確認を実施中であるが、2月14日から2月末まで再び太陽方向と軌道面がなす角が大きくなるため、衛星の姿勢を軌道面に対して約20度傾けるロールバイアス運用を行うとともにUSB回線を主体とした運用を行う。そして3月はじめには初期機能確認を再開し3月末までには完了し、以降ミッションチェックへと移行する計画である。

5. まとめ

ETS-VIIは11月30日の姿勢異常発生以降、万一に備え全パスについて衛星のモニタ運用を行っている。また、姿勢異常に関する原因究明と処置対策についてはすでに報告しているスケジュールに沿って作業を進めている。さらにこれらと並行して、当初からの計画である初期機能確認を実施中である。

今回の報告では新たに4件の異常事象が発生しているが、これらを含めて表1に打上げ以降これまでに発生した異常現象についてそれらの原因と対策をまとめている。

幸いにこれまで発生した異常現象はミッション遂行に致命的なものはない。今後十分に原因究明と対策処置を検討し、異常の再発防止とミッション成功に向けて着実かつ万全を期して作業を進めていく。

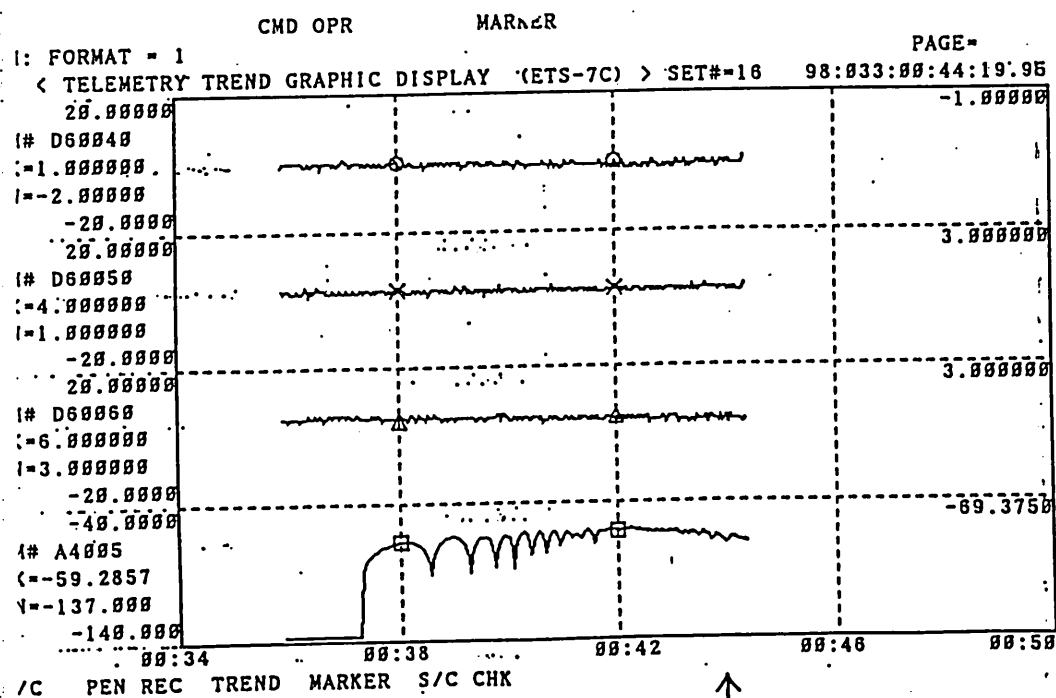


IRU出力

ロール

ピッチ

ヨー



ホイール駆動信号

ロール

ピッチ

ヨー

図1 IRUスパイクノイズのリジェクト

2月3日第2パス

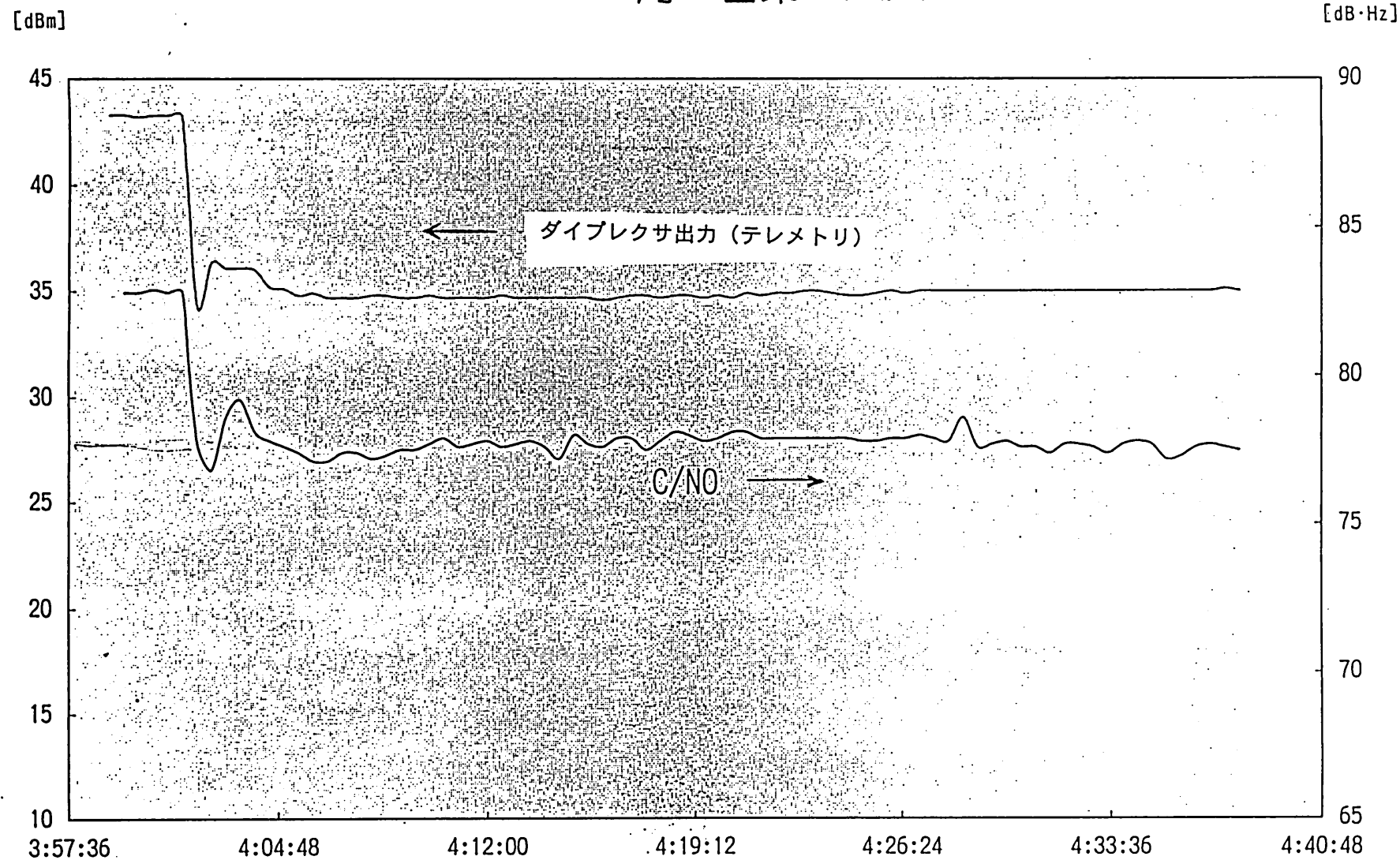


図2 ハイゲイン系リターン回線送信出力の低下

ハイゲインアンテナ

故障の可能性が高い部分

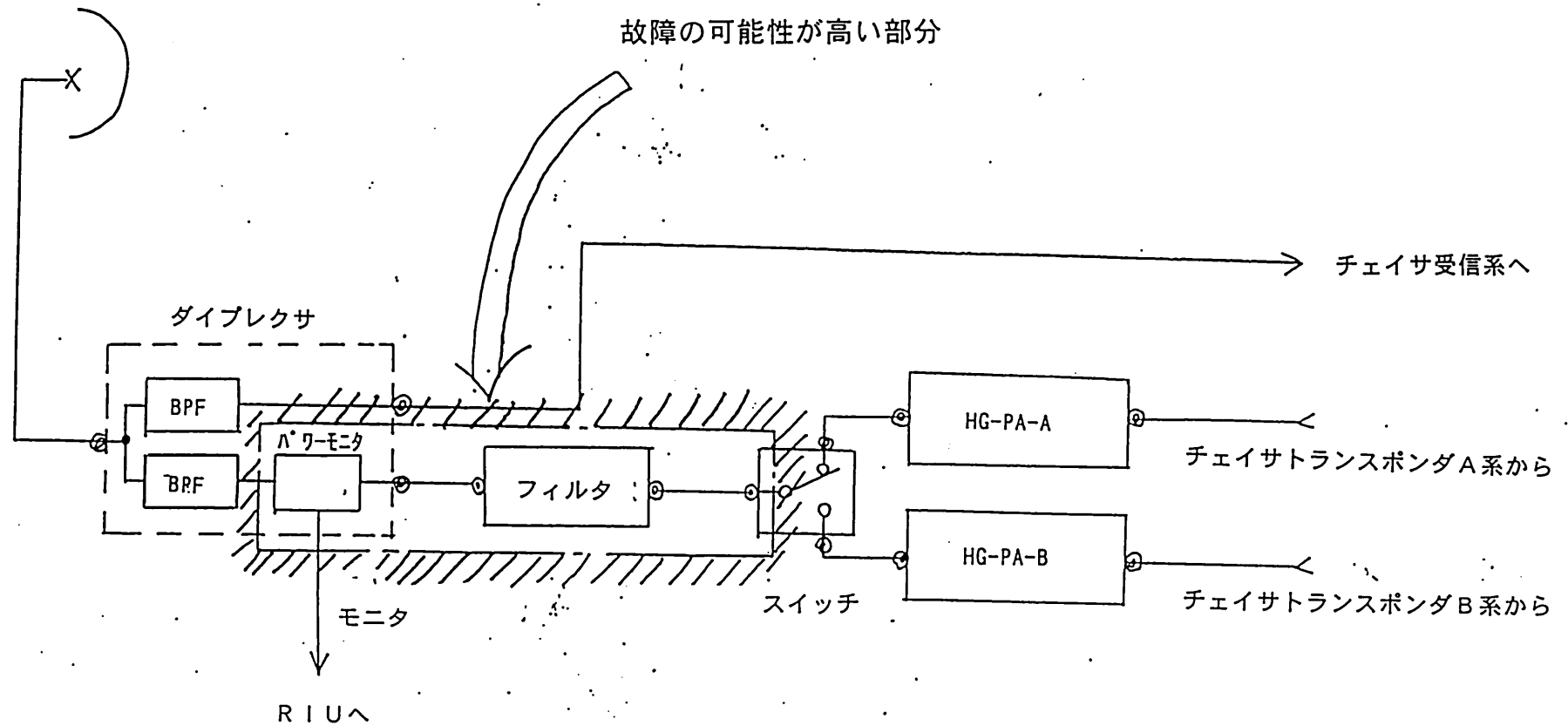


図3 異常発生箇所の推定

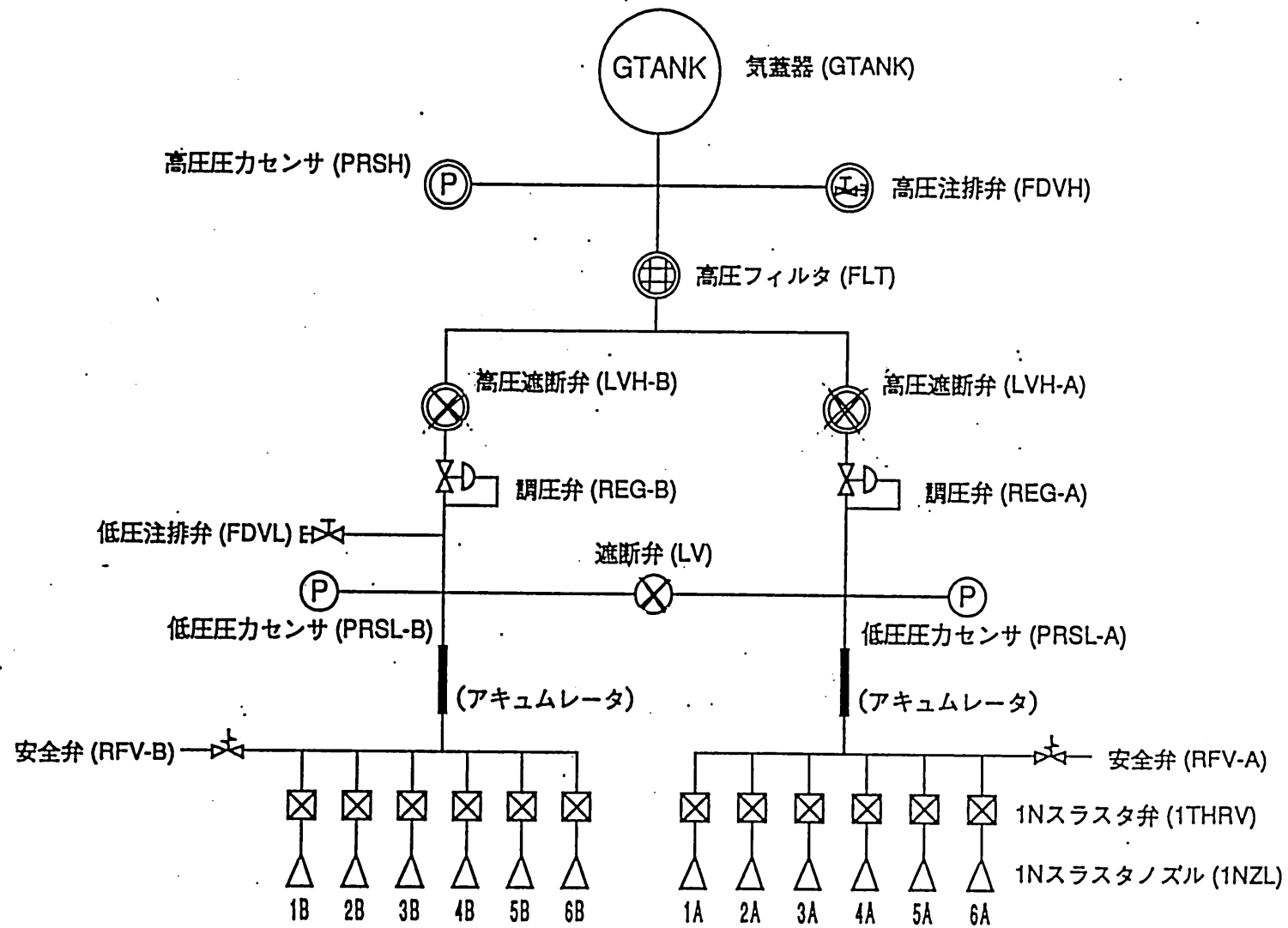


図4 ターゲット衛星推進系構成系統図

表1 ETS-VII 異常現象の原因究明と対策(1/2)

No	発生日	異常現象	原因及び解明状況		対 策	
1	11/28	太陽電池パドル 太陽方向追尾異常	○	太陽センサの取り付け極性と オンボードウェアの極性が逆	○	コマンドでセンサ角度計 算式の符号を反転。 (11/29処置)
2	11/30	姿勢異常 ①IRUのスパイク状ノイズ ②ESAヘルスチェックFDIR 非動作 ③ESA A系オフ ④太陽電池パドル追尾停止	×	ホイルFDIRが先に動作したため 非動作の状態となった。 姿勢異常状態でパドルFDIRが動作 その際の切り替え動作でB系が 立ち上がらず。	○	ノイズ除去アルゴリズム を追加(1/21)
			○		○	ホイルFDIR禁止 (12/11定常制御移行 より)
			×		□	FDIRアルゴリズムを 修正。
			×		○	FDIRアルゴリズムを修正 FDIR動作時切替を確実に 実施する。(1/21)
3	12/17	月干渉時異常	○	ESAの地球エッジを2箇所マスクし て運用するとFDIR処理と不整合。 姿勢喪失チェックタイミングまで に冗長系ESAが立ち上がらず。	○	・ESAヘルスチェック ／プレゼンス判定数 ・姿勢喪失チェック タイミング を変更。 (12/24実施)
4	12/19	軌道制御／ヨーマヌーバ 異常	○	90deg通過時刻の誤認識。 IRUにスパイクノイズが発生す ると、IRUデータ異常時処置の 入力リジェクト処理によって 90deg通過時刻を誤認識。	○	IRUスパイクノイズ 対策。(1/21実施)
5	12/22	太陽干渉時異常	○	ESAの1箇所マスク運用では 小さな輻射変動を感知し、ESA データを誤る。	○	ESA過大入力防止によ り、ESAマスク設定不 要とした。 (12/24実施)
6	1/21	太陽電池パドル 太陽追尾誤差過大	×	太陽追尾誤差信号にエラー	×	検討中

原因究明ステータス : ○解明済み

×未解明

対策状況記号 : ○処置済み

□処置予定

×処置未定

表1 ETS-VII 異常現象の原因究明と対策(2/2)

No	発生日	異常現象	原因及び解明状況		対 策	
7	2/5	ハイゲイン系リターン回線送信出力の低下	×	不具合箇所はある程度の範囲に特定している。 温度の依存性あり。 NASAにC/N ₀ の精度等確認 画像データ等による評価	□	C/N ₀ の妥当性確認 COMETSとの回線の 成立性検討
8	2/5	ターゲット衛星推進系機能 確認時のヨー姿勢変動	○	チェイサと結合状態で1Nスラスト 動作を行ったため、その外乱トル クがホイールによる制御能力を超 えて姿勢が変動した。 衛星挙動の事前確認不足	□	クリティカルな運用では 事前のシミュレーション 解析等の事前検討を十分 に行う。 手順の検証を確実に。 運用手順、体制のレビュ ー、ドライランの充実。 異常時手順の再チェック。
9	2/5	姿勢制御モード切替時の 通信回線断 (第1、3、4パスめ)	○	捕捉モードに移行させたこと によりアンテナ指向が外れたため (1パスめ) モード変更に伴う姿勢制御停止 状態によりアンテナ駆動が停止 しアンテナ指向が外れたため (3パスめ) ハイゲインモードが維持されて いたのにオムニモードで待ち受 けていたため。(4パスめ) 次の国内パスでUSB回線が確 保された。	□	ハイゲイン、オムニ、 USBと複雑な回線構 成に対して、確実なバ ックアップ手順を講じ る。 姿勢制御モードの変更を 行う場合などは、衛星 の安全性、確実性を最 優先してオムニモード またはUSBモードで 行う。
10	2/5	ターゲット衛星低圧側 配管内圧力の低下	×	高圧遮断弁、遮断弁からのリー クはない。 低圧側の安全弁、スラスト弁か らのリーク。 低圧部配管溶接部からのリーク。	□	T/RCSのC/O計画見直し 現在のリーク量はミッ ションに影響なし。 リークが進んでも従系 にて運用可である。

原因究明ステータス : ○解明済み
対策状況記号 : ○処置済み

×未解明
□処置予定 ×処置未定

平成10年2月12日

宇宙開発事業団

1. 状況

- (1)平成10年2月2日からE T S -Ⅶの運用における主要回線であるハイゲイン回線をN A S AのT D R Sにより使用しているが、地上から衛星にコマンドを送信する回線であるフォワード回線については衛星で正常な受信レベルを示しているものの、衛星のテレメトリデータを地上に送ってくるリターン回線については、その送信出力レベルが正常な値とより低下した値の間で変動を示した。
- (2)出力レベルが低下した値を示した場合にも、送られてくるテレメトリデータ自体には異常が見られなかったことから、ハイゲイン回線を使用した運用を予定通り行ってきた。
- (3)出力レベルの変動としては、ほとんどの運用パスで送信オンしてしばらくは正常な値を示し、その後約10dB程度低下するという挙動を示していた。
- (4)しかしながら、2月10日頃からは正常な値を示さなくなり、正常値より約10dB～15dB低いレベルで変動するという傾向を示すようになった。

（図1参照）

2. 今後の対応

- (1)上記の傾向が、今回の送信出力レベル低下現象の劣化が進んでいるのかどうかについては低下現象自体の原因究明と併せて現在調査中である。
- (2)今後の運用に万全を期すために、これらの調査を十分に行うこととし、当面はハイゲイン回線での運用を見合わせてオムニ回線及びU S B回線により運用を行うこととする。

図 1

DIP PWR 最大/最小トレンド

