

## M-Vロケットのテレメータ／コマンド通信設備

本田秀之\*，山本善一\*，加藤輝雄\*，橋本正之\*，長木明成\*  
大島勉\*，大西晃\*，太刀川純孝\*，坂井智彦\*，関妙子\*  
日高正規\*\*，豊留法文\*\*，河端征彦\*

### 1. はじめに

M-Vロケットのテレメータ／コマンド通信設備は基本的にはM-V-1，3，4号機と同様であるが，ダウンレンジ局に関しては，M-V-6号機でクリスマス局を使用し，M-V-8号機からは宮崎ダウンレンジ局に替わって種子島増田局を使用した．コマンド送信は内之浦から行い従来（4号機まで）と変更はない．内之浦受信設備に関しては機能的な面では4号機までと主たる変更がないので設備の概要及び最新の設備系統図を示すにとどめ，ダウンレンジ局関連の報告を主にすることとした．

#### 1.1 研究開発の概要

##### (1) 内之浦設備概要

内之浦局の設備は機能面ではM-V-4号機までと基本的には変わらないが，ミニコンピュータ（富士通A）については老朽化に伴いFAパソコン他に変更した．ダウンレンジ局系の内之浦設備については，M-V-8号機から宮崎ダウンレンジ局の種子島増田局への変更に伴い増田局対応のパソコンシステムを新たに導入した．

図1-1にM-V-5，6号機のテレメータ・コマンド通信システム構成を，図1-2にM-V-8，7号機のテレメータ・コマンド通信システム構成を示す．また，図1-3に代表してM-V-7号機の受信系統図を示す．テレメータ受信アンテナについては図1-1，2に示すように，旧来のアンテナ系を使用し，B1，B2搭載のVHFテレメータでは，4素子及び16素子のアンテナを使用しB2，B3搭載Sバンドテレメータでは10mφパラボラアンテナとバックアップ系として3.6mφパラボラアンテナを使用した．15GHz帯TVについては従来どおり新精測レーダアンテナと周波数共用する形態で使用した．また，保安コマンドアンテナに関しては図の4素子アンテナを使用した．これらアンテナ系は自動追尾機能がないため，新精測レーダアンテナにRG（電波誘導）系コンピュータを介してスレーブする形態となっている．なお，ダウンレンジ局においても同様にRG系コンピュータを介してアンテナスレーブ情報を送る構成としている．

内之浦及びダウンレンジ局で受信したデータはテレメータセンタに集約し，テレメータセンタ設置のモニタ画面やペンレコーダに飛行中の各種情報を表示すると共に，飛行保安関連情報のコントロールセンタへの配信やM管制室へのTVC関連のデータの配信を行った．

---

\* The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) / JAXA

\*\* Office of Space Flight and Operation / JAXA Uchinoura Space Center (USC)

## (2) 内之浦受信状況

M-V-5号機から7号機までロケット飛翔中の設備障害はなく、ロケットの燃焼噴煙による電波減衰に伴う受信不能時間帯を除き問題無く受信を行うことができた。また、コンピュータ系やデータ表示・記録系等についても問題なく動作した。受信レベル等の受信状況の詳細については、搭載系の“M-Vロケットのテレメータ/コマンド/計装”の項にその詳細を記した。

## 2. ダウンレンジ局

### 2.1 はじめに

ダウンレンジ局は、内之浦局のM-Vロケットからの噴煙による受信状態悪化等に対するバックアップを行うと同時に、内之浦局から不可視の領域におけるデータ受信がその役割である。従ってM-Vロケットの飛翔方向により、局の設置構成が変更となる。5号機以降のダウンレンジの配置を表2-1に示す。

宮崎市内に設置された宮崎ダウンレンジ局に関しては、5号機では従来のミニコンベース[1]からPCベースへの移行のための並列運用を行い、6号機で移行が完了した。それと同時に、内之浦局との通信回線もISDNからデジタル専用線に変更した。また8号機ではH-II A用の種子島増田局内に整理統合されたが、この新システムは6号機の宮崎システムを拡張したものとなっている。宮崎局では、TM-TVを除くテレメータ（TMU-1, TMU-2, TMS-H, TMS-D）の受信復調および記録を行うと同時に、姿勢制御情報のほか飛翔保安に絡む機体計測情報の内之浦局へのリアルタイム伝送を行なった。また5号機では、搭載のING（Inertial Navigator and Guidance, 慣性誘導装置）からの位置情報を利用した準自動追尾の試験を行った。

小笠原局およびクリスマス局は、旧宇宙開発事業団（現JAXA）の追尾施設内に設置され、M-Vの飛翔方向が東方である場合に使用される[1][2]。小笠原局では、TMS-Dの受信復調および記録を行うと同時に、姿勢制御情報のほか飛翔保安に絡む機体計測情報の内之浦局へのリアルタイム伝送を行なった。このために、宮崎局用として開発したシステムの簡易版を持ち込んで使用した。

一方クリスマス局では、TMS-Dの受信復調および記録を行うと同時に、衛星分離確認やサブペイロードからのテレメータ受信と記録を行なった。6号機打上げに際しては、過去の号機での経験[1][2]を通して、確実なデータ復調を行えるように開発した装置を持ち込んで運用した。

表2-1 各号機に対するダウンレンジ配置

号機	ダウンレンジ局		
5号機	宮崎	小笠原	-----
6号機	宮崎	小笠原	クリスマス
8号機	増田	-----	-----
7号機	増田	-----	-----

## 2.2 研究開発の概要

### 2.2.1 宮崎ダウンレンジ局

5号機では、旧来のミニコンベースのシステムからPCベースのシステムへの移行を行うための開発を行った。これは特に通信およびデータ処理用機器が古くなって来たため、保守する事さえ難しくなったことによる。また新システムでは、同期復調のために汎用性の高いVTS装置を導入した。なお新旧システムの切り替え時（5号機）には、新システムの機能検証のために両者を並行運用して動作確認を行った。なおここでは、最終的な形態である6号機のシステムに関して述べる。



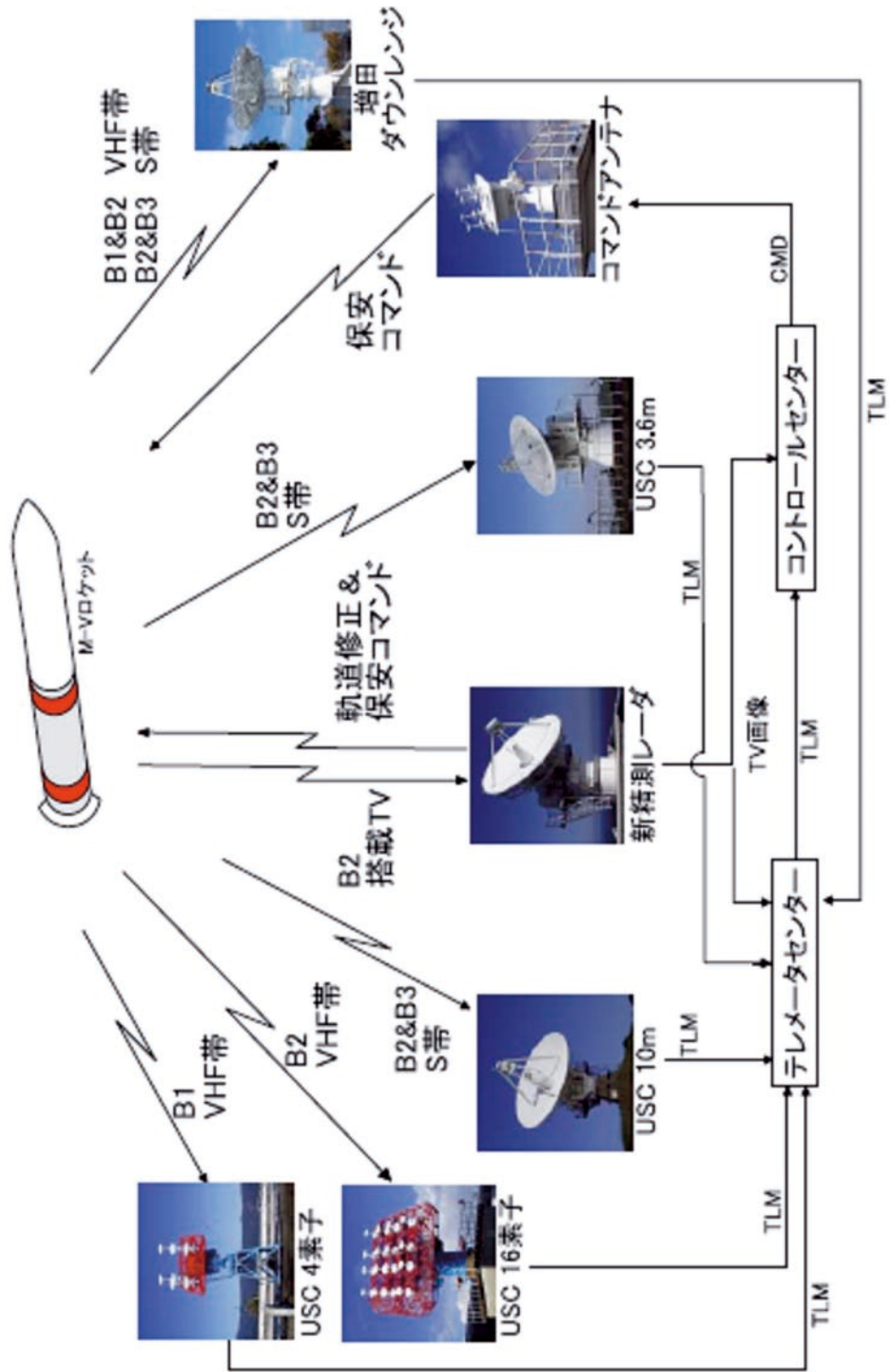


図 1-2 M-V-8, 7号機 テレメータ・コマンド通信システム構成

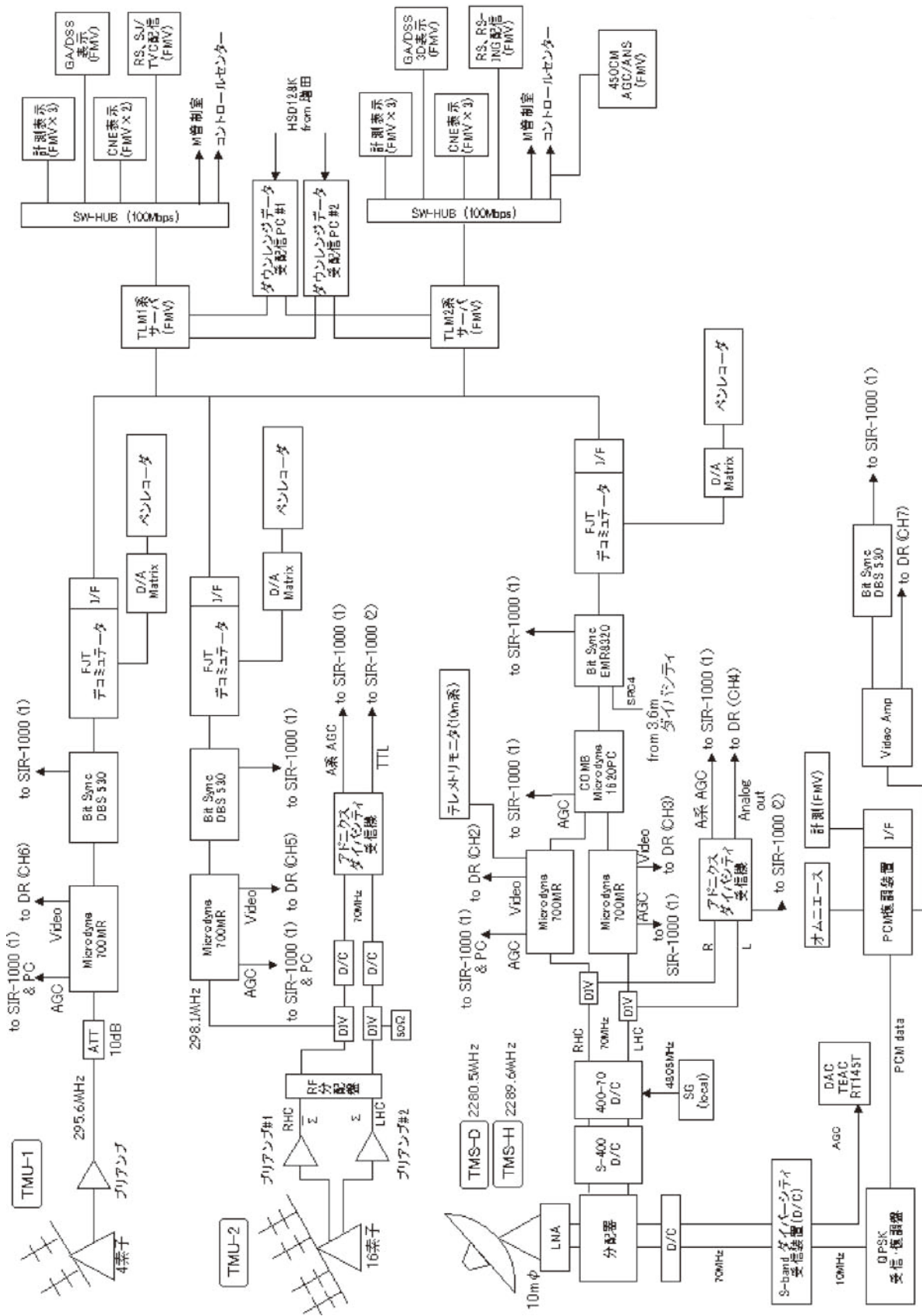


図 1-3 M-V-7号機 受信系統図



6号機打上げ時における宮崎局の構成を図2-1に示す。アンテナおよび駆動機構、LNA、受信機、記録機器等は4号機での機器をほぼそのまま使用しているが、復調機、データ処理用コンピュータなどは刷新された。VTSは小型で汎用の同期復調および記録装置であり、ネットワーク経由でPCとの高速データ転送が可能である。データ受信用PCは、主にVTSよりの3段搭載テレメータ(TMS-D)のデータ収集と編集を行い、内之浦局へそのデータの伝送を行う。データ伝送回線は1系統である。

アンテナの指向制御は、内之浦の新精測レーダからのスレーブデータに依った。送られて来たデータを予測値に変換し、アンテナ制御装置に送る。何らかの原因でスレーブデータが途切れた場合は、事前に保存されたノミナル予報値が自動的に利用される様になっている。

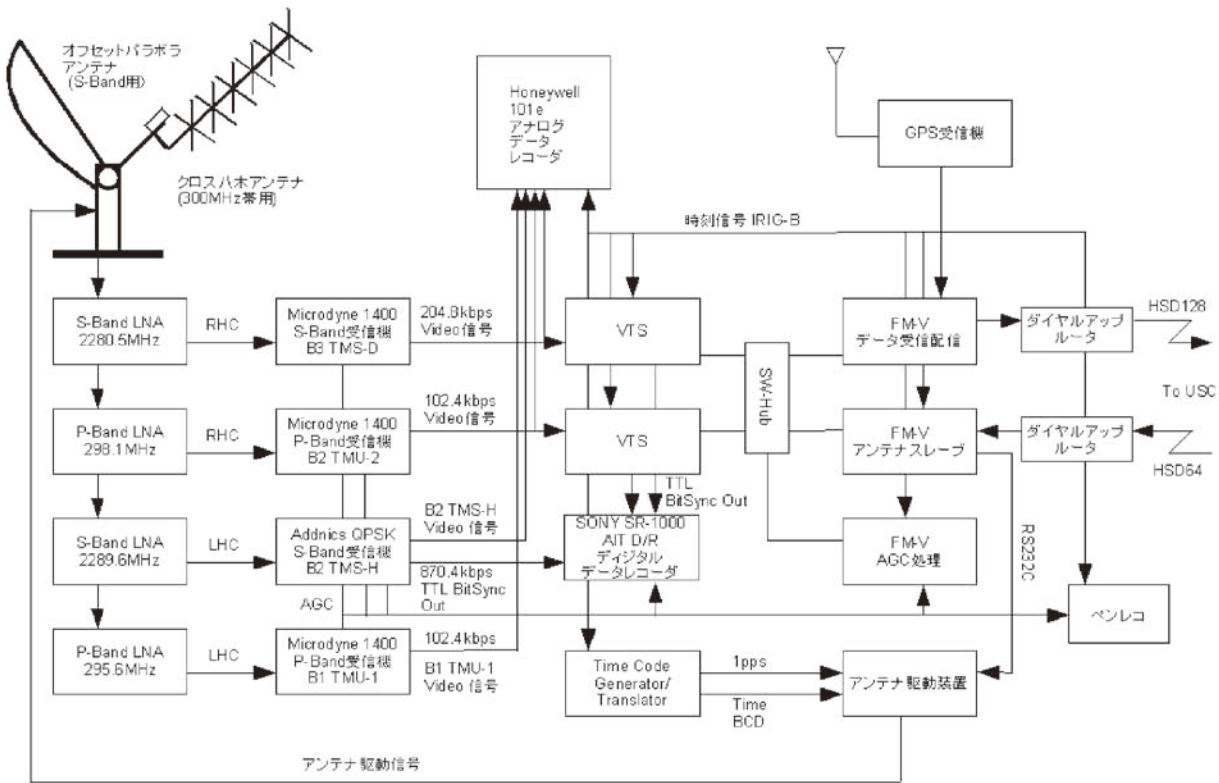


図2-1 宮崎局システム構成

2.2.2 増田ダウンレンジ局

8号機以降、宮崎ダウンレンジの機能は種子島増田局内に移設された。これは5、6号機で開発運用されたPCベースの地上システムを基にし、H-II A追尾受信システムに機能追加する形で実現された。特に考慮した事項は、システム冗長化およびH-II AとM-V間の機能切替の簡略化である。システム構成を図2-2に示す。

ロケットからのテレメータ信号は10mφアンテナで受信し、各周波数の受信機および復調機を經由して、データレコーダにデジタル記録される。各受信機、復調機は冗長化されており、一部はH-II A設備と共用となっている。M-Vの復調部は、宮崎局時代に開発したVTSシステムの改良版を使用し、これも冗長構成としている。これら設備の機能確認を容易に行うようにするため、RF折り返し試験が可能なような機器構成になっている。そのため、シミュレータより固定パターンを入力して受信機、復調機、データ収集および伝送までを通した試験が出来る構成とした。

受信復調したテレメータデータの内之浦への伝送は、HSD128kを2回線で冗長構成を組み、内之浦からのスレー

ブデータ伝送はHSD64kを1回線とした。なお、テレメータデータ及びスレーブデータ伝送用PCは、増田と内之浦間でネットワーク的に接続されているため、双方から相手方のPC内の情報、プログラムの参照や書き換えも可能である。増田局側から送信されるデータは、主にTMS-D内の姿勢制御関連情報を抽出編集したものであり、VTS以降の全く独立した2系統のPCシステムが冗長にその処理を行っている。回線接続状況も常時監視しており、PCや回線の障害発生時の継続した運用とオペレータによる素早い対応がとれるように配慮した。一方、内之浦の新精測レーダからのスレーブデータに関しては、H-II A設備のアンテナスレーブで使用されるEFG形式に内之浦のRG系コンピュータで変換して伝送し、増田局では既存のスレーブデータ処理装置に直接入力するようになっている。

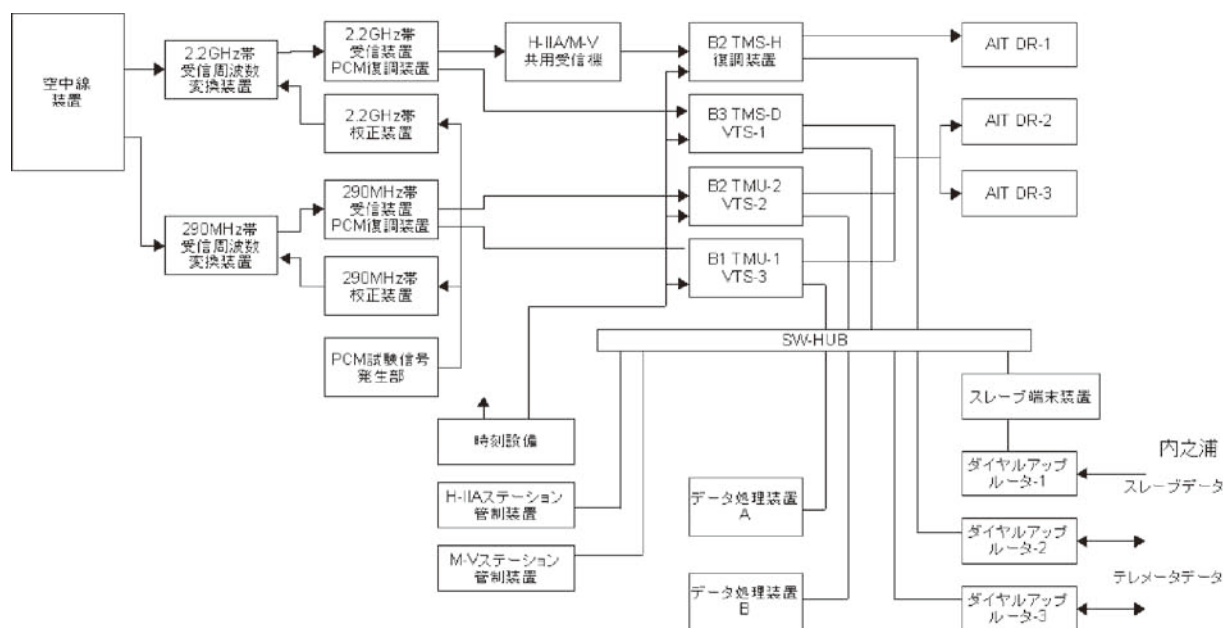


図2-2 増田局システム構成

アナログ専用回線をテレメータセンター増田局舎間に設置し、オペレーション全体の流れの把握、緊急連絡等に使用できるようにした。また公衆回線2回線を用いて、増田および内之浦のスレーブ伝送とデータ伝送担当者が、それぞれのデータ送受信状況の確認が出来るようにした。

宮崎局時代とは大きく異なり、増田局設備は固定局であるため定期的な保守管理がなされている。局内折り返し試験も簡単に出来るため、RF部の健全性の確認が容易であり、また、内之浦との臨時専用回線が設置されれば、復調データの処理と伝送機能の確認も、VTSシステム以降あるいはRF折り返しで試験できる。一方スレーブデータに依るアンテナ駆動試験に関しても、回線経由で正常にノミナルデータ等の受信と保存が出来ることが確認できれば十分で、以降アンテナ駆動機能の確認はローカルにも出来るようになっている。従って、1日程度でダウンレンジ局としてのシステム全体の健全性が確認できるようになった。

なお、H-II Aと一部共用している設備があり、H-II AとM-V打上げが接近する場合（衛星の打上げ期間が限定されるため、通常そのようになる）、両オペレーション間の事前の調整と、増田局設備パラメータを切替えるタイミングが重要となる。8号機打上げ時には、デフォルト設定であるH-II A打上げモードからM-V打上げモードに切替え、関連設備の機能確認を行った。その後H-II A打上げモードに戻してH-II A打上げに望み、その直後に再度M-Vモードに戻すということを行った。このように重要なオペレーションを素早く確実にを行うため、事前にTMU-2とTMS-Dに関して追尾受信機の位相調整を行い、パラメータの取得を行った。また、増田局にあ

る受信設備制御卓にある各種パラメータの保存と呼び出し機能を利用し、M-V関連機器の各種パラメータを保存することにより、一括して切り替えできるように設定した。これ以降、パラメータ切替え後に設定状況を簡単に確認することにより、短時間で受信局の立ち上げと機能確認が出来るようになった。

電波テストは、増田局の一部機能のみしか内之浦と連携出来ない。すなわち、宮崎局時代と同様、増田局ではランチャー上にある機体からの直接波の受信は出来ないため、受信部や復調部は使用せず、AIT装置から前号機データを再生して内之浦に伝送する事を行った。また打上げ当日と同様、事前のテスト手順に従って内之浦からのスレーブデータの受信とアンテナ駆動の試験も行った。

フライト当日は自家発電装置より全電源を供給した。なお、増田局内の他の施設の運用との兼ね合いから、実際の商用電源と自家発電の切り替えはフライト当日を挟んで前後数日となった。

アンテナ運用に関しては、第3段搭載テレメータ（TMS-D）による自動追尾を原則とした。これは、打上げ直後は内之浦からのデータにスレーブし、TMS-D信号を安定に受信したことを確認後、自動追尾モードに切替えることを指す。このためTMS-D以外の各段のテレメータは、途中でアンテナの視野から外れるまでの受信となる。2段目TMU-2でも自動追尾できるように準備をしたが、これはこちらの方がアンテナのビーム幅が広く採れるため、予想外の飛翔をした場合にも対応できる可能性があるためである。フライト時に自動追尾を選択した理由は、内之浦側が打上げ直後に精測レーダが逃したりスレーブデータ伝送が不調になったとしても、増田局が持つ自動追尾機能を利用することにより、追尾系としての冗長性を確保するためである。また、万が一軌道がノミナルより大きく種子島側にずれると、10mφアンテナのAZ方向の駆動能力を上回ることも考えられたが、この場合は一旦マニュアルモードに切替えて次の捕捉地点に先回りしておく、という手順も必要である。

### 2.2.3 小笠原ダウンレンジ局

5号機および6号機については、受信したデータの一部をリアルタイムで内之浦局に伝送し、フライト中の判断材料とすると同時に全データをその場で保存、各ダウンレンジ局のデータとマージすることによって後解析に供するというコンセプトになっている。1号機および3号機での場合と比較して、フライトオペレーション時の情報提供の面で優位性を保っている。小笠原局の局舎自体は固定局であり、アンテナ周辺の設備は局備え付けのものを使う。追跡時に必要となるスレーブ駆動用のアンテナ制御データは内之浦局よりリアルタイムで伝送し、アンテナ駆動装置に入力、アンテナ駆動させる。受信したデータについては、局備え付けの受信機より取り出したものを相模原より持ち込んだ可搬型の復調装置（VTS）に入力し、内之浦局が必要とするデータを抽出・送出すると同時に、全受信データをデータレコーダに記録する。図2-3に小笠原局のシステム構成を示す。

局備え付け設備+可搬式機器というシステム構成である理由として、ひとつにはダウンレンジ局を借用していた3機関統合以前に基本的なシステムを構築したという事情がある。しかし、復調機を可搬型にすることによって試験およびフライト時そして局の場所を問わない効率的な機器運用が可能となっており、またM-Vプロジェクト以外でも機器利用が可能になるといった状況も想定されている。



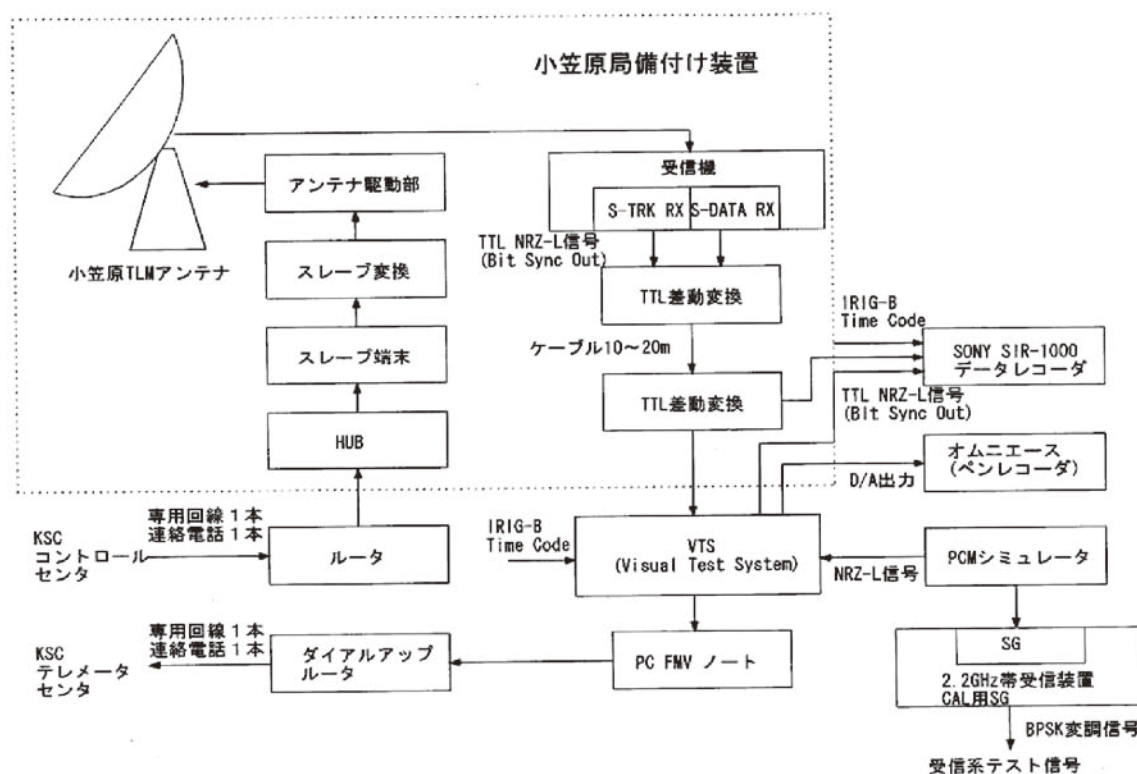


図2-3 小笠原局システム構成

## 2.2.4 クリスマスダウンレンジ局

クリスマス局での受信は3, 4号機でも試みられたが, 3号機では疑似ロックと軌道データ引き渡しインターフェースの問題, 4号機では1段ロケットの異常により飛翔経路が大きく外れたため, 十分なデータ取得は出来なかった。そこで6号機では, これらの経験を踏まえて以下の2点に特に留意した。

その1つは「疑似ロック監視装置」を新たに準備したことである。これは基本的にはテレメータデータ復調器であるが, 特に正常ロックあるいは疑似ロック状態のどちらであるかが, 受信中に一目で判別できる様に工夫したもので, これにより疑似ロック状態に陥った場合でも, すぐさま再サーチをかけることでデータ欠損を最小限に抑えることができる。

一方, クリスマス局での受信は内之浦局および小笠原局が不可視となった後に行われる。クリスマス局での受信は原則として自局の自動追尾機能で行われるが, 最初の補足や受信途中で何らかの理由で自動追尾が出来なくなった場合に備えて, 打上げ後のレーダ追跡データを基に内之浦で決定した軌道6要素を直ちにクリスマス局に通知し, クリスマス局ではその6要素を計算機に入力してアンテナ追尾データを作成準備した。この内之浦からの軌道要素の受け渡しに関しては, 注意深く事前のインターフェース確認を行うと同時に, 内之浦で軌道要素を算出してからクリスマス局で受信が開始される迄の時間が短いことを考慮して, 軌道要素伝達訓練を繰り返し実施した。

## 2.2.5 INGを利用した準自動追尾

宮崎ダウンレンジシステムには, 独自の自動追尾機能は組み込まれていなかった。従って, 内之浦の精測レーダからのスレーブデータを専用線経由で受け取り, それをアンテナ駆動機構に送ることにより追尾を行っていた。

このとき、精測レーダがロケットを逃した場合や通信経路が断絶した場合には、自動的に宮崎局内のコンピュータに保存してあるノミナル軌道データに切り替えて、追尾を継続するようになっている。しかし問題が発生するのは、スレーブデータが途絶えかつ飛翔がノミナル軌道を外れた場合であり、この場合はアンテナ操作者の経験や勘に頼らざるをえない状態であった。

5号機ではINGが3段目に搭載されており、刻々の正確なロケットの飛翔位置が地上に送られて来ている。この情報を使えば受信局のアンテナ方位角と仰角は計算できるため、簡単に自動追尾が実現できることになる。近い将来搭載されるであろうGPSによる測位情報伝送によっても、同様の機能が実現可能である。ここでは、この原理を利用した準自動追尾機能（以降INGスレーブという）を宮崎ダウンレンジ局に導入し、5号機打上げ時に試用を行った結果を簡単に述べる。

宮崎ダウンレンジ局のシステム構成は先に述べた。この中からINGスレーブ機能に限定した部分を抜き出すと、図2-4の様な構成になる。図に示すように、スレーブ装置は以下の3つの機能ブロックに分けられ、共有メモリ経由で相互にデータのやりとりを行う。

1) スレーブデータ受信機能

高速デジタル回線で接続された内之浦局側より、精測レーダ処理システムからのスレーブ予測係数データを受信する部分である。

2) INGデータ取得機能

VTS装置で収集されるB3テレメータデータより、ING位置情報を抽出する部分である。

3) アンテナスレーブ機能

アンテナ駆動制御装置に対し、1秒間隔で処理したスレーブデータを送出し、その応答としてアンテナ駆動履歴情報を受信する部分である。なおここに、ING位置情報から予測値を算出し、フィルタリング処理して送出する機能も組み込まれている。

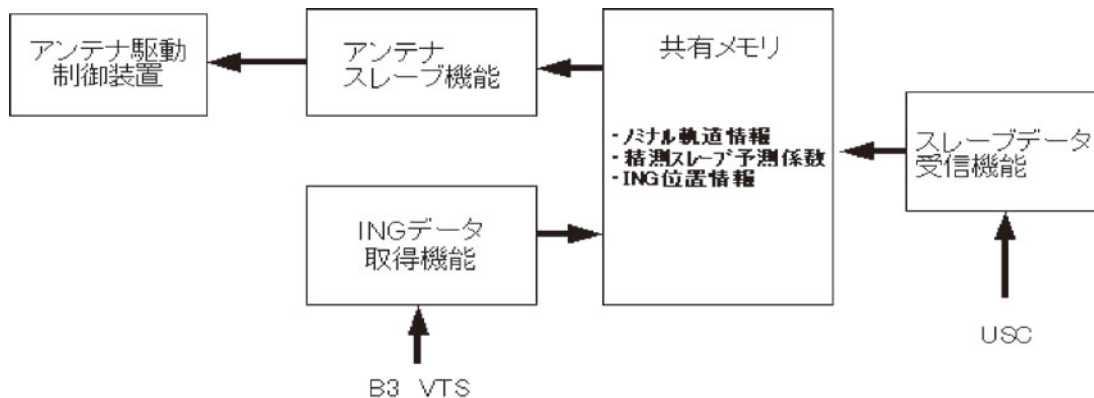


図2-4 INGを利用した準自動追尾システム構成

## 2.3 成果の概要

### 2.3.1 宮崎ダウンレンジ局

宮崎ダウンレンジシステムは、通常は局舎内の機器は取り外した状態で内之浦に保管されている。また独自のRF折り返し試験機能が組み込まれていないこともあり、第二組立オペ時に内之浦でシステム全体を組み立て、電波テストに合わせて機能試験を行ない、システム全体の健全性を確認した。その後再度分解梱包し、宮崎市内にある宮崎大学構内に運搬して設置した。宮崎での設置後のRF部の健全性確認が最大の課題であるが、これは従来よりシミュレータ・信号発生器・試験用アンテナを使って電波を発射し、ダウンレンジシステムのアンテナ・

プリアンプ・受信機・復調機を通して復調可能な最低受信レベルを測定し、計算値および過去のデータとの比較により確認した。

デジタル専用線は、接続確認が終了すると同時に安定して利用可能となった。ネットワーク的に接続されるので、両地点間でのPC内情報共有が円滑に行われた。一旦回線が開通すれば、過去の飛行データをAIT装置で再生することにより、宮崎局と内之浦局を通した機能確認が行えた。またM-V飛行時に於いても回線トラブルは発生せず、データ伝送も問題なかった。

6号機打上げ時の宮崎ダウンレンジにおけるアンテナ駆動は、 $X + 10$ 秒まではノミナルの待ち受け角、それ以降は精測レーダスレーブであった。なお、消感迄の間に2度にわたり、INGスレーブ試験を行った。可視の期間を通して、追尾動作やテレメトリ受信、データ伝送は順調であった。ロックオン時刻は $X + 32.0$ 秒、ロックオフ時刻は $X + 475.8$ 秒であった。図2-5から図2-7に、受信レベル（時間変化および距離との関係）とアンテナ追尾状況（AZ/ELおよび追尾誤差）を示す。

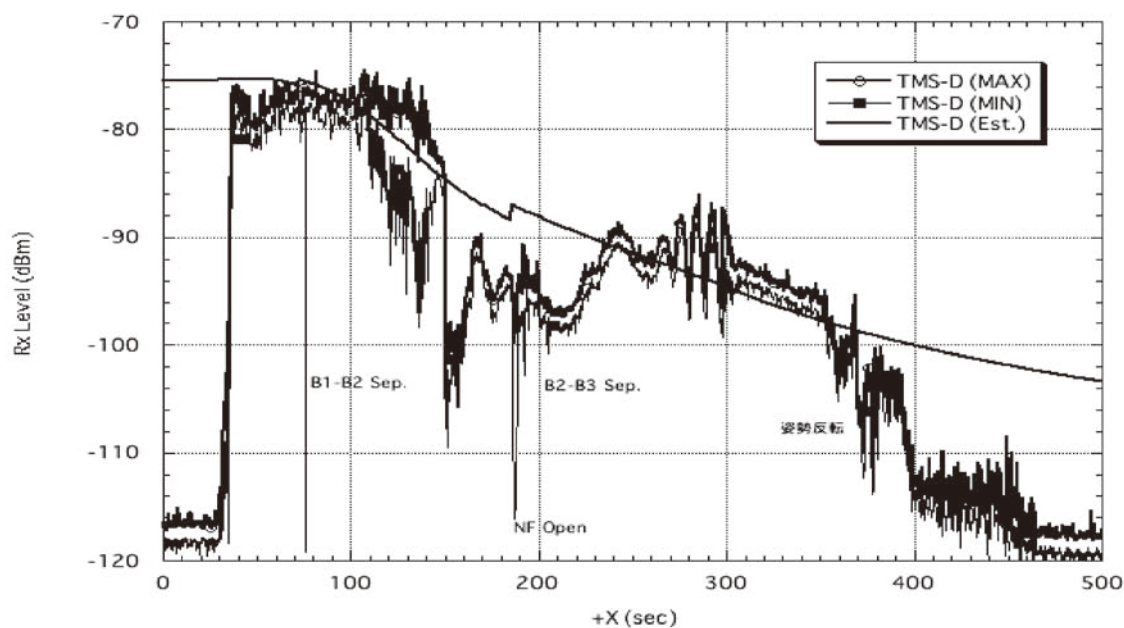


図2-5 宮崎局における6号機第3段搭載TMS-Dの受信入力レベルの時間変化

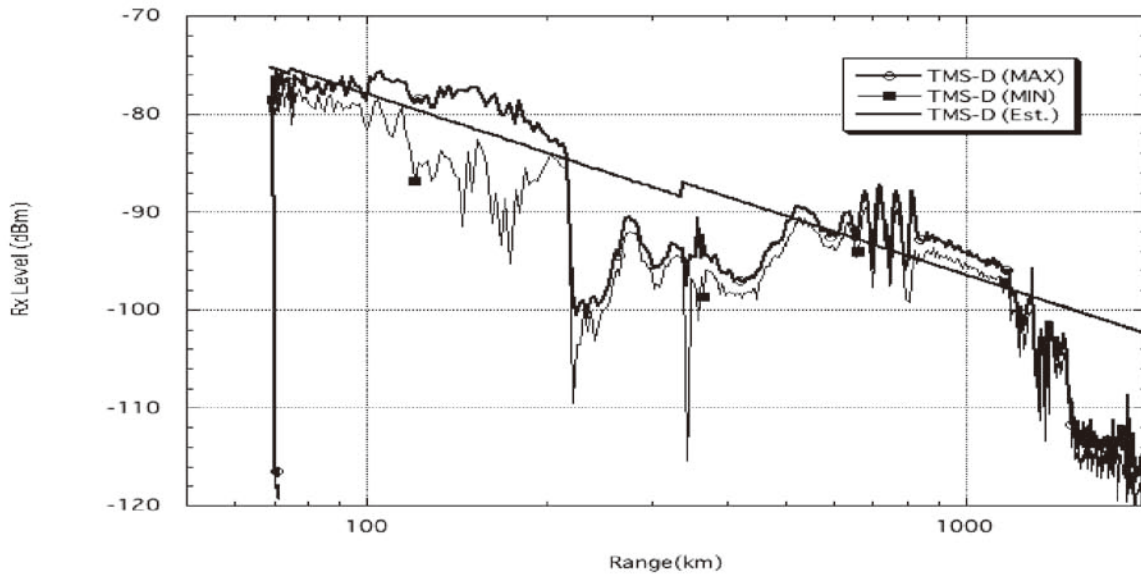


図2-6 宮崎局における6号機第3段搭載TMS-Dの受信入力レベルの距離変化

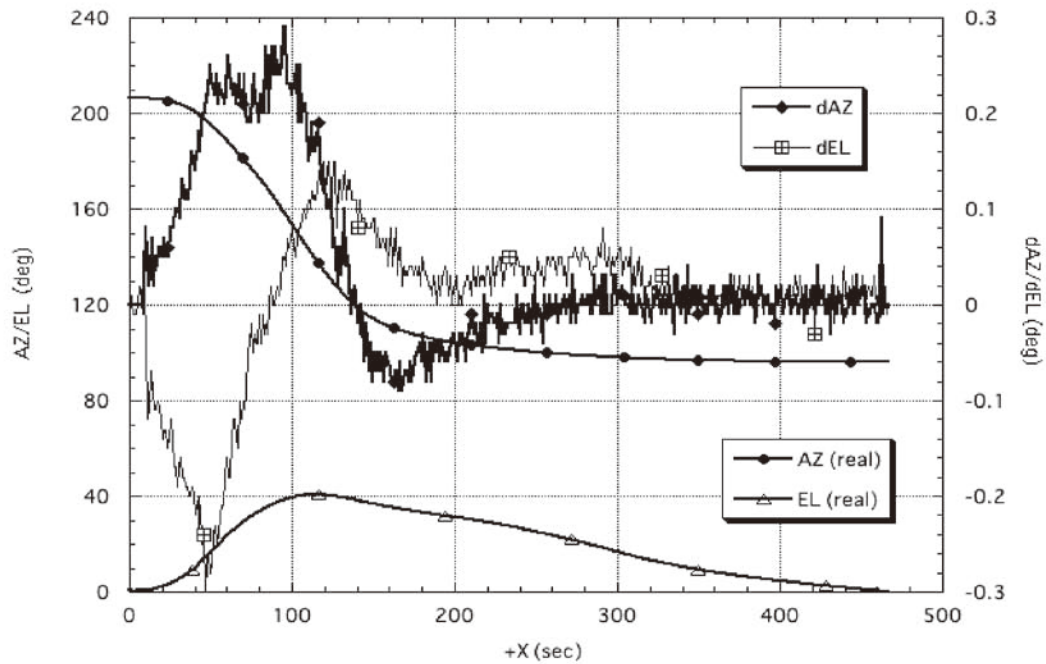


図2-7 宮崎局におけるアンテナ駆動状況および追尾誤差の時間変化

### 2.3.2 増田ダウンレンジ局

増田局は固定局であるので、局開設の準備作業は宮崎局時代と比べて大幅に短縮され、ほぼ1日で完了できるようになった。

8号機打上げ時の局運用結果は以下の通りである。軌道はほぼノミナルであったため、以下に示すようにX + 14秒で捕捉し、X + 21秒以降は自動追尾に入れることが出来た。1/2段分離時も、X + 76秒でcoastモードに入れ、TMS-Dの受信状態を確認してX + 77秒で自動追尾に戻した。この間の捕捉状況はアンテナ付属のボアサイトITV上で確認したが、ロケットは画面の中央部での小さな変動のみ（注：ほぼアンテナビーム幅 $\pm 0.8^\circ$ を画角としている）で、終始問題なく捕捉できていたことを確認した。ロックオン時刻はX + 14秒、ロックオフ時刻はX + 487秒であった。図2-8から図2-10に、受信状況とアンテナ追尾状況を示す。

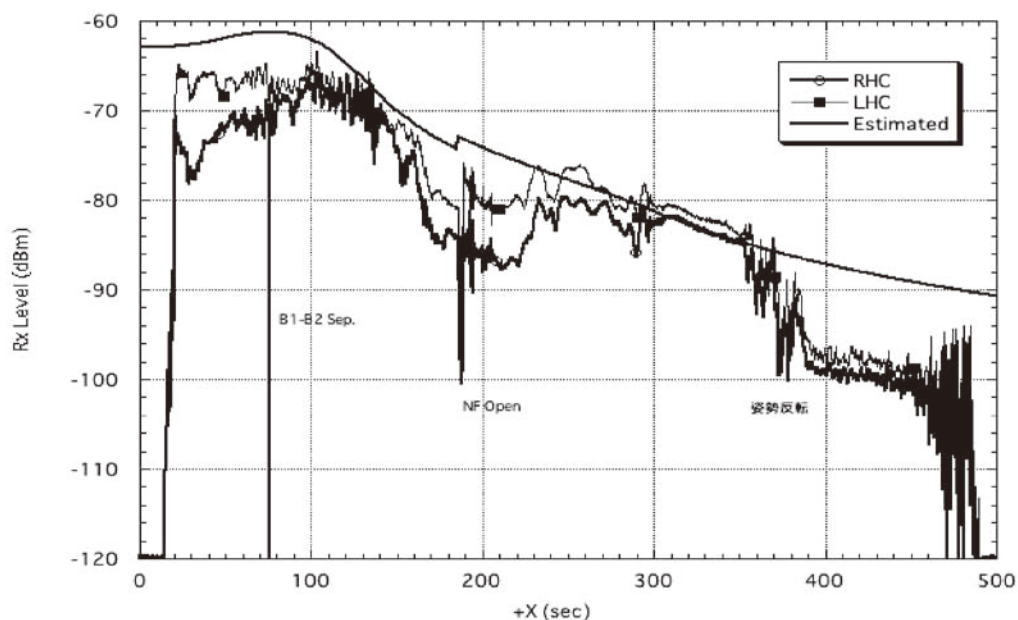


図2-8 増田局における8号機第3段搭載TMS-Dの受信レベルの時間変化



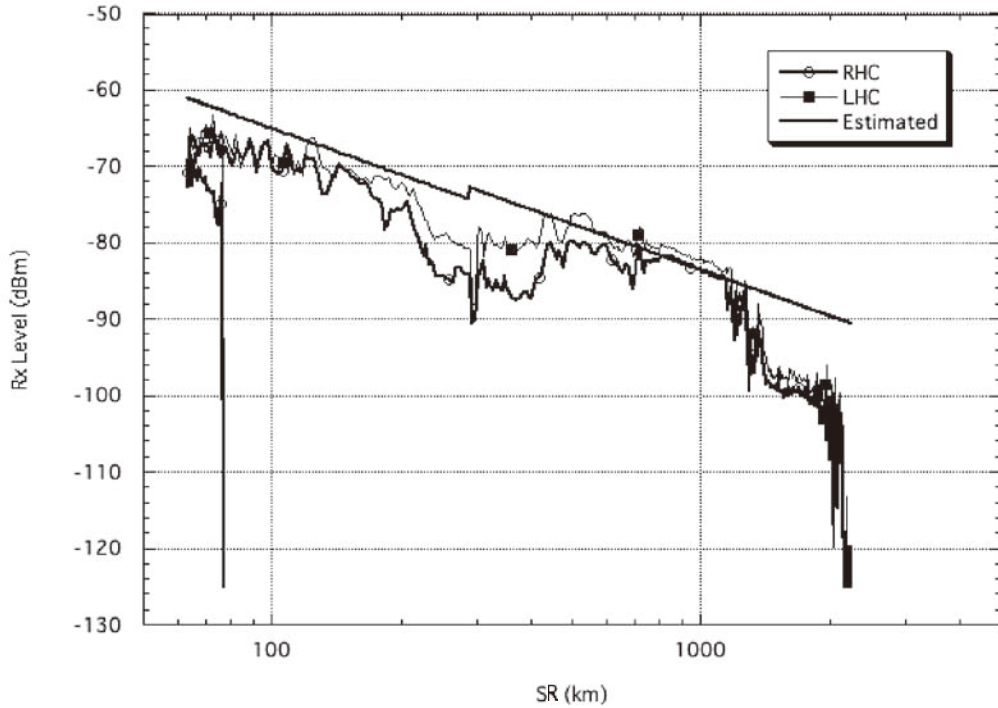


図2-9 増田局における8号機第3段搭載TMS-Dの受信レベルの距離変化

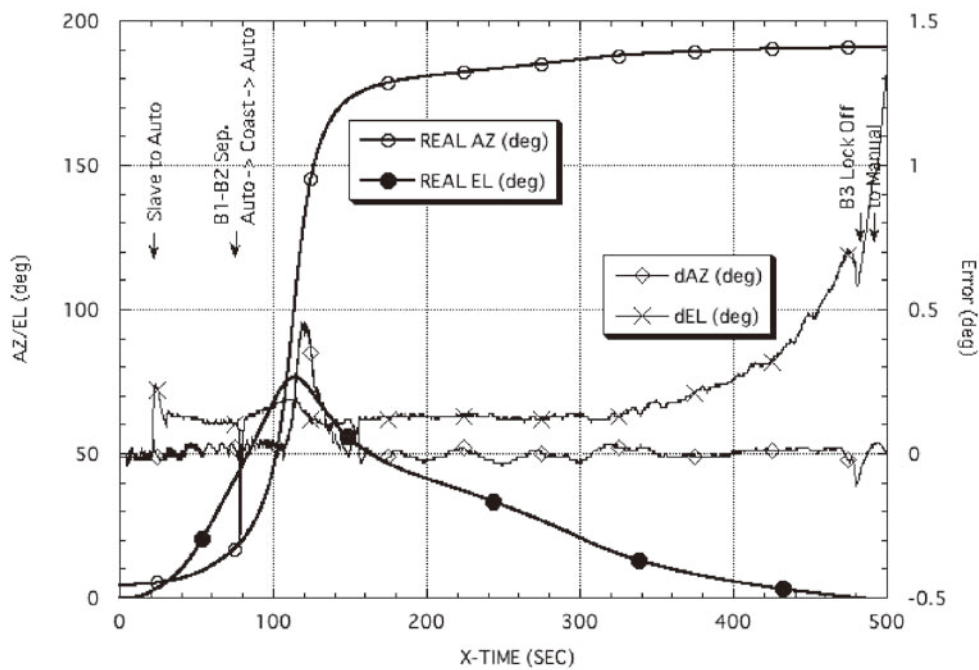


図2-10 増田局におけるアンテナ角度および追尾誤差の時間変化

### 2.3.3 小笠原ダウンレンジ局

6号機フライトオペにおいて小笠原ダウンレンジ局ではTMS-Dのテレメータ信号受信を行い、受信データからINGデータの一部を抽出し内之浦局にリアルタイム伝送すると同時に、全受信データをデータレコーダに記録した。局からの視線方向に対してロケットの姿勢が通信回線上不利な状況であったが、良好な受信を達成している。小笠原局における受信入力レベルを図2-11に示す。ロックオン時刻はX + 109.2秒、ロックオフ時刻はX + 656.9秒であった。

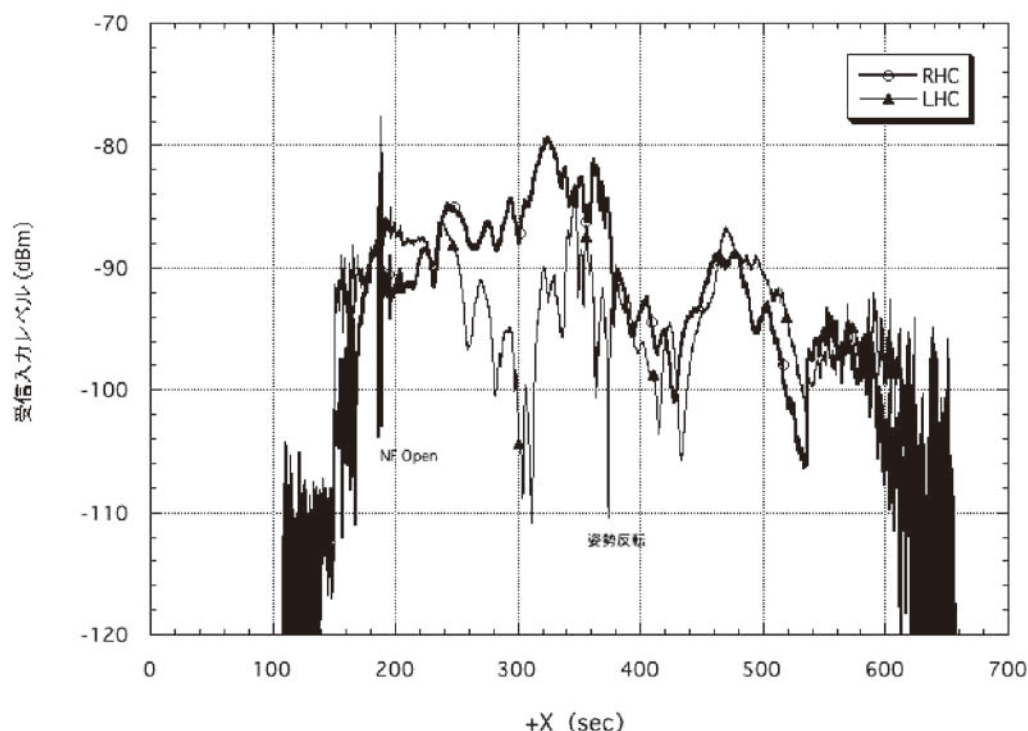


図2-11 小笠原局における6号機第3段搭載TMS-D受信レベルの時間変化

### 2.3.4 クリスマスダウンレンジ局

先の周到な事前検討、準備の結果、6号機の実際の飛翔では全可視時間にわたって極めてスムーズな自動追尾ができ、ほぼ完全なデータ取得が達成出来た。図2-12に6号機飛翔時のクリスマス局での受信入力レベルを示す。ロックオン時間はX + 1035秒、ロックオフ時間はX + 1737秒であった。

また図2-13にはM-V-6号機飛翔時の自動追尾角度誤差を示す。同図から、6号機の飛翔ではクリスマス局アンテナの自動追尾角度誤差はアンテナの半値幅 0.5°に対して十分小さく、余裕のあるマージンで自動捕捉できたことが分かる。

受信終了直後、取得したデータの中から特に至急伝送要求のあったサブペイロード関係のデータを切り出し、メール経由で関係者に送付した。また、これ以外の全取得データは他局での受信データとマージして、6号機の各種飛翔解析に供された。

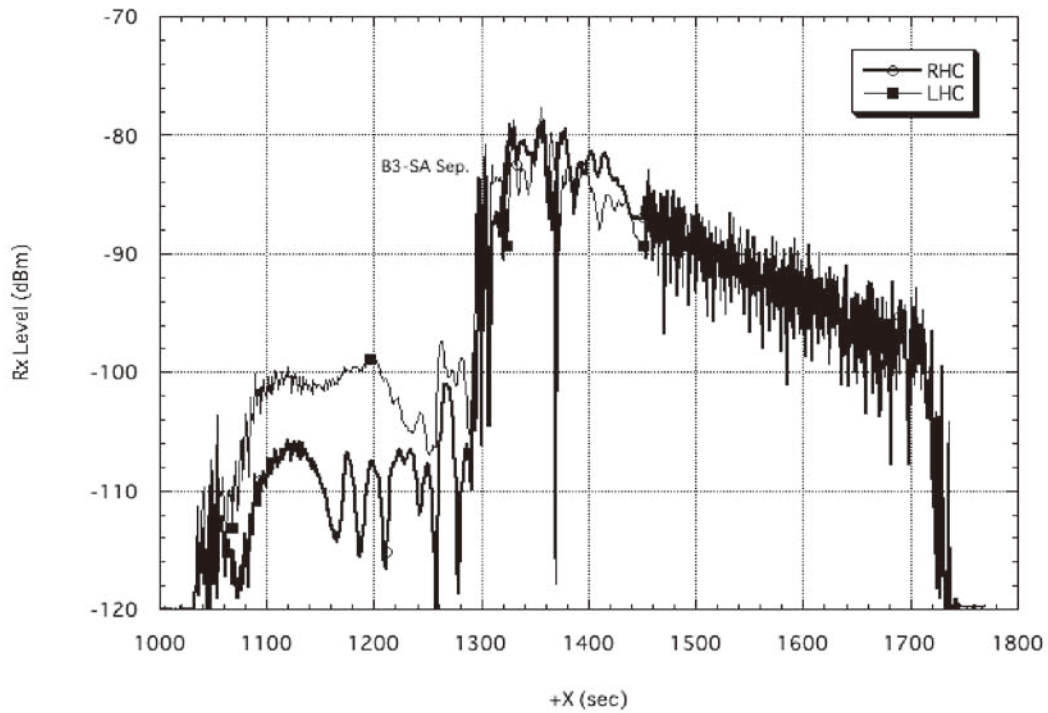


図2-12 クリスマス局における6号機第3段搭載TMS-D受信入力レベルの時間変化

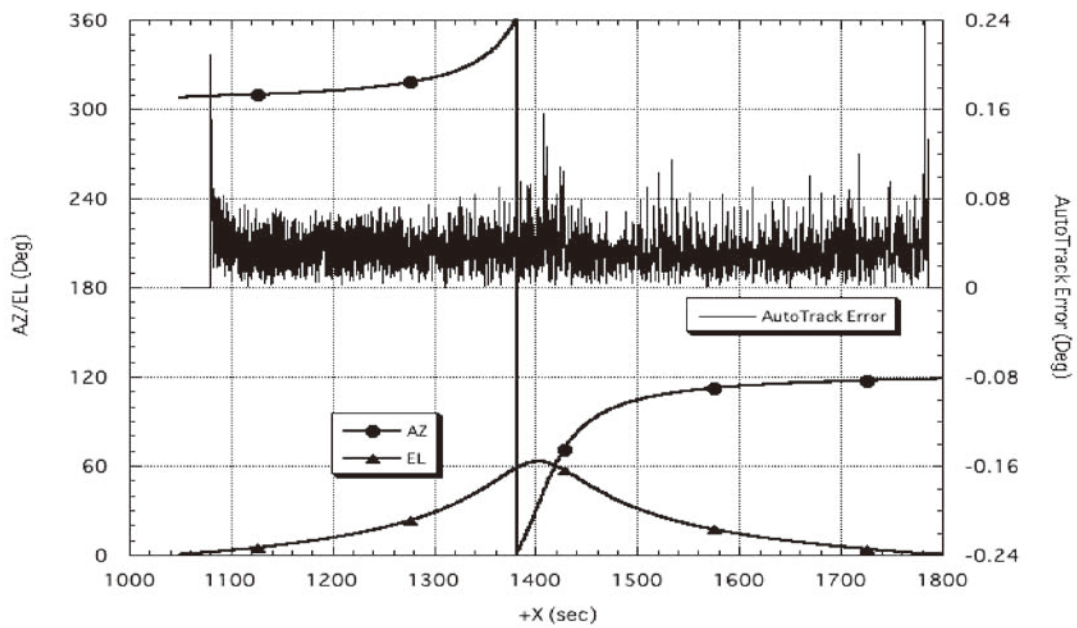


図2-13 クリスマス局における6号機飛行時のアンテナ角度および追尾誤差の時間変化

### 2.3.5 準自動追尾動作試験結果

ここでは、5号機のINGによる宮崎ダウンレンジ局アンテナ駆動試験結果とその評価を示す。5号機打上げ時の宮崎ダウンレンジアンテナ駆動は、通常モード（X+10秒まではノミナルの待ち受け角、それ以降は精測レーダスレーブ）の他、手動指示により2回INGスレーブに切替えを行なった。

図2-14は、2回目のINGスレーブ試験時のAZ/ELそれぞれについて、指令角（Prog）とアンテナ実駆動角（Real）との誤差を示したものである。X+335秒で、精測レーダスレーブからINGスレーブに切替えた。切替えた瞬間少しアンテナが振られたが、その後X+355秒付近までは誤差も少なく、問題なくアンテナ駆動が出来ていることが分かる。X+355秒以降では、特にEL方向について指令角（Prog）とアンテナ実駆動角（Real）ともに大きな変動が見られる。これは、X+358秒～X+361秒の期間に、準自動追尾モードでの手動指示によるアンテナ駆動（手動でアンテナ上下角を少し外し、自動的に引き込まれることの確認）を行ったタイミングと一致する。さらにこの期間の後半にて、「ING OFF」イベントによって有効なING位置情報が得られなくなったことから、ING位置情報による予測計算値が異常な値となったが、フィルタリング処理により実際のアンテナ駆動は回避された。これらの解析結果から、テレメトリ信号中のINGデータを使用した準自動追尾は可能であることが示された。

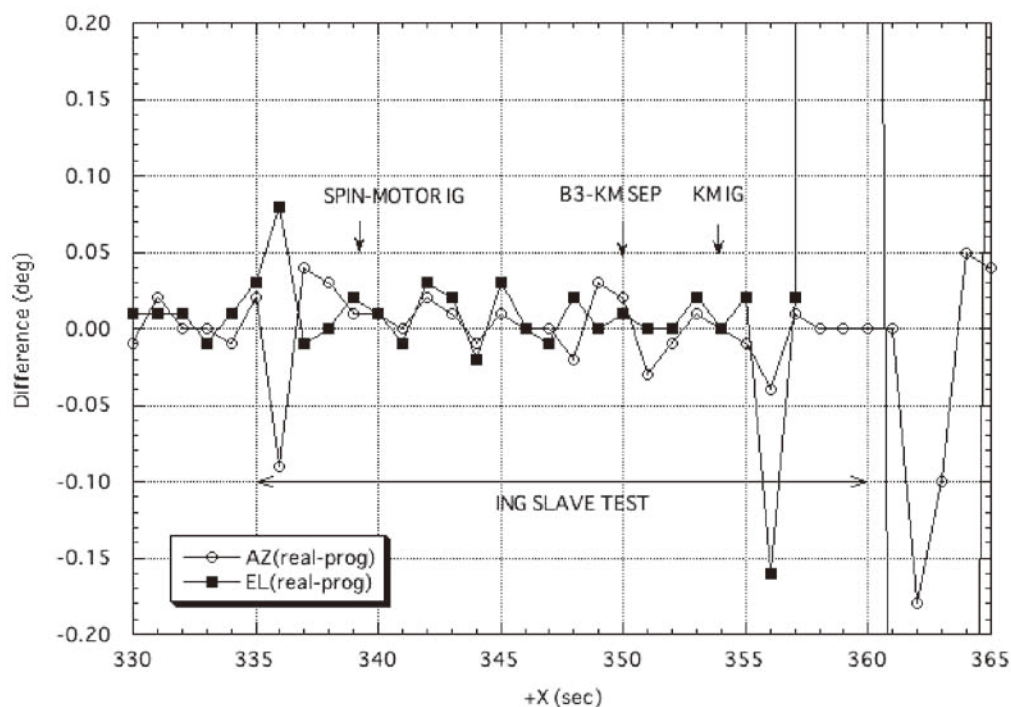


図2-14 INGスレーブ時のAZ/EL方向アンテナ駆動誤差の時間変化

## 2.4 次期固体ロケットへの反映事項

### 2.4.1 増田ダウンレンジ局

#### 2.4.1.1 設備の完全共用化

現時点では、増田局内の受信設備はH-II AとM-V間で一部しか共用できていない。今後搭載系を開発して行くにあたって、H-II A機器との共用化も考慮されて行くであろう。これに伴い、地上設備の共用化も進み、システムの簡素化と維持管理コストの低減も期待できる。一方、H-II Aと次期固体ロケットでの追尾受信設備切り替えの必要性もあるので、これが簡単に出来るような手段も必須となる。

#### 2.4.1.2 手順の作成と事前の訓練

8、7号機共南打ちであったため、軌道が種子島寄りにずれた場合の対応を検討した。特に8号機の場合はアンテナ駆動能力を超えることも想定されたので、それに対する手順を用意した。次期固体ロケットの場合も同様に、いくつかのケースに対応した手順の作成が必要であろう。またこの時までには、内之浦と種子島のレーダの統合運用も実現されている可能性もあり、レーダ系とテレメータ系の連携の訓練も必要となって来るであろう。

#### 2.4.1.3 スケジュールおよび人員調整

現状では、H-II AとM-Vの打上げ時期はほぼ同時期に限定されてきた。それぞれのオペレーションに必要とされる人員の確保も必要であるが、各メーカーからの経験豊富な役務者の派遣にも限りがあり、一部要員は両オペレーションにまたがる派遣とならざるをえない状況であった。両ロケットの打上げ時間帯にも依るが、一方の打上げ後のデータ整理と他方のオペレーション開始までには、休日を挟むことが労務管理上必要となり、両オペレーション間での事前調整により適切な期間の設定が必須である。

#### 2.4.1.4 情報共有

現状増田局側では、刻々の内之浦の状況がわかりにくい。従って、内之浦の場内放送が増田でも聞くことが出来ると、増田での対応が取りやすくなって都合が良い。これを実現するには、内之浦の指令電話と種子島のOISとを接続すればよいが、現状では種子島のRCC経由での接続になるため、大がかりとなる。次善の策としては、専用回線をもう1系統増設し、直接増田局内に引き込むのが良いであろう。次期固体ロケット打上げ時には種子島のレーダサイトも運用される可能性もあり、このような場合には前者が有効である。

### 2.4.2 小笠原ダウンレンジ局

6号機フライトオペ時の小笠原ダウンレンジ局の作業を通じて得られた、次期固体ロケットのフライトに向けて考慮すべき事項を述べる。

#### 2.4.2.1 局設備

これまでのM-Vフライト対応時の小笠原局は統合前のシステム構成を基本的に引き継いでおり、既設の局システムに可搬型のM-V用受信・復調装置ならびに記録装置を接続するシステムになっている。可搬であることは少ないリソースの有効活用という観点では優れているが、フライトオペレーションの度に機器を局舎に持ち込み接続した上で試験を行い健全性を確認するため、運搬時の機器トラブルも含めシステムの安定性は設置型システムと比較して劣ることは否定できない。

宮崎局のように局舎自体からの設置が必要な場合と異なり、小笠原局については安定した局舎が存在する事を生かし設置型システムを、とりわけH-II Aロケット用局システムとの共用性を考慮したダウンレンジ局システムを構築することが望ましく、またそれを踏まえて次期固体ロケットの機体側設計がなされることが必要と考える。

#### 2.4.2.2 局設備の運用

リソースとメンテナンスの観点から、H-II Aロケット用局システムとの共用性を考慮したダウンレンジ局システム」が望ましいと2.4.2.1で述べたが、これは逆に「H-II Aロケットのフライトスケジュールに左右されるダウンレンジ局システム」ということも意味している。可搬型機器を用いたシステムであれば「持ち込んだ部分は



既設システムとは別」となるので、可搬部分に限ったチェックや試験、運用はH-II Aロケットのフライトスケジュールに左右されることはない。

設置型システムでありながらもH-II Aロケット向けコンフィギュレーションからの切り替えが短期間・短時間で可能であるか、など即応性が持ち味のひとつとなるであろう次期固体ロケットの利点を殺さない地上局システムの構築が重要と考える。

#### 2.4.2.3 人員配置

小笠原局の運用に際して人員を大きく割くことは到底考えられないが、アンテナスレーブ系とテレメータ系の2システムについての内之浦局との連絡手段を「2本の電話」に頼っている現状を人員一人でこなすことは少なからず困難を極める。連絡用設備を見直せば一人でもフライトオペ対応は可能とも考えられるので、要検討事項として挙げておく。

### 2.4.3 クリスマスダウンレンジ局

M-V-6号機の受信経験で明らかになった次期固体ロケットへの要改善事項を以下に挙げる。

#### 2.4.3.1 軌道要素とAZ, EL 計算

内之浦から送られた軌道要素を基に現地で生成したスレーブデータと自動追尾データの間には、天頂付近で最大1度を超える差違があった。使用したクリスマス局10mφアンテナの半値幅は0.5度であり、今後MAX ELが80度以上の場合には自動追尾が一時的に外れ、再捕捉が必要な可能性があり得る。クリスマス局設備は捕捉アンテナを有しているものの、ロケットとの距離やアンテナパターンの関係から受信レベルが低い場合を考慮すると、内之浦で決定した軌道要素から現地で作成するスレーブデータと実際の飛翔角度との差異は、アンテナのビーム幅内に収まるように軌道計算ソフトウェア等の更なる改善が望まれる。

#### 2.4.3.2 衛星分離ステータス

クリスマス局にて衛星分離情報を速やかに確認し内之浦に伝達するためには、テレメータ情報の中に分離ステータスを直接示す、マイクロスイッチ等の情報を準備すべきである。

#### 2.4.3.3 搭載アンテナの3次元パターンデータ

図2-12で示したように、クリスマス局での受信レベルはロケットの地上局から見た相対姿勢変化と送信アンテナパターンの関係で、時間の経過とともに大きく変動している。この受信局での受信レベルを精度よく予測するためには、搭載アンテナの3次元パターンデジタルデータを用意すべきである。この情報と軌道、姿勢制御計画情報を使えば、現在より格段に向上した受信レベル予測計算が可能になる筈である。これにより、受信局ではリアルタイムで刻々の受信レベルの評価が可能になり、地上系システムの状態把握がより確実になる。さらには、取得した受信レベルデータからも、ロケットの飛翔姿勢情報が得られる可能性もある。

### 2.4.4 INGを使用した準自動追尾

既に述べたように、INGを使用した準自動追尾は可能であることが分かったが、実用に供する前にいくつか解決しておかなければならない問題がある。

#### 2.4.4.1 テレメータ

現時点のM-Vシステムでは、INGデータは3段のTMS-D(S帯)で送られてきており、宮崎ダウンレンジではビーム幅の狭いパラボラアンテナで追尾せざるを得ない。一方、機体の正確な位置情報が必要となるのは打上げ直後にノミナル軌道から外れた場合であろうから、アンテナ駆動速度も速く追尾を外しやすい状況にあり、ここに矛盾が存在する。この問題を解決するには、INGデータを載せるテレメータの周波数をVHF帯に変更するあるいはビーム幅の広いアンテナを別途用意する（距離は比較的近いから大きなゲインは不要のため）等、M-V搭載および地上システムの見直しが必要である。

#### 2.4.4.2 ビット誤り対策

テレメータデータの伝送中のビット誤りは不可避である。テレメータデータの値を基に計算してアンテナに駆動指示を出すため、計算の基になるテレメータデータにビット誤りがあれば正常な追尾が出来なくなる。従って、これを防ぐあるいは検知するため、たとえばエラーチェックビットの追加、複数回同一データを送って一致を取る、などの対策が必要である。これら以外に、現在組み込まれているような計算結果に適切なフィルタを通して誤データによる急激な変化を排除する方法も考えられる。しかし、たとえばこれは異常発生時にスレーブモードから手動でINGスレーブに切替えようとした場合に、問題となる可能性がある。このように、いろいろな事象に対応できるようなフィルタを作成することは容易ではなく、計算に使用するデータの確度を保証する前者の対策がまずは重要であろう。

#### 2.5 まとめ

M-Vロケットの各号機フライト時、各ダウンレンジ局は十分にその役割を果たすことが出来た。この成果はシステム構築段階から十分な検討を行い、事前の試験やフライトオペ時に得られた関係者の多大なご支援・ご協力のたまものである。現国立大学法人宮崎大学関係者、現JAXA増田局、小笠原局、クリスマス局関係者に深謝する。

#### 参考文献

- [1] 廣澤春任他, “M-V型ロケットにおけるダウンレンジ局”, M-V型ロケット (1号機から4号機まで), 宇宙科学研究所報告特集第47号, pp.351-358, 2003年3月.
- [2] 廣澤春任他, “M-V型ロケットにおけるテレメータ/コマンド”, M-V型ロケット (1号機から4号機まで), 宇宙科学研究所報告特集第47号, pp.331-349, 2003年3月.