

ロケット搭載用テレビジョンシステム

横山 幸嗣*・大西 晃*・廣澤 春任*・梶川 正毅**・深蔵 英司**

(1999年2月16日受理)

Rocket-Borne Television System

By

Koji YOKOYAMA*, Akira OHNISHI*, Haruto HIROSAWA*,

Masaki KAJIKAWA** and Eiji FUKAKURA**

Abstract: This paper describes the rocket-borne television (TV) system that has been developed for monitoring the operations of M-3SII and M-V rockets of ISAS. The system consists of the on-board elements including CCD cameras, a video switch, a Ku- or X-band transmitter, a microphone and a power supply, and the ground elements including a Ku- or X-band receiving antenna, a receiver, a demodulator, a video recorder and video monitors. The system has been operated in ten rocket flights (one ST-735 flight, seven M-3SII ones and two M-V ones) since the start of the development in 1983, each time having been improved. The images have been utilized for monitoring the rocket operations, such as the separation of strap-on boosters, ignition of the second stage motor and jettison of the nose fairing, and for studying the dynamical motion of the mechanical elements of the rockets.

要 旨

1983年より、M-3SII型ロケット搭載のために、続けてはM-V型ロケット搭載用に、ロケット用テレビジョン (TV) システムを開発してきた。目的はロケットの分離や制御に関わる運動を高速度で撮像することである。搭載部分はCCDカメラ、ビデオスイッチ、マイクロフォン、送信機、送信アンテナから、地上部分は受信アンテナ、受信機、データ処理系からなる。1984年1月、ロケットST-735-1号機において最初の性能確認を行った。M-3SII型ロケットでは初号機から7号機までに搭載、その間、2画面合成や映像のカラー化、通信距離の拡大など、機能の向上を図った。M-V型ロケットでは1および3号機に搭載、新開発の大型ロケットの飛翔を映像により情報伝達するという大きな役目を果たした。

重要語: ロケット、搭載用テレビジョン、高速度画像伝送、CCDカメラ

*宇宙科学研究所

**日本電気株式会社 宇宙開発事業部

1. はじめに

M-3SII型ロケット開発の過程で、ロケットの飛翔状況を観察するための搭載テレビジョン（TV）システムの開発を開始した。機体の運動を観察・計測することが目的であり、併せて、保安上の監視にも役立つことを目指した。

ロケットの段間分離やサブブースターの分離などは高速の現象である。このような高速度の現象を撮像し、画像を地上に伝送するためには、広い占有周波数帯域幅を必要とする。画像伝送では、時間分解能、空間分解能、および画質の三つが考慮すべき特性である。利用可能な占有周波数帯域幅には制限があるので、その制約のもとで時間分解能を高めることに重点を置き、そのために有利なNTSC（National Television System Committee）方式の画像信号を用いることとした。搭載カメラとしては、画像歪みや残像の少ないCCD（電荷結合素子）カメラを採用することとし、コスト、性能等を考慮の上、民生用カメラを用いることとした。地上系に関しては、S/Nの確保のために、当初から追尾精度の高い高利得受信アンテナを用いることとした。

最初の飛翔実験を、1984年、ST-735-1号機において行い、良好な結果を得た。その成果をもとに、1985年以降、M-3SII型ロケットに搭載、技術的な改良を重ねながら、1993年の7号機まで、7回の実験を行った。その段階でTVシステムはほぼ完成し、同一のシステムをM-V型ロケットに適用した。M-V-1号機および3号機の打ち上げにおいては、新開発の大型ロケットの飛翔状況を映像により情報伝達するという大きな役目を果たした。

本稿では、ロケット搭載用TVシステム開発の経過を始めに述べ、次いでこれ迄の到達点といえるM-V-1号機の場合を取り上げて、システムの詳細を述べる。終わりに、これまでの10回のフライトにおける主要な成果をまとめる。

2. テレビジョンシステム開発経過

2.1 設計の基本方針

搭載テレビジョン（TV）システムを開発するに当たり、次を主な設計方針とした。

- ・占有伝送帯域を一定とするときに時間分解能を高める上で有効なNTSC方式の画像信号を用いる。
- ・画像品質 S/Nを放送規格（45dB以上）よりも緩めて35dB以上とし、通信回線の設計に余裕をもたせる。
- ・搭載カメラは安価で性能の優れた市販品のCCDカメラとし、打ち上げ環境等の耐性を持たせるために、構造設計の変更と改造を行う。
- ・ロケットへの機器の搭載位置を第2段計器部とする。カメラヘッド部は2台とし、ロケットの分離や機体運動の確認のできる位置に取付ける。すなわち1台はロケット後方を監視し、補助ブースターの分離、第1、2段モータの燃焼や分離を、他の1台は上方を写してノーズフェアリングの開頭、第3段モータの分離や点火等を撮像する。
- ・追尾精度の高いアンテナを用い、安定した通信回線を確保する。
- ・直距離100kmにおいて、画像 S/Nが45dB以上得られるようにする。

2.2 開発の経過

M-3SII型ロケットの打ち上げに先立ち、技術的な評価を行うために、ST-735-1号機において飛翔実験を行った。カメラの絞りを決めるに当たっては地上燃焼実験の炎データを参考にした。表1はこれ迄の実験の一覧で、併せて機器構成、送信電波の仕様等を示している。同表に従って開発の経過を説明する。

- (1) ST-735-1号機とM-3SII-1号機では白黒1画面の画像を伝送し、補助ブースターの分離を確認した[1,2]。送信周波数は9.2GHz、地上系のアンテナは直径2mのパラボラで、利得は43dBiであった。1.6GHzレーダアンテナにスレーブして追尾を行った。

- (2) M-3SII-2号機ではビデオミキサを開発し、白黒2画面を、周波数多重により、左右補助ブースタの分離が1画面に納められて同時に伝送されるようにした[3,4]。さらに、地上のコマンドを介して送信アンテナの切替が行えるように、アンテナ切替器を新たに開発した。送信周波数は9.2GHzから12.8GHzに変更された。
- (3) M-3SII-3号機では、カラーカメラを採用した。自動絞りと固定絞りの2台を搭載した[5,6]。左右補助ブースタの分離の状況を1画面で観測するために、2号機では周波数多重方式のビデオミキサを搭載したが、それを時分割多重方式のビデオスイッチに替えた。
- (4) M-3SII-4、5号機では、ノーズフェアリングの開頭や3段モータの分離を確認するために、カラーカメラ1台を追加し、計3台とした[7]。これに伴いビデオミキサにはタイマー信号によりカメラを切替える機能を追加した。
- 4号機では直径1.5m、利得44dBiの受信アンテナを新たに製作し、精測レーダのアンテナの上部に取付けた。追尾精度1/100度が得られ、受信レベルの向上と安定化が図られた。

表1. ロケット搭載用TVシステムの開発経過

ロケット名 「衛星名」	打ち上げ日時 (J.S.T)	搭載機器の構成	伝送系諸元
ST-735-1	1984.1.17 13:00	白黒カメラ1台 (TI-25A 改造) 9GHz 帯送信機	FM 変調 送信周波数: 9.2GHz 送信電力: 2W
M-3SII-1 「さきがけ」	1985.1.8 4:26	白黒カメラ1台 (TI-25A 改造) 9GHz 帯送信機	FM 変調 送信周波数: 9.2GHz 送信電力: 2W
M-3SII-2 「すいせい」	1985.8.19 8:33	白黒カメラ2台 (TI-25A 改造) ビデオミキサ 12GHz 帯送信機 アンテナ切替器	FM 変調 送信周波数: 12.8GHz 送信電力: 2W
M-3SII-3 「ぎんが」	1987.2.5 15:30	カラーカメラ2台 (NC-8 改造) ビデオスイッチ 12GHz 帯送信機	FM 変調 送信周波数: 12.8GHz 送信電力: 2W
M-3SII-4 「あけぼの」	1989.2.22 8:30	カラーカメラ3台 (NC-8 改造) ビデオスイッチ、マイクロホン 12GHz 帯送信機	FM 変調 送信周波数: 12.8GHz 送信電力: 2W
M-3SII-5 「ひてん」	1990.1.24 20:46	カラーカメラ3台 (NC-8 改造) ビデオスイッチ、マイクロホン 12GHz 帯送信機	FM 変調 送信周波数: 12.8GHz 送信電力: 2W
M-3SII-6 「ようこう」	1991.8.30 11:30	カラーカメラ3台 (IK-M30 改造) ビデオスイッチ、マイクロホン 14GHz 帯送信機 アンテナ切替器	FM 変調 送信周波数: 14.86GHz 送信電力: 6W
M-3SII-7 「あすか」	1993.2.20 11:00	カラーカメラ5台 (IK-M40 改造) ビデオスイッチ、マイクロホン 14GHz 帯送信機 アンテナ切替器	FM 変調 送信周波数: 14.86GHz 送信電力: 6W
M-V-1 「はるか」	1997.2.12 13:50	カラーカメラ2台 (IK-M40 改造) ビデオスイッチ、マイクロホン 14GHz 帯送信機	FM 変調 送信周波数: 14.86GHz 送信電力: 2W
M-V-3 「のぞみ」	1998.7.4 3:12	カラーカメラ2台 (IK-M40 改造) ビデオスイッチ、マイクロホン 14GHz 帯送信機	FM 変調 送信周波数: 14.86GHz 送信電力: 2W

搭載 CCD カメラ製造会社: TI、NC 型 - NEC、IK-M 型 - 東芝

(5) M-3SII-7号機では、第3段モータ分離後の相対姿勢と運動の映像を取得するという目的が加わり、小型化された固定絞りのカラーカメラ5台を搭載した。また、通信距離の拡大とスピン時の通信回線の確保のため、送信機の出力を6Wとした。併せて、リフレクタ付き2面開口導波管アンテナ2本とアンテナ切替器を新たに搭載した。アンテナ切替器は5.6GHzレーダトランスポンダ送信機のアンテナに同期して切替わるものとした。この結果、スピン時の通信も確保され、直距離にして約900kmの伝送が可能となった [8]。更にテレビ音声チャンネルによる振動計測データの同時測定も行った。

なお、6号機でも7号機と同様のシステムを搭載したが、電源部の電流リミット回路が働き、正常なデータを得ることができなかった。6号機は夏期作間の打ち上げであり、ランチャ上においてCCDカメラが許容温度である50℃を越え、過電流が流れたものと推定した。6号機から送信周波数は14.86GHzに変更された。

(6) M-V-1号機、3号機では、それまでのTVシステムを基本に、送信出力2WのKuバンド送信機、カラーカメラ2台、ビデオスイッチャ、マイクロフォン、電源部、および送信アンテナ等を搭載した。1号機においてファイヤ・イン・ザ・ホールや第2段SMRCの燃焼時カメラレンズ部に汚染を生じたため、3号機ではカメラフィルタ解除装置 (X+110秒のタイマー信号で動作) を搭載した。

3. テレビジョンシステム

M-V-1号機の場合を取り上げて、テレビジョン (TV) システムの構成、諸元、性能等を述べる。

3.1 搭載系のシステム構成と機器性能

図1にTVシステム搭載系の機能系統図を示す。搭載系はKuバンド送信機、カメラA (M-V-3号機からカメラフィルタ解除装置付き)、Bの2台とその制御器、ビデオスイッチャ、マイクロフォンおよび送信アンテナからなる。搭載位置は図2 (a) に示すように1-2段接手部と第2段計器部である。

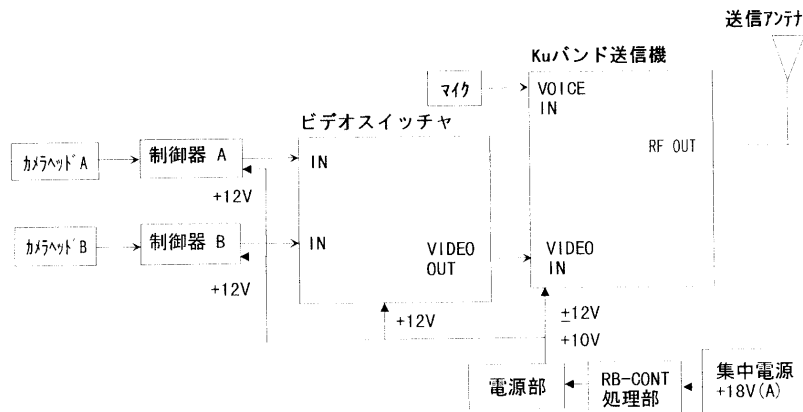


図1. 搭載系TVシステム機能系統図

なお、同図 (b) にはM-3SII-7号機における搭載位置を示した。M-V型では、カメラAはランチャーから反時計方向に217.5度 (top view) の位置の第2段SMRCの下部に取り付けられ、第1、2段モータの燃焼とその分離を、カメラBは2-3段接手 (3.0度) に取り付けられ、ノーズフェアリングの開頭、第3段モータの分離とその点火などを撮像した。カメラAからBへの切り替えは、X+190秒にタイマー信号により行った。

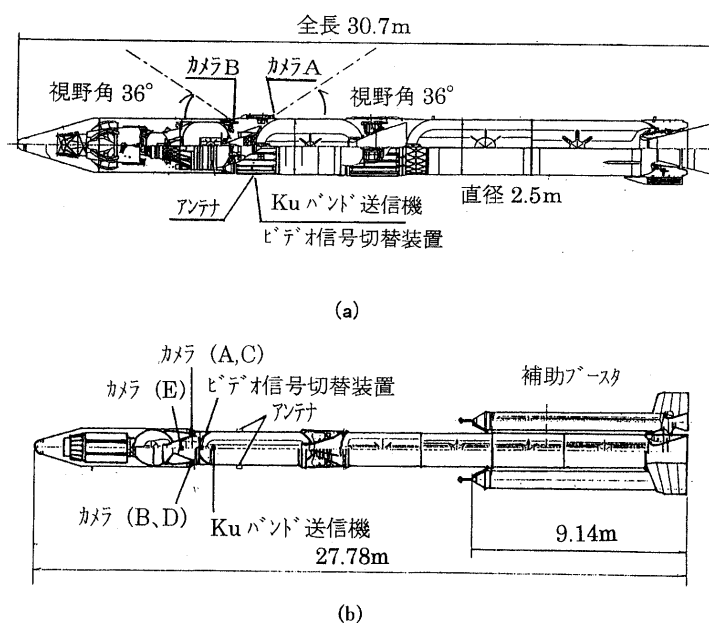


図2. 搭載機器取付け位置 (a) M-V-1号機 (b) M-3SII-7号機

送信アンテナは275度の方向、第2段計器部側面に搭載された。

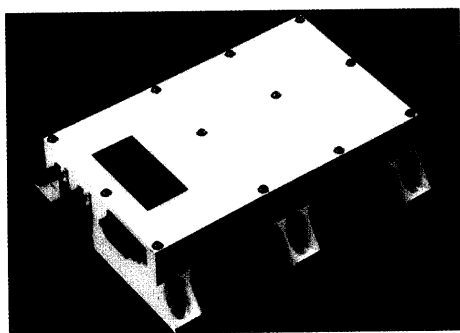
搭載装置の写真を図3に示す。表2には諸元・性能を、表3には重量を示す。以下、各装置の動作・性能を説明する。

表2. M-V型ロケット搭載機器の主要諸元と性能

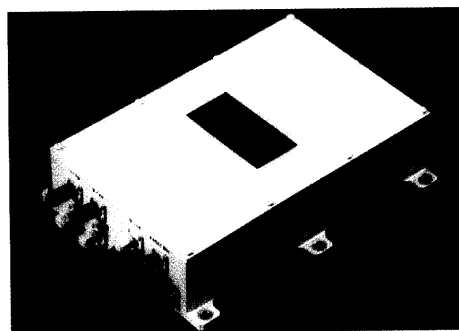
搭載装置	主要諸元・性能	
Kuバンド送信機	送信電力	2W (又は6W)
	送信周波数	14.86GHz
	安定度	$\pm 1 \times 10^{-4}$ 以下
	変調方式	FM
	変調感度	2.94MHz/V
カメラ	撮像素子	1/2インチ、CCDイメージセンサ
	有効画素数	768H×494V
	解像度	水平 460TV本、垂直 350TV本
	S/N	46dB 以上
ビデオスイッチャ	チャンネル数	5系統
	切替機能	合成画面、1画面切替
	クロストーク	3.58MHzにて45dB以上
マイクロフォン	感度	-52.5dB±2dB
	S/N	40dB 以上
アンテナ切替器	周波数帯域	12～18GHz
	最大送信電力	10W (CW)
	アイソレーション	40dB 以上
	挿入損失	2.4dB 以下
電源	出力電圧・電流	+12V、2.0A
		-12V、0.3A
		+9V、2.5A
	消費電流	+18V系 3A
送信アンテナ	VSWR	14.85～14.89GHzで1.3以下
	利得	10dB

表3. M-V型ロケット搭載機器の重量

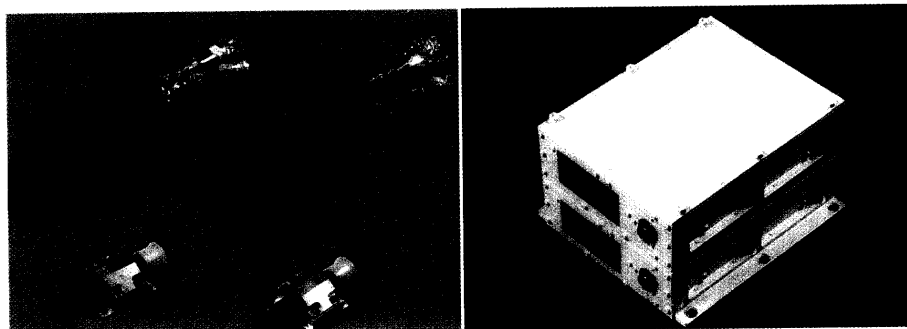
Kuバンド送信機	2.0 kg
CCDカラーカメラ・ヘッド (2台)	120 g
CCDカラーカメラ・制御器 (2台)	2.0 kg
ビデオスイッチャ	1.0 kg
マイクロフォン	100 g
電源部	1.8 kg
送信アンテナ	69 g



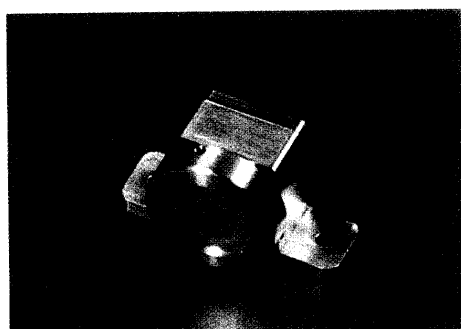
(a)



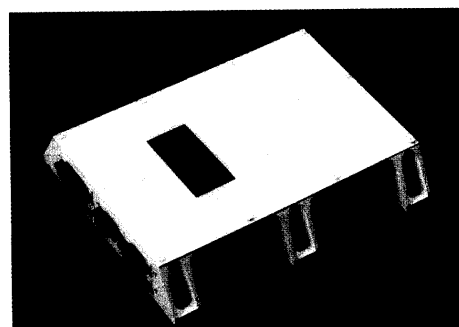
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

図3. M-V-1号機搭載装置

(a) Kuバンド送信機 (b) ビデオスイッチャ (c) CCDカメラと制御器
(d) マイクロフォン (e) 電源 (f) 送信アンテナ

(a) Kuバンド送信機

図4にKuバンド送信機の機能系統図を示す。送信機の発振回路には誘電体共振器（DR）制御のトランジスタ直接発振方式を採用している。安定度は 1×10^{-4} である。変調回路では、発振器のDRに磁界結合させたパラクタダイオードの容量を信号で変化させる方式を採り、変調感度 2 MHz/V を得ている。ここでは直接搬送波で発振、変調を行うため、周波数の安定度は水晶発振の通倍方式や周波数変換方式に比べ劣るが、小型、軽量化を図れることが利点である。電力増幅器にはGaAs-FETを用い、4段構成で2Wを得ている。大きな距離通信が必要な場合には6段構成、6Wの送信出力とする。

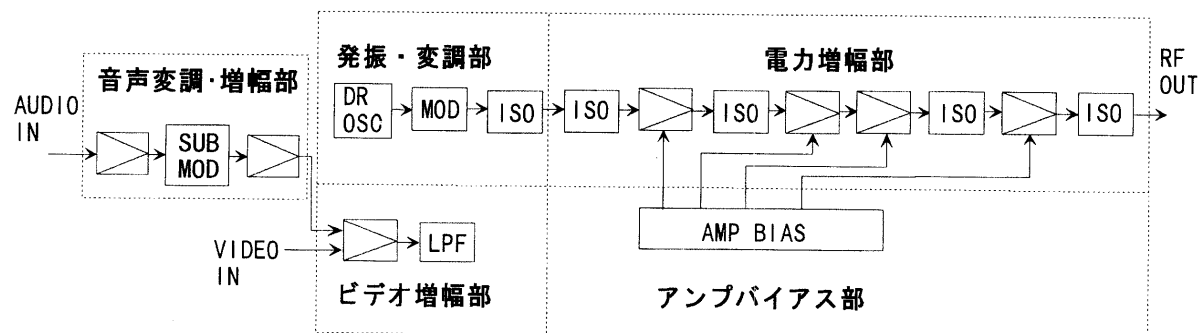


図4. Kuバンド送信機機能系統図

(b) ビデオスイッチャ

2台のカメラの画面切替をタイマ信号より行う。機能系統図を図5に示す。なお、M-3SII型ロケットでは、この装置には画面を合成する機能が附加されており、2台のカメラで捕らえた画像を、それぞれのクランプ回路で輝度を合わせた後、MIX回路において各画面をそれぞれ2分の1にし、それをさらに1画面に合成する、ということを行った。それにより、左右補助ブースタの分離やノーズフェアリングの開頭等の状況を1画面で観測した。

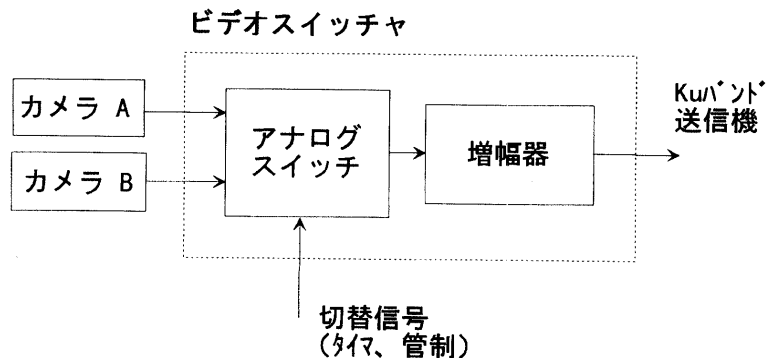


図5. ビデオスイッチャ機能系統図

(c) CCDカメラ

高速の分離運動等の計測を行うため、画像歪みや残像が少なく、かつ小型、軽量の2次元CCDカラー固体映像素子のヘッド分離型を採用している。解像度は水平460TV本、垂直350TV本で、画面は時分割多重方式を用いている。視野角は縦36度、横48度とし、空間分解能は20mの距離で1画素当たり約2.6cmである。絞りF16に、ND8の減光フィルタを附加している。M-3SII型ロケットの場合、視野角は補助ブースタ分離運動の解析の必要から縦39度、横29度であった。

(d) マイクロフォン

無指向性のダイナミックマイクロフォンで、感度 -52.5 dB である。音声信号出力により、 4.5 MHz のサブキャリアを最大周波数偏移 25 kHz でFM変調している。

(e) 電源

ロケット搭載電池から+18Vの電源供給を受け、Kuバンド送信機、カメラ、ビデオスイッチにそれぞれ±12Vと+10Vを供給している。送信機のGaAs-FETを保護するため、+10V系のレギュレータには遅延回路を組込んでいる。すなわち、ON時には-12V系が-6Vになったとき、+10V系を出力し、OFF時には-12V系が-3Vになったとき、+10V系をOFFにする。図6に電源部の機能系統図を示す。

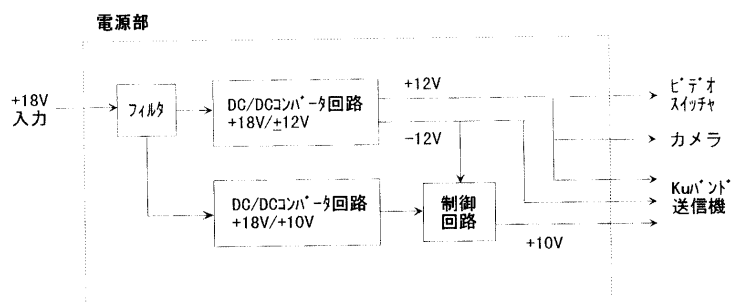


図6. 電源部機能系統図

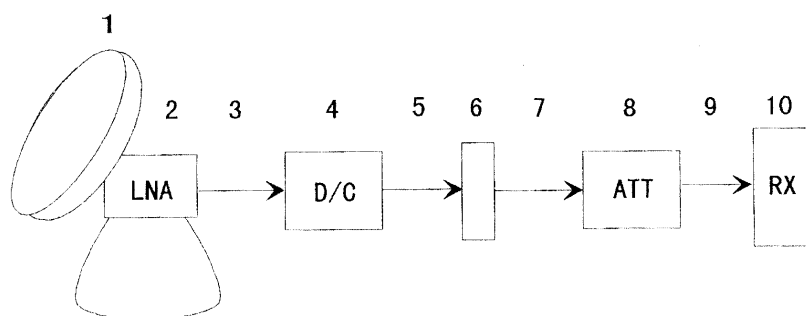
(f) 送信アンテナ

送信アンテナはロケット機軸の後方に指向性をもつリフレクタ付き2面開口導波管アンテナである[9]。利得は約+10dBである。ロケットのスピンの時に地上局との回線を確保する必要がある場合、アンテナ切替器を搭載する。ほぼ同相のレーダトランスポンダの送信アンテナに同期して切替わるもので、地上局での受信レベルの高い方のアンテナが選択される。

3.2 地上系のシステム構成と性能

(a) 受信アンテナ

開口径約7mの新精測レーダのアンテナを共用している。Kuバンドのフィードホーンが5ホーンカセグレンフィードの中心部に置かれており、放射効率は約31%、利得は54dBiである。アンテナの追尾精度は約1-100度である。低雑音増幅器（LNA）とダウンコンバータ（D/C）はアンテナ装置内に置かれている。図7に受信機構成要素の利得および損失を示す。受信信号はダウンコンバータにおいて1.9GHz帯に変換され、受信機に入る。



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
受信アンテナ 利得	LNA 利得	ケーブル 損失	D/C 利得	ケーブル 損失	中継接栓箱	ケーブル 損失	ATT 切替	ケーブル 損失	RX
54	42.4	-5.6	5.5	-14.7		-6.2	-30 -0.2	-0.8	

単位：dB

図7. 受信機構成要素の利得と損失

(b) 受信機

信号は中間周波数140MHzに周波数変換された後、増幅、帯域制限され、AGC回路に送出される。その後、広帯域FMデスキリミネータでFM検波され、TV画像信号と音声信号としてそれぞれ出力される。図8に受信機の機能系統図を示す。

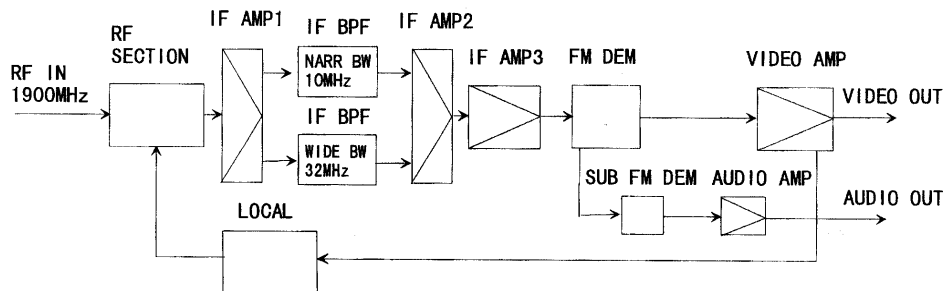


図8. 受信機機能系統図

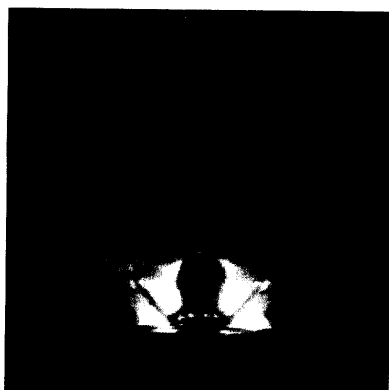
(c) データ処理系

画像データは地上においてビデオタイマーにより10msec毎に時刻付けされ、その後、搭載系の音声信号と合わせてデジタル方式とアナログ方式（Uマチック、VHS）でそれぞれ記録される。また、時刻付けされたデータはリアルタイムでKSCの各センターに送出され、保安監視等の映像として利用される。画像データは必要に応じて静止画像として出力され、解析に利用される。

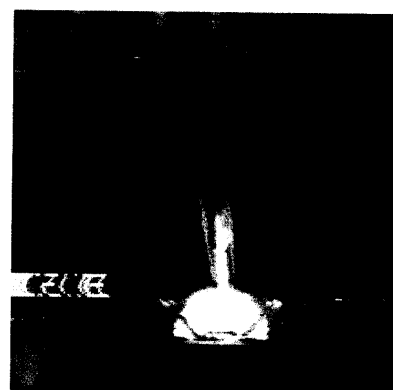
4. 飛翔結果

これまでのフライトの主要な成果をまとめると、次の通りである。

- (1) M-3SII型ロケットの試験機であったST-735-1号機に白黒1画面の画像データを伝送するTV伝送装置を初めて搭載し、補助ブースタの分離、飛翔中の機体運動をリアルタイムで撮像することに成功した。図9にST-735-1号機の発射直後（a）、および補助ブースタ分離（b）の映像を示す。



(a)



(b)

図9. ST-735-1号機 (a) 発射直後 (b) 補助ブースタ分離

- (2) M-3SII-2号機では、白黒カメラ2台とビデオミキサを搭載して、白黒2画面の画像データの伝送を行い、左右補助ブースタの分離の模様を同時に観測することができた。図10にM-3SII-2号機の補助ブースタ分離(a)、1, 2段接手の開傘(b)、第2段モータの姿勢制御(c)の映像を示す。図(b)では後方に桜島や薩摩半島、(c)では南九州や長崎地方、および地球の輪郭が写し出されている。

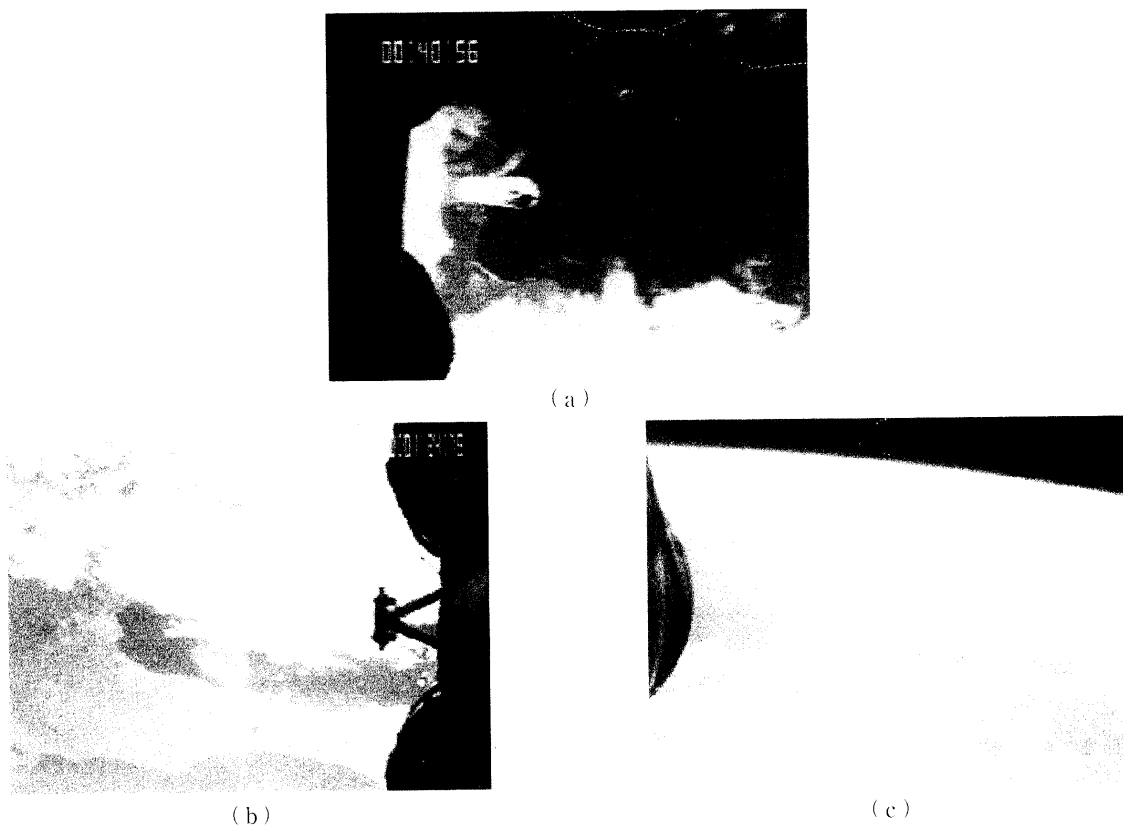
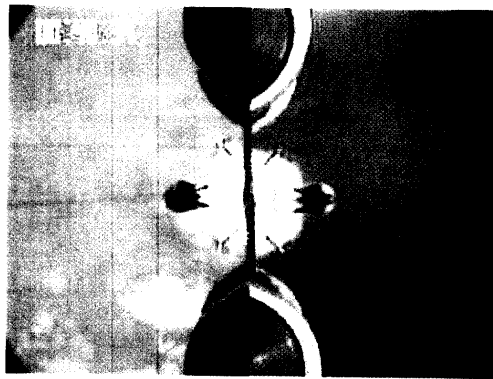


図10. M-3SII-2号機 (a) 補助ブースタ分離 (b) 1.2段接手開傘 (c) 姿勢制御

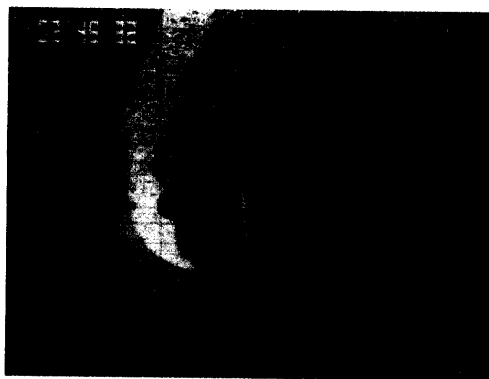
- (3) 3号機では、情報を増すために、自動絞りと固定絞りのカラーカメラによる撮像を行った。各段ロケットの燃焼炎の様子を捕え、推進系の解析に有効なデータを提供した。また、ビデオスイッチャを搭載して、カラー2画面合成の画像データの伝送を行った。左右補助ブースタの分離の模様が1画面に収められた。
- (4) 4号機では、カラーカメラ3台を搭載し、従来の映像に加えて、ノーズフェアリングや第3段モータ分離の模様を鮮明な映像として撮ることに成功した。M-3SII型ロケットの飛翔中の主要イベントが映像として観察され、本システムがロケット飛翔に関する解析や保安に有効であることが確認された。
- (5) 7号機では、計5台のカメラを搭載し、左右補助ブースタの分離(図11(a))、第1段モータの燃焼と切り離し(b)、第2段モータの点火と燃焼、ノーズフェアリングの開頭(c)、第2段モータの姿勢制御(d)、等の映像を得ることができた。特にカメラEでは、第3段モータノズルに取付けた立体ターゲットマークを撮影し(図11(e))、第2段モータと第3段モータの分離後の相対姿勢と運動の映像データ(f)を取得した。このデータを用いて第3段モータの姿勢、運動が解析された。



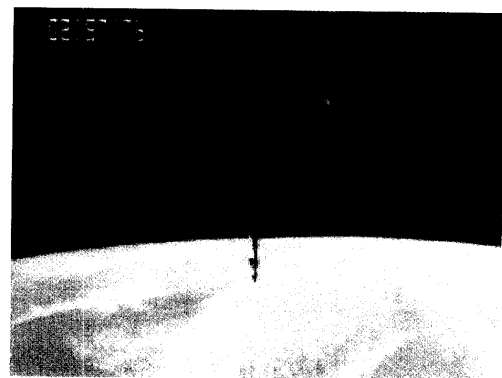
(a)



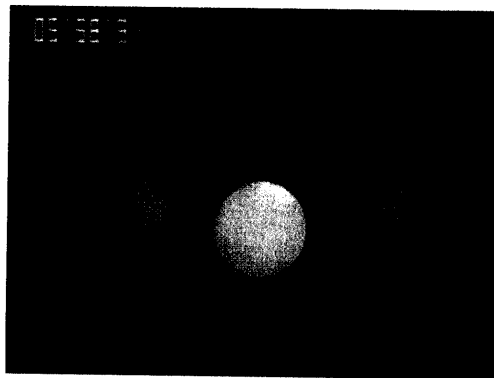
(b)



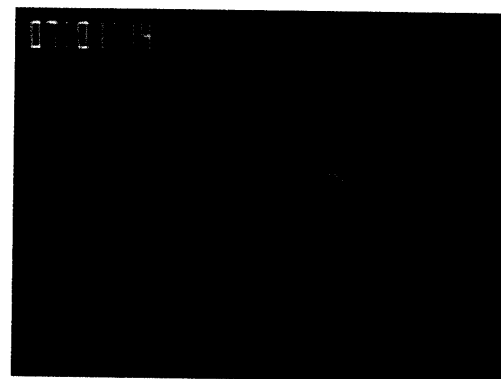
(c)



(d)



(e)



(f)

図11. M-3SII-7号機 (a) 左右補助ブースター分離 (b) 第1段モータ切り離し (c) ノーズフェアリング開頭
(d) 第2段モータ姿勢制御 (e) 第3段モータノズルターゲットマーク (f) 第3段モータ分離

- (6) M-V-1号機では、カメラAによる第1段モータの燃焼、第1、2段モータのファイヤ・イン・ザ・ホールによる分離、姿勢制御、およびカメラBによるノーズフェアリングの開頭、第3段モータの分離、ノズルの伸展、点火等の撮像が良好に行われた。これらの映像データは、M-V型ロケットの構造、姿勢、運動等の解析に有効に利用された。図12に第2段モータの点火 (a)、ファイヤ・イン・ザ・ホール (b)、ノーズフェアリングの開頭 (c)、第3段モータのノズルの伸展および点火 (d) の模様を示す。

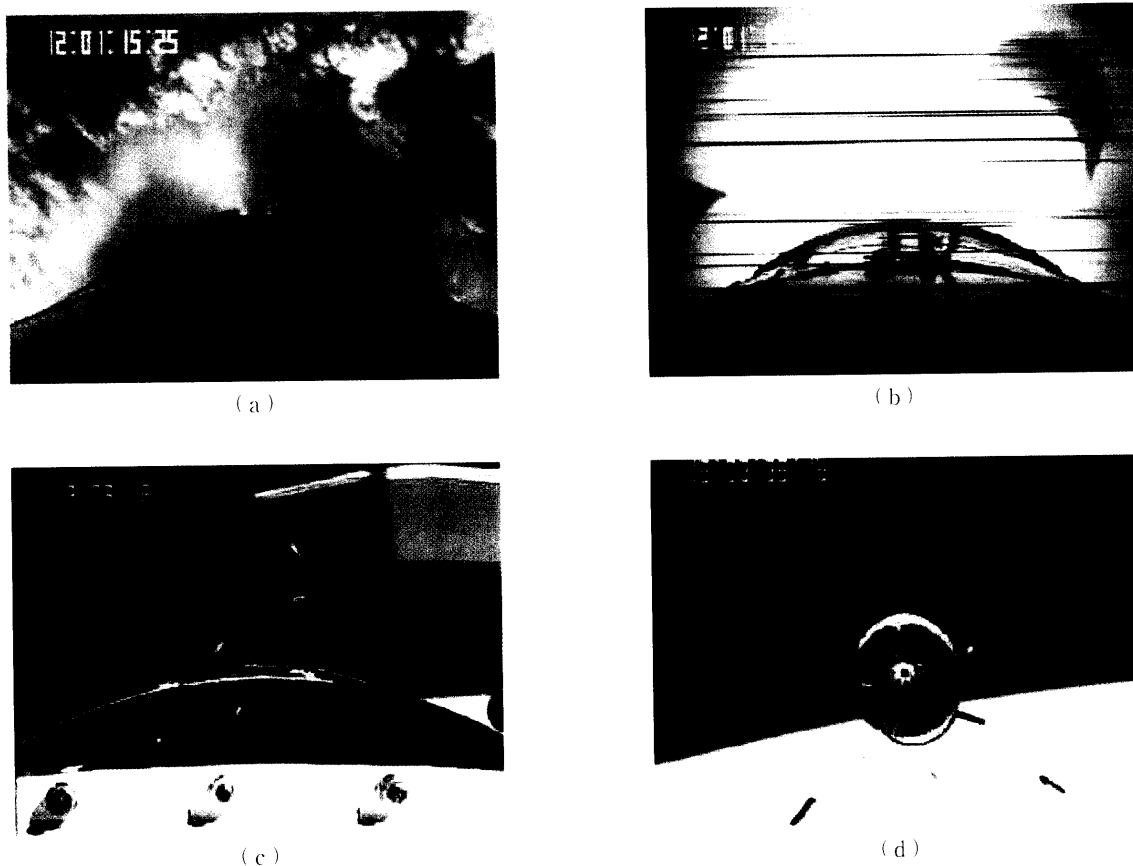


図12. M-V-1号機 (a) 第2段モータ点火 (b) ファイヤ・イン・ザ・ホール (c) ノーズフェアリング開頭 (d) 第3段モータノズル伸展・点火

図13にはM-V-3号機の受信入力レベルの時間変化を示す。45秒以降、実測値と計算値の間に約5dBmの差が見られるが、これは主に、ルックアングルの違いによるものである。また75～160秒間に見られる実測値の15dBm程度の変動は第2段モータの燃焼炎の影響によるものである。打ち上げ後218秒、第3段モータ点火によって受信機はロックオフした。この時の直距離は約450kmであった。

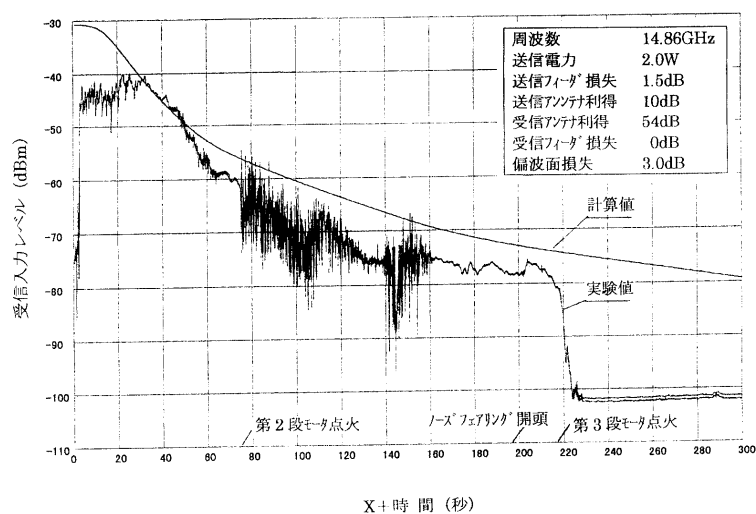


図13. M-V-3号機のフライトにおける受信レベル

5. む す び

ロケット搭載用に開発したテレビジョン（TV）システムについて述べた。1984年のST-735-1号機のロケットによる初実験以来、1998年のM-V-3号機に至るまで、10回にわたってロケットに搭載した。この間、取得された映像は、ロケットの機体の運動に関する観察・計測、ロケット飛翔の保安上の監視などに有効に利用された。

今後は、システムのデジタル化、PCM多重化などを図るとともに、広帯域高速データ伝送についても研究していきたいと考えている。終わりに、本TVシステムの開発・実験に当たってご協力いただいた所内、所外の多くの方々に深く感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 林 友直、横山幸嗣、大西 晃、梶川征毅、中村泰久、「ロケット搭載用Xバンド帯TV画像伝送装置」、昭和60年度電気学会全国大会講演集、p.499、May 1985.
- [2] 林 友直、横山幸嗣、大西 晃、鎌田幸男、梶川征毅、中村泰久、「搭載用Xバンド帯TV画像伝送装置」、第29回宇宙科学技術連合講演会講演集、p.134、Oct. 1985.
- [3] 林 友直、横山幸嗣、大西 晃、梶川征毅、中村泰久、木村忠尚、「ロケット搭載用TV画像伝送装置」、昭和61年度電子通信学会総合全国大会講演集、p.7-110、Mar. 1986.
- [4] T.Hayashi, K.Yokoyama, A.Ohnishi, M.Kudou, S.Obi, M.Kajikawa and T.Kimura, "Rocket Borne TV Camera System," Proc. PISSTA, pp.724-727, Beijing, 1987.
- [5] T.Hayashi, K.Yokoyama, A.Ohnishi, S.Obi, M.Kajikawa and T.Kimura, "Rocket Borne TV Camera System," Proc.16th Int. Symp. Space Technology and Science, pp.1049-1052, Sapporo, May 1988.
- [6] S.Tsukamoto, "On the Simulation Test for Relative Motion of Separated Sub-Booster on M-3S with Nearly Half a Model Vehicle ST-735 and their Motion Analyses using Inertial Sensors Output", ISAS Report No.635, pp.1-15, Feb.1989.
- [7] 林 友直、横山幸嗣、大西 晃、梶川征毅、深蔵英司、木村忠尚、「ロケット搭載用Kuバンド帯TV伝送装置」、第33回宇宙科学技術連合講演会講演集、p.764、Nov. 1989.
- [8] 広沢春任、横山幸嗣、大西 晃、鎌田幸男、梶川征毅、小尾新三、深蔵英司、「ロケット搭載用KuバンドTV伝送装置」、第37回宇宙科学技術連合講演会講演集、p.513、Oct. 1993.
- [9] 鎌田幸男、「ロケット搭載用リフレクタ付き2面開口導波管アンテナ」、電子情報通信学会春期全国大会講演集、p.B-69、1991.