

M-3SⅡ型ロケットにおけるテレメータ・コマンド・集中電源

林 友直, 横山 幸嗣, 井上浩三郎, 橋本 正之
河端 征彦, 大西 晃, 大島 勉, 加藤 輝雄
瀬尾 基治, 日高 正規

1. 概要

M-3SⅡ型ロケットでは, M-3S型と異なり, 新たに装備されたサブブースタ SB-735の性能計測等のために, サブブースタにテレメータ送信機を搭載した. また, サブブースタの分離状況を画像伝送するため第2段計器部に画像伝送用テレメータ送信機を搭載し, さらに3号機では新たに開発された第3段モータの性能計測のために, 第3段計器部を設けてテレメータ送信機を搭載する等の大幅なシステム変更がなされている.

搭載テレメータ送信機で新規に開発されたのは, 画像伝送用テレメータ送信機で, M-3SⅡ型ロケットの試験機である ST-735ロケットで予備試験を行い, 地上追尾系を含めて総合的に性能の確認を行ったのち, M-3SⅡ型1号機から本格的に搭載された.

地上系では, 第2段モータの燃焼ガスが通信回線に大きな障害をもたらす等の問題が生じ, 2号機から高利得の18m パラボラアンテナを使用し, 従来の高利得16素子アンテナに対する冗長系を構成した.

また, 第3段目の機体振動計測データ等を伝送していた900MHz 帯テレメータは3号機から送信周波数がS帯へ変更されたのに伴い, 地上受信アンテナとしてはこれまで使用していた3mφパラボラアンテナをやめ衛星追跡用10mφパラボラアンテナを使用する事となった.

データ処理系では, 計算機によるデータ処理が本格化し, 姿勢制御系, 計測系, テレメータ系のデータ処理のほか, 従来の ACOS や RS 系へのデータ伝送に加え M 管制室へもデータ伝送が出来るようになった.

コマンド系では, 1～2号機は従来と同様であるが, 3号機から第1段の制御項目等を増やす必要からトーン周波数を増し, コマンド項目を3項目から6項目にし, さらに操作上の安全性を向上させた.

集中電源は, 充電効率や管理の点等から見直しをはかり, 従来 M-3S 型で用いられていた酸化銀亜鉛蓄電池に替わりニッケルカドミウム蓄電池が使用されるようになった.

2. テレメータ

2.1 M-3SⅡの通信回線

M-3SⅡ型ロケットでは、各段でロケットの推力向上が図られ、これに伴う性能計測のため計測項目がM-3Sに比べ大幅に増えた。搭載されるテレメータ送信機もこれ等をふまえ、通信距離、ロケットの姿勢変化および各段燃焼ガスの影響を考慮し、総合的に通信回線設計を行った。

搭載系では、第2段計器部については直距離にして約2千Kmの通信回線を確保するためテレメータ送信機の送信電力を2～5Wと大きくしている。

送信アンテナはロケットの姿勢変化を考慮して、300MHz帯テレメータについては胴体装着型フックアンテナを第2段計器部外壁に8本取り付け、各素子間に45度ずつの位相差を与え、複数の送信波に対してそれぞれ右旋または左旋円偏波としてアンテナを共有させ、アンテナパターンの切れ込みを少なくしている。1、2号機に用いた900MHz帯テレメータは、逆L型アンテナ4本を第2段計器部外壁に取り付け、90度ずつの位相差を持たせている。更に、飛しょうの途中から電界強度を上げるため第2段目タイマーからの信号を受け空中線切替器により第2段モータノズル部に取り付けられたノズルアンテナに切替えている。

3号機のS帯テレメータおよび第3段目に搭載された300MHz帯テレメータアンテナについては、まず前者は第2段計器部外壁にアンテナを2本取り付け送受信共用させ、地上から送信された電波をそれぞれのアンテナで受信し、レベルの比較を行った上でレベルの高い方のアンテナから送信するようになっている。後者については2・3段接手部にアンテナ素子を90度間隔に4本取り付け、円偏波として送信している。

画像伝送に関しては、第2段計器部外壁に導波管開口型アンテナ2本を相対する位置に取り付け、常に地上局に向いている側のアンテナが送信機と接続出来るようにコマンドで切り替えている。

サブブースタと第1段目に搭載されたテレメータ送信機は、それぞれサブブースタ分離、第1段切り離しまでのデータ伝送を担当しており、通信距離が短いため送信電力も1Wとした。送信アンテナは、ロケットの形状からの制約もありサブブースタはサブブースタ頭部に、第1段テレメータについては、尾翼先端部にフック型アンテナをそれぞれ1本取り付けている。さらに、3号機では第1段モータの燃焼ガスによる電波減衰を軽減するため、第1段テレメータの送信アンテナを第2段目搭載のテレメータと共用させるようにした。

地上受信アンテナ系では、長距離伝送を行う第2段搭載テレメータのうち、FM-PM方式とPCM-PSK方式のテレメータ受信については、1号機では高利得16素子アンテナを共用した。しかし、後述する α 角(ロケットの機軸と送受信アンテナ間を結ぶ線とのなす角)の関係で第2段モータの燃焼ガスによる影響が大きく回線に支障をきたしたため、2号からは回線余裕のある18m ϕ パラボラアンテナを使用し、16素子アンテナをバックアップとした冗長構成をとった。SS-FM方式テレメータの受信については、2号機までは3m ϕ のパラボラアンテナを用いたが、3号機から周波数をSバンドに変更したため、衛星運用で使用している10m ϕ アンテナを共用した。

画像伝送を行ったテレメータの受信には、2m ϕ のパラボラアンテナを使用した。

第1段およびサブブースタに搭載したテレメータの受信は、距離に近い事もあり中利得4素子アンテナを用いている。

受信復調機方式としては、FM受信装置は位相同期検波方式による高感度受信復調方式で

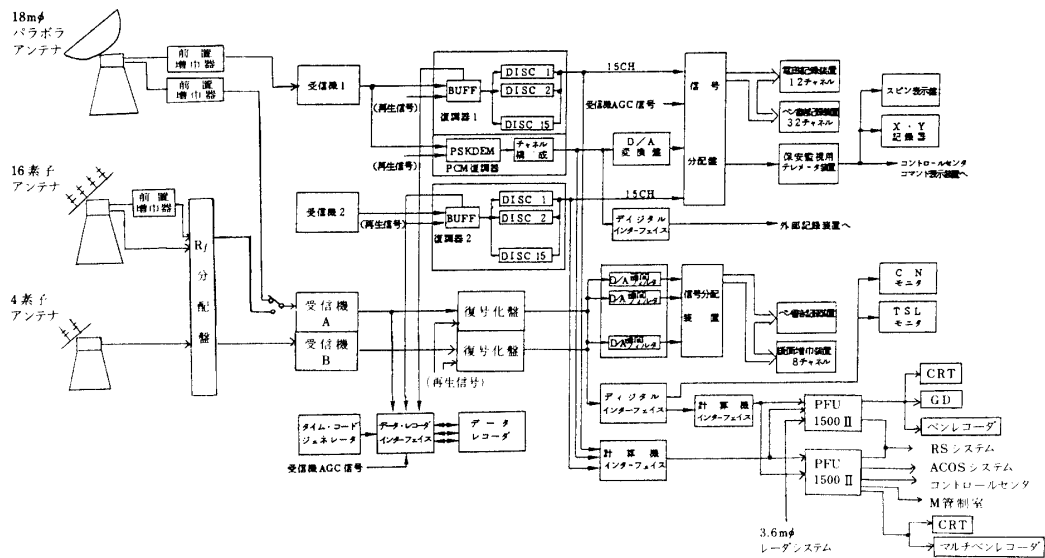


図 1-1 300MHz 帯テレメータ受信系統図

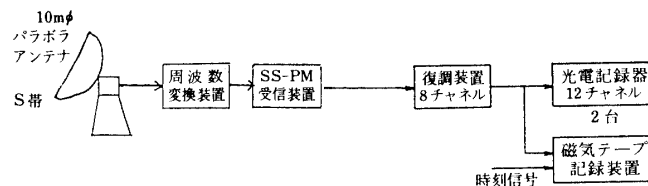


図 1-2 S 帯テレメータ受信記録装置系統図

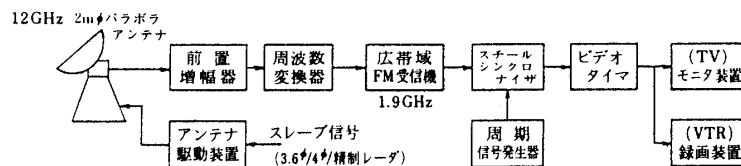


図 1-3 画像伝送用テレメータ受信記録装置系統図

FM 受信装置は水晶制御 2 重スーパーヘテロダインの受信方式である。画像伝送の受信装置は広帯域の FM 方式を用いている。

M-3S II 型で使用したアンテナおよび受信機の系統図を 3 号機について図 1-1 ~ 1-3 に、また、これらの主要性能を表 1 に示す。

2.2 M-3S II 型搭載テレメータ

M-3S II -1号機からサブブースタが SB-735 になり、この性能計測のためにサブブースタ頭部に PCM 方式のテレメータ送信機が搭載された。3 号機からは、計測項目の減少もあり、サブブースタ計測データは第 1 段目搭載テレメータ送信機に統合された。

第 1 段目に搭載されたテレメータ送信機は、2 号機までは FM/PCM-PM 方式の、所謂、

表 2 M-3SⅡ-1号機搭載テレメータの諸元

	第 2 段 計 器 部				第 1 段尾翼部	サブブースタ部
呼 称	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-6
周波数	295.0MHz	298.1MHz	915 MHz	12.8875 GHz	296.2 MHz	295.6MHz
電力	5W	2W	3W	2W	1W	1W
変調方式	FM-PM	PCM-PSK	SS-FM	FM	FM/PCM-PM	PCM-PSK
伝送内容	NF歪 内圧 コマンド信号 地磁気姿勢 タイマ信号	姿勢制御 加速度 温度 モータ燃焼圧 フレオン圧 タイマ信号	機体振動 音圧	S B分離画像	フレオン圧 オイル圧 横加速度 尾翼振動 SMRC燃焼圧	可動ノズル制 御信号 温度 S B内圧 加速度 ブレース歪

表 3 M-3SⅡ-2号機搭載テレメータの諸元

	第 2 段 計 器 部				第 1 段尾翼部	サブブースタ部
呼 称	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-6
周波数	295.0MHz	298.1MHz	915 MHz	9.27 GHz	296.2 MHz	295.6MHz
送信電力	5W	2W	3W	2W	1W	1W
変調方式	FM-PM	PCM-PSK	SS-FM	FM	FM/PCM-PM	PCM-PSK
伝送内容	NF歪 内圧 コマンド信号 地磁気姿勢 タイマ信号	姿勢制御 加速度 温度 モータ燃焼圧 フレオン圧 タイマ信号	機体振動 音圧	S B分離画像	フレオン圧 オイル圧 横加速度 尾翼振動 SMRC燃焼圧	可動ノズル制 御信号 温度 S B内圧 加速度 ブレース歪

表 4 M-3SⅡ-3号機搭載テレメータの諸元

	第 3 段計器部	第 2 段 計 器 部		第 1 段尾翼部	
呼 称	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5
周波数	296.2MHz	298.1MHz	2289.6MHz	12.8875 GHz	295.6 MHz
送信電力	1W	2W	5W	2W	1W
変調方式	PCM-PM	PCM-PSK	SSB-FM	FM	PCM-PSK
伝送内容	速度計測 M-3B計測	姿勢制御 加速度、温度等 CM情報 モータ燃焼圧等 地磁気姿勢計 SQモニタ	機体振動 音圧	S B分離画像 B 1 開頭状況等 音圧	MNTVC 情報 SB計測情報 B1 電源電圧等

2.3.1 TM-1

TM-1はFM-PM 変調方式により伝送する14チャンネル多重テレメータ送信装置で、送信機と較正器が一体化した形式となっている。ただし、この方式のテレメータ送信機の搭載は2号機までで、3号機では2号機まで第1段計器部に搭載されていたFM/PCM-PM方式テレメータ送信機のFM部分を除いたPCM-PM方式のテレメータ送信機がTM-1として第3段計器部に搭載された。

外観図を図2に示す。

2.3.2 TM-2

TM-2は各種データをPCM-PSK方式で地上に伝送する多重テレメータ送信装置で、アナログデータ、デジタルデータの入力数およびその入力速度により最大49チャンネルまで色々な

表5 FM-PM 方式テレメータ

送信出力	5 W
送信方式	FM-PM
搬送波周波数	295.0 MHz $\pm (5 \times 10^{-5})$
最大周波数偏移	± 120 kHz
副搬送波周波数	IRIG BAND 2～15
副搬送波最大偏移	中心周波数の $\pm 7.5\%$
チャンネル数	14
入力信号	0～+5 V
入力インピーダンス	350 k Ω 以上
変調直線性	$\pm 2\%$ 以内
使用電力	18V, 1.4A 以下
アンテナ VSWR	2.0 以下

表6 PCM-PSK 方式テレメータ

送信出力	2 W
送信方式	PCM-PSK
搬送波周波数	298.1 MHz
位相偏移	$\pm \frac{\pi}{2}$ RAD
符号形式	NRZ-L
ビット・レート	102.4 K bits/sec
1ワード当りのビット数	8 bits/word
1フレーム当りのワード数	64 words/Frame
フレーム・レート	200 Frames/sec
フレーム同期パターン	2 words (16 bits) 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0
サブフレーム同期パターン	1 Word (8 bits) F ₀ 1 0 1 1 1 0 0 0 F ₁₋₃ . . . 0 1 0 0 0 1 1 1
アナログ入力電圧	0～5.0 V
アナログ入力インピーダンス	100 k Ω 以上
アナログ最大入力数	49チャンネル
デジタル入力	C-MOS レベルの“1”“0” 8 bits 信号を1チャンネルとしてワードの後半でシフトレイト 204.8 KBPS でシリアル入力する。
デジタル最大入力数	16チャンネル
クロック周波数安定度	$\pm 10^{-4}$ 以下
消費電力	約15 W

コミュニケーションレシオを持ったチャンネル構成を組み合わせで諸要求に柔軟に対応する事が出来る。

伝送項目はCN, 第2段 TVC, TSL 等の第2段飛行制御関係が主で, 一部 TM-1と冗長構成をとっている。

外観図を図3に示す。

表 7 SS-FM 方式テレメータ

送信出力	3 W
送信方式	SS-FM
搬送波周波数	915 MHz $\pm (1 \times 10^{-5})$
最大周波数偏移	± 303 kHz
副搬送波周波数	4.74 kHz ($\times 1, \times 2, \times 3, \times 4, \times 5, \times 6$)
チャンネル数	6
信号周波数帯巾	10 Hz \sim 3 kHz
信号入力レベル	0 dBm \sim -30 dBm
信号周波数特性	± 2 dB 以下
信号出力レベル偏差	± 1 dB 以内
使用電力	1.5 A / +18 V, 60 mA / -18 V
アンテナ VSWR	1.5 以下

表 8 FM/PCM-PM 方式テレメータ性能諸元

(1) 送 信 機	
発 振 型 式	水晶制御
発 信 方 式	FM/PCM-PM
搬 送 波 周 波 数	296.2 MHz $\pm (5 \times 10^{-5})$
最大周波数偏移	± 120 kHz
搬 送 波 出 力	1.0 W 以上
アンテナ定在波比	2 以下
(2) アナログ・データ・チャンネル	
チ ャ ン ネ ル 数	14 CH
入 力 信 号	0 \sim +5 V
入力インピーダンス	350 k Ω 以上
副搬送波中心周波数	IRIG BAND 2 \sim 15
副搬送波最大偏移	中心周波数の $\pm 7.5\%$
変 調 直 線 性	$\pm 2\%$ 以内
較 正 信 号	0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 の 11 点
較 正 時 間	約 32 秒
較正信号送出方式	自 動
較 正 信 号 精 度	$\pm 0.5\%$ フルスケール
(3) デジタル・データ・チャンネル	
変 調 形 式	PCM NRZ-M-PSK
サブキャリア周波数	64 kHz
ビ ッ ト レ ー ト	25.6 K ビット/秒
ワ ー ド 構 成	1 \sim 30 ビットまで可変語長 6 ビット標準
フレーム構成マイナフレーム	32 ビット/マイナフレーム
メジャフレーム	16 マイナフレーム/メジャフレーム
フ レ ー ム 同 期	16 ビット
フレームカウント	16 ビット
制御可能な観測装置数	7 台

表9 FM方式 TV伝送テレメータの性能諸元

1号機

	項 目	主要性能
カメラ	1. 撮像素子	インターライン CCD 固体撮像素子 画素数199,920素子 (有効画素数490V ×384H)
	2. テレビジョン方式	日本標準テレビジョン 方式
	3. 解像度	水平285 TV 本 垂直350 TV本 (フィールド蓄積)
	4. S/N	50 dB 以上
	5. 最低被写体照度	F1.4 2ルクス (実用範囲)
	6. 変調感度	60コマ/秒
	7. 変調周波数範囲	
送信機	1. 送信電力	2±0.4 W
	2. 変調方式	FM
	3. 周波数	927MHz
	4. 周波数安定度	±1×10 ⁻⁴ 以下
	5. スプリアスレベル	-60 dBc 以下
	6. 変調感度	2MHz/V
	7. 変調周波数範囲	10Hz~3MHz

2号機

	項 目	主要性能
カメラ	1. 撮像素子	インターライン CCD 固体撮像素子 画素数199,920素子 (有効画素数490V ×384H)
	2. テレビジョン方式	日本標準テレビジョン 方式
	3. 解像度	水平285 TV 本 垂直350 TV本 (フィールド蓄積)
	4. S/N	50 dB 以上
	5. 最低被写体照度	F1.4 2ルクス (実用範囲)
	6. 変調感度	60コマ/秒
	7. 変調周波数範囲	
送信機	1. 送信電力	2±0.4 W
	2. 変調方式	FM
	3. 周波数	12.8GHz 帯
	4. 同上安定度	±1×10 ⁻⁴ 以下
	5. スプリアスレベル	-60 dBc 以下
	6. 変調感度	2MHz/V
	7. 変調周波数範囲	10Hz~5MHz
ビデオミキサ	1. サブキャリア 発振周波数	4. 19MHz ±30×10
	2. 同上安定度	振幅変調
	3. カメラ B 変調方式	70% (1Vp-p 入力時)
	4. 変調度	

3号機

	項 目	主 要 性 能
カメラ	(1)撮像素子	インターライン CCD 撮像素子
	(2)テレビジョン方式	日本標準テレビジョン方式
	(3)解像度	内部同期/外部同期(自動切替)
	(4)解像度	水平280本, 垂直350本
	(5)S/N	47 dB
	(6)最低被写体照度	F1.4 25ルクス (AGC ON)
送信機	(1)送信電力	2W±0.4W
	(2)変調方式	FM
	(3)搬送波周波数	12.8GHz 帯
ビデオミキサ	(1)入力系統	2
	(2)出力系統	1
	(3)クロストーク: カメラチャンネル間	45 dB 以上/3.58MHzにて
電源	+12V	2200mA
	+9V	3200mA
	-12V	1300mA

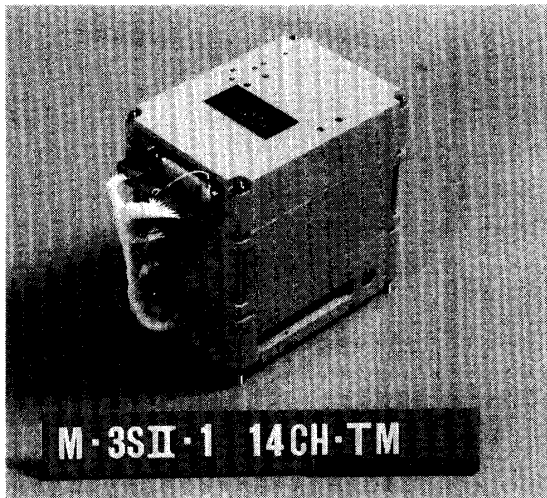


図2 FM-PM テレメトリ送信機

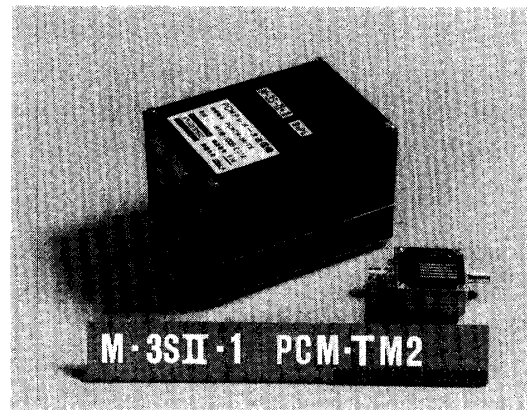


図3 PCM-PSK テレメトリ送信機

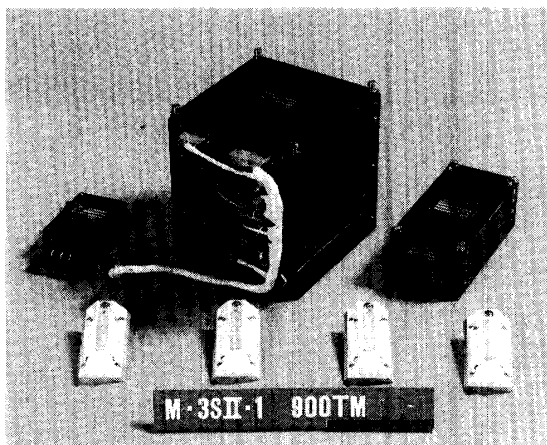


図4-1 SS-FM テレメトリ送信機

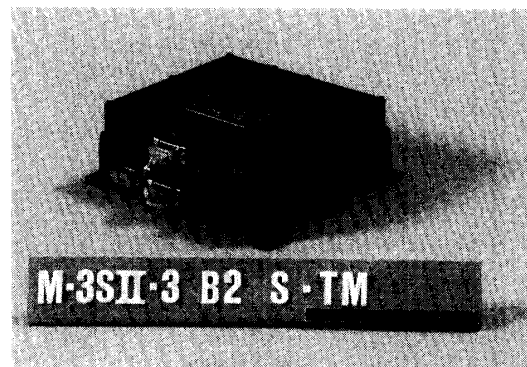


図4-2 Sバンドテレメトリ送信機

2.3.3 TM-3

TM-3は計測器からの信号をSS-FM変調方式で伝送する6チャンネル多重テレメータ送信装置で、端局部と送信機が一体となった型式となっている。2号機までは送信周波数は900MHz帯であったが、3号機ではS帯に変更されている。

外観図を図4-1、4-2に示す。伝送項目は、機体振動等の高い周波数成分を含む情報等である。

2.3.4 TM-4

TM-4はFM変調方式により画像伝送を行うテレメータで、送信機とカメラ制御部は第2段計器部に搭載されており、カメラヘッド部はノーズフェアリング接手部に取り付けられ、ロケット機軸に対し約20度外側に視野角を持たせサブブースタを視野内にいれている。

1号機では白黒1画面、2号機からは白黒2画面の伝送を行い、3号機ではさらにカラー2画面を伝送した。

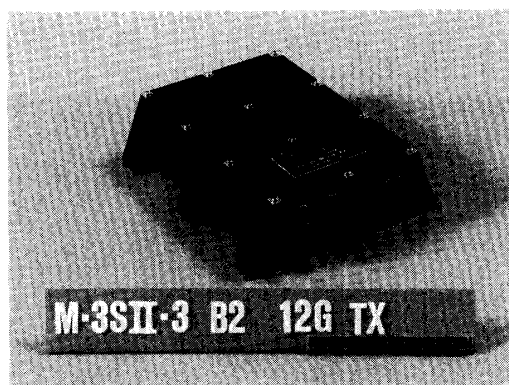


図5 TV伝送用12GHz送信機

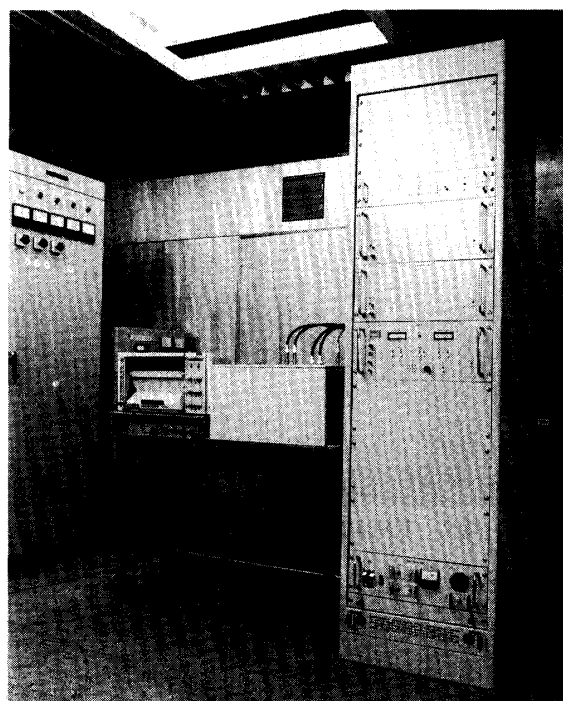


図6 Sバンドテレメトリ受信機

外観図を図5に示す。

2.3.5 TM-5

TM-5は送信周波数と送信電力を変えているほかはTM-2と同じ方式をとっている。

2号機まではサブブースタ部に、3号機からは第1段計器部に搭載されている。

2.4 テレメータ受信装置とデータ処理

2.4.1 テレメータ受信装置

M-3SⅡ型の受信に対応した受信装置は、FM テレメータ装置2系統、ハイブリッドテレメータ装置1系統、PCM テレメータ装置2系統、SS-FM900MHz テレメータ装置1系統および画像伝送用広帯域FM テレメータ装置がKSC テレメータセンタに設置されている。さらに、3号機ではS帯テレメータ受信装置が10mトラッキングアンテナ局舎に設置(図6)され、テレメータセンタに設置されている復調装置に接続されている。

FM 復調装置は、IRIG 標準方式 BAND1~15のものが2系統で、その復調信号はパッチパネル盤を介しペン書き記録器等に出力され、リアルタイム及び再生において任意に選択が可能である。

ハイブリッドPCM 復調装置はロケットごとにフォーマット記録されたROMによってチャンネルデータと8ビットパラレルデータのフォーマッティング出力およびD/A変換した任意チャンネルのアナログ信号を出力する。

高速PCM復号化装置は、デジタル出力としてPCMビットシリアル出力および各チャンネルの8ビットD/A変換器のアナログ電圧を出力する。

900MHz(3号機ではS帯)のSS-FM受信装置の端局部は、共通部1ユニット、チャネ



図7 各種テレメトリアンテナ

ル部 8 ユニットで構成され、帯域 3 KHz の復調信号を出力する。

画像伝送の広帯域 FM 受信装置は、TV 信号を復調するもので、周波数変換盤と 1.9GHz 帯 FM 受信復調部とで構成され、ビデオ信号の TV 画面表示とビデオ録画を行う。

記録装置としては主として 8 チャンネルペン書き記録器が必要台数用いられ、リアルタイム及びデータレコーダ再生時に上記復調装置の出力記録を行う。

磁気テープ記録装置は、AMPEX データレコーダ 2 台を用い 1/2 インチ、7 トラックテープに、各受信機のビデオ信号と時刻信号に受信機 AGC 信号を付加して同時に記録するようになっている。

受信アンテナは 300MHz 帯用に 16 素子の高利得アンテナと 4 素子の中利得アンテナが 2 台、900MHz の 3 mφ と 9 GHz 帯の 2 mφ のパラボラアンテナが設置されている。

また、1 号機で第 2 段モータの燃焼ガスが通信回線に大きな影響をもたらすことが判かり、2 号機からは衛星追跡用に用いられていた 18mφ パラボラアンテナを 16 素子アンテナに替わり使用した。図 7 に KSC でのアンテナ群を示す。

さらに、3 号機では S 帯テレメータの受信に 10mφ パラボラアンテナを衛星追跡と共用させた。

2.4.2 データ処理

テレメータデータ処理システムは、U-1500 II 計算機 2 台により構成されており PCM 系テレメータデータの取り込み、取得データの表示、RS 系へのデータ伝送などの基本機能を備えており、ロケットが飛しょう中、地上装置の一部に万一障害が生じててもデータ取得や伝送に支障をきたさないように冗長構成がとられている。データの表示は、姿勢制御系については姿勢角や各段エンジンの動作状況等、計測系については物理量に変換された加速度や振動等の機体情報等、テレメータ系については各テレメータの受信入力レベルがグラフィックディスプレイやキャラクタディスプレイ画面、ペン書き記録器等に出力される。さらに、M 管制室、コントロールセンタに対してテレメータデータの分配を行っており、動作チェック

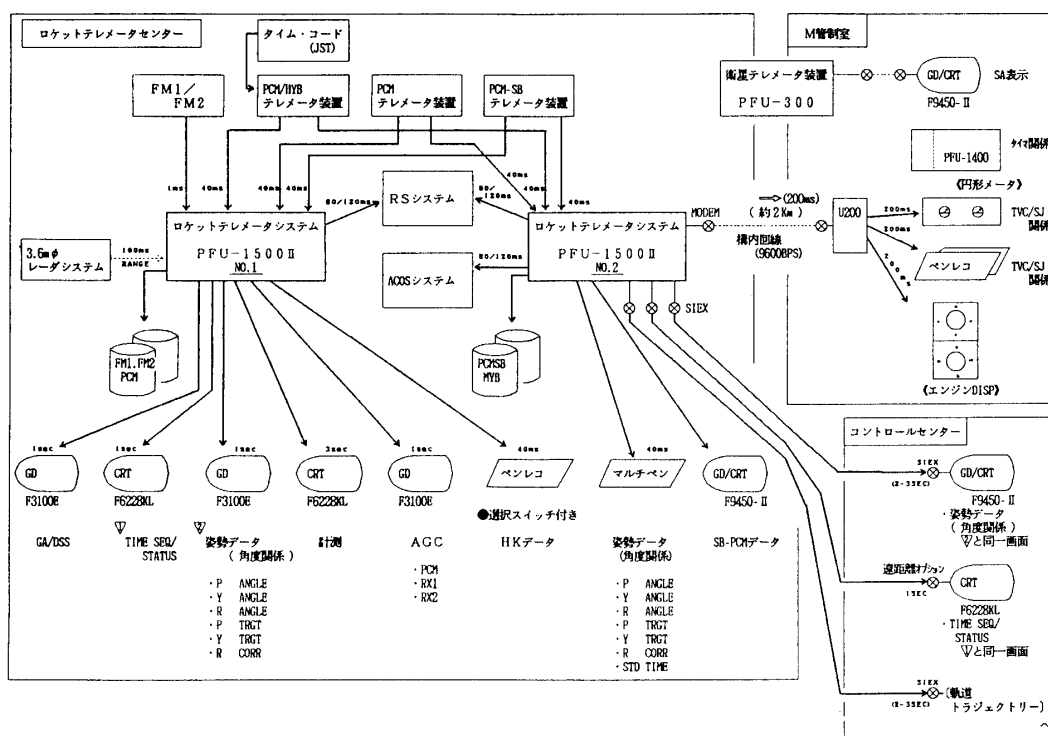


図8 ロケットテレメータデータ処理システム構成図

及びフライト時には各作業場所においてテレメータデータのモニタが可能となっている。

また、後処理としてデータの CCT (Computer Compatible Tape) がつくられユーザの解析用に提供されている。

図8にロケットテレメータデータ処理システム全体構成を示す。

2.5 飛しょう結果

2.5.1 M-3S II-1号機

M-3S II-1号機に搭載した各テレメータの受信入力レベルを図9～14に示す。

第2段計器部に搭載したテレメータについては、全体的に第2段モータの燃焼ガスによる影響が大きく見られる。特に第2段モータ点火直後から10数秒間はレベルの低下が大きく、データ判定に支障をきたした。その他は、計算値にはほぼ合っており、全体的には回線は正常であった。

画像伝送を行った TM-4は、地上アンテナの追尾精度が充分得られなかったため、受信入力レベルがやや変動し、一部計算値より低くなる結果を生じた。しかし、本来の目的とするサブブースタ分離の状況等の画像は鮮明に写し出すことが出来、解析に充分な映像を得ることが出来た。

第1段計器部に搭載したテレメータ TM-5については、発射後第1段モータの分離まで受信入力レベルがかなり低い値となっている。この主な原因は M-3S 型の時と同様、アンテナが第1段ノズル部のすぐ近くにあるため、第1段モータの燃焼ガスによる減衰を受けている事等が考えられる。しかし、距離が近いことデータ取得には支障をきたしていない。

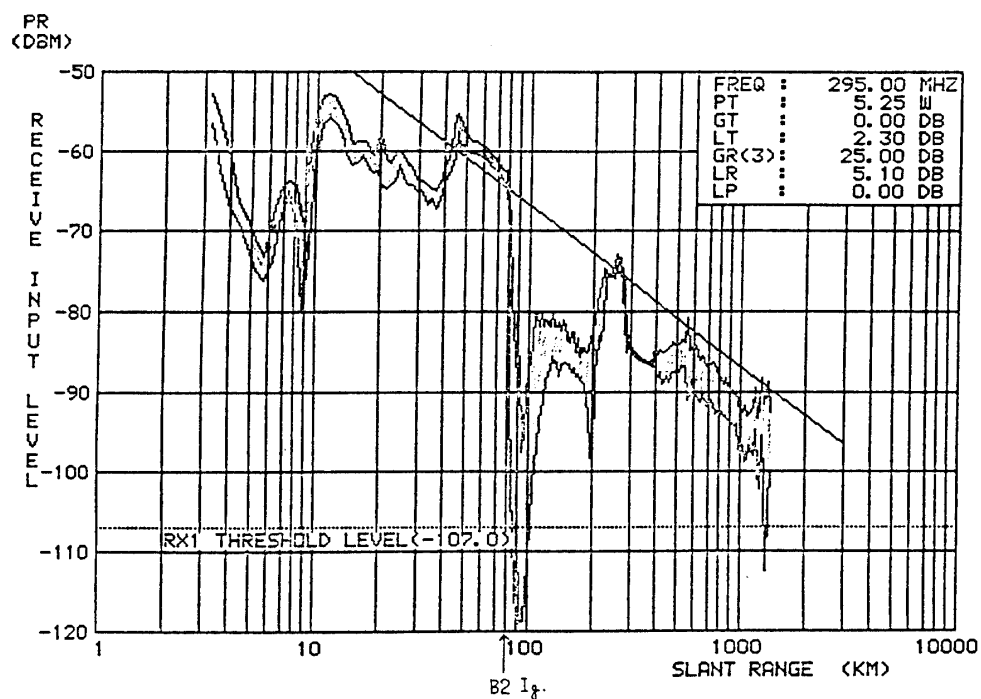


図9 M-3S II-1 TM-1受信入力レベル

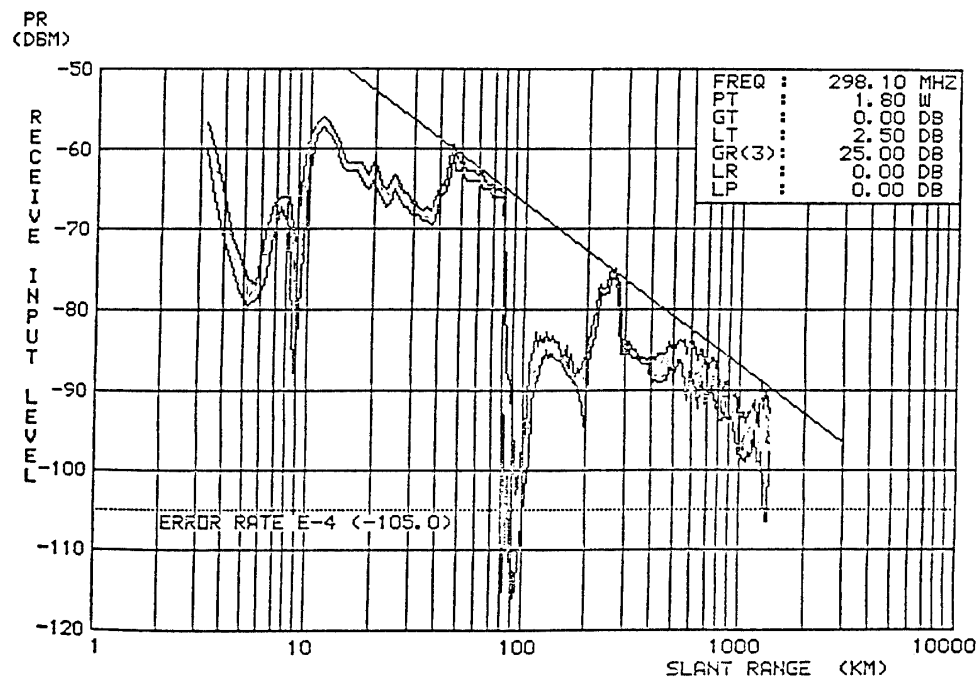


図10 M-3S II-1 TM-2受信入力レベル

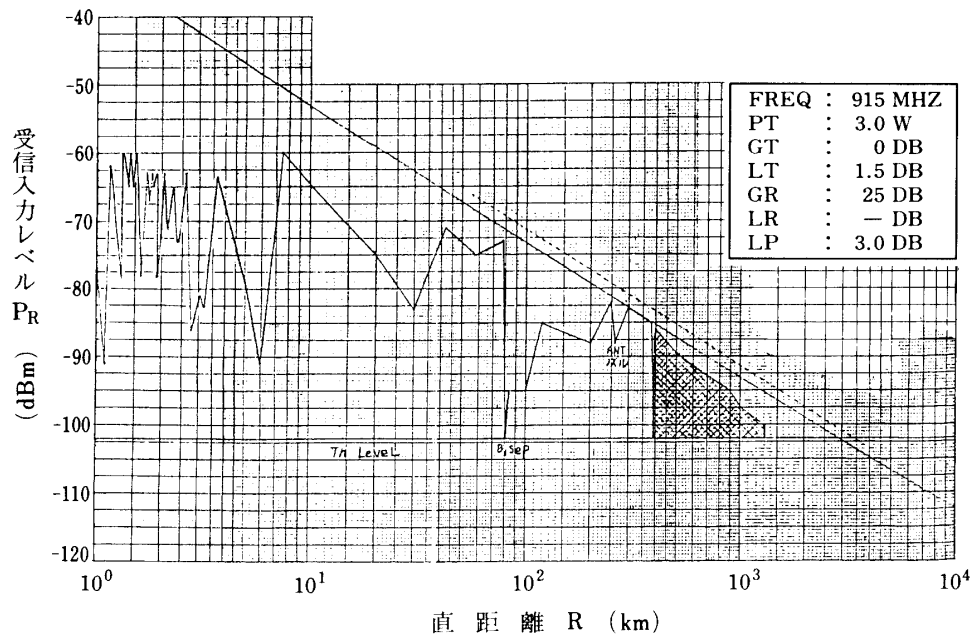


図11 M-3S II-1 TM-3受信入力レベル

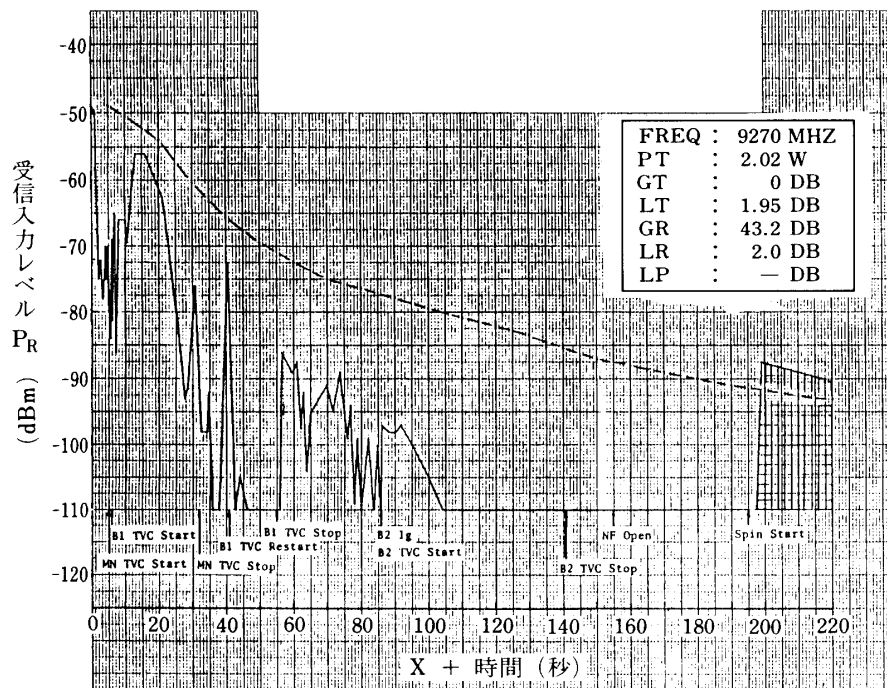


図12 M-3S II-1 TM-4受信入力レベル

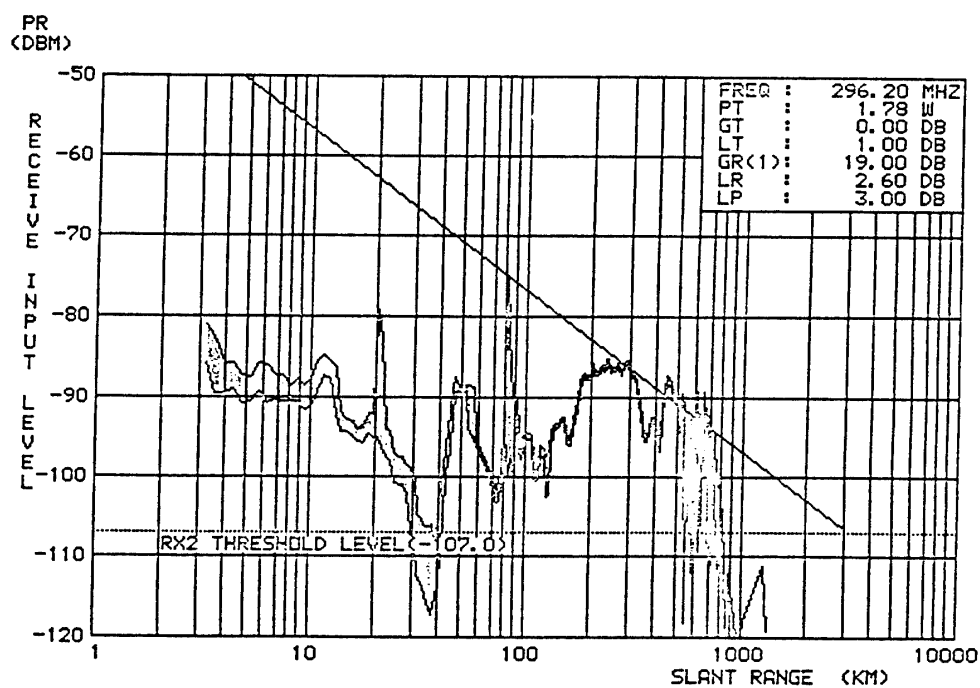


図13 M-3S II -1 TM-5受信入力レベル

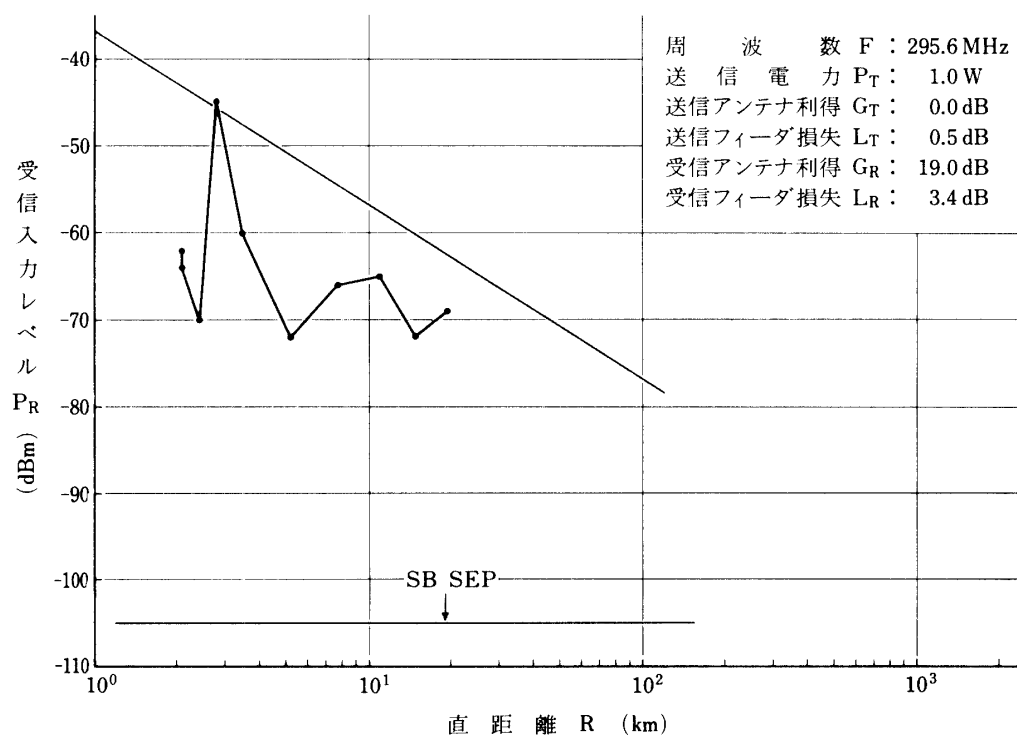


図14 M-3S II -1 TM-6受信入力レベル

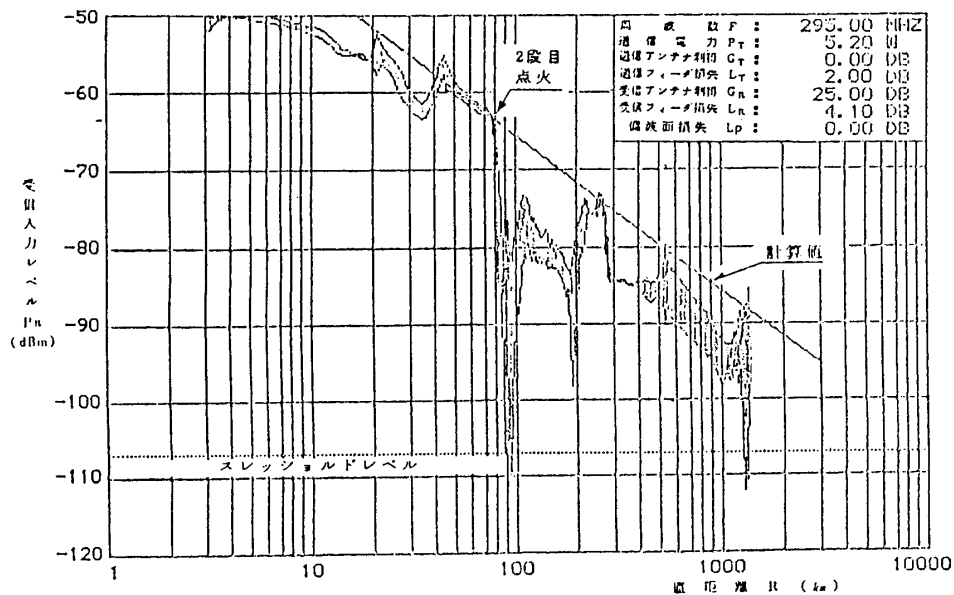


図15 M-3S II-2 TM-1受信入力レベル

サブブースタに搭載したテレメータ TM-6はサブブースタ分離までは良好なレベルで受信され、有効なデータを得ることが出来た。分離後、着水までは複雑な姿勢変化により大幅なレベル変動が見られる。

2.5.2 M-3S II-2号機

搭載した各テレメータの受信入力レベルを図15～20に示す。

全体的に、1号機と大きくは変わらないが、第2段モータの燃焼ガスによる第2段計器部搭載のテレメータへの影響は、受信アンテナに18mφパラボラアンテナを使用し地上系を強化したこともあり、1号機で見られた点火後10数秒間の Lock-Off は2号機では見られなかった。

画像伝送を行った TM-4については、搭載アンテナの取り付け位置の変更と受信アンテナの電気軸、光軸の軸合わせの見直しを行った結果、1号機に比べレベルは改善され、計算値とよく一致している。画像も左右のサブブースタ分離、1、2段接手の開傘、NF開頭等の模様を鮮明に写し出し、解析に十分な映像記録を得ることが出来た。

2.5.3 M-3S II-3号機

図21～25に各テレメータの受信入力レベルを示す。

第2段計器部に搭載したテレメータについては、全体的に第2段モータの燃焼ガスの影響が大きく、第2段モータ点火から燃焼終了までレベルの低下が大きく、データの質が低下した。しかし、平均的にはデータの判定は可能であった。その他は、おおむね計算値に合っており良好であった。

画像伝送を行った TM-4については、受信入力レベルは計算値に対して全体的に低目であった。原因として地上アンテナのスレーブ系における指向誤差が考えられる。この結果、サブブースタの分離状況を画面で確認することが出来なかったが、その後の飛しょう状況に

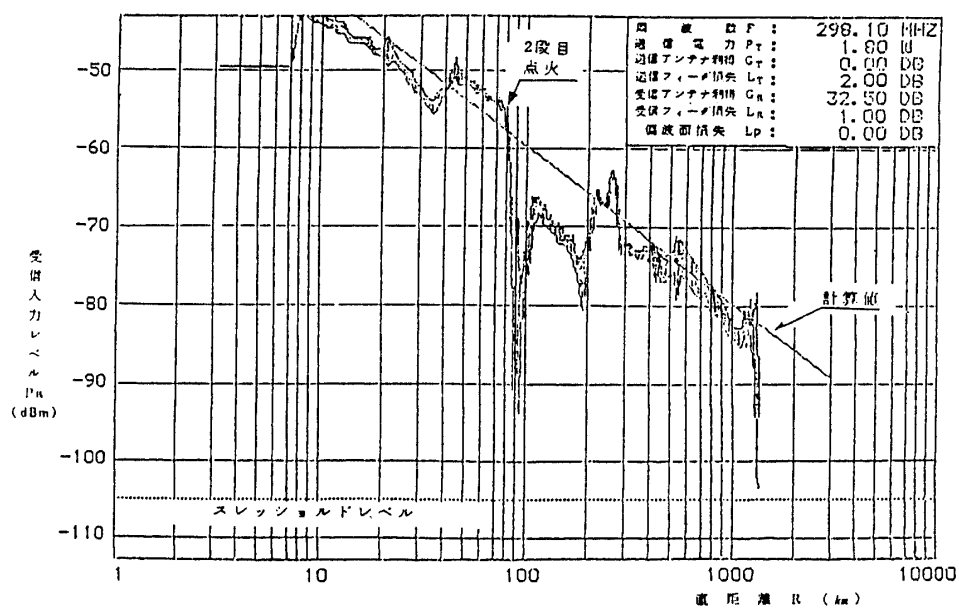


図16 M-3S II -2 TM-2受信入力レベル

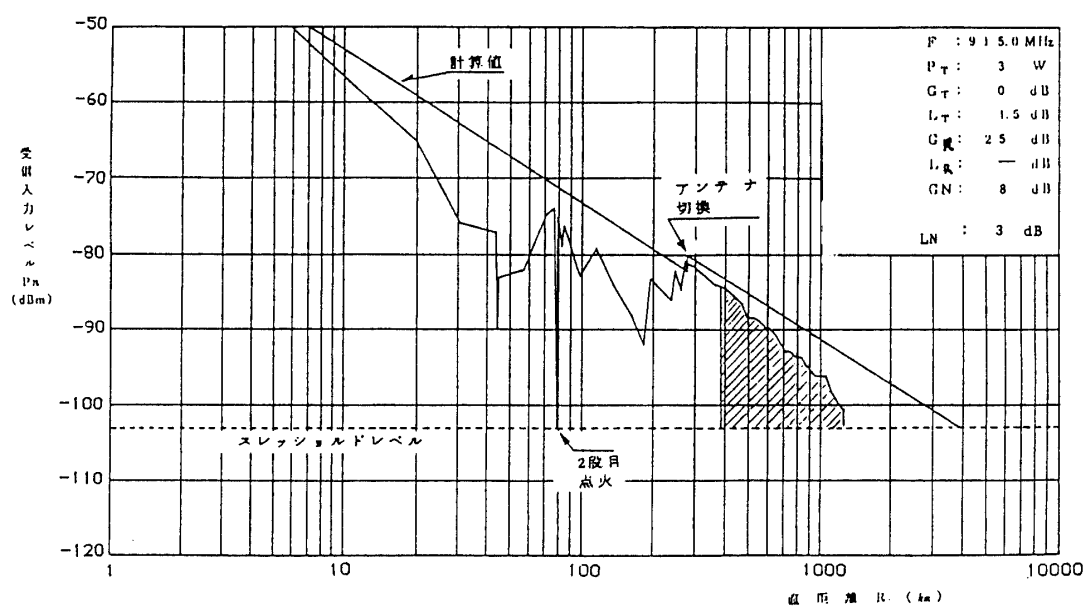


図17 M-3S II -2 TM-3受信入力レベル

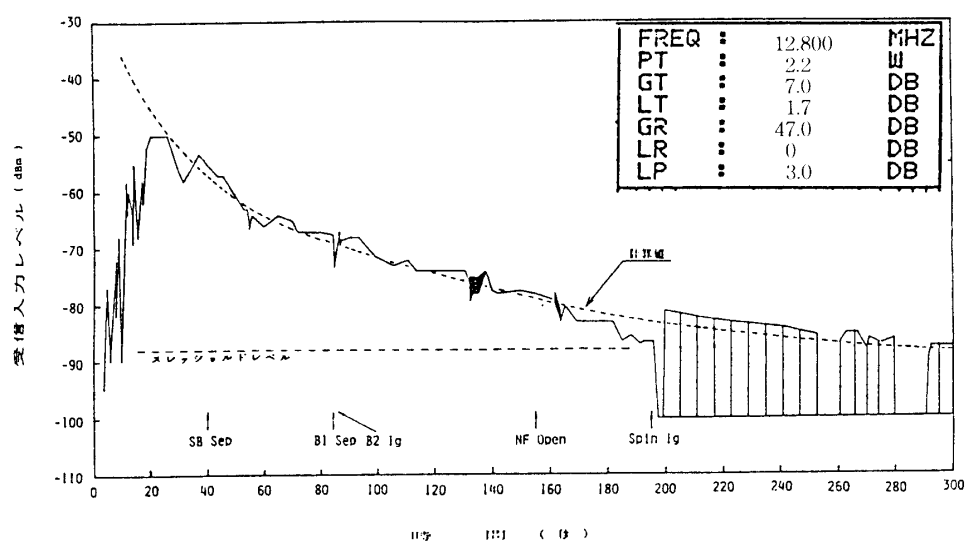


図18 M-3SⅡ-2 TM-4受信入力レベル

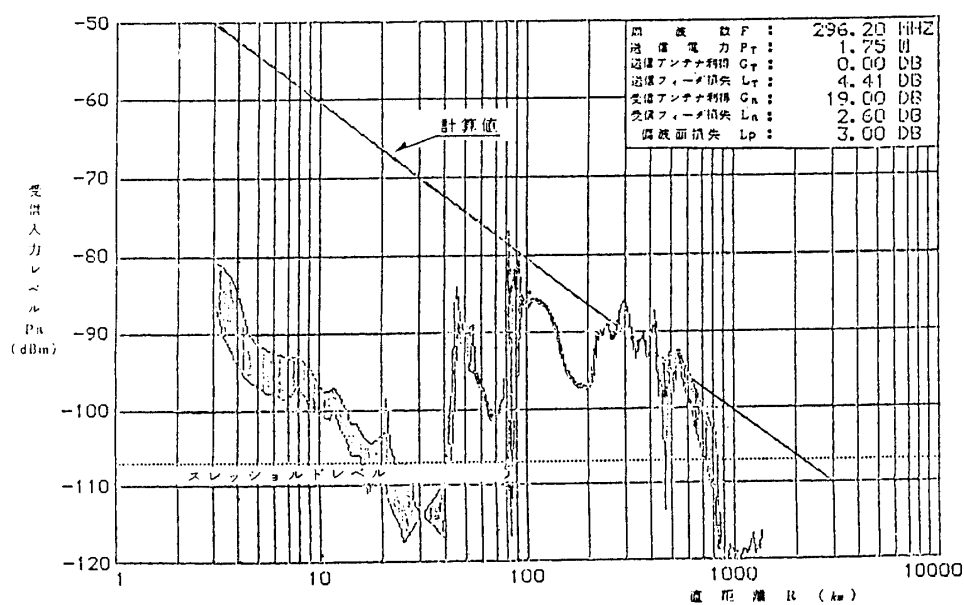


図19 M-3SⅡ-2 TM-5受信入力レベル

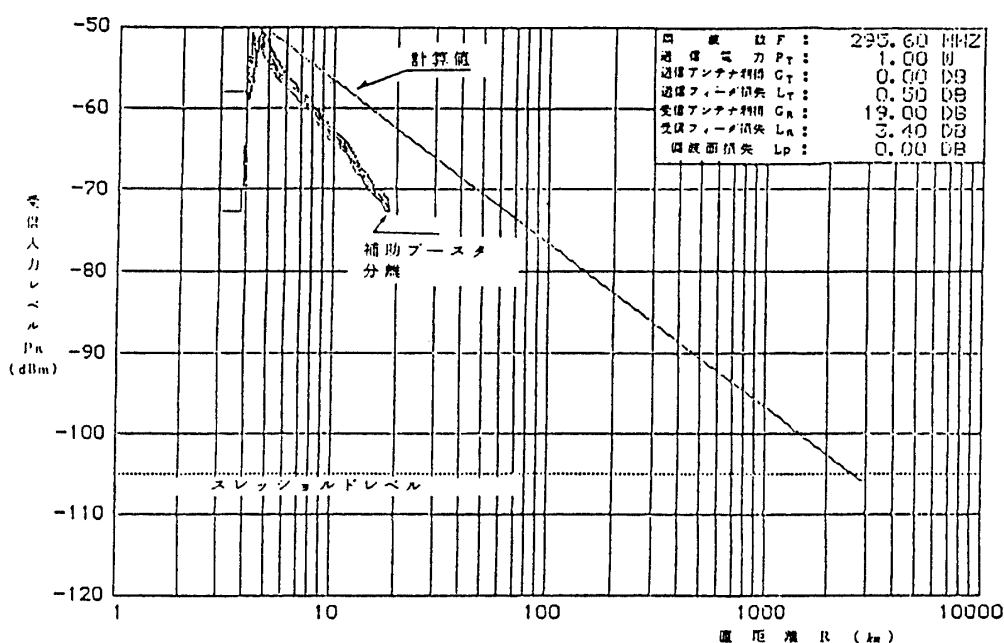


図20 M-3SⅡ-2 TM-6受信入力レベル

関する映像記録は得ることが出来た。

なお、4号機では、受信アンテナを直接精測レーダアンテナ上部に取り付け、追尾精度を上げ良好な結果を得ている。第3段計器部に搭載したTM-1については、第2段計器部に搭載したテレメータと同じく第2段モータの燃焼ガスの影響が見られる。しかし、アンテナ取り付け位置の関係でTM-2と同じ周波数帯を使用しているにもかかわらず、その影響は少ない。それ以外は計算値によく合っているといえることができる。

第1段計器部に搭載したTM-5は、今号機から送信アンテナを尾翼先端から、第2段搭載のテレメータアンテナと共用させたため、第1段モータ燃焼ガスの影響は2号機に比べ20dB程改善され、ノイズの少ないデータを得ることが出来た。

2.5.4 第2段モータの燃焼ガスによるレベル低下の検討

1～3号機の受信入力レベルを見てみると、1号機では第2段モータ点火後10数秒間のレベルの低下は大きく、データ取得に影響を及ぼし姿勢制御系のデータ判定に困難をきたした。

そこで、2号機では受信アンテナに高利得の18mφアンテナを使用する等地上系を強化し、受信レベルの向上を図った。その結果、第2段モータの点火直後は瞬間的にレベル低下はあったものの、その後はレベルの低下は減少し受信状況はおおむね良好であった。

3号機では、2号機と同じ受信体制がとられたにもかかわらず1号機よりさらにレベル低下は大きい。

この原因究明のため、1～3号機について、ロケットの機軸と送受信アンテナ間を結ぶ線のなす角 α (Look-Angle)の発射後の変化を求めた。結果は図26に示す通りで、これより、明らかに相違のあることがわかる。

2号機の第2段モータ燃焼中の α 角は15度位であるのに比べ、1号機は12～13度、3号

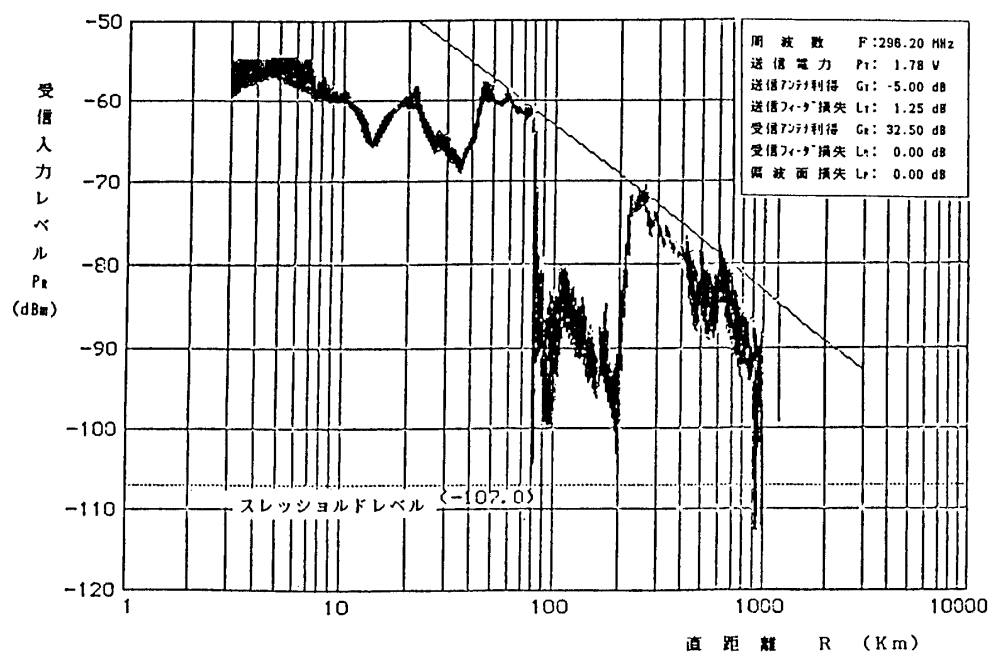


図21 M-3S II-3 TM-1受信入力レベル

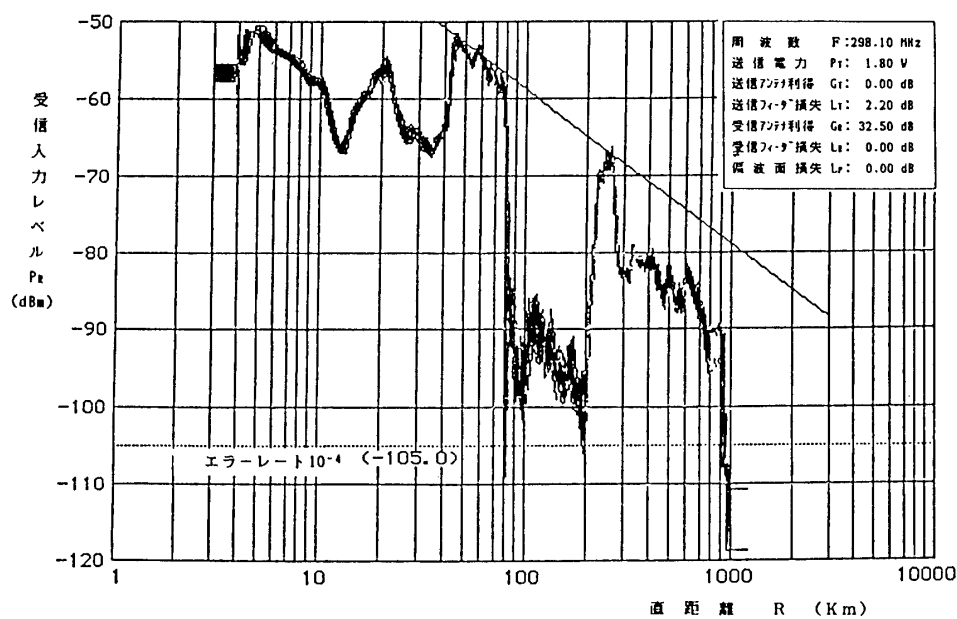


図22 M-3S II-3 TM-2受信入力レベル

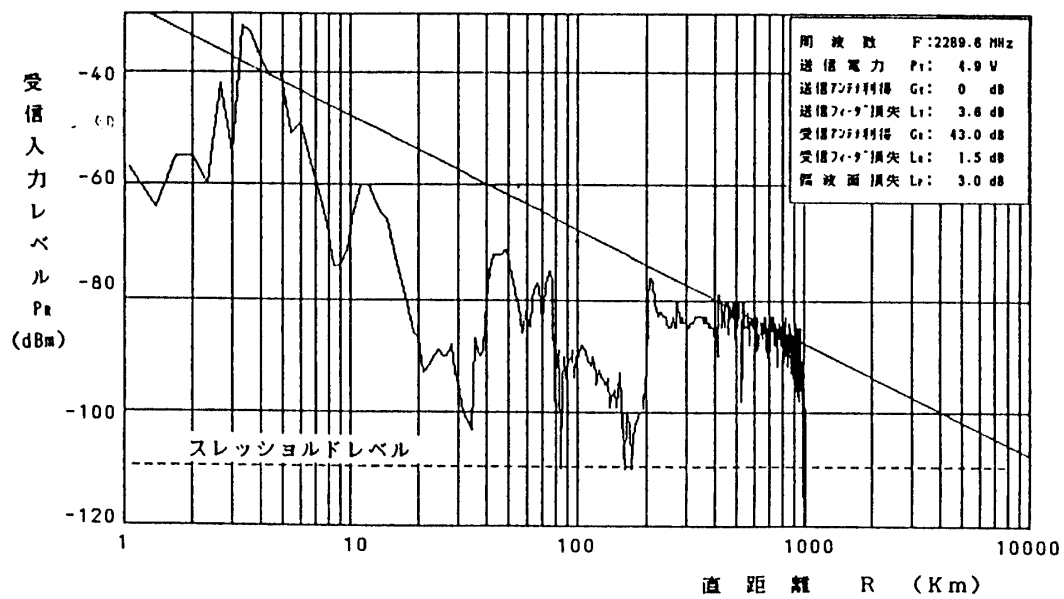


図23 M-3S II -3 TM-3受信入力レベル

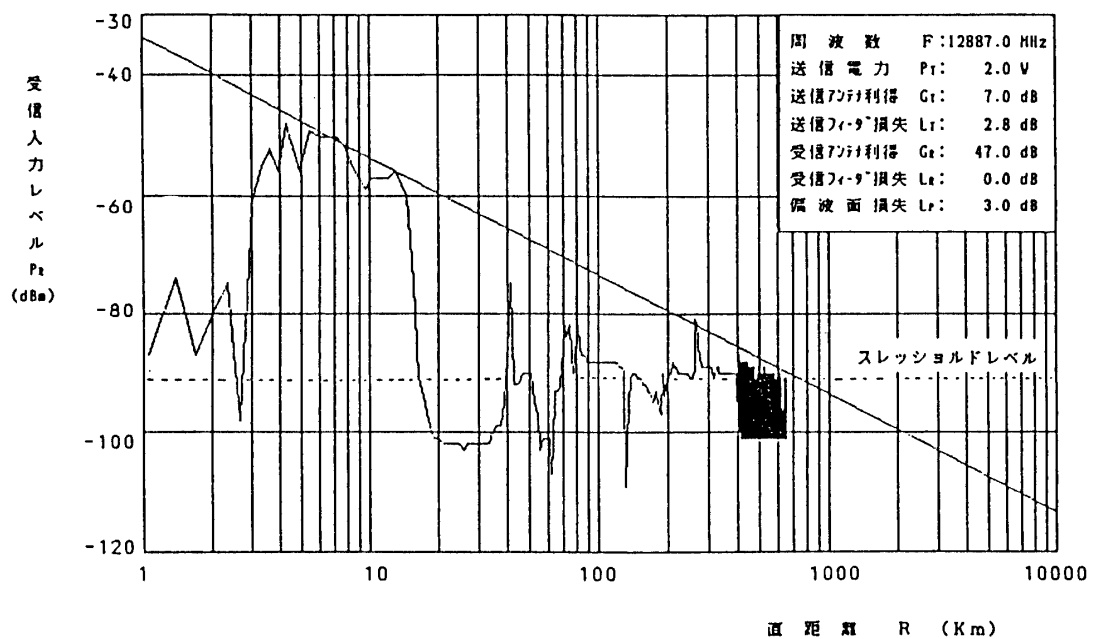


図24 M-3S II -3 TM-4受信入力レベル

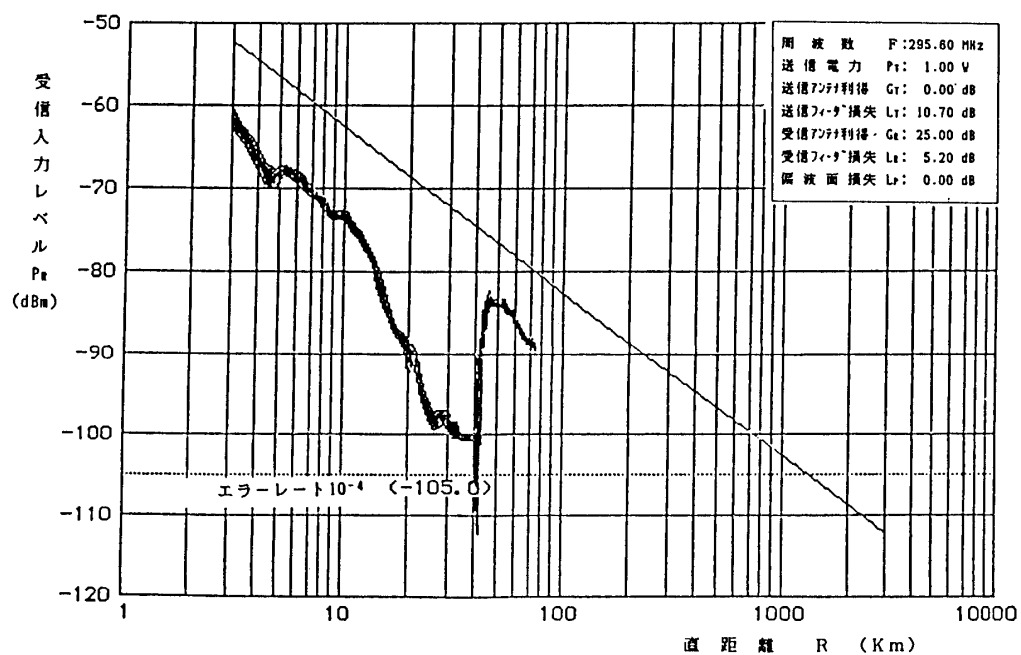


図25 M-3S II-3 TM-5受信入力レベル

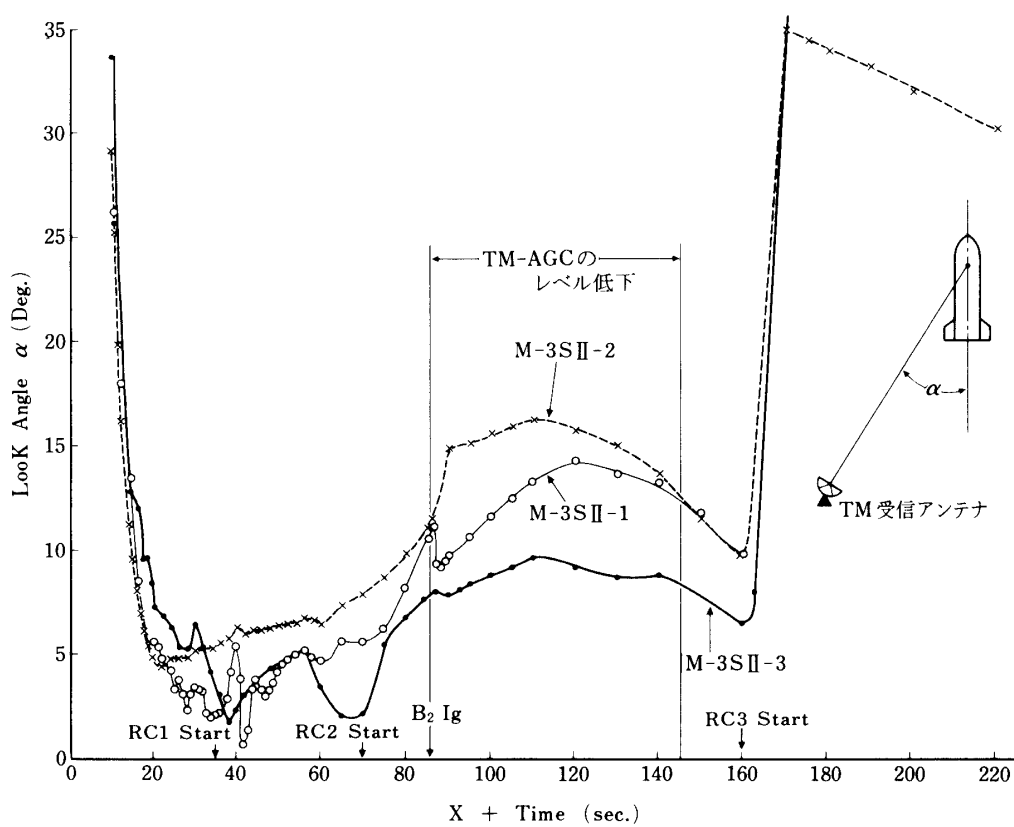


図26 M-3S II-1~3における Look Angle

機ではさらに低い 7 ～ 9 度であった。

これにより、 α 角が受信レベルの低下の大きさに関係していることが推定される。

この事をさらに明確にするため、1 ～ 3 号機のデータから求めた、第 1 段および第 2 段モータ燃焼によるレベル低下と α 角との関係を図 27 に示す。

これにより、第 1 段モータについては 5 度、第 2 段モータについては 15 度以上の α 角をとることができれば、大きな影響を受けることはないと言える。

今後、飛しょう軌道で α 角が 15 度以内が予想される場合はダウンレンジ局の設置などの対策を講じる必要がある。

3. コマンド

3.1 コマンド回線

コマンドは表 10 に示すように、飛翔保安の他に最終段を点火させる瞬発コマンドの役割を持っている。そのために、直距離にして数千 Km の回線を確保する必要があり、受信機としてはダブルスーパーヘテロダイン方式による高感度受信機になっている。

コマンドアンテナはロケットの姿勢変化に対して、常に地上からコマンド電波を受信できるようにする必要がある。そのため第 2 段計器部外壁に 90 度おきに 4 本を取り付け、180 度で相対する 2 本を対とし、2 組をアンテナ切替スイッチで 0.5 Hz の間隔で切り替え、コマンド受信機に結合させている。

地上のコマンド送信電力は 1 kw であるが、飛翔前試験時にコマンド受信機の過大入力を与えるため 300 W の低出力に切り替え可能である。

送信アンテナは遠距離用の十字型ダイポール 4 素子を使用した Narrow Beam と近距離用の 1 素子を使用した Wide Beam の 2 つをもち、切り替えで使用するようになっている。

3.2 コマンド受信機

コマンド受信機は、第 2 段計器部に搭載されている。

図 28 にコマンド受信機系統ブロックを示す。受信回路はダブルスーパーヘテロダイン方式である。2 号機までコマンド信号は可聴周波数帯 3 波を用い、受信機ではこれらのうち 2 波が同時かつ 0.2 秒以上継続して受信された時、リレーが動作しタイマに信号を送るようになっていたが、3 号機からは可聴周波数 1 波を追加して 4 波とし、制御項目を 3 項目から 6 項目に改めた。

また、タイマとのインタフェースをリレーからフォトカプラに変更して耐環境性能の向上をはかると同時に、スケルチ回路を採用してノイズによる誤動作を防ぎ、更にデコーダ部に冗長回路を構成して信頼性向上をはかる等の改善がなされている。また、電源の瞬断に備えてフローティング方式のバックアップ電池をそなえている。

表 11 に主要性能、図 29 に外観を示す。

3.3 コマンド送信装置

コマンド信号は、水晶制御された可聴周波数帯 4 波（M-3S II -3 号機以降）のうちの 2 波で搬送波を位相変調している。位相変調された搬送波は広帯域 TWT（進行波管）により増幅され 1 kw の出力で送信される。

コマンド送信機本体は気象台地トラッキングセンタ内に設置されている。コマンド操作は

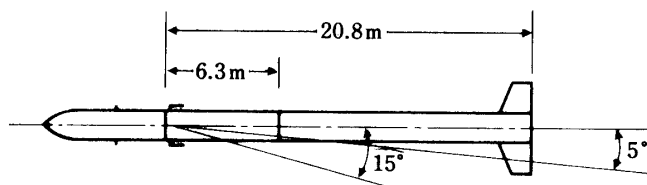
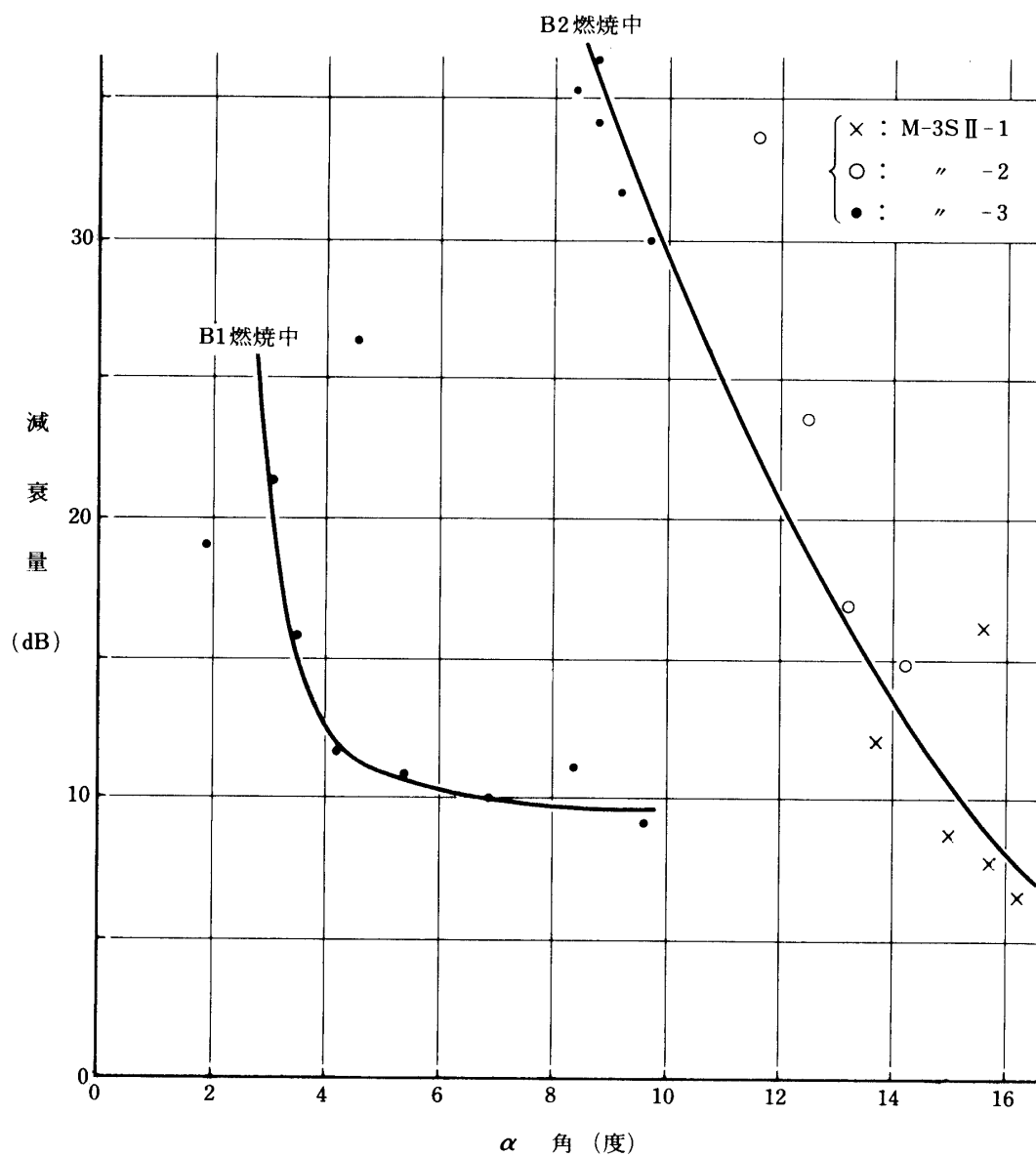


図27 第1段及び第2段モータ燃烧ガスによるレベル低下と α 角の関係

表10 コマンド項目(M-3SⅡ-3号機)

コマンド名称	項目
CM-A1	M-EPT, TSL STOP
CM-A2	B1・B2 SO, M-EPT・TSL STOP
CM-A3	MN-TVC CUT, SMRC CUT
CM-A4	B1-TVC CUT
CM-A5	TSL CUT
CM-A6	EPT-SA START, B2 SEPARATION

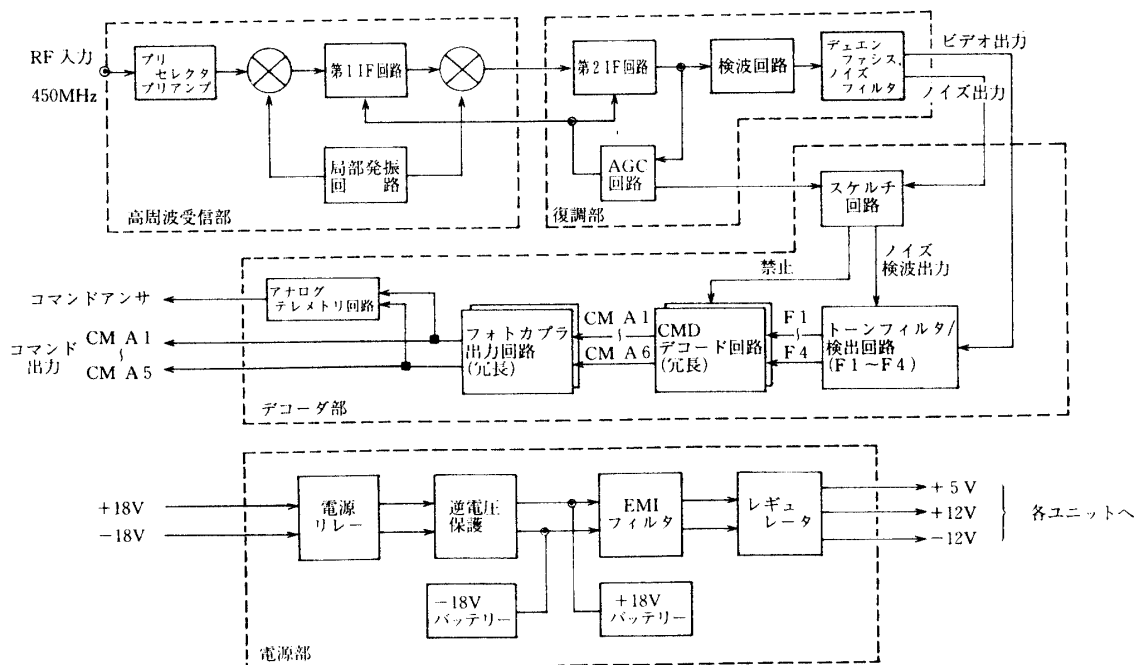


図28 コマンド受信機システムブロック図

コントロールセンタ内の操作卓からリモートコントロールされる（図30）。操作卓では、保安監視テレメータ装置から送られてきたコマンドアンサバック信号、コマンドAGCデータ等をCPUに取り込み、CRT画面に表示させて、その運用性の向上を図っている。

図31にコマンド送信装置の系統図を、表12に送信機および空中線の主要性能を示す。

3.4 飛しょう結果

図32に3号機に搭載したコマンド受信機の直距離に対する地上からのコマンド送信電波の受信入力レベルを示す。

テレメータと同様に第2段モータの燃焼ガスによる影響が見られるが、スレッシュホールドレベルより十分なマージンをもっており、回線上問題はなかった。

1～3号機とも、ロケットがほぼ予定軌道を飛しょうしたため、RS、RG系のコマンド

表11 コマンド受信機の主要性能(M-3SⅡ-3号機)

受信方式	ダブルスーパーヘテロダイン
受信周波数	450 MHz
最低受信レベル	-97dBm 以下
受信動作帯域幅	±45kHz 以上
コマンド・トーン	4 波
アンテナ型式	胴体装着型フックアンテナ
アンテナ・VSWR	2.0以下
入力インピーダンス	50Ω
消費電力	+18V, 7 W 以下 -18V, 2 W 以下

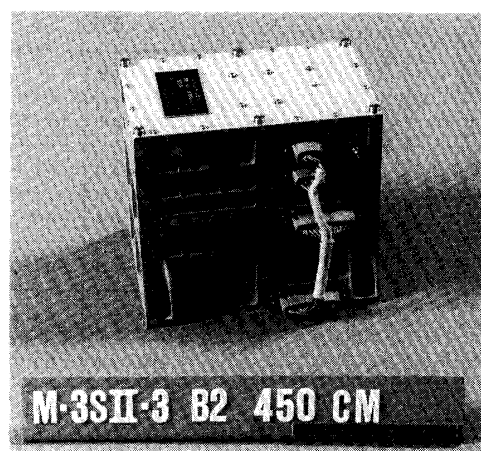


図29 450MHz コマンド受信機

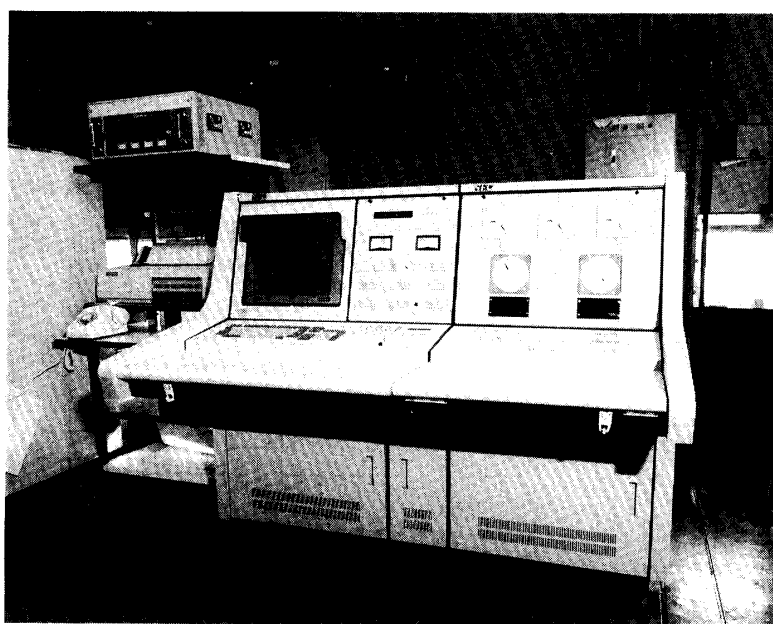


図30 コマンド送信卓

送信は行われなかった。

4. 集中電源

集中電源には従来、酸化銀亜鉛蓄電池が用いられてきたが、M-3SⅡ型から、充電効率や容量管理等の面から見直しがはかられ、ニッケルカドミウム蓄電池を使用する事になった。

これに伴い、蓄電池容量、形状、重量等の変更がなされた。

搭載場所は、第2段計器部、第1段計器部およびサブブースタ計器部(R側およびL側)である。3号機では、第3段計器部にも搭載された。

供給電圧は全て±18Vの2系統である。

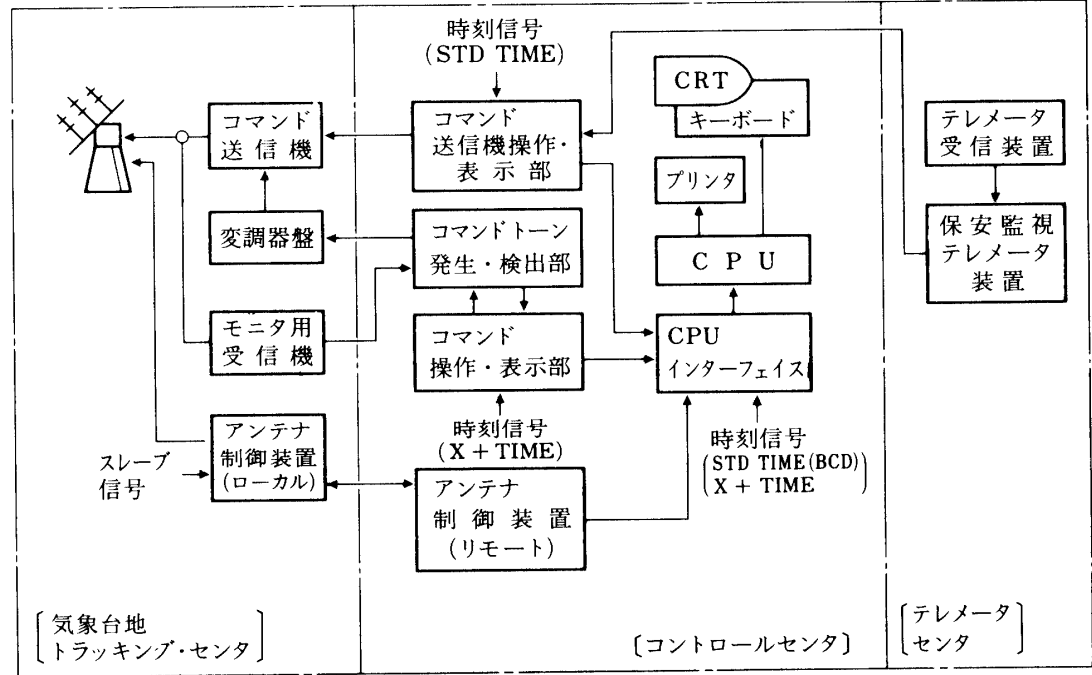


図31 450MHz コマンド送信装置系統図

表12 450MHz コマンド送信装置主要性能諸元

送 信 機	ア ン テ ナ
出力周波数：450MHz 出力電力：1kW/300W 変調型式：水晶制御位相変調 入力信号周波数：F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄ の任意の2波 変調入力レベル：-8 dB/Tone ± 2 dB 基準変調度：7 rad/Tone S/N：基準変調にて-40dB 以下 スプリアス放射：搬送波出力に対して-40dB 以下 周波数安定度：± 5 × 10 ⁻⁶ 以内	型 式：円板型(十字型ダイポール) 周 波 数：450MHz 利 得：Narrow: 17.5dB Wide: 9.5dB 半 値 巾：Narrow: H面20°, E面20° Wide: H面92°, E面61° 追 尾 速 度：EL: 7.5°/sec, AZ: 6.5°/sec 最大回転角度：AZ: 180° +210° -210° EL: 0~90.5°

4.1 ニッケルカドミウム蓄電池

ニッケルカドミウム蓄電池は酸化銀亜鉛蓄電池と比べると以下に示す様な長所と短所が挙げられる。

- 長所：1) 電池の動作寿命，保存寿命が長い。
2) 充放電時のガスの発生が少ない。
3) 電解液の漏れがない。
4) 過充電にたいして強い。
5) ロケットに搭載したまま充電が可能である。

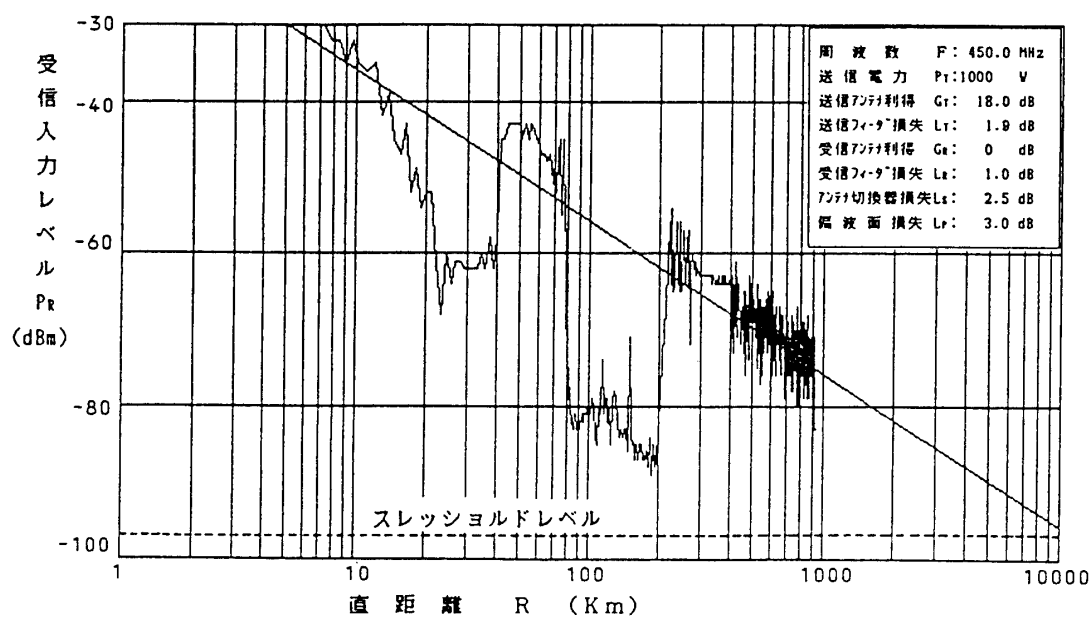


図32 M-3S II -3号機第2段搭載コマンド受信機の受信入力レベル

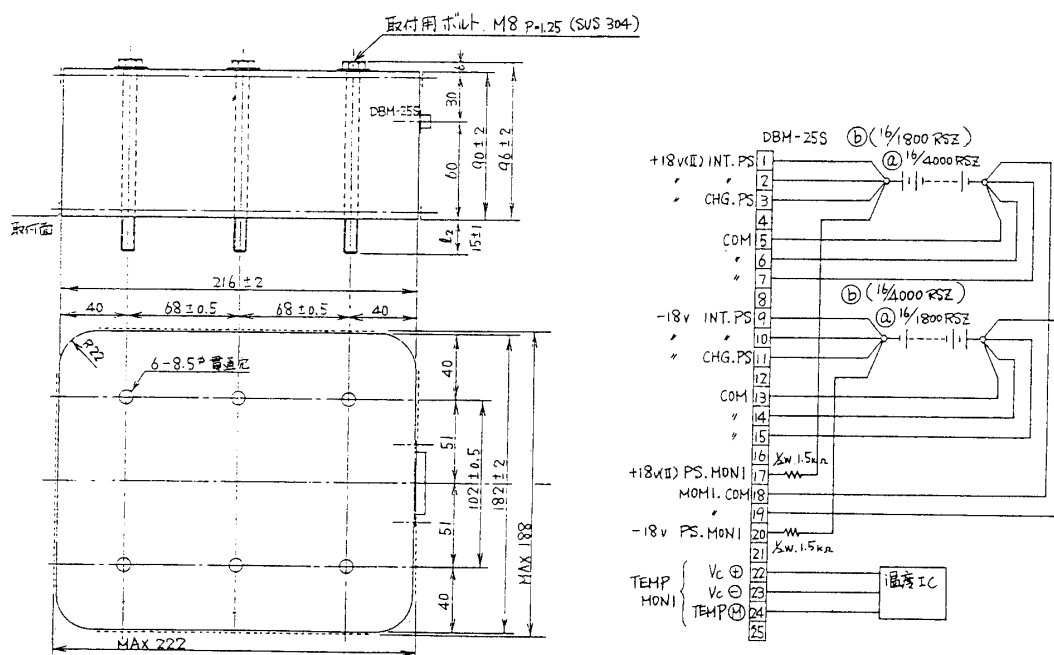


図33 M-3S II -1号機搭載の集中電源

表13 M-3S II 搭載集中電源 消費電力(設計 MAX 値：mA)

	SB(L)-PS		SB(R)-PS		B1PL-PS		B2PL(A)-PS	B2PL(B)-PS		B3PL-PS	
	+18V	-18V	+18V	-18V	+18V	-18V	+18V(B)	+18V(B)	-18V	+18V	-18V
M-3SII-1	2815	2870	710	460	1400	130	10630	2880	1380	—	—
M-3SII-2	1000	1450	900	500	1400	340	9200	4800	2535	—	—
M-3SII-3	950	500	950	500	850	1050	9200	3800	2520	1500	300

短所：1) 同じ電流容量にたいして、容積、重量が大きくなる。

ロケットの計器部搭載場所の作業性、有効利用等を考慮し、ニッケルカドミウム蓄電池の長所を生かし、これを採用する事により、ロケットに搭載された状態での充電が可能となり、充電管理、作業性の向上をはかることが出来た。図33に、代表的に1号機の第2段計器部に搭載した集中電源の外形寸法、内部結線図を、表13に1～3号機に搭載した集中電源の消費電流（設計最大値：mA）を示す。

4.2 充電

充電はロケット外壁に設けられた専用コネクタより行う。

KSCのM組立室およびM整備塔における充電には、地上回線を使用し、Mチェックアウト室に設置された充電装置で遠隔操作により行われる。

充電中は充電電圧、充電電流、蓄電池温度がデータとして監視することが出来、これらはパソコンに収録し検討資料として活用される。

図34に3号機の第2段計器部に搭載した集中電源充電記録の1例を示す。

4.3 飛しょう結果

飛しょう8分前に外部電源から内部電源への切り替えが行われ、搭載機器に集中電源からの電源供給が開始される。飛しょう中の電源電圧はテレメータにより監視することが出来る。これより、各号機とも集中電源は正常で、最後まで所定の電圧を各搭載機器に供給していたことがわかる。

図35に、代表的に3号機の第2段計器部に搭載した集中電源関連データのテレメータ記録を示す。

5. おわりに

M-3S II 型ロケットではペイロード可搬能力向上のため、推進系や機体系の改良に伴い、搭載テレメータ系もかなりのシステム変更がなされた。

大きな変更として、

1. サブブースタの分離や第1段モータ分離、ノーズフェアリング開頭等の状況を画像伝送するためのテレメータ送信機を第2段計器部に搭載。
2. サブブースタ SB-735の各種計測データ伝送のためサブブースタ計器部にテレメータ送信機を搭載。

M-3SII-3

MSSII-3 (B2 CHG)

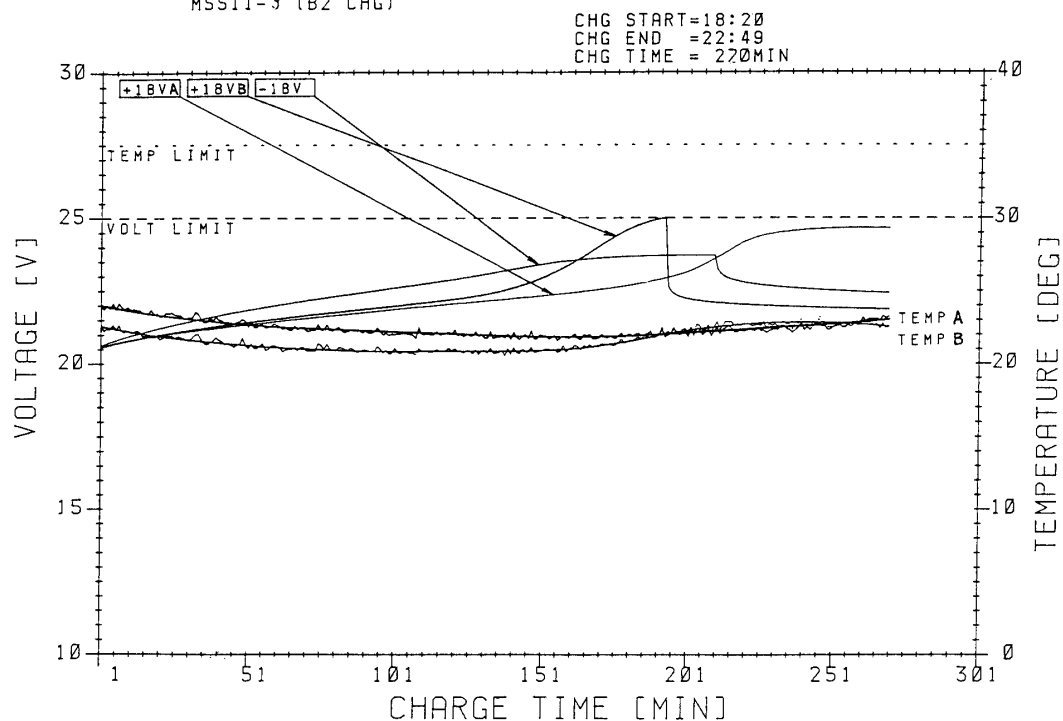


図34 充電記録例

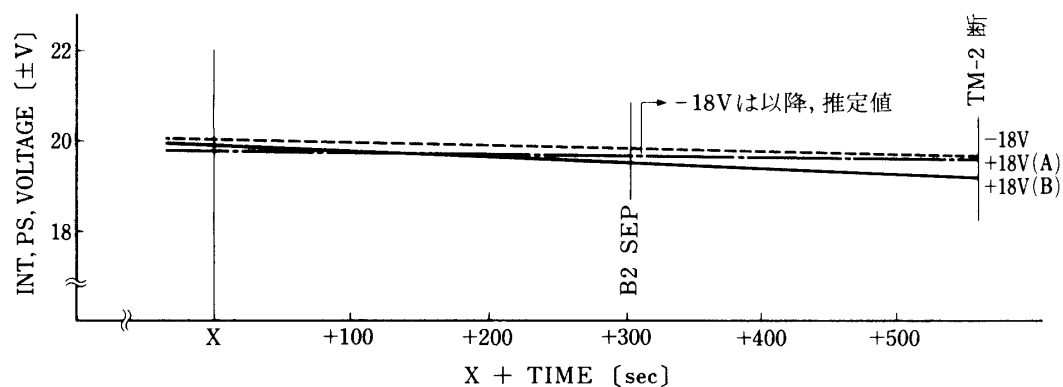


図35 M-3SII-3号機 B2PL-PS 内部電源供給電圧

ただし、これは2号機までで、3号機以降は第1段計器部に搭載されているテレメータ送信機でサブブースタの情報伝送を行った。

3. 3号機では、第3段球形モータの計測データ伝送のため第3段計器部にテレメータ送信機を搭載。
4. 3号機から、900MHz SS-FM 方式テレメータ送信機の周波数をS帯に変更。
5. 3号機から、第1段搭載テレメータの送信アンテナの位置を、尾翼先端から第2段計器部外壁に変更。

が挙げられる。

飛しょう結果では、まず第 2 段計器部に搭載した各テレメータは、1 号機で第 2 段モータの燃焼ガスの影響により回線にかなりの劣化をきたした。これは、M-3S 型の時には顕著でなかった現象である。このため、2 号機から受信アンテナに 18m ϕ パラボラアンテナを使用する等地上系の強化を図ったが、必ずしも十分な対策にはなっていない。原因として、推進薬の材質や Look Angle (α 角) 等が考えられるが、今後、十分な検討を要する問題である。

第 1 段計器部に搭載した 300MHz 帯テレメータについて、送信アンテナ位置の関係で、2 号機までは M-3S 型の時と同じく、第 1 段モータ燃焼ガスの影響が見られ受信状況は充分ではなかったが、3 号機では第 2 段計器搭載のテレメータアンテナと共用させたところ受信レベルは大幅に改善された。

コマンド受信機については、2 号機まではコマンド項目は 3 項目しかなく、一方制御項目は 5 項目であったため、飛しょうの途中でタイム信号による切り替えを行い、前半と後半で制御項目を分けることで対処した。

しかし、3 号機から制御項目の見直しが計られ、さらに安全性も配慮し、コマンド項目を 6 項目とすることになり、このため可聴周波数 1 波が追加された。

さらに、コマンド受信機の回路の見直しを行いノイズによる誤動作を極力おさえるとともに信頼性も強化された。

実際の飛しょうでは各号機とも、コマンド送信は行われなかったが、充分にその役割を果たした。

集中電源としては、従来の酸化銀亜鉛蓄電池にかわりニッケルカドミウム蓄電池が採用され、充電管理等が行いやすくなった。また、飛しょう中は、各機器に安定な電圧を供給することが出来た。

データ処理システムも本格化し、小型計算機 2 台を稼働させ、従来の処理に加え M 管制室へのデータ伝送が出来るようになった。

終わりに、関係実験班各位、テレメータ、コマンドおよび集中電源の製作を担当された NEC、富士通、松下通信、湯浅電池並びにデータ処理システムを担当された FHL の関係各位に深甚の謝意を表する次第である。