

M-3SII-1, 2, 3号機の光学的追跡について

雛田 元紀, 喜久里 豊, 栄楽 正光
内田 右武, 山本 芳孝*, 清水 洋一**

1. まえがき

M-3SII型ロケットは, 1, 2号機により探査惑星「さきがけ」, 「すいせい」を, 3号機で科学衛星「ぎんが」を, いずれも良好に打ち上げ, 光学観測記録結果でも4S型ロケット以上に高い安定性を持って飛しようした様子を伺えた。

M-3SII型ロケットに対し行って来た光学観測関係の準備としては, 「M-3S型ロケット特集号」にも記した整備塔更新に伴う「整備塔まわり光学信号回線設備」の設置を始めとして, 従来使用の装置に対する部分的機器更新と記録機能向上のために改良, データ処理迅速化のための解析システム改造と, 作業のソフト処理化, などを行って来た。また昭和60年度から62年度の間, 計8回の「光学観測将来計画W・G打合せ会」が開催され, 御出席の各先生方, 関係各位による光学観測に関する問題提起, 改良点の指摘などの討論結果を踏まえ, 従来の光学観測形態が, 今後の打ち上げシステムの中で機能すべき「飛しょう保安光学」システムとして活用できるようにする為に, 光学情報のリアルタイム化を目指し, 高速度カメラ無人制御化など行う外, 飛しょう看視用ビデオ記録システム(全天カメラ)の試作, ビデオ記録系の更新と超望遠化などに携わり, 打ち上げに対処して来た。今報では, M-3SII-3号機実験後までの間に行って来た, 機器開発・新機器導入などに関する内容紹介と, それらを用いたM-3SII-1, 2, 3号機の観測結果について報告する。

2. 観測室・装置使用状況

KSC, 6カ所の観測室状況は, 昭和57年度の“整備塔更新”以後, 秋田以来使用の装置撤去と, 他観測装置の移設使用, 信号制御機器による観測室の無人化など, 効率的装置使用・人手の省力化などを行う反面, その後の運用上, 重要になった“整備塔まわり信号設備”の本番に向けての維持管理(特にHSカメラ及びFlash作動, 等)の担当に, 会社技術者の配置が必要になり, M-3S-4号機以後の大型ロケットに対し, 常時, 専任してもらう形態となった。

各観測室専用装置としては, 第2光学観測室(以下, “第2光学”または, “OPT No.2”

* 東海大学開発技術研究所

** (有)ユニゾン

等と記す。他の観測室についても同様。)の使用形態以外は、第1, 第3, 第4光学で追跡装置を、第5, 第6光学で固定撮影装置(主にHSカメラ)を用いる形態を採り、観測室に対し定形化し、実験毎の異なる使用の装置による無駄、トラブルなどを避けられる状況となった。

装置使用台数について、M-3S型ロケット実験時では、延べ27台の使用数だったが、M-3SII型ロケット実験に対しては、延べ使用数17台にまとまり、かつ、機能向上した機器に統一された為、KSC常設使用装置として合う形態となってきた。その中で、第3光学追跡装置のデータ記録用16mm目盛カメラについては、長年使用の老朽による不調の多発と、使用データの速応性が低い事などの理由で、使用停止の方向にある。16mm目盛カメラに替るデータ記録方式は、“M-3S特集号”にも記したが、追跡画像記録用の35mm計測カメラ画面下側に対し、架台旋回軸のエンコーダ出力信号を、2値化したドットLEDの点滅に変換し、現像と共に角度データとして写し込む方式で、これを解析システムで読み出し処理する方法を採った。

第1光学追跡装置の積載カメラも、前期と同じ方式を持ち、同時に、従来から使用の16mm目盛カメラも、使用停止の方向にある。

第2光学では、追跡作業の援助者があれば手動追跡を行うが、そのほかは、信号制御による固定装置の使用が定常化しており、その他ビデオシステム開発の為のテストなどに用いている。

TVカメラについては、昭和61年度に高機能の新機種を導入し、望遠レンズを取り付け追跡装置に積載し、遠方に対する画質確認を行ってきたが、極めて良い結果である事が分り、現有のフィルム使用カメラに対し、2倍強の拡大率の“超望遠TVカメラシステム”の製作が、可能になって来ている。但し、このシステムは、現有の最大焦点距離(1200mm)のレンズを使う場合、撮像面に対する視野が、約0.3度となり極めて狭いため、手動追跡装置で用いるには、視野に納める事が難しく、円滑旋回に優れるサーボモータ駆動の第3光学追跡装置のみによる使用に、限定される。

第3光学追跡架台は、昭和62年度までの長期使用により、駆動ギヤ系の摩耗によるバックラッシュの発生などで、駆動時、1度近いガタ付きを持っていたが、翌年、架台本体のオーバーホールを兼ねて改修し、ガタ付きを極力、押さえ込んだ為、今では“超望遠TVシステム”の積載使用が、できる状態になった。

第1図は、M-3SII-1, 2, 3号機打上げ時に用いた観測点、装置の使用状況である。

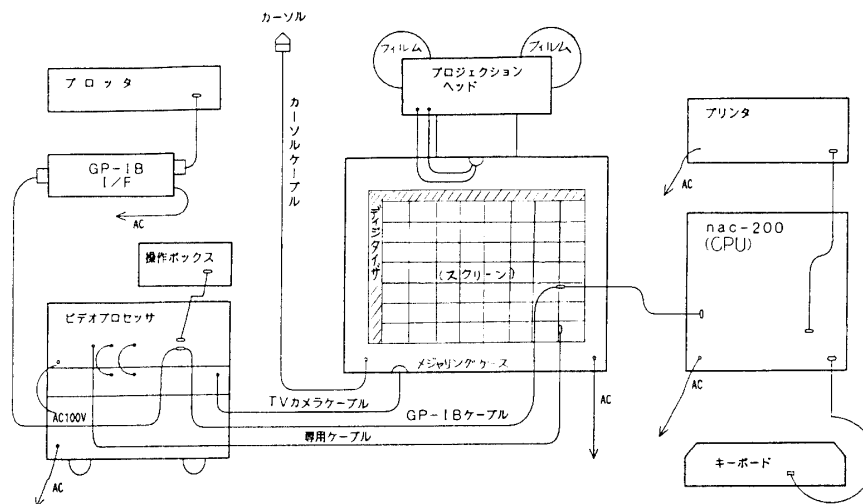
3. フィルム解析装置

昭和57年度以前のフィルム解析装置では、16mm及び35mmフィルム画像を、装置のスクリーン上に投影し、データ読み取り及びその後の整理とも、全て手作業で行うものであった。そのため結果報告までに、長期間を必要としていたが、昭和58年以後、3年計画で、解析処理迅速化のために、装置改造を含むシステム処理機器の付加と、処理のCPU化を行った。同時に、前記のように、撮影系に対しても、データ記録の記号化を行い、新解析装置に対応するシステムにした。

なお新解析装置では、従来の“画像・データ分離記録”方式によるデータも、取り込み処理する事ができ、従来方式による手順に従っても、処理速度が高まっている。

観測点	装置名	使用法	撮影装置名称 〔タイプ〕	レンズ名称 焦点距離	媒体 サイズ	撮影視野 ($^\circ$ × $^\circ$)	フィルム 容量	撮影速度	撮影 内容	画面内位置 読取精度	架台目盛 読取精度	M-3SII-1 使用	M-3SII-2 使用	M-3SII-3 使用
第1光学 観測点	CT-3	手動追跡	計測カメラ P/S 35mm 4ML	ニッパコ(Z) 200-800 mm	35mm フィルム	4.3° × 7.1° ~1.4° × 2.4°	400 ft	30 f/s	現象 データ	1' ±0.05 mm	1'	○	○	○
			目盛りカメラ Bolex H 16	ニッパコ(Z) 13 mm	16mm フィルム	.....	100 ft	20 f/s	データ	.....	.....	○	○	○
	付加装置		お- I.T.V (DXC-1700)	専用(Z) Fix 108 mm	M.T VHS	3.5° × 4.7°	.....	30 f/s	現象 データ	3 TV line	36" (エンコーダ)	○	○	○
第2光学 観測点	吊下げ式 架台	手動追跡	35 mm 撮影機 アパルタス M II B	アパルタス(Z) Fix 250 mm	35mm フィルム	3.7° × 5.0°	400 ft	24 f/s	現象	±0.05 mm	.....	○	○	×
			16 mm HSカメラ アパルタス M 600	アパルタス(Z) Fix 150 mm	16mm フィルム	1.3° × 3.8°	400 ft	100 f/s	現象	±0.05 mm	.....	○	○	×
	高速度 カメラ	固定撮影	16 mm HSカメラ P/S 16mm 1PL	ニッパコ(Z) 25 mm	16mm フィルム	15.9° × 22.6°	100 ft	500 f/s	現象	±0.05 mm	.....	×	○	×
	全天 カメラ	固定撮影	白黒 I.T.V (TI-28 A)	ニッパコ 魚眼 6 mm	M.T VHS	220° (円形)	.....	30 f/s	現象	3 TV line	.....	×	×	○
第3光学 観測点	CT-2	サーボ による 手動追跡	計測カメラ P/S 35mm 4ML	ニッパコ 1200 mm	35mm フィルム	0.7° × 1.2°	400 ft	30 f/s	現象 データ	30" ±0.05 mm	30"	○	○	○
			計測HSカメラ P/S 16mm 1PL	ニッパコ 200 mm	16mm フィルム	2.0° × 2.9°	400 ft	100 f/s	現象	2' ±0.05 mm		○	○	○
			お- I.T.V (DXC-1730)	ニッパコ 200 mm	M.T VHS	1.4° × 2.5°	.....	30 f/s	現象	3 TV line		○	○	×
			お- TV カメラ (SP-3A)	ニッパコ 300 mm	M.T VHS	1.3° × 1.7°	.....	30f/s	現象	3 TV line		×	×	○
			目盛りカメラ Bolex H 16	.....	16mm フィルム	.....	100 ft	20 f/s	データ	.....		○	○	○
	赤外追尾 機器		赤外 I.T.V	ニッパコ 300 mm	M.T VHS	1.8° × 1.8°	.....	30 f/s	現象 データ	3 TV line	36" (エンコーダ)	○	○	○
第4光学 観測点	CT-4	手動追跡	計測カメラ P/S 35mm 4 M	ニッパコ 1200 mm	35mm フィルム	0.9° × 1.0°	400 ft	24 f/s	現象 データ	1' ±0.05 mm	1'	×	○	○
第5光学 観測点	高速度 カメラ	固定撮影	16 mm HSカメラ Stalex WS-3	ニッパコ(Z) Fix 43 mm	16mm フィルム	9.3° × 13.9°	100 ft	500 f/s	現象	±0.05 mm	.....	×	○	○
			16 mm HSカメラ Locam M-51	ニッパコ(Z) Fix 43 mm	16mm フィルム	9.3° × 13.9°	100 ft	500 f/s	現象	±0.05 mm	.....	○	×	×
第6光学 観測点	高速度 カメラ	固定撮影	16 mm HSカメラ Stalex WS-2	ニッパコ 魚眼 8 mm	16mm フィルム	47.3° × 64.0°	100 ft	1000 f/s	現象	±0.05 mm	.....	○	○	○

第1図 M-3SII 用, 使用観測点および装置使用諸元



第2図 フィルム解析装置・機器構成図

3-1. 新解析装置の機器構成および仕様

第2図は、更新したフィルム解析装置の機器構成図である。構成機器の中で、プロジェクション・ヘッドおよびメジャリングケースについては、改造を施し、他は全て新しく付加した。

作業は、CPUの“メニュー”手順に従い、行う。

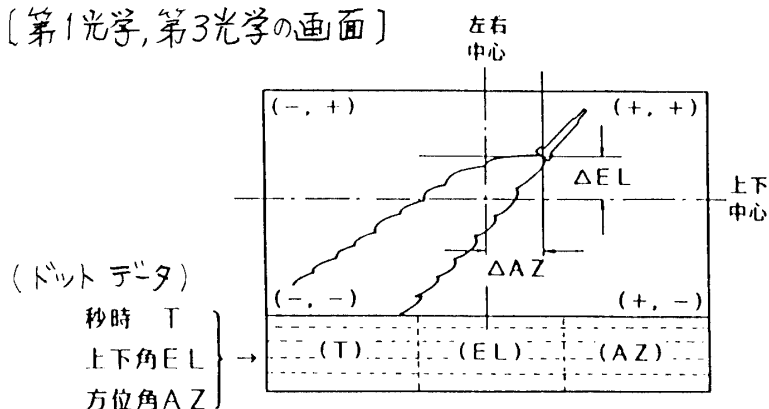
フィルムに記録されたドットデータは、ケースに内臓のTVカメラにより読み取られ、「ロケット追跡処理プログラム」ソフトにより処理する。また他のフィルム（例、HSフィルム等）についても処理が可能で、各種ソフトを持っており、その内容には、「長さの測定」、「位置の変化」、「角度の変化」、「面積割出し」、「重心の測定」、「移動点のトレース」などがある。

装置の主な仕様は、第3図に示す内容である。

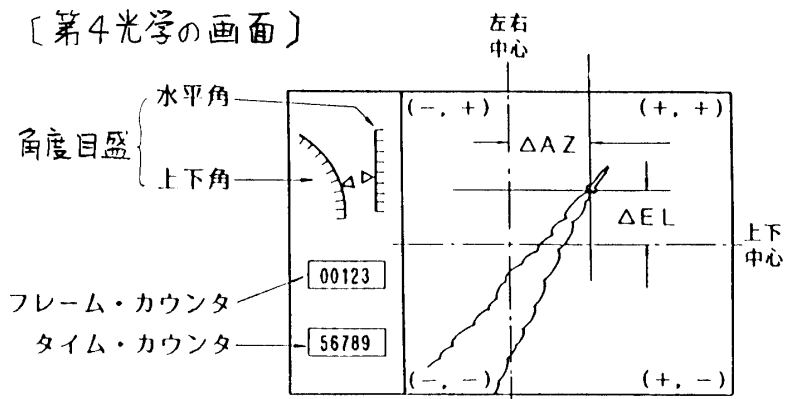
1) フィルムモーションアナライザ (メジャリングケース)	
①フィルム容量	: 35mm×120m (400 ft)
②投影倍率	: 約10倍
③計測範囲	: 300×300 (mm)
④投影像の回転	: ±90° 以上
2) デジタイザ	
①方式	: 電磁誘導型
②分解能	: 0.02 mm
3) データプロセッサ	
①CPU	: 16 bit×3 , 8 bit×1
②主記憶	: 896 Kb
③補助記憶	: 20 Mb×1 (固定ディスク) 640 Kb×1 (ミニフロッピーディスク)
④ディスプレイ	: 12インチ カラーグラフィックディスプレイ (8色) グラフィック 512×480ドット キャラクター 80字×24行 (1920字)
4) プリンタ	
①印字方式	: インパクトドットマトリクス方式
②印字速度	: 最高 約100字/秒
③記録紙	: 紙幅 15インチ
5) プロッタ	
①印字方式	: ホールペン記録方式
②描画色	: 3色
③描画速度	: 667 歩進/秒 (1歩進=0.09525 mm) 平均10字/秒
④記録紙	: 紙幅 15インチ
6) ビデオプロセッサ: B/W TVカメラによるフィルムドットデータ読み取り	
7) 解析ソフト: ロケット追跡処理プログラム	
8) 電源: AC 100 V ±10% , 50/60 Hz	

第3図 【フィルム解析装置・仕様】

〔第1光学, 第3光学の画面〕



〔第4光学の画面〕



第4図 画面内データ読み取り図

記録画面内のデータ取扱いは、第4図に示すように、第1光学、第3光学画面によるものと、第4光学画面によるものとが、ある。

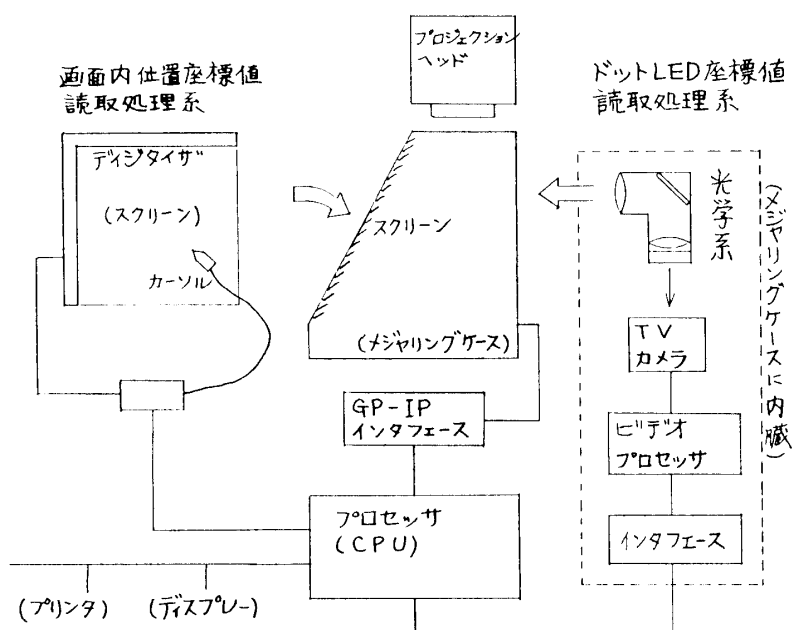
前者は、記録画面下端に4列×20桁の点状アレイによるデータ記録部を持ち、撮影機のシャッターパルスにより点状LEDの点滅をさせデータ表示をしている。

後者は、架台本体の角度目盛盤およびカウンタ類を直接、光学系で撮影画面に導びき、シャッターパルスによるストロボ光で、画像と共に同一画面内に写しこんでいる。それぞれの読み取り時刻原点には、Flash光またはXマークの点灯画面を用いる。

ドット表示データは、自動読み取りで処理するが、第4光学データでは画面補正值処理(後記)の外は、従来の目盛カメラによるのと同じ扱いである。

追跡画面中心からロケット像位置までのズレ(光軸ズレ)量 ΔEL 、 ΔAZ 読み出しを、画面補正処理と称している。この処理は、画像が投影されるスクリーン上で、ディジタイザによる位置出しが出来るため、カーソルによる像の指摘により自動的に読み出される。

フィルム解析装置のデータ読み出しの構成は、第5図に示すように、内臓のTVカメラを用いる光学系でドットデータを読み取る系と、画面内像の光軸に対するズレを読み取る系とで成っている。



第5図 データ読取処理系

3-2. 処理ソフトの仕様

新解析装置に対する処理ソフトは、従来の解析作業中の必要スペック、装置の特徴、観測点関係位置および記録特性などを元にして

(初期設定) → (データ読み出し) → (データ整理・表示) → (位置出し計算及び表示) の流れを持たし、作業段階確認用として作業フェーズを表示し、メニューを指示設定する方式で作業を行う内容とした。

3-2-1 初期設定

ここでは、処理データに対し、タイトルの意味を示す項目を設定する。状況の説明、設定などの役割をもつもので、設定項目は下記である。

- ・打上げロケットの名称

処理に対し、総括タイトルの意味を持ち作成するリスト、グラフ等の全てに対し先頭に表示する。

- ・打上げ年月日時

発射時刻を含む打上げ時期を表示する。

- ・発射点

発射点が、3カ所 (M点 LS点 KS点) ある為、いずれかを表示する。

- ・発射角

ロケット打上げ角 (上下角 方位角) を表示する。なお、発射点は、測量により位置を決めているが、解析処理における発射原点をノズル中心点としている為、旋回基準点からノズル中心点までの発射角に伴う関係距離が、発射原点に対する観測点座標を補正するパラメータになる。

3-2-2 データ読み出し

記録フィルムからのデータ読み出しにおける留意点としては、使用観測点、撮影速度および使用レンズなどの違いで、これらを整理して用いる為に、以下の手順を行う。

- ・読み出しデータに対する初期設定

この事項には、前記までの項目を自動的に付記し、更に「観測点名」、「撮影速度」、「レンズ焦点距離」などの関連事項を設定し、表記する。内容は、以下の通りである。

(観測点名の表記)

光学追跡は、架台旋回を伴う観測点 (OPT No.1, OPT No.3, OPT No.4) のデータ処理の外に、広角レンズ付き固定カメラ使用の他の観測点データも、架台角度一定として追跡データを得られる為、全ての観測点が処理の対象になり、観測点名が、発射点に対する関係位置を表わすパラメータとなる。

(レンズ焦点距離の表記)

「画面補正量」読み出しの際、レンズ焦点距離が画角に関係する為、Zoom Lens (可変焦点)、Single Lens (単焦点) 等の指摘と焦点距離など表記する。ズームレンズの場合、駆動の開始、終了時刻を表記する。

- ・読み出し開始コマの確認

記録画面の中で Flash 光が写っているコマ、または X マークによるドット LED の点灯しているコマを確認し、読み出しの時刻原点にする。

- ・読み出しコマ間隔の設定

追跡記録は、撮影機ごとに異なる撮影速度で行うため、整理しやすいコマ間隔で行うが、後記する整理データリストの表示時間間隔を 0.5 秒間隔とするため、読み出しコマ間隔は、少なくとも (0.5 秒×撮影速度) 未満にする。

- ・フィルムからのデータ読み出し

画面補正のデータ読み出しは、読み出しコマ間隔の設定値に従い、フィルム送りされ、ディジタイザのカーソル指摘により逐次、読み出しを行う。ドットデータは読み出しコマ間隔の設定値により、連続して自動的に読み出される。第 4 光学のフィルムについては、フィルム送りは読み出しコマ間隔の設定値ごとに行なわれるが、時刻及び旋回データは、手動読み取り後に Key in する。

3-2-3 データ整理、表示

読み出しデータを、位置出し計算用のデータとする為には、複数の観測点によるデータを時間的に整合させるため、定間隔で夫々のデータを読みなおす必要がある。

- ・読み出しデータの時間軸整理

各観測点ごとの読み出しデータは、一定の円滑化式を用い整理され、0.5 秒間隔で読み直す。

- ・データの追加、補足

発射直後の飛しょうが、台地又は山影などで見えない場合、あるいは雲に視界を遮ぎられたり視野外れなどが生じた場合などに対して、前者の場合は、高速度カメラによる固定撮影結果の 0.0~2.5 秒間の変位を、観測点からの角度変位になおし、補足使用する。後者の場合は、読み直しデータをグラフ表示し、空き領域に対し、外挿曲線を当てはめ、再読みなお

[M-3H-3]

S56/09/16 14:00

M

EL: 70.0° AZ: 97.0°N

OPT NO. 1 f= 100mm

OPT NO. 3 f= 1234 ~ 2345mm

OPT NO. 5 f= 150mm

t= 10.5 ~ 12.5sec

100f/s

300f/s

500f/s

DATA NO.	TIME (sec)	OPT NO. 1		OPT NO. 3		OPT NO. 5	
		AZ1 (deg)	EL1 (deg)	AZ3 (deg)	EL3 (deg)	AZ5 (deg)	EL5 (deg)
1	0.0	113.50	-12.15	37.59	-0.75	191.25	-11.75
2	0.5	113.40	-11.47	37.64	-0.52	191.00	-11.00
3	1.0	113.30	-10.80	37.69	-0.30	190.75	-10.25
4	1.5	113.12	-7.97	37.91	0.42	189.92	-7.12
5	2.0	112.95	-5.15	38.13	1.15	189.10	-4.00
6	2.5	112.50	-1.05	38.62	2.34	186.27	0.90
7	3.0	112.05	3.05	39.12	3.53	183.45	5.80
8	3.5	111.36	8.90	39.75	5.20	180.00	13.40
9	4.0	110.67	14.75	40.38	6.87	176.55	21.00
10	4.5	109.85	19.80	41.21	8.91	172.22	28.07
11	5.0	109.04	24.85	42.04	10.95	167.90	35.15
12	5.5	108.15	28.99	43.02	13.22	163.05	40.69
13	6.0	107.26	33.13	44.00	15.50	158.20	46.23
14	6.5	106.49	36.15	45.03	17.75	153.63	49.72
15	7.0	105.72	39.17	46.06	20.00	149.07	53.22
16	7.5	105.01	41.26	47.15	22.10	144.68	54.84
17	8.0	104.30	43.36	48.25	24.20	140.30	56.47
18	8.5	103.68	44.89	49.34	26.10	136.50	57.44
19	9.0	103.07	46.43	50.44	28.00	132.70	58.41
20	9.5	102.50	47.53	51.55	29.75	129.67	59.06
21	10.0	101.93	48.64	52.66	31.50	126.65	59.72
22	10.5	101.41	49.48	53.79	33.01	124.05	60.08
23	11.0	100.89	50.32	54.93	34.52	121.45	60.44
24	11.5	100.42	50.90	56.00	35.82	119.26	60.58
25	12.0	99.95	51.48	57.07	37.13	117.07	60.73
26	12.5	99.52	51.91	58.14	38.24	115.32	60.71
27	13.0	99.10	52.34	59.22	39.36	113.58	60.70
28	13.5	98.72	52.63	60.22	40.31	112.24	60.60
29	14.0	98.34	52.93	61.23	41.26	110.90	60.50
30	14.5	98.00	53.13	62.21	42.08	109.78	60.37
31	15.0	97.66	53.34	63.19	42.91	108.66	60.24
32	15.5	97.36	53.48	64.10	43.61	107.73	60.08
33	16.0	97.06	53.62	65.01	44.32	106.80	59.93
34	16.5	96.81	53.71	65.85	44.90	106.00	59.76
35	17.0	96.56	53.80	66.70	45.48	105.20	59.60
36	17.5	96.33	53.86	67.50	45.95	104.49	59.41
37	18.0	96.10	53.93	68.31	46.42	103.78	59.22
38	18.5	95.90	53.96	69.11	46.80	103.16	59.02
39	19.0	95.71	54.00	69.92	47.18	102.55	58.83
40	19.5	95.54	54.00	70.58	47.49	102.00	58.63

PAGE 1

第6図 リスト出力の一例

して用いる。

・「追跡角度データ」のリスト表示

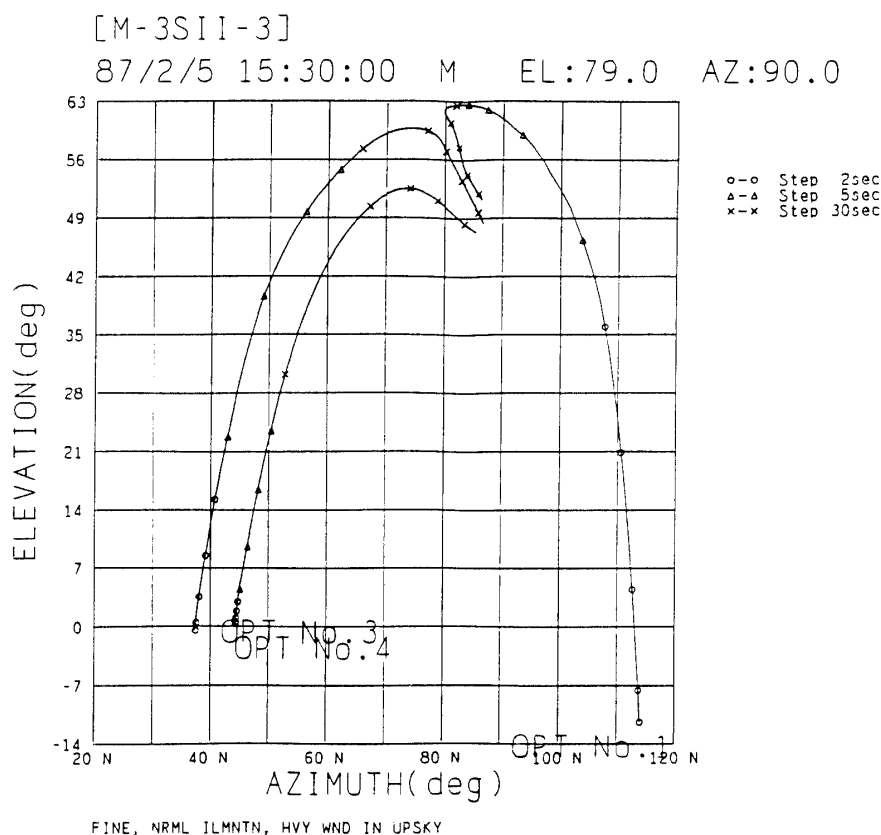
データの読み直し及び追加，補足の結果は，第6図に示すようなリストとして出力する。

・「追跡角度データ」のプロット表示

整理済みの追跡角度データは，第7図のような「追跡角度図 (Trajectory)」として表示する。プロット間隔は，0～10秒の区間で2秒置き，10～30秒の間は5秒置き，30秒以上150秒までの間は10秒置きに，区間ごとの記号で表わし，全体を曲線で結び表示する。

・「追跡角度データ」のグラフ表示

追跡角度データは，各観測点ごとの時間に対する追跡角 (AZ-T;EL-T) のグラフを表示



第7図 追跡角度図の一例

する。第8図は、第3光学追跡角度図の一例である。

3-2-4 位置出し計算

使用観測点中の2つの観測点、全てを用い、水平距離（南北方向;X, 東西方向;Y), 高度(Z), 直距離(R)を, 計算式により算出処理し, グラフ表示をする。

夫々の結果を用いるに当り, 次の点を留意する。

・「位置データ」結果の取扱い

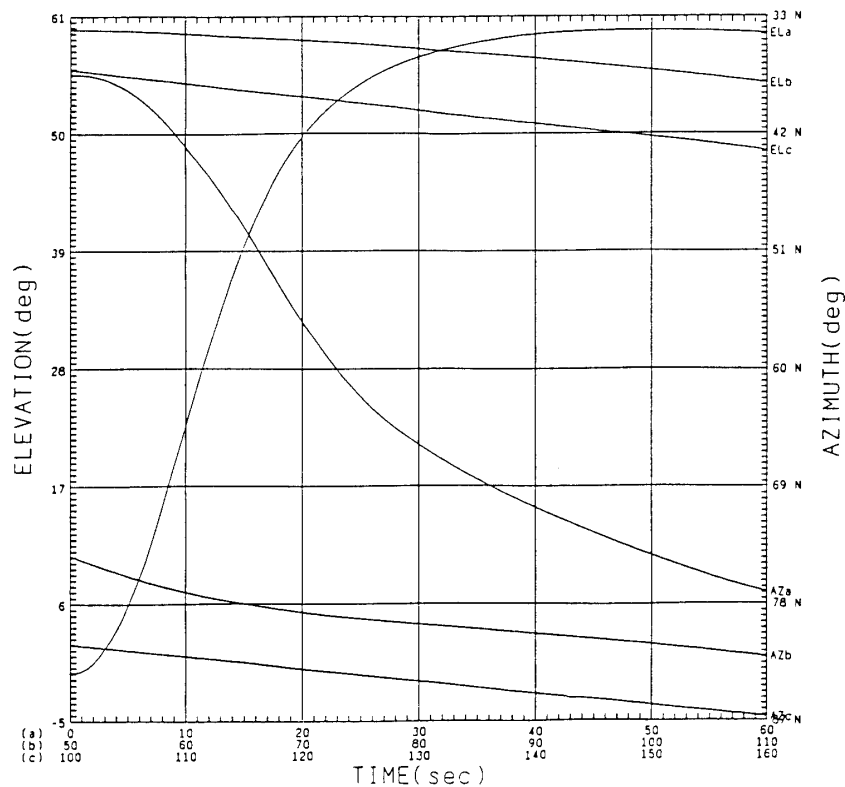
全観測点中, 2つの観測点による算出結果の夫々は, 飛しょう方向に対する観測点の視準方向および光軸交叉点の読み出し精度などにより, 算出軌道の特定区間で誤差を含む傾向を持つため, 2つの組合せ結果ごとで, 最も誤差の少ない区間を, グラフ上で選択し, 誤差の少ない区間同志を継ぎ合わせ, 全体として実用に兼うデータに整理する(第9図は, 全観測点中, 2つの観測点によるX方向の距離に対して持つ推定誤差の割合を表わした例である。).

・「位置データ」の表示

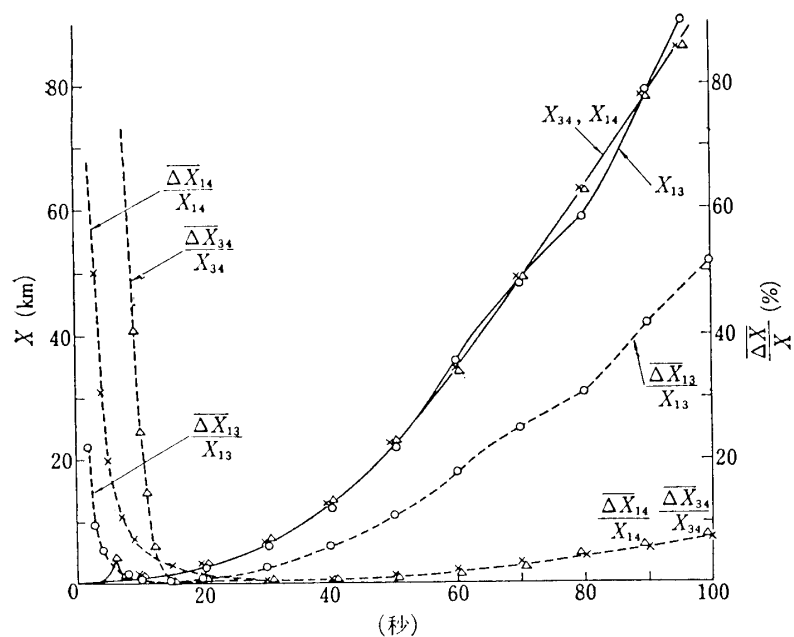
区間整理後の位置データは, リスト表示の外に, 結果報告用として最終的に下記のグラフ表示をする。

- ①軌道平面図(時刻表示点を持つ「X-Y」グラフ)の作成,
- ②軌道図(時刻表示点を持つ「Z-L」グラフ)の作成.
- ③時間軸を持つ直距離, 速度図(「R-T」, 「V-T」グラフ)の作成.

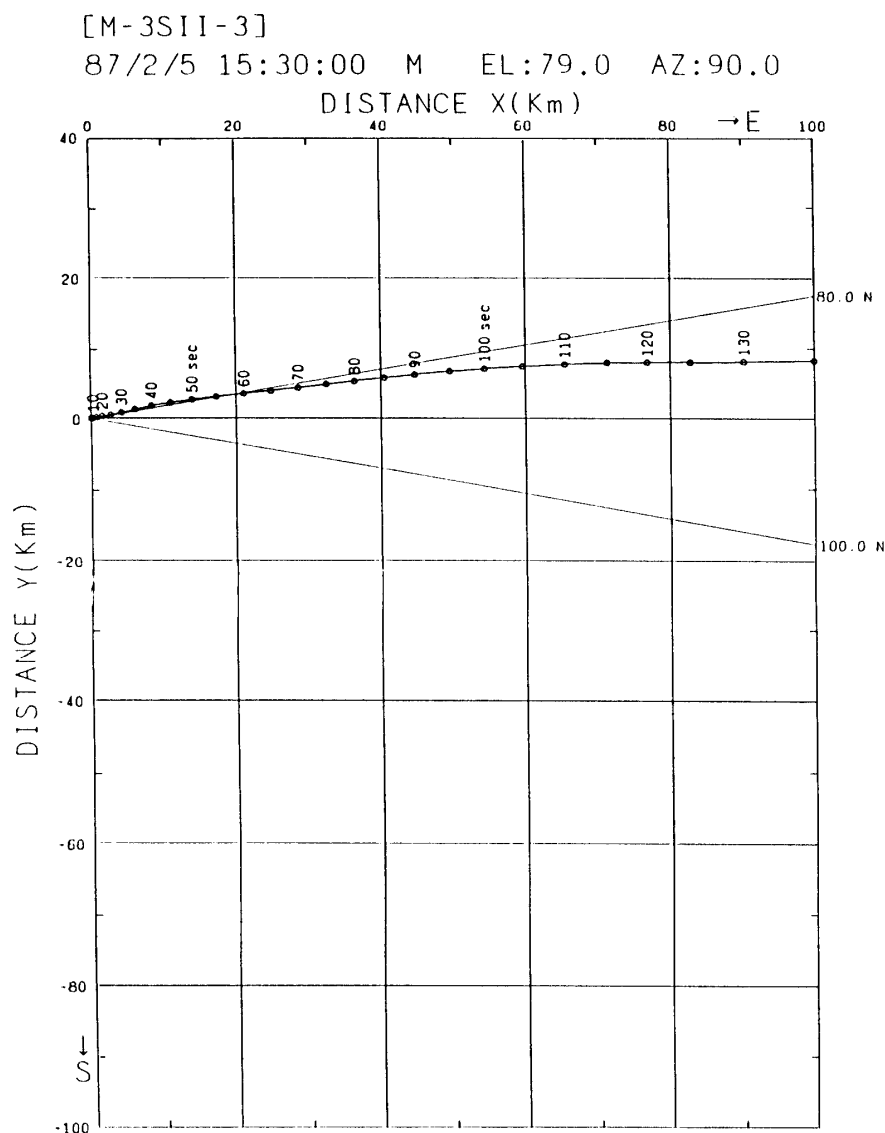
[M-3SII-3] OPT No.3 f=1200 mm
 87/2/5 15:30:00 M EL:79.0 AZ:90.0



第8図 第3光学追跡角度図の一例



第9図 M-3H-1 ロケット飛しょう軌跡 (X方向) および軌跡推定誤差



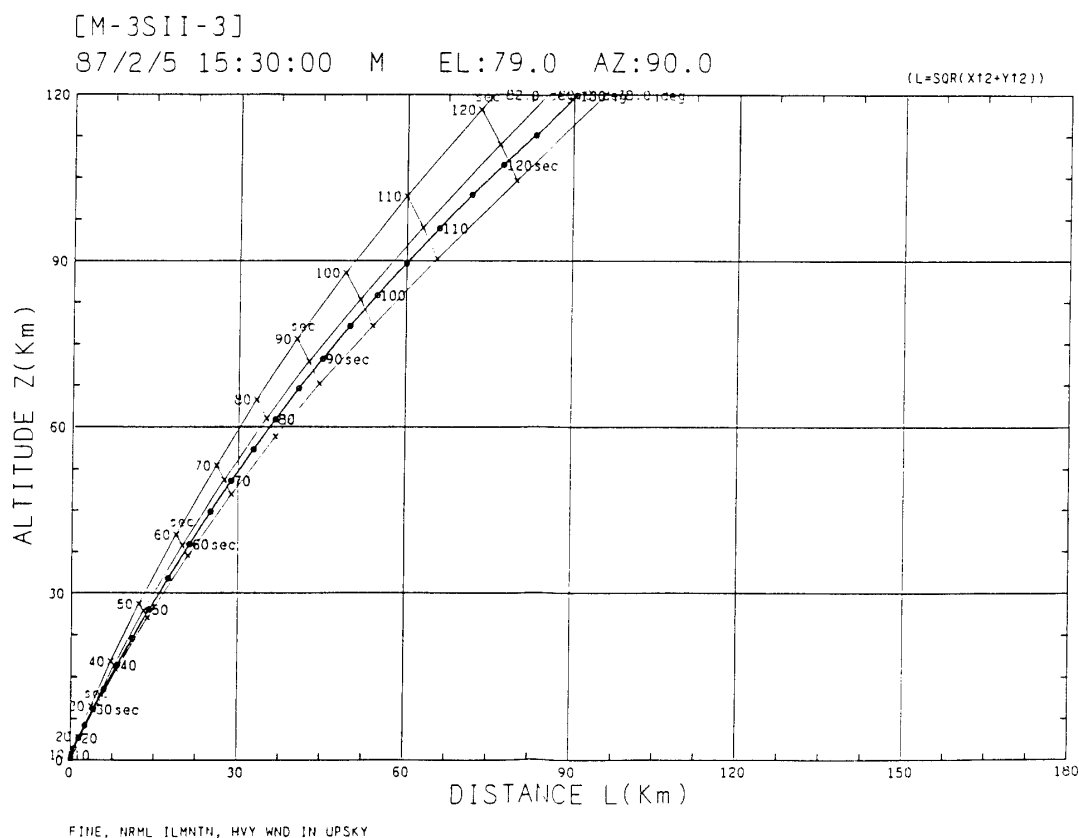
第10図 軌道平面図の例

第10図, 第11図に, それらの例を示す.

3-3 解析ソフト使用結果

ロケットの光学追跡フィルム処理ソフトは, 前記までに記した手順を持ち, M-3SII-3号機に対し, 始めて使用し, 作業性の良い事を確認したが, まだか次の改修が必要である.

- (1) 位置データ表示グラフの曲線の円滑化に, 更に工夫が必要である.
- (2) グラフ形状を, 任意の縦横比で表示できる工夫が, 必要である.
- (3) レーダ結果なども併記できる方式を加える必要がある.
- (4) ファイル操作等により, 数機以上の結果を, 同一グラフ上に表記できる工夫が必要である.
- (5) 部分的にデバックを行う必要がある.



第11図 軌道図の例

4. TV 画像記録装置

光学追跡用のTVカメラは、昭和48年度前後に導入した東芝製単管式カラーITVカメラ（IK-83）が、初めての使用だったが、現在のものに比べて解像度、色再現性などが極めて低いため、フィルム記録に代る機器には成り得なかった。次に、昭和50年度以後からSony製単管式カラーITVカメラ（DXC-1700およびDXC-1730）を導入し、夫々を第1光学および第3光学で用い、10年以上の長期に渡り色調を保持していたが、解像度が低く、最近になって老朽化により不調になっている。このカメラも撮像管特有の残像性と高輝度に対し撮像面への焼付き特性がある為、画質の面でフィルム記録に代り得なかった。

また、当時のVTRは、オープンリールタイプで高温多湿の中での使用に不向きである外、映像信号における色信号、輝度信号相互の干渉の低減技術が、今ほど発達していない時期のものであった為、高画質記録ができなかった。

更に、昭和60年度前後からTV・ビデオ技術の急速な進歩があり、高解像の撮像管カメラ及び撮像板（CCD）カメラが出現し、光学観測用としては、追跡記録に適した撮像板タイプのカメラ（以下、CCDカメラと記す。）を導入使用している。

CCDカメラを光学追跡に用いる理由としては、

- ①太陽光のような強い光に対し、撮像面への焼付きがない。

- ②残像特性が、極めて低い。
- ③フェノソニックによる映像のみだれが無い。
- ④動作が安定している為、無調整で使える。
- ⑤小型、軽量である。
- ⑥寿命が長い。
- ⑦感度が、撮像管タイプに比べて高い。

などの長所を持つ為であるが、短所も合せ持っており、その内容は、

- (1)偽解像（モアレ）を生じる。
- (2)固定パターンノイズを生じる。
- (3)高輝度像に対しスミヤ（走査線と交叉する輝線）を生じやすい。

などがあるが、モアレ、パターンノイズ等については対処し易い現象であり、他に使用目的に沿う機種を用いれば、光学観測用として良好な撮影装置である。

現有の CCD カメラは、使用目的ごとに導入したが、以下の二種である。

◎単板式 B/W CCD カメラ（NEC TI-26A 型）

◎3 板式 CCD カラー TV カメラ（NEC SP-3A 型）

単板式 CCD カメラは、カメラ本体と制御部が分離型で、小型軽量、高感度であるため「全天カメラ」（後述）システムに用いた。

3 板式 CCD カメラは、高解像度、スミヤレスタイプである為、追跡記録用として用いた。又、このカメラで用いる遠方記録用レンズ系を製作し使用している。

以下に上記 2 件を用いた機器開発について述べる。

4-1 全天カメラ

全天カメラは、前述の「光学観測将来計画 W・G 打合せ会」で提案された装置で、これからの光学観測装置としては、追跡架台使用による遠方記録専用カメラと、大まかな軌道確認用、リアルタイム画像記録の固定カメラ（TV 方式「全天カメラ」）の使い分けを行うべきである、とされ、フィルム記録に対し、TV 記録による飛しょう保安用リアルタイム映像機器としての画像再現性を確認する目的で試作したものである。

4-1-1 全天カメラの機器構成

全天カメラに対し必要とするスペックは、

- (1) 打上げ状況をリアルタイム確認する為、TV カメラを用いる。
- (2) 固定撮影する。
- (3) 発射点上空を、一つの画面で記録する。
- (4) 位置出し機能を持たせる。

が、主なものであり、以上の要件を満たすための機器構成として ・撮影部 ・光学系 記録処理 の 3 部分について下記のようにまとめた。

撮影部については、装置が屋外使用となる、昼夜両用するため高感度である、太陽光による撮像面焼き付きを生じない、などを満足する黑白 CCD カメラを用いた（第 12 図）。この CCD カメラは、解像度は普通だが、小型軽量でカメラ制御部から分離した形態のため、野外装置の撮影部に適している。しかしながら、スミヤを生じるタイプの為、使用時の太陽光に対しては、遮光板を取付けて用いた。

〔 諸 元 〕	〔 機 能 内 容 〕
撮 像 素 子	インターライン方式，CCD固体撮像素子×1
撮 像 面	2/3"，6.6×8.8(mm)，有効画素数 384H×490V
TV，走査方式	60/525 NTSC 方式 ， 2：1 インタレース
映 像 出 力	1 系統，1 VP-P，複合映像信号，75Ω
S/N 比	47dB以上 （標準撮像状態 ， $\gamma = 1$ ）
標準感度	150Lux，F4（フィルム変換で ASA1900相当）
最低被写体照度	4 Lux ， F1.4 （at +6dB）
解 像 度	水平 285TV本，垂直 480TV本（フレーム蓄積時）
ゲイン切り替え	0 ， +6dB
モード切り替え	フレーム ， フィールド （手 動）
γ 特性切り替え	$\gamma = 0.45$ ， $\gamma = 1.0$ （手 動）
シャッター機能	（なし）
所 用 電 源	AC 100 V $\pm 10\%$ ， 50/60 Hz ， 約6W
外 観 寸 法	カメラ 48φ×71(mm)，CCU 220W×79H×225D(mm)
重 量	カメラヘッド 約100g ， CCU 約2.7kg
レンズマウント	C マウント
そ の 他	カメラ本体，CCU分離型

第12図 【B/W CCD カメラ（NEC TI-26A 型）機能諸元】

光学系については，TV カメラ用の超広角レンズが無いため，35mm スチルカメラ用の魚眼レンズ（視野 220°）を用い，縮小光学系で撮像面（6.6mm×8.8mm）まで円形画面を導く方式とした。また高感度である為，昼光に対しND フィルムを用いることにした。第13図に，光学系諸元を示す。

魚眼レンズは，特殊なレンズ構成のため，外観・重量とも取扱い要注意で，その為の保持用ネジ部を，3カ所持ち，これを用いた3本のレンズ保持棒を，水平調整板を兼ねる中貫き円板に取り付け，それに対し更に，保持棒を設け，縮小光学系保持板とネジ止め連結させ，撮影部全体を保持する構造とした。第14図に，撮影部保持構造の様子を示す。

魚 眼 レ ン ズ	レンズ 構 成	9群12枚, 焦点距離 6 mm, 明るさ F 2.8, 画角 220°
	フ ィ ル タ	内臓 (L 1 A, Y 4 8, Y 5 2, O 5 6, R 6 0)
	マ ウ ン ト	F マウント(ニコン マウント)
	最大径×長さ	236φ×170(mm) ; 重量 5.2 kg
縮 小 光 学 系	レンズ 構 成	リレー系+縮小系 (縮小率 1/4.5) 合成焦点距離 1.6 mm, 解像度は普通のTVレンズ並み 画角直径 5.1 mmφ (多少加減可), 合成明るさ F 3.5
	フ ィ ル タ	内臓 (ND10×, ND100×)
	マ ウ ン ト	魚眼レンズ側; Fマウント, 縮小光学系側; Cマウント
	最大径×長さ	88φ×245(mm) (フィルタ部を除く), 重量 約 2.5 kg

第13図 【全天カメラ光学系諸元】

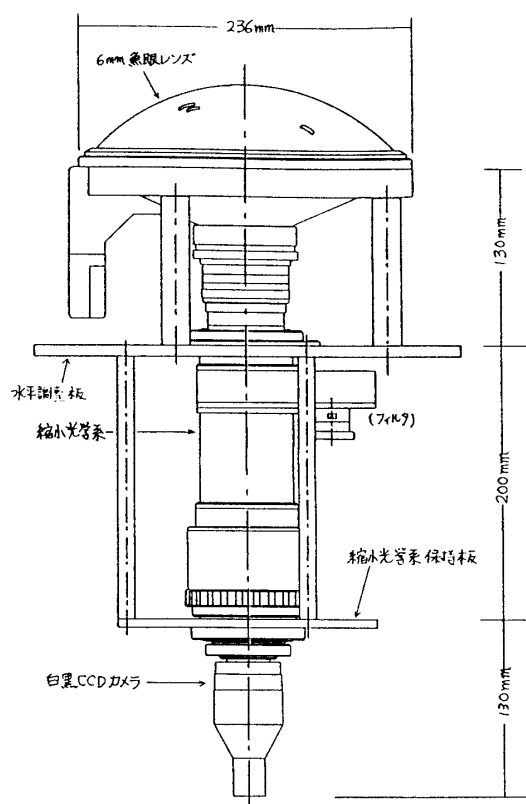
撮影部は、光軸を天頂に合せてセットする必要がある為に、3点支持による保持と、水平調整を行えるようにした。第15図がその状況を示しており、ベースに固定した枠組台座上に3本のボルトで撮影部の取付け、取外しを行い、ナットの上下調整で水平調整を行う。画面の東西南北に対する方向付けは、CCD カメラ本体を回転する事で行なえる。記録処理機器としては、撮影時に時刻信号を記録する為のビデオタイムジェネレータ（朋栄 VT-1000G 型）と、VTR（松下 NV-8950 型）およびモニタ（ビクター VM-300F 型;400TV 本）を記録系とし、結果処理には、時刻信号読み出し用ビデオタイムリーダー（朋栄 VT-1000R 型）と、位置出し用メジャリングゲージ（朋栄 IV-560 型）からの出力データを処理するパソコン（NEC PC-9801V₂型）などで構成し、飛しょう位置確認には、円形ビデオ画面に対し、あらかじめ画面に当てはまる角度要素をもつ円形座標をパソコン覚えこませ、後に、再生像をカーソルで追跡し、位置表示する方式とした。第18図に機器構成を示す、

4-1-2 全天カメラによる結果

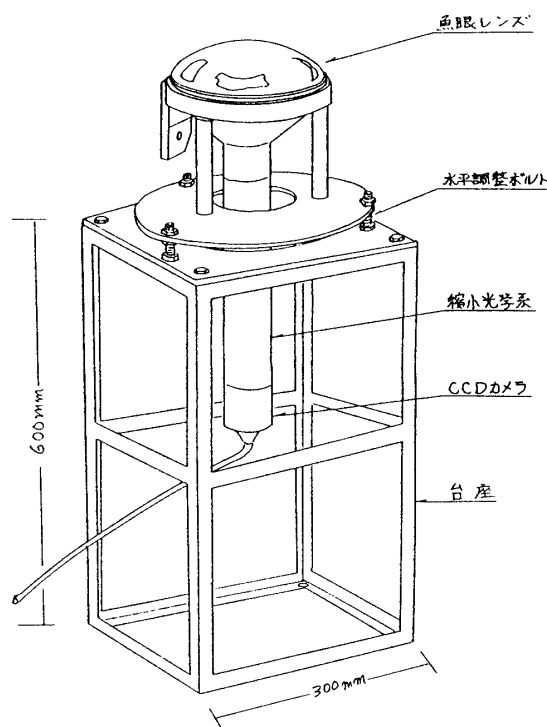
全天カメラ機器をまとめるに当たり、あらかじめ、次のような検討が、成されている。

(1) 画像コントラストについて

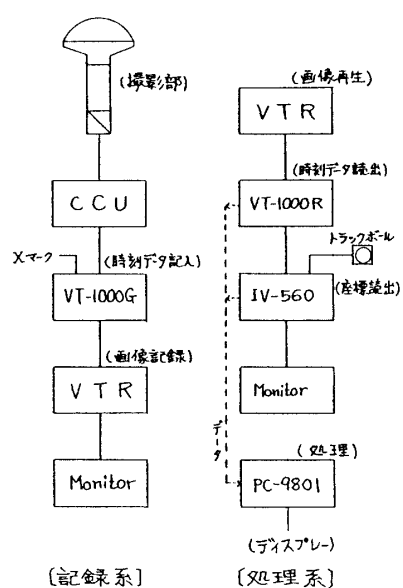
人の肉視確認による物体コントラストが100:1の比で表わせる場合、写真フィルムでは35~110:1で、調整良好のTVカメラ、モニタによる画像は、近距離影像に対し約30:1位が限界で、遠方の広い景色に対しては、約5:1程度の低コントラストになり、フィルム等に比べ光に対する許容度が、3分の1から数10分の1である事が、画像記録上の難かしさである、と云われている。



第14図 全天カメラ撮影部保持構造



第15図 全天カメラ撮影部取付概要図



第16図 全天カメラ機器構成

ロケット名 打ち上げ日時	記録時間 天候	高度	追跡点 追跡時間
MT-135-45 86.08.20 11:00	約 1.6 秒 昼、晴、モヤ状	数 100 m	OPT No1 2sec OPT No3 8sec
MT-135-46 86.08.20 13:00	約 1.6 秒 昼、晴、モヤ状	数 100 m	OPT No1 2sec OPT No3 11sec
S-310-17 86.09.06 22:00	約 9 秒 夜、雲に至る迄	約 4.2 km	OPT No1 26sec OPT No3 40sec
S-520-9 87.01.15 17:10	約 11 秒 昼、午後、快晴	約 3.6 km	OPT No1 32sec OPT No3 37sec
M-3SII-3 87.02.05 15:30	約 15 秒 昼、午後、快晴	約 2 km	OPT No1 115sec OPT No3 156sec
S-520-8 87.02.22 01:15	約 10 秒 夜、雲に至る迄	約 3 km	OPT No1 30sec OPT No3 25sec
K-9M-80 87.02.23 00:00	約 12 秒 夜、雲に至る迄	約 7 km	OPT No1 37sec OPT No3 16sec

第17図 全天カメラによるビデオ画像、記録時間結果

(2) モニタ上の最小像判別について

TV モニタは、1 フレーム 525 本の内、半分ずつで補間し合い画像を再現するが、画面内微小像の判別には、その大きさが、TV 走査線 3 本（3 TV 本）に掛ることが必要とされる。ちなみに、この大きさを 16mm フィルム（許容錯乱円直径 0.025mm）に較べると、約 1.6 倍となり、その分だけ遠方記録の限界を手前に持つことになる。

(3) 魚眼レンズ使用による座標読み出しについて

魚眼レンズによる円形画面からの位置出し座標は、天頂に対する同心円を上下角、天頂からの放射線方向を方位角として考えるが、上下角読み出し精度については、天頂に近い方が精で、低くなるに従い粗となる傾向があり、方位角読み出しについては、上下角が低い附近で精で、天頂に近づくに従い粗となる傾向をもっている。

(3) 記録限界について

モニタ内走査線、525 本の内、枠部分を除く 480 本が使われ、魚眼視野を映ずるが、3 TV 本による微小角は、画面上で 0.024rad となる。約 30m 長のロケットが、横位置で天頂に有る場合、そこまでの距離は約 1.3km で、横位置で見える限りでは、半径 1.3km の半球内が、機体確認可能範囲と考えられるが、実際は、飛しょうロケットに傾斜が加わる為、低い高度で打上げの場合は特に、機体確認距離が短くなると考えられる。但し、火焰を追跡する場合の確認距離は、1.3km に対し数倍延びると考えられる。

以上を考慮して、昭和 61 年度中に打上げのロケットに対し行った記録結果が、第 17 図に示すもので、記録場所としては、第 2 光学観測点塔の屋根上を用いた。以下に各ロケット記録結果について概説する。

〔MT-135-45, 46 号機〕

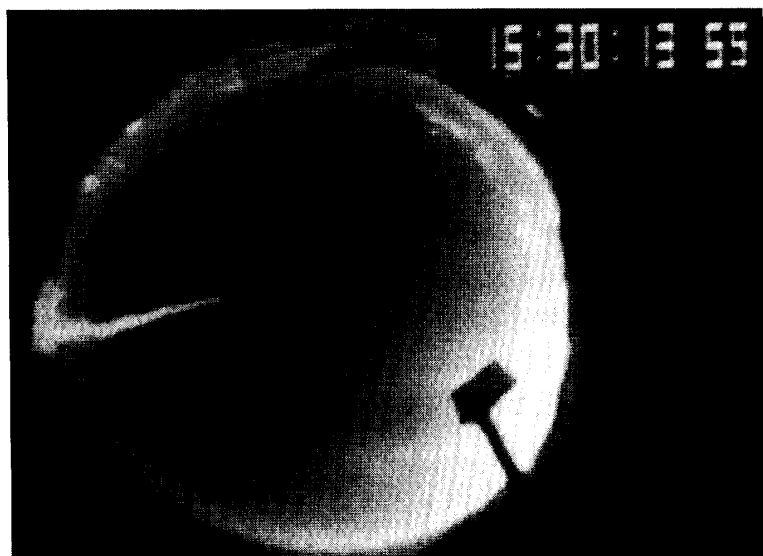
この 2 機は、同日の午前、午後に打上げられた。天候は、いずれも晴れているが、夏期特有のモヤの発生があり、空間の水蒸気に太陽光が当り散乱している為、明るいが見通しの悪い状況だった。視野内に、太陽光直射によるスミヤ防止の為、日よけを用いたが、その周囲に散乱光によるフレヤを生じ、飛しょうする小型ロケットは、極めて早い時間で、空間の明るみに埋没した。なお、この様な天候の場合、追跡記録も悪く、図中に示すような短時間の記録結果となった。なお、飛しょう方向に、太陽が位置している事も、コントラスト急減の原因と、なっている。

〔S-310-17 号機〕

このロケットは、上空にまばらな雲がある雲量 6 程度の天候で打上げられ、発射点上空の雲に突入するまでの記録に終わった。夜間の為、絞りを開放にし出来るだけ遠ざかる火焰の輝点を記録する目論みだったが、発射から 6～7 秒までスミヤ（縦方向の輝線）を伴ない、その後は雲に至るまでの 9 秒附近までスミヤ無しの輝点が記録された。

〔S-520-9 号機〕

このロケットは、天候は快晴で明るい方刻の打上げだったが、飛しょうする火焰先端が、空間に見えなくなるまでの時間は、点火後、約 11 秒までで、その後は煙の先端が、ボケ始め拡散しながら伸展するため、位置不明の状況が、記録された。他観測点による追跡時間は、正常で燃焼終了附近までの確認が、行われている。



第18図 全天カメラによる M-3SII-3 号機記録状況

〔M-3SII-3 号機〕

このロケット打上時は、太陽高度が低く、飛しょう方向から離れていた為、露出的には極めて良好だったが、カメラに対し飛しょう方向が真向いに近いため、垂直に進展する噴煙の向い側に、火焰が隠れるまでの記録結果（第18図）となった。火焰の大きさ等が、2-520-9号機よりも大であるため、カメラ位置が、飛しょうに対し側面になる場合、更に遠方に至るまで記録できるものと考えられる。

〔S-520-8 号機〕

このロケット打上げ時の天候は、S-310-17 号機の場合と同様、上空にまばらな雲があり、他の追跡点では、雲を透して燃焼終了の追跡をできた所もあるが、このカメラでは、X+6～7 秒附近までスミヤを伴う状況の後、約 10 秒附近で雲に達する途端に、見えなくなった。昼間打上げの 9 号機が、11 秒附近までの結果だった事に較べると、雲による火焰輝度減衰の影響が、記録時間を短くしている、と考えられる。

〔K-9M-80 号機〕

このロケットは、夜間で、雲底が高いが、まばらに点在する雲のある中で打上げられた火焰の輝点は、始めスミヤを伴うが、雲に至るまで約 12 秒間の記録ができた。昼間打上げの S-520-9 号機に対し、TV カメラ感度の効果が幸いしたと考えられ、雲のない夜間の場合には、更に記録時間を延ばせるものと、考えられる。

以上の結果から、全天カメラによる記録性の特徴として、「光学観測将来計画 W・G 打合せ会」の中で討論された“打上げ後 10 数秒附近までの記録性”が確認され、全天カメラシステム検討の為の当初の目的を果たしたが、その具体的状況を列記すると、次の事項を挙げられる。いずれも飛しょう中の火焰輪隔が、鮮明に見えるまでの範囲についての、状況である。

- (1) 昼間の露出的に十分な光量の状況でも、霞・霧などがある空間の場合、コントラストが著しく低下するため記録時間は、極めて短くなる。
- (2) 上空の雲に対しては、薄い雲でも急激なコントラスト低下があり、雲を透しての記

録は行なわれ難い。

(3) 太陽光による影響の少なく快晴の場合、火焰輪隔の判別できる所までが、位置確認可能範囲であり、その後噴煙形状には、ボケを伴い、位置指摘をしにくい。

(4) 今回使用の CCD カメラでは、夜間の場合、発射後 6～7 秒附近まで、火焰にスミヤを伴うが、その後の雲に至るまではスミヤ無しで鮮明さを保っており、雲が無い場合、発射後 10 数秒以上の記録が、可能と考えられる。

以上が、飛しょうロケットに関する記録性確認結果であるが、位置出し作業上で考慮する必要のある画質特性として、次の件が挙げられる。

・円形画面に対し、円形の角度座標を当てはめる作業を行う必要があるが、その為には、画面円周の輪隔が鮮明である事が必要である。しかしながら地上から上空まで 10 の 5 乗倍以上の輝度変化（昼の場合）を持つ景色に対し、飛しょう方向を適正露出にしても、地上および海面等の在る画面円周部は、露出の過不足による黒つぶれ、明る過ぎなどの状況を持ち輪隔にボケを生じている。又、強い光量下では輪隔がふくらみ、夜間に於いては輪隔が見えない、等の状況がある為、画面に、一定の円形座標を当てはめ使用する事は、仲々困難であると、云える。

4-1-3 全天カメラのまとめ

前記までに、主として全天カメラの試作と記録画像特性について述べ、当初の目的を果すことが出来たが、当時から 3 年が過ぎる現在では、ビデオ関係機器が高度に進歩し、機器開発が行い易くなっている。それらの機能等は、自動露出、ゲイン調整可能タイプで高解像の小型カラー TV カメラ、自動露出可能の縮小光学系の出現などがあり、位置出し処理用ビデオ機器についても、自動高速サンプリングタイプの出現などがある。

全天カメラは、今後の飛しょう保安光学システムを考える上で、リアルタイム方式の機器開発を検討する材料として極めて独想性を持つ装置であり、今までの作業線を延長して、上記のような新ビデオ機器を使用した上で付加的要素を含めた改良を行えば、前記以上の記録性を求める事が可能と考えられ、近い将来、再び改更作業を行えば、幸いである。

4-2 遠方記録 TV カメラ

昭和48年度前後から用いていた単管式カラー ITV カメラは、専用ズームレンズ（最長焦点距離 70mm～100mm）を持ち、自動露出タイプだが、シャッター機能が無く高速移動体に対する残像特性があり、解像度に関しては、カメラ及び VTR も含め 240TV 以下であった。望遠レンズ使用の記録結果でも、遠方記録の鮮明度は、フィルム記録に較べ極めて低かった為、単純な状況判断のみに使用していた。

昭和61年度に導入した 3 板式 CCD カラー TV カメラ（第19図）は、複合映像信号でも 450TV 本以上の高解像度で、太陽光に対する焼き付き、スミヤなどの弊害が無く、電子シャッター機能により追跡記録中の画像振れを軽減できるタイプのため、使用レンズの望遠化を行い易く、将来は、記録結果の保存性が確立できれば、フィルムに代る影像機器として適した装置である。

打上げに対する 3 板式 CCD カラー TV カメラの使用は、第 3 光学追跡装置による事が多い（第20図）。始めの使用形態は、第21図に示す外観のとうりで、CCD TV カメラ本体に対し、スチルカメラ用の焦点距離 300mm のレンズを、4 分の 1 の縮小率をもつ F-ENG アダ

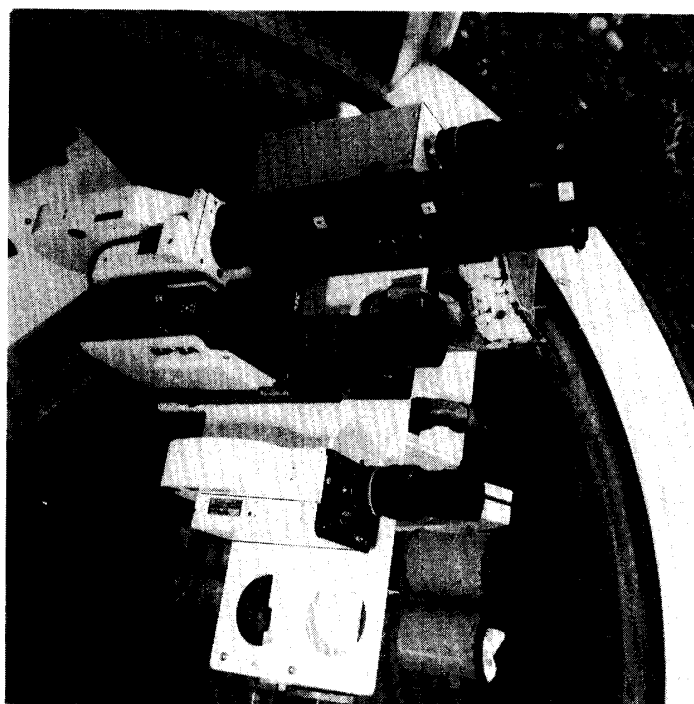
[諸 元]	[機 能 内 容]
撮 像 素 子	インライン方式, CCD固体撮像素子×3
撮 像 面	2/3", 6.6×8.8(mm), 有効画素数 390H×493V
TV, 走査方式	60/525 NTSC方式, 2:1 インターレース
映 像 出 力	2系統, 1Vp-p, 複合 & Y/C分離信号, 75Ω
S/N 比	58 dB 以上
標 準 感 度	2000Lux, F5.0 (フィルム変換でASA140相当)
最低被写体照度	20Lux, F1.4 (a t +12 dB)
解 像 度	水平 450TV本 以上 , 垂直 350TV本 以上
ゲイン切り替え	0 dB, 6 dB, 12 dB
モード切り替え	(自動)
γ特性切り替え	(自動)
シャッター機能	OFF(フリーズモード), 1/125~1/2000秒(フィルムモード)
所 用 電 源	DC 24V/1.4A, AC 100V 50/60Hz(フィルム使用時)
外 観 寸 法	90 W × 178 H × 290 D (mm) (カメラ部)
重 量	3.5 kg (1.5"VFを含むカメラ部)
レンズマウント	ハイネクトマウント (B1 タイプ)
そ の 他	カメラ本体,CCU一体型 画質自動調整機能

第19図 【3板式 CCD カラー TV カメラ (NEC SP-3A 型) 機能諸元】

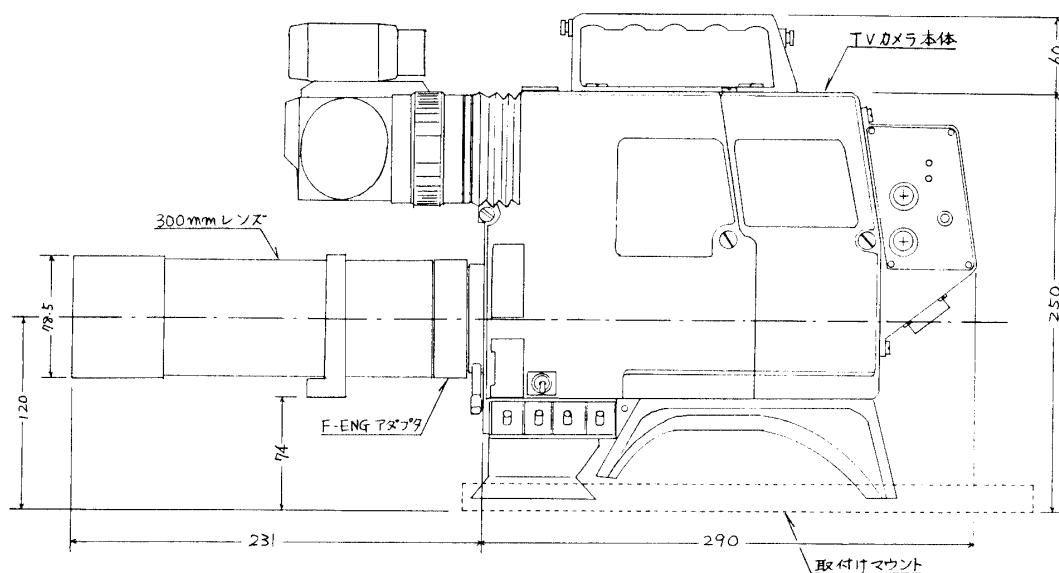
プタレンズに噛合せてM-3SII-3号機の追跡記録に用いたが、打上げ時の天候も幸いして、2段目燃焼終了時までの記録を、高解像、適正露出で行えた。

この時のTVカメラに対する使用レンズ焦点距離300mmという関係は、フィルム使用の35mm計測カメラ画面サイズ(18mm×24mm)に当嵌めると約800mm強の望遠レンズを使用する場合に相当し、35mm計測カメラの持つ「画質」、「撮影速度」などの機能を除けば、取扱い、重量、記録時間などで優れた特徴を生かせる為、今後の超望遠記録システムを検討する上で、有効な材料となった。

上の結果を踏まえ、追跡中の近辺から遠方に至る間を適当な視野で記録できるように、焦点距離180mm~600mmのズームレンズ取付きTVカメラ(第22図)を、追跡架台積載使用前のプロトタイプとして用いた。このシステムでは、NTCにおいて、約8km遠方を期間中の有翼飛しょう体(長さ約2m)の記録に成功している。また、このシステム以後の映像記録信号としては、本来、使用の複合映像信号以外、適宜的に出現したS-VHS記録方式の



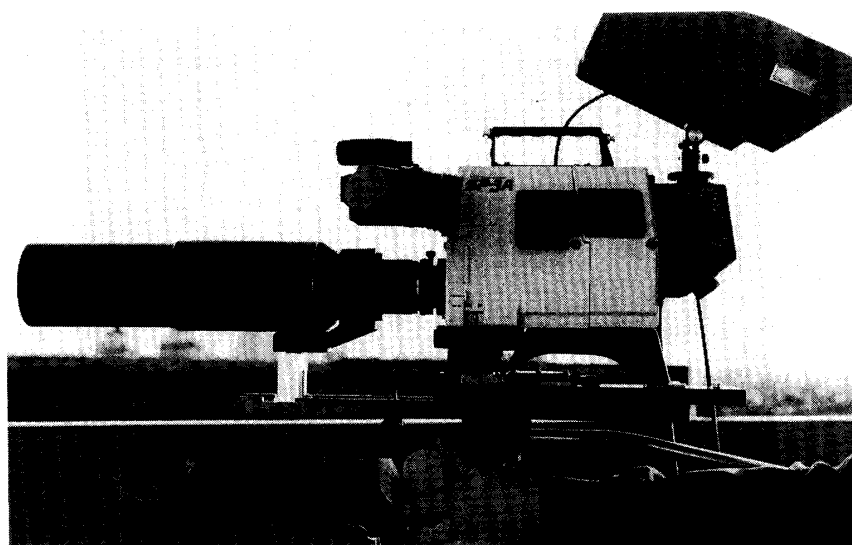
第20図 第3 光学架台上の積載装置（中央：SP-3A）



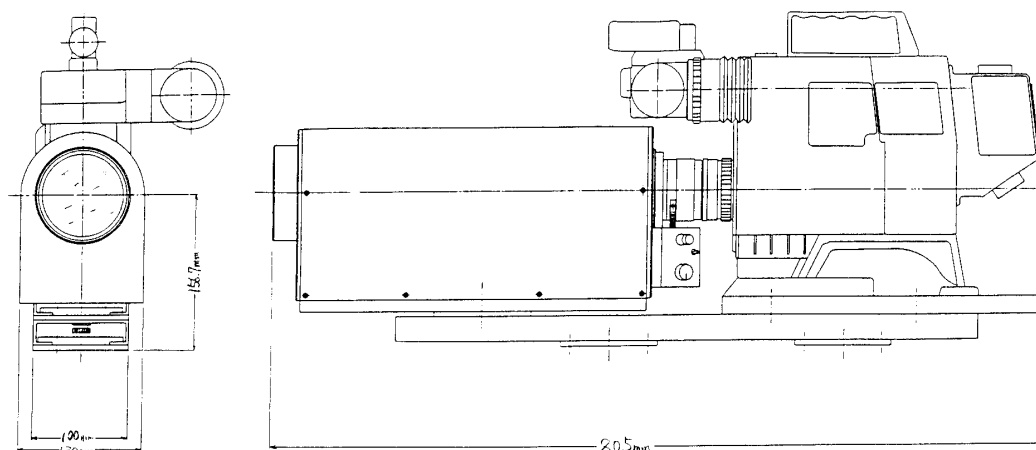
第21図 300mm レンズ取付きの3板式 CCD カラー TV カメラ

高解像度 VTR（400TV 本）が使えるよう、Y（輝度信号）/C（色信号）分離方式による記録機能付加した。

Y/C 分離映像記録方式は、Y 信号の広帯域化により解像度が高まり（400～500TV 本）、Y・C を分離して入出力させる事で、従来のコンポジット方式で欠点として持っていたドット妨害（C→Y の信号もれこみ）、クロスカラー（Y→C への信号もれこみ）などの干渉が



第22図 180~600mm レンズ取付きの3板式 CCD カラー TV カメラ

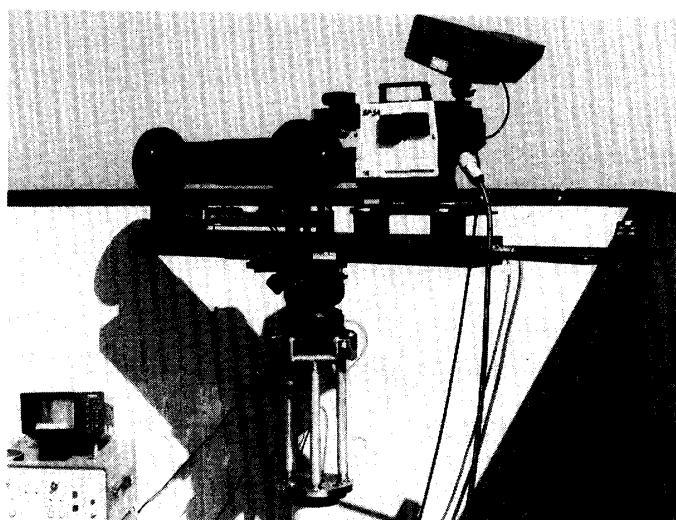


第23図 遠方記録用カラー TV カメラ

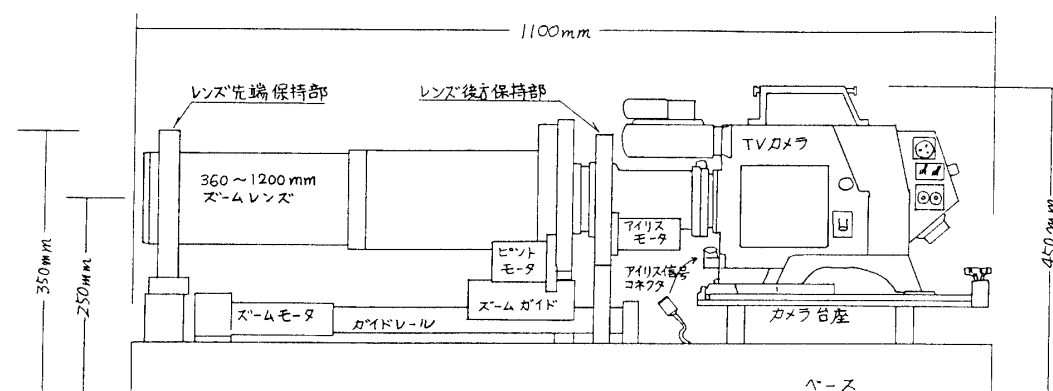
軽減され、高画質化を達成したと、されている。

焦点距離 180~600mm ズームレンズを飛しょう追跡に用いるには、発射点から遠方までの間を適当な視野にする為のズーム駆動と、地上から上空までの輝度変化に対応する為の露出調整駆動などの駆動機構が必要で、架台積載使用のズームレンズ取付き TV カメラに関しては、レンズに対し、上記した駆動部を付加して用いている。第23図は、その外観図である。ズーム制御については、X マークなどの外部信号によりズーム駆動が始まり、タイマーにより必要時間のズーミングを行う方式で、露出調整については、撮像板の照度に対する電圧が、一定となるように、絞り駆動モータを制御する方式を持ち、更に記録時のピント調整駆動も、リモート制御できる方式である。

第23図の「遠方記録用カラー TV カメラ」システムでは、KSC におけるバルーン使用の有翼飛しょう体実験に於て、約 78km 遠方で落下中のパラシュート及びゴンドラを記録した



第24図 超望遠記録用カラー TV カメラ



第25図 超望遠記録用カラー TV カメラ・外観寸法図

実績がある。

また同上の実験で、焦点距離 360~1200mm ズームレンズに駆動部を持つ「超望遠記録用カラー TV カメラ」システム（第24図、第25図）を試作し用いたが、実験時が曇天の早朝だった為、レンズの明るさ（開放値 $f:11$ ）が不足した事と、重量が 20kg 以上の為、旋回視準操作を手動で行うには困難であった事が理由で、目標を捕捉できなかった。第23図に示すシステムでの記録は、レーダ情報を得た後、架台方向を目標に視準させて捕捉している。

第3光学における現有のフィルム使用 35mm 計測カメラには、焦点距離 1200mm (F/11) のレンズを用いているが、これに対しズームレンズ使用 TV カメラの撮影倍率は、180~600mm ズームレンズの場合 0.6~2 倍、360~1200mm ズームレンズの場合 1.2~3.9 倍となり、撮影視角も最大で夫々、(タテ $0.6^\circ \times$ ヨコ 0.8°) および (タテ $0.3^\circ \times$ ヨコ 0.4°) の超狭視角である。そのため、手動追跡は極めて困難で、円滑な旋回駆動を行える第3光学におけるサーボ駆動方式の追跡装置での専用になる。

なお、現在、第3光学追跡架台には、第23図に示す「遠方記録用カラー TV カメラ」を

積載しており暫くの間、このまま用いる予定だが、第24、25図に示す「超望遠記録用カラーTVカメラ」システムを用いる為には、TVカメラ部を超小型化する、光学系全体の重心を低くする、駆動機構及び保持構造を軽量化する、などの改良を加え、全体重量を10数kg程度に低め、使用時の重量バランスを調整して架台に適応させる事が必要であり、又、開放値の大きい（例、 $f:11$ ）レンズを夜間追跡に用いる為に、通常TVカメラに較べ約100倍の感度増倍が可能なSITカメラ、II（Image Intensifier）カメラなどを、交換取付け可能とする工夫が必要で、これからの課題である。

更に、安定した遠方記録を行うためには、架台旋回の安定作業が重要で、その為の架台本体の改修作業を行っているが、次項で、その作業内容について報告する。

5. 第3光学追跡架台、改修作業

昭和63年夏期にKSC第3光学におけるサーボ駆動機能を持つ追跡架台（昭和39年度に設備）のオーバーホールと、追跡機能回復の為の架台本体回収作業を行った。

架台上に積載使用の各種撮影装置については、昭和56年度以後、随時更新が行われて来たが、架台本体については、角度目盛り記録の16mmカメラに代るロータリ・エンコーダによる角度信号出力機能の付加のみで、約24年の長期使用に耐えて来た。

その間、駆動ギヤ系の摩耗などによるバックラッシュの増加、架台振動の増加、制御・回線系の老朽によるノイズの発生……など、使用に支障をきたす要素による追跡機能の老化が生じ、積載装置の高機能を生かせない為、架台本体のオーバーホールをする事で、老朽部品の交換・補修、回線系の更新などを行い、合せて積載バランスを矯正し、操作性を回復させると共に、今までの手動追跡主体の操作モードに対し、今後は、外部信号（CPVなど）制御が可能となるよう、モード選択機能を制御系に対し用意することなどが、今回の主目的で、それによりロケット追従性が良くなる為、追跡眼鏡も、高倍率交換可能のものに更新することが、併せて行う作業である。

5-1 改修内容

架台改修の内容は、「架台オーバーホール」、「操作部の改修」、「制御部の改修」および「追跡眼鏡の更新」で、個々には以下に示す内容である。

5-1-1 架台オーバーホール

① 架台分解点検・再使用部品などの処理

架台を分解点検して、ギヤ、シャフト、旋回ベアリング等の点検・清掃、再使用可能部品は、再塗料、給油などをする。小型ベアリング、オイルシール、Oリングなどは、全交換する。なお、今後、不使用のコネクタ、光学部品などを取り外し、不用の穴は蓋をする。

② ギヤ系のバックラッシュ除去

上下および水平旋回用のメインギヤを交換し、併せてギヤシフトキーの交換により、回転系のバックラッシュを除く、又、メインギヤとギヤブロック間の摩耗間隙は、ギョブロック取り付け位置を片側へ寄せて、除く。

③ 架台内配線

架台内ケーブル及び配線材は、全交換する。

④ エンコーダ接続シャフト形状の変更

接続部のテーパ状を、ストレート形状に変更し、接続にはカップリングを用いる。

⑤ 回転機器の交換

モータ交換 (旧;KJPM-12 型→新;PMES-12A2 型)

ポテンショメータ交換 (旧;CP-10 型→新;同型の新しい物)

⑥ 眼鏡取付けの為の取付け部改造

眼鏡本体は更新し、改造架台に合わせる為、それ用の取付け部を設ける。

⑦ チルトブレーキ機構の付加

上下旋回の停止動作を滑らかに行わせる場合、積載荷重による回転モーメントが、大のため、架台部に電磁石によるブレーキ機構を設ける。

⑧ 架台上の光学部取付け台の改造

積載装置による荷重を調整するため、取付け台の手直しをする。

⑨ バランスウェートの改造

架台改修結果による荷重偏重を矯正するため、バランスウェートを改造する。

5-1-2 操作部の改修

操作部は、架台側面に取付けられ、追跡時の撮影機器作動および架台旋回などの操作を行う部分で、次の改修を行った、

① 操作ハンドル直結のポテンショメータをエンコーダに変更

② 操作ハンドル回転比の変更

〔旧使用状況〕	→	〔新使用状況〕
(ダイヤル：架台)		(ダイヤル：架台)
(E1) 2 : 1		3 : 1
(A2) 3 : 1		2 : 1

③ デイマースイッチ機能の付加

追跡眼鏡視野内のフィディシャルライン照明の為のスイッチを設ける。

④ 倍率切り替えスイッチ機能の付加

追跡眼鏡倍率変換用 (官給のフィートスイッチ使用)。

5-1-3 制御部の改修

制御部は、架台本体から離れ、駆動制御、信号入出力制御を行う機器でケーブルで接続されている。

① コントロール・ユニットの更新

(内容：SERVO PACH 2 式, MOTHER BOARD 1 台, SERVO CONTROLLER 1 台, 制御回路 1 台)

② ケーブルの更新

(架台制御用 1 本, 電源用 1 本, 角度信号用 1 本)

③ 外部からの制御信号入力機能の付加

(Buuffer により CPU などからの入力によるプログラム動作可能な接栓の取付け……手動によるオフセット介入可能なタイプ)

5-1-4 追跡眼鏡の更新

改修前は、15 倍の対空双眼鏡 (視野 4°) を使っていたが、架台改良と撮影機の超望遠化

に伴い、更に高い倍率で飛しょう体を視準追跡する必要がある為、今後は、単眼式の15倍（視野4°） \longleftrightarrow 25倍（視野3°）切り替え使用できるものを、新しく製作し用いる。架台に対する取付け位置は、操作部の上側になる。仕様は、次のとおりである。

- ・単眼式
- ・口径 100mm
- ・倍率 15倍 \longleftrightarrow 25倍切り替え式（切替時間 約0.1秒）
- ・アイピース 27mm
- ・対物レンズ焦点距離 15倍時 375mm
25倍時 641mm
- ・レティクルライン入り（照明 可）
- ・重量 約20kg

5-2 改修結果

工場立合検査（明星電気株式会社，守谷工場；昭和63年8月24日）およびKSC搬入（昭和63年8月31日）後の作動テストの結果は、次のとおりで概ね良好である。なお、改修後の架台概要を第26図に示す。

	項目	TILT	PAN
1	角度範囲	-15° ~ 95°	260° 以内
2	リミット角度 a) TILT b) PAN	(Down←→Up) -5° 90°	(Down←→Up) 15° 190°
3	プリリミット角度 a) TILT b) PAN	(Down←→Up) 5° 85°	(Down←→Up) 25° 180°
4	角速度 a) 通常時 b) プリリミット作動時	27°/秒 以上 5°/秒 以下	29°/秒 以上 5°/秒 以下
5	操作部 a) TILT軸1回転 b) PAN 軸1回転	約240° 旋回	約180° 旋回
6	バックラッシュ	0.02° (改修前 約0.8°)	0.20° (改修前 約0.8°)

第26図 第3 光学追跡装置，改修後の概要図

(1) 架台部オーバホールおよび改造

前項までの内容について、全ての項目が改良された。

(2) 位置制御動作

静止時の架台振動は、 $\pm 0.01^\circ$ 以内となった（ポテンショの分解能に近い）。

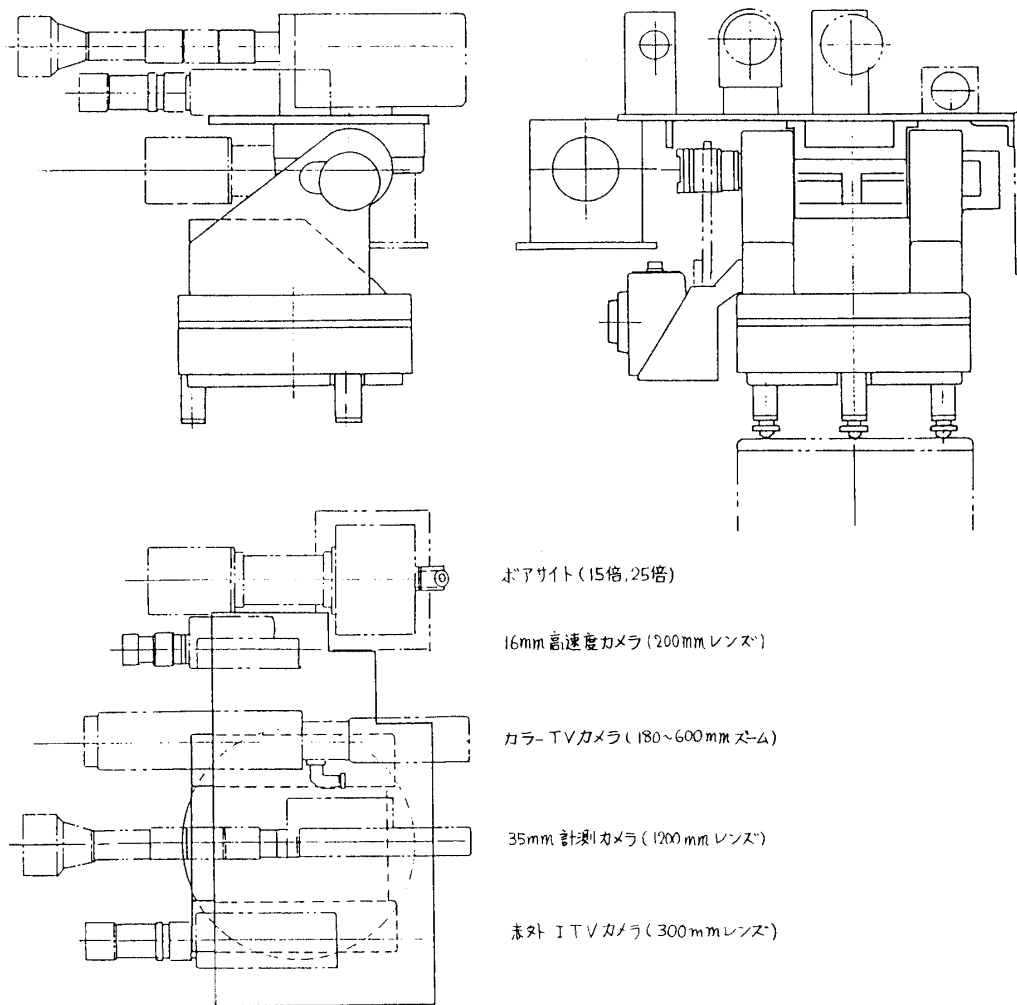
微速動作時の位置決め精度は、手動操作の場合0.1度以内に納める事は難かしい。

CPU制御を行う場合、デジタル信号によるセットで 0.01° の位置決めが可能と判った。

(3) 架台改修後の性能

改修後の架台性能は、第27図に示すとうりで、その内容は、以下である。

◎架台旋回角度範囲は、装置周囲の環境で決まっている為、今までのとうりである。



第27図 改修後の架台性能

◎旋回角度範囲に対し、オーバ旋回を防ぐため左右・上下限をピックアップして停止する、リミット角機能を設けた。又、停止直前で減速するプリリミット角機能を設けた。

◎旋回角速度は、積載物の無い場合、 $30^\circ/\text{秒}$ だが、現有装置の全てが積載される場合、 $27^\circ \sim 29^\circ/\text{秒}$ である。

この値は、今まで通りである。

◎プリリミット作動時の角速度は、リミットへ向う時、 $5^\circ/\text{秒}$ 以下であるが、戻る場合は通常速度である。

◎操作部のハンドル回転は、今までよりも操作し易い比率に替えた。

◎改修前のギヤ系バックラッシュは、TILT, PAN 共に約 0.8° であった。改修後では、TILT については極めて良好となったが、PAN についてはギヤブロックの構造上 0.2° までに追込む事が限界で、これについては、取りあえず外部から「摩擦板機構」を付加し、見掛け上のガタ付きを軽減する方法を講じた。

5-3 今後について

今回の作業は、架台匡体を変更していない為、機構上で、改修の限界を持つ部分があるが、作業終了後には、本来の機能を回復できた感がある。

そして、M-3SII-4号機実験時に、改修後の機能確認も含めた“人間介入方式によるプログラム追跡”テストを行ったが、X+41秒付近で、旋回横取り付きエンコーダによるノイズを拾い、その後の追跡は不良となった。

それまでの間は、プログラムデータに従った追跡が行われた為、今後は、旋回軸用エンコーダの更新とプログラムに関するデータ及び駆動ソフトの検討を行いたい。

6. M-3SII-1, 2, 3号機の観測結果

第28図は、M-3SII-1～3号機追跡のフィルム上の記録時間である。1号機の打上げ時は、夜明け前の曇天だった為、1段目途中までの記録となった。2号機打上時の天候は、曇量7程度だが、発射点上空のみ快晴であった為、第1光学では最後まで記録できた。3号機は、快晴の中で打上げられ、全観測点で最後まで飛しょう確認した。いずれも飛しょうは正常で、SBの分離状態は、2, 3号機の飛しょう中に確認した。

以下に各号機ごとの観測状況を示す。

[M-3SII-1号機]

M-3SII-1号機は、昭和60年1月8日4時26分、上下角71度、方位角118度に設置され打上げられた。発射時天候は小雨で、X+17秒付近からロケットは雲に入り、その後の追跡はX+28～60秒付近まで、雲を透して行った。第1光学では、暗闇の中で整備塔屋上のフラッシュの発光を確認後、塔向い側（海側）を上昇するロケットを捕捉する体制で、待ち構えたが、上昇速度が、M-3S型に較べ遅かった為、タイミングが僅かに狂いX+2～3秒で視野外れを生じた。その後の追跡は良好でX+28秒付近まで火焰を追跡した。その間、X+6秒附近以後にTVC作動によるものと考えられる軌道の頭下げの様子を確認した。

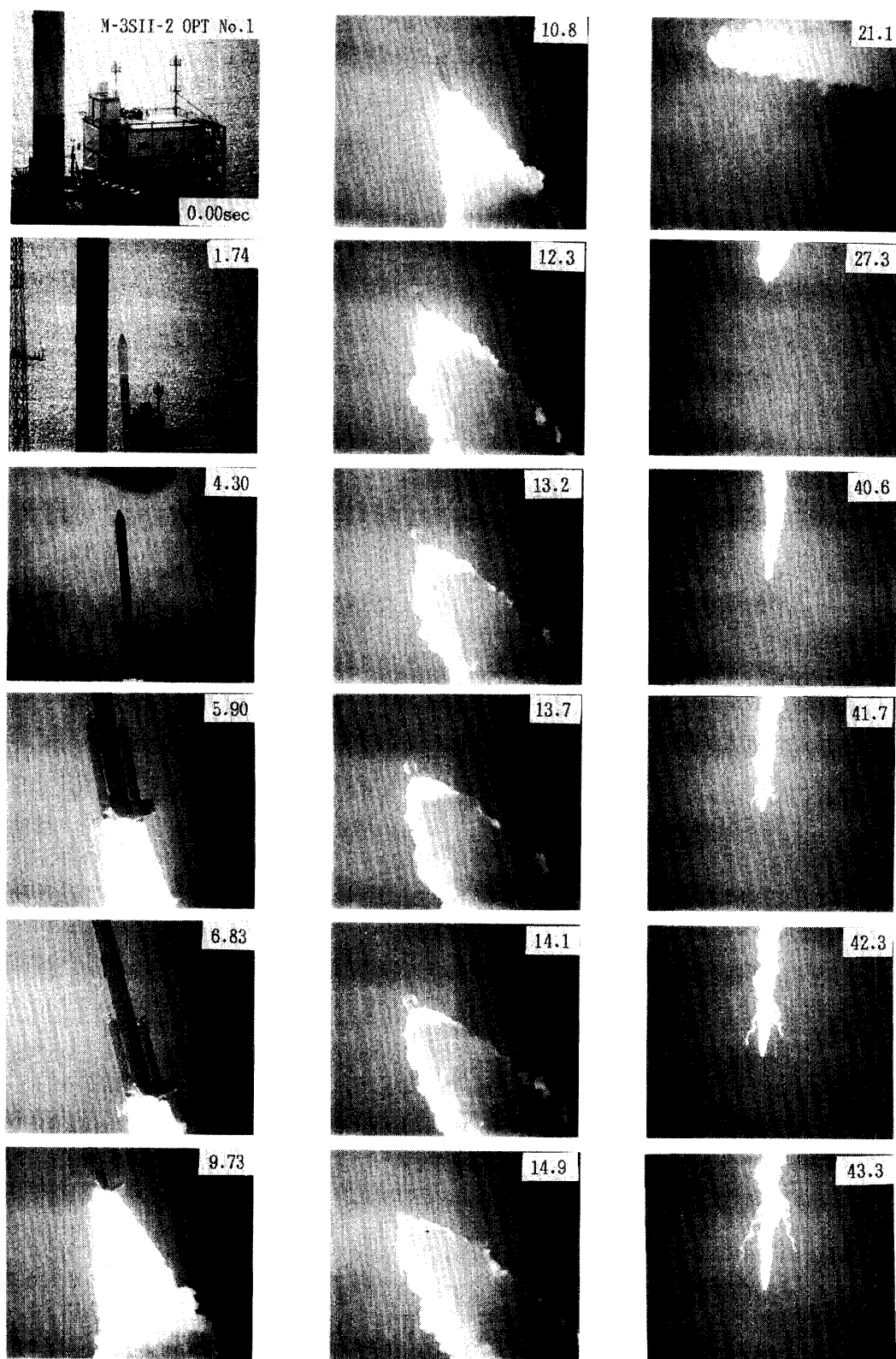
第2光学では、塔向い側を上昇するロケットをX+3秒まで記録した。なお、打上げ時は僅かに小雨を持つ霧状の天候だった為、X+3秒以後の記録内容は、火焰の光が霧による散乱を受け不明瞭となった。

第3光学では、点火以後X+60秒付近まで追跡したが、X+17秒付近までは第2光学と同様に、火焰の光に霧による「ニジミ」があり、その後は雲を透した追跡となった。

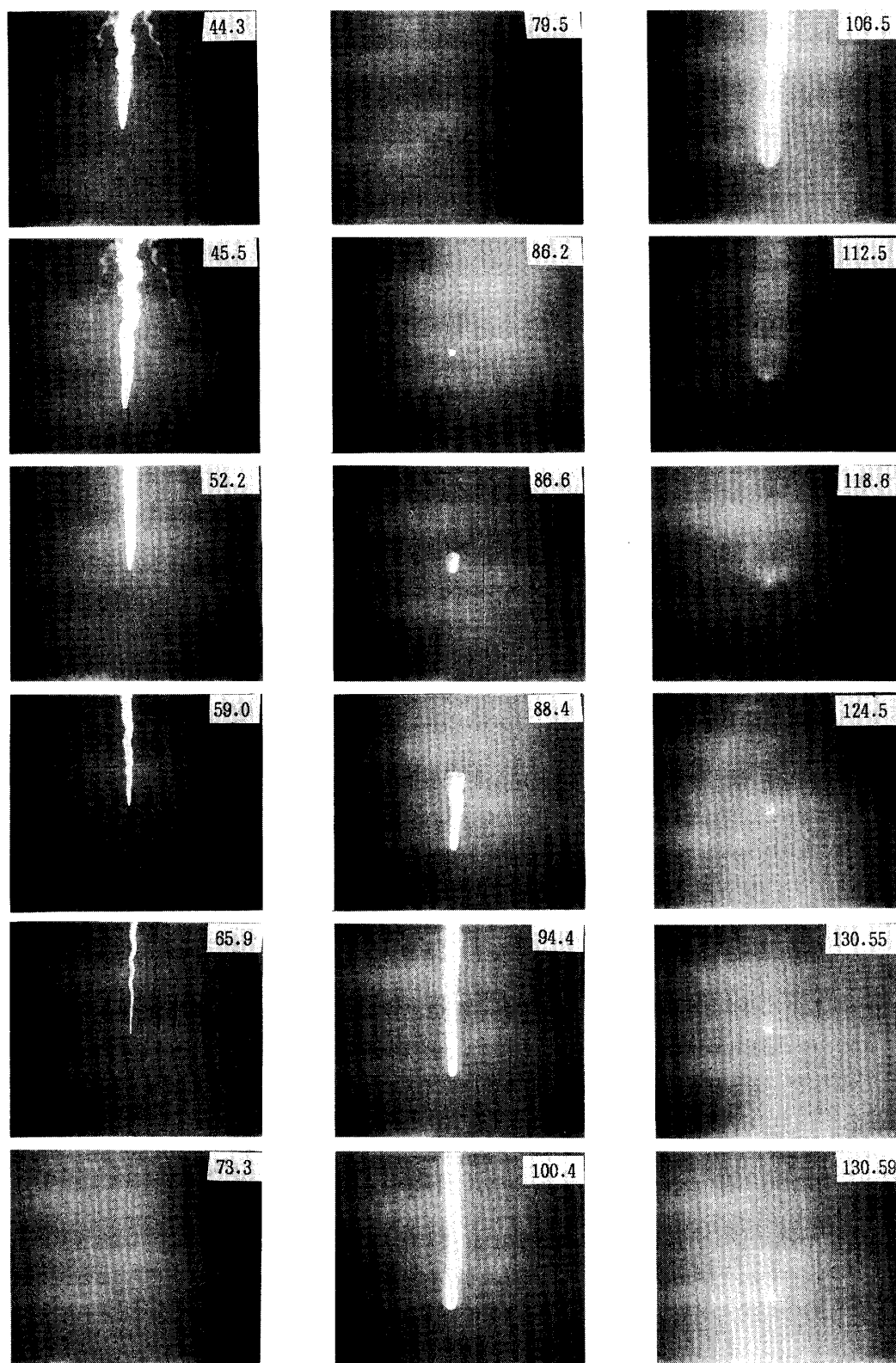
固定設置のHSカメラでは、ロケットのランチャ離脱状態を明瞭に記録したが、その内容では、ロケットがライチャを摺動する時間が、M-3S型に較べやや長い事が観察できた。又、

ロケット号機名	打上年月日時	天候	観測点ごとの追跡時間			
			OPT No.1	OPT No.2	OPT No.3	OPT No.4
M-3SII-1	85.1.8 4:26	小雨	28秒	3秒	60秒	——
M-3SII-2	85.8.19 8:33	曇り	149秒	3秒	50秒	24秒
M-3SII-3	87.2.5 15:30	晴れ	105秒	——	156秒	156秒

第28図 M-3SII に対する光学追跡時間



第29図 M-3SII-2 号機の追跡 (第1 光学, その1)



第30図 M-3SII-2号機の追跡 (第1光学, その2)

B1 本体と SB 間を上昇する火焰は、極めて一瞬であり、悪影響がない事が確認できた。

〔M-3SII-2 号機〕

M-3SII-2 号機は、昭和 60 年 8 月 19 日 8 時 30 分に、上下角 78.8 度、方位角 95 度に設置され打上げられた。発射時の天候は曇であった為、追跡は上空の雲に遮られ X+20 秒附近まで、となった観測点もあるが第 1 光学では、2 段目燃焼終了まで確認できた（第 29 図、第 30 図）。第 1 光学における記録は、発射時に飛しょう方向が快晴となり半逆光の状況での追跡となった為、極めてクリヤな画像となり、第 29 図でも認められるように X+10 秒附近から X+15 秒附近の間、ロケット先端に球状の雲（Shock Wave？）の成長が認められた。X+40 秒附近以後では、SB 分離の煙の条が 2 本が記録されたが、落下中の SB 夫々が、更に細い煙の条を 1 本ずつ伴っている状況が認められた。SB 分離に伴うメインの飛しょうには異常は無かった。1 段目燃焼終了も正常に行われ、その後 4～5 秒間の機体コースティングが、認められた。

2 段目点火から燃焼終了まで、追跡眼鏡で X+159 秒まで正常に確認しだか、フィルム上には X+149 秒附近までの記録となった。

第 2 光学では、飛しょう方向（95°N）に対し真後ろとなり、太陽に対し完全な逆光となり、まぶしさの為、ロケット視認ができなかった。

第 3 光学では、X+36 秒附近でロケットが雲中に突入し、雲を透して X+50 秒附近まで追跡した。又、雲に入る以前に、第 1 光学同様に、S+10 数秒附近でロケット頭部および SB 頭部附近にスカート状の雲のようなスジ（Shock Wave？）を記録した。又、雲中における X+40 秒附近で、雲のため淡い影を呈する状況で、SB が分離する様子を記録した。

第 4 光学では、X+20 数秒附近で雲に突入する飛しょう状況を記録した。

第 5 光学、第 6 光学（整備塔 11 階）では、1 号機と類似の状況を、明瞭に高速度記録した、

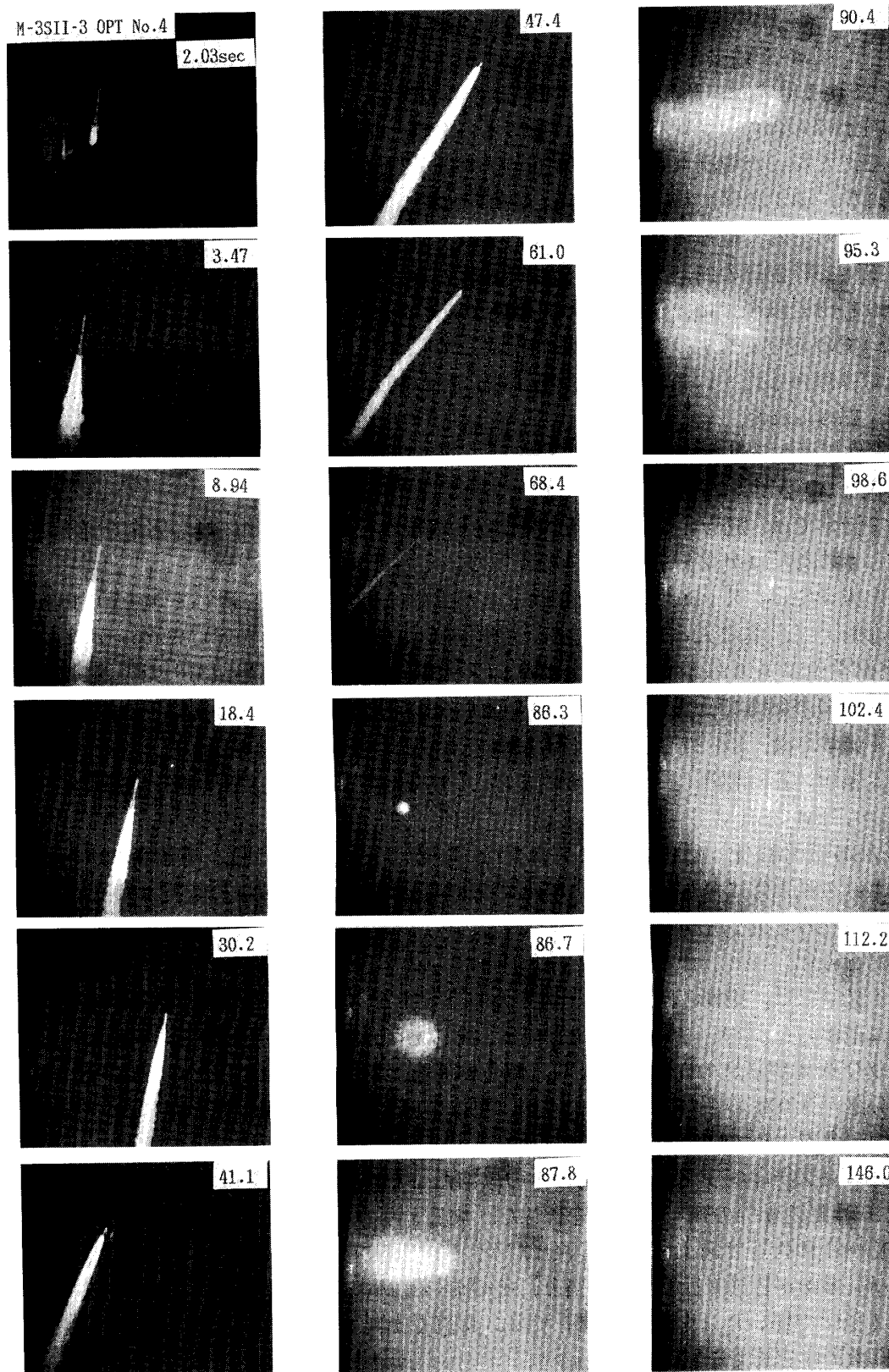
〔M-3SII-3 号機〕

M-3SII-3 号機は、昭和 62 年 2 月 5 日 15 時 30 分、上下角 79 度、方位角 90 度に設置され打上げられ正常に飛しょうした。当日の天候は快晴で、従来使用の装置以外に「全天カメラ」システムを第 2 光学で用いた。全ての装置は良好に作動し、追跡は、ほぼ 2 段目燃焼終了まで行った。

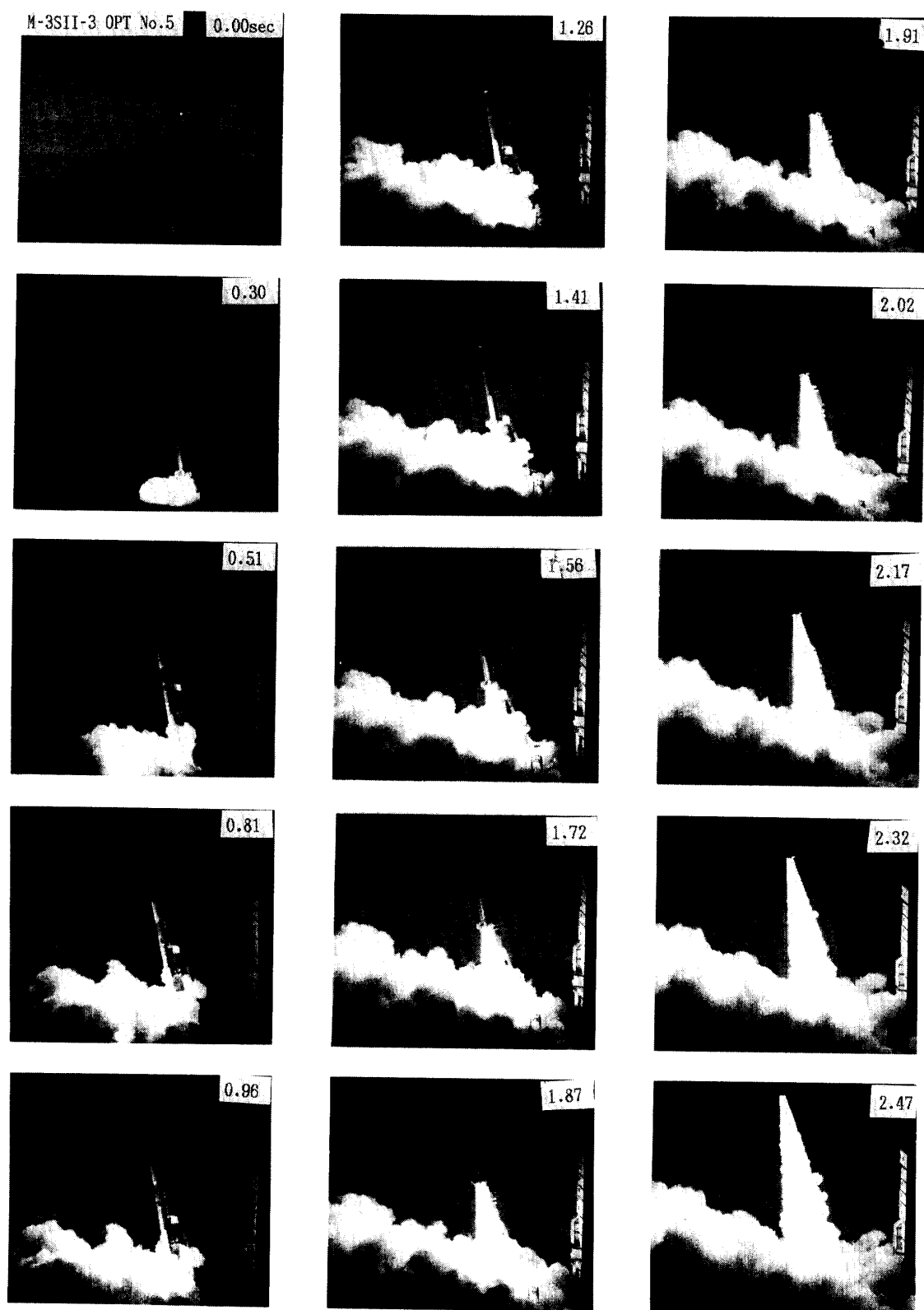
第 1 光学では、整備塔向い側を上昇するロケットを X+3～5 秒の間、Zoom Up しながら良好に追跡したが、X+35～60 秒附近では、飛しょう方向に対し後方からの視準となった為、火焰及び機体が噴煙の向い側となり、煙の伸展を記録する状況だったその間、X+40 秒附近で分離し落下中の 2 本の SB の夫々が、更に 2 分し飛散する状況を記録した。視界内は、残留煙が多く占めていたが、煙の透き間をとうして燃焼終了附近の機体を確認した。その後の機体コースティングは、数病間のみ確認だったが、ほぼ同方向に 2 段目の点火を認め X+110 秒附近までの飛しょうを確認した。飛しょう方向は、X+10 秒附近から北寄りに振れ、X+40 秒附近で南よりに修正されたが、X+110 秒附近で 80 度 N 方向となった為、追跡用パン棒端が装置附近の機器に当り、その後の追跡はできなかった。

第 2 光学で用いた「全天カメラ」では、真直ぐ上昇するロケットが、煙の向い側に至る X+10 数秒附近までを記録した。

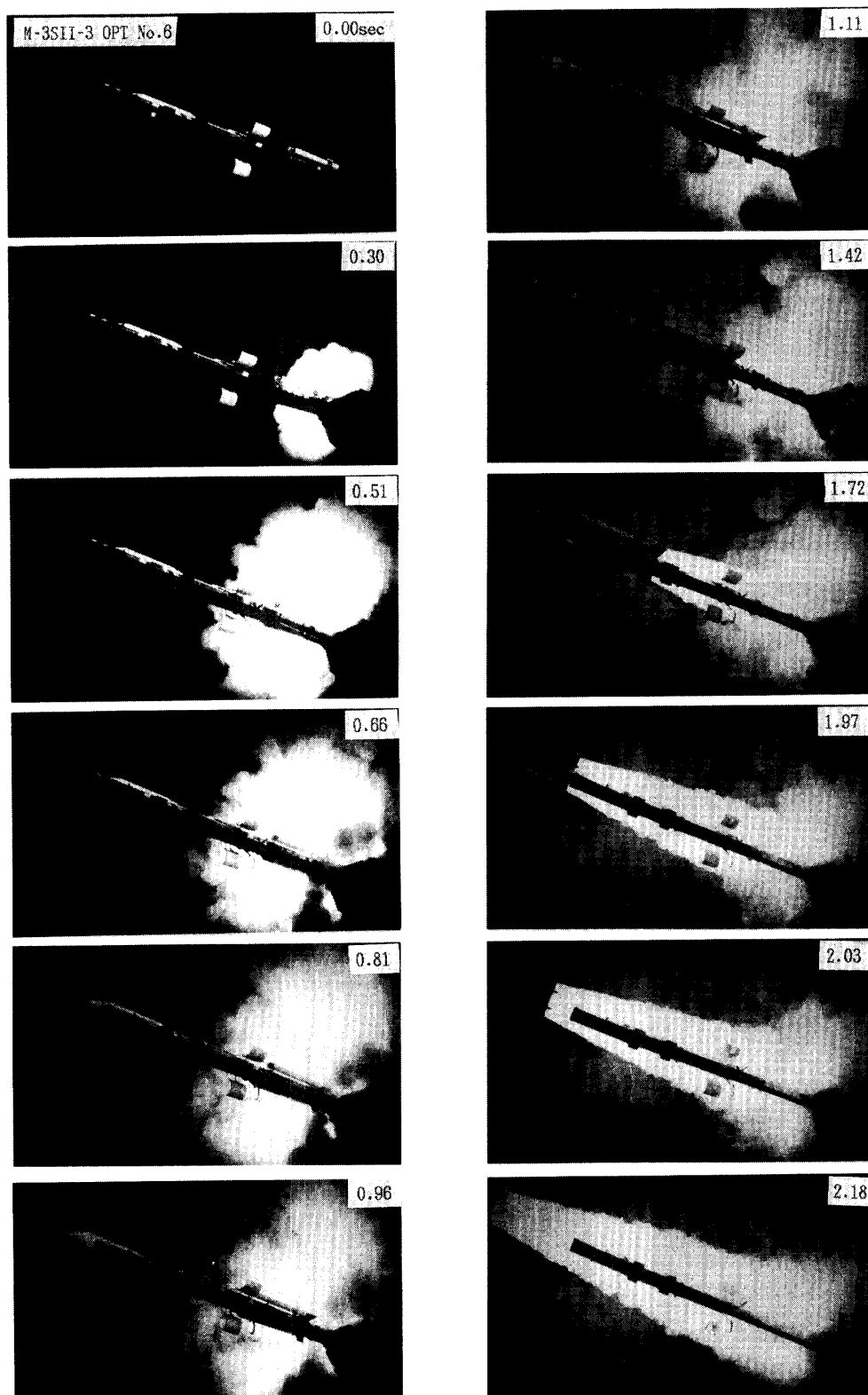
第 3 光学では、1200mm レンズ使用の 35mm 計測カメラでは、狭視野の為、1 部にロケッ



第31図 M-3SII-3号機の追跡 (第4 光学)



第32図 M-3SII-3 号機ランチャ離脱状況 (第5 光学, HS カメラ)



第33図 M-3SII-3号機ランチャ離脱状況（整備塔，HSカメラ）

トの視野外れを生じたが他のカメラでは全て視野内に納め、2 段目燃焼終了まで記録した。その間、SB 分離、1 段目コースティング中の機体などを確認した。又、追跡眼鏡では、X+180 秒まで機体確認をしているが、フィルム上では X+153 秒、CCD カラー TV カメラでは、X+156 秒まで記録した。

第 4 光学では、打上げ時の太陽高度の低い順光が幸いし、1200mm 超望遠レンズにより点火から 2 段目燃焼終了まで、最も長い時間の飛しょう機体の確認ができた。

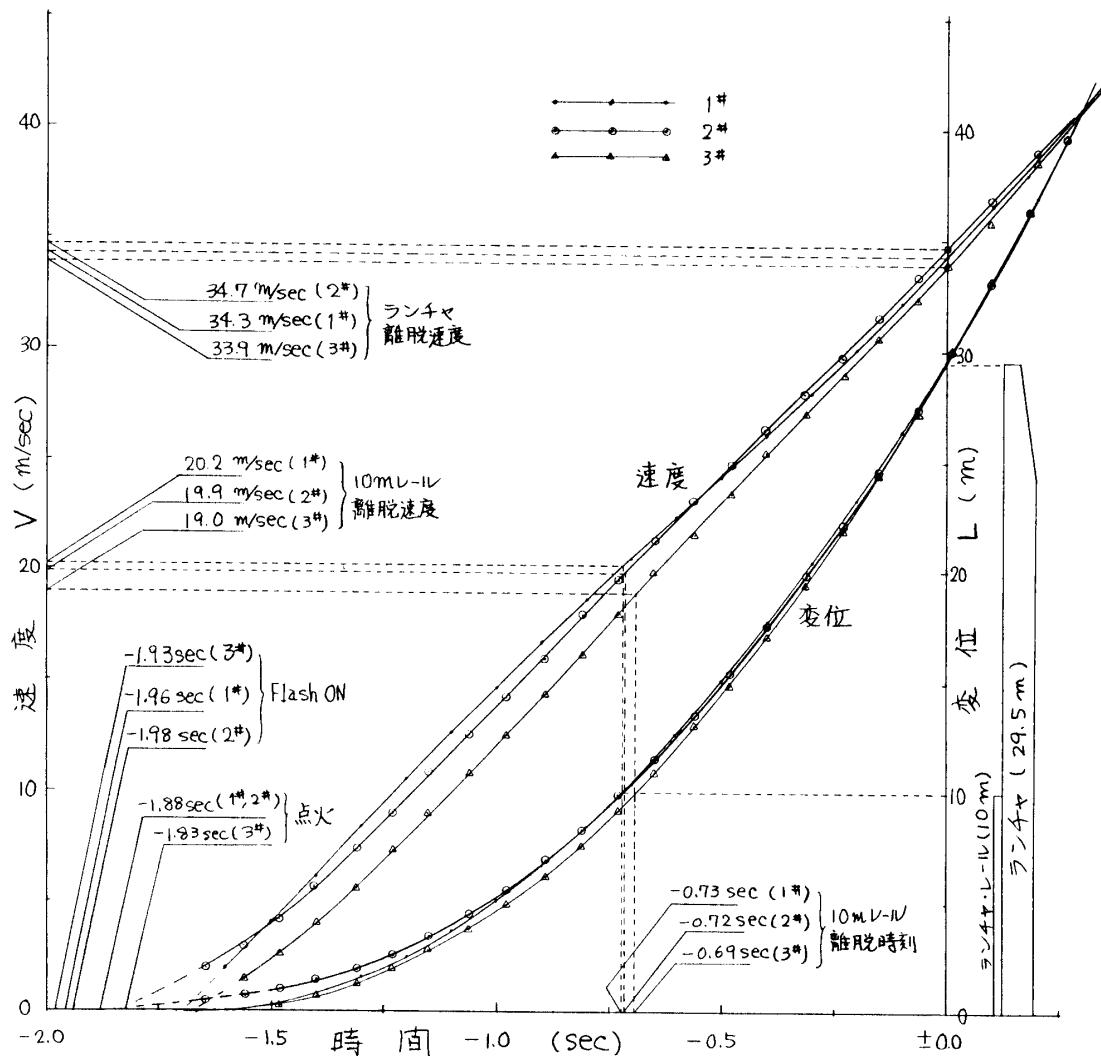
その間、SB 分離、コースティング等の状況も明瞭に確認できた (第 31 図)。

第 5, 6 光学の HS 撮影結果も、天候に恵まれ良好な記録となった (第 32 図, 第 33 図)

7. 解析結果

7-1 ランチャ離脱状況

第 34 図は、M-3SII-1, 2, 3 号機が 29.5m のランチャを摺動し離脱するまでの特性を示し



第34図 M-3SII-1#2#3号機ランチャ離脱特性

ている。夫々の特性は、ほぼ類似しており、平均値としては、Flash ON からロケット動き始めまで 0.09 秒、10m のランチャレールを抜け出るまでの時間は 1.24 秒、その時の速度が 19.7m/秒、29.5m のランチャを抜け出るまでの時間は 1.96 秒、その時の速度が 34.3m/秒となった。

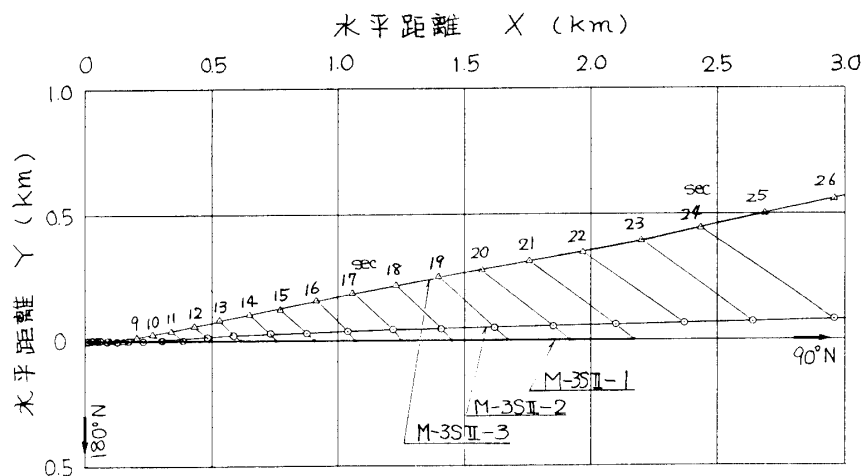
M-3S ロケットの平均値に較べると、M-3SII ロケットでは、Flash ON から動き始めまでの時間は、約 0.1 秒、早く、10m レール 離脱時間は約 0.32 秒遅く、その時の離脱速度は約 8.5m/秒低く、ランチャ離脱時間は、約 0.44 秒遅く、その時の速度は、約 15.7m/秒低い傾向を持ち、M-3S ロケットより、ゆるやかなランチャ離脱をする特性を持っていた（第 35 図）。

7-2 飛しょう軌跡

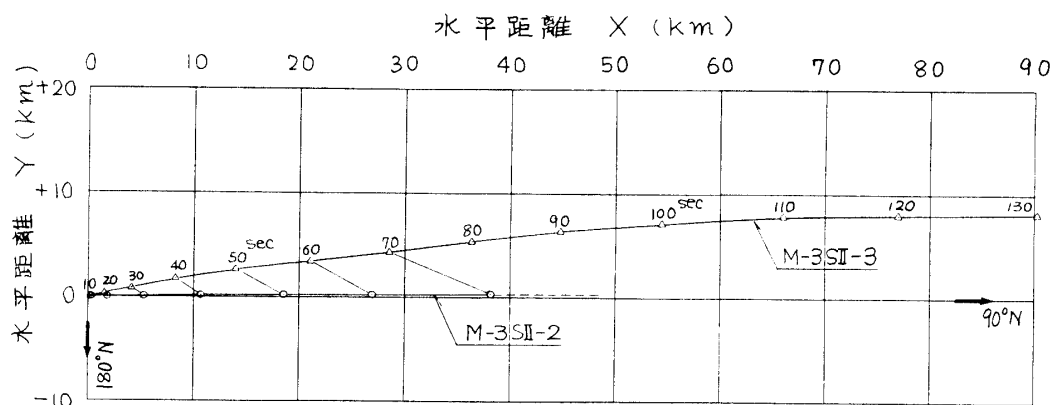
第36図および第 37 図に、M-3SII-1, 2, 3 号機の飛しょう方向および水平距離(1), (2)の状況を示す。1, 2 号機については、第 1 光学および第 3 光学によるデータを元に算出処理した。従って第 1 光学による追跡画面で、上昇中のロケットが噴射煙の向い側になる X+13 秒～X+25 秒附近の間は、判読による位置指摘を行った。

ロケット号機名	Flash ON から点火 までの 時間	10m レール 離脱 時間	10m レール 離脱 速度	ランチャ 離脱 時間	ランチャ 離脱 速度
M-3SII-1	0.08 秒	1.23 秒	20.2 m/秒	1.96 秒	34.3 m/秒
M-3SII-2	0.10 秒	1.26 秒	19.9 m/秒	1.98 秒	34.7 m/秒
M-3SII-3	0.10 秒	1.24 秒	19.0 m/秒	1.93 秒	33.9 m/秒
M-3SII 平均	0.09 秒	1.24 秒	19.7 m/秒	1.96 秒	34.3 m/秒
(M-3S 平均)	0.2 秒	0.92 秒	28.2 m/秒	1.42 秒 (M-3S-3,4)	49.0 m/秒 (M-3S-3,4)

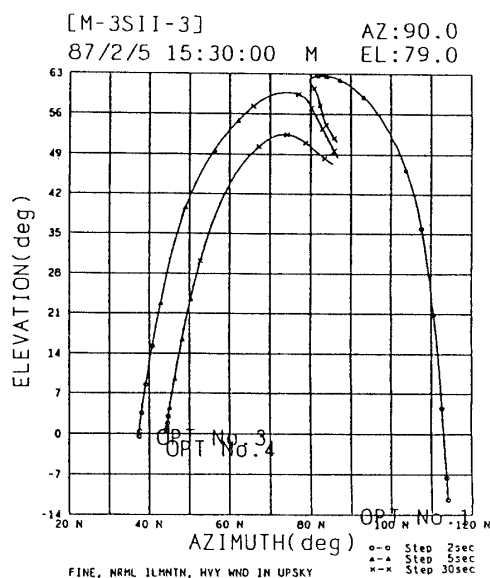
第35図 M-3SII のランチャ離脱特性値



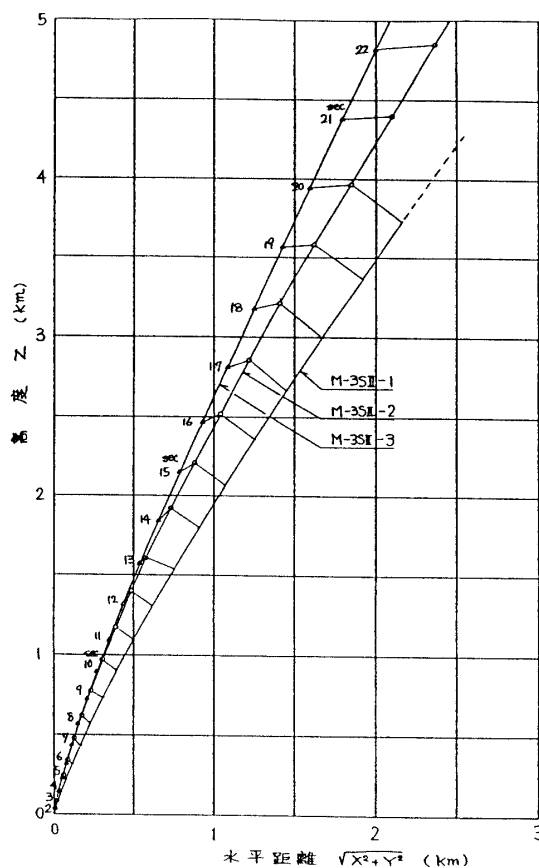
第36図 M-3SII-1, 2, 3 号機の飛しょう方向、水平距離(1)



第37図 M-3SII2, 3 号機の飛しょう方向, 水平距離(2)

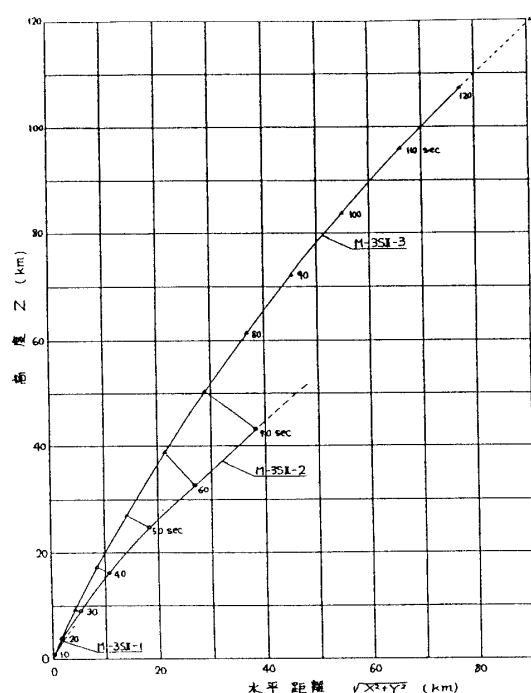


第38図 M-3SII-3 号機, 追跡角度図

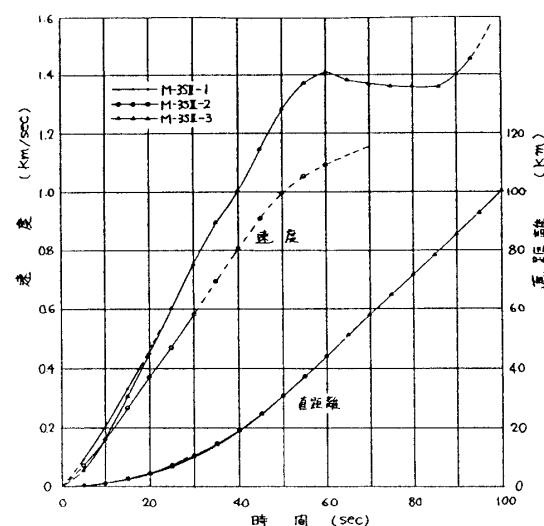


第39図 M-3SII1, 2, 3 号機の飛しょう軌跡(1)

1 号機の X+20 秒までの結果は, 方位角 90 度方向となり, 2 号機では, X+10 秒附近までは, 発射設定角 (方位角 95 度) に対し, 方位角 90 度方向よりも北寄りの軌道となったが, その後は 90 度方向に沿う飛しょうとなった. 3 号機では, X+8 秒附近から北寄りに振れ始め, 途中の X+20 秒附近および X+60 秒附近で軌道修正をしている様子が認められる



第40図 M-3SII-1, 2, 3号機の飛しょう軌跡(2)



第41図 M-3SII-1, 2, 3号機の直距離, 速度

が、最終的には方位角 90 度方向に飛しょうする結果となっている、また、その様子は、第 38 図に示す追跡角度図の上にも表われている。

第39図および第 40 図に、水平距離に対する飛しょう高度の状況を示す。高度方向については、設定上下角に沿う軌道となった。

第41図は、各ロケットの直距離及び飛しょう速度を表わしている。

8. 結果のまとめ

- (1) M-3SII 型ロケットのランチャ離脱状況は、1～3 号機まで安定した特性値を持ち、M-3S 型ロケットに比べ、ゆるやかな発進が特徴として認められた。
- (2) 飛しょう中の姿勢制御機能は、更に高性能になった様子が伺え、その特性は、3 号機の飛しょう解析結果で良く確認できた。
- (3) KSC における観測形態及び使用装置に関し、長年の間、効率化の為の定形化を求めて来たが、一部の改良部分を残す以外ではフィルム記録方式による光学観測形態及び装置として、現有のものを主体とするシステム化は、ほぼ完了の域に達したと考えられる。
- (4) M-3SII 型ロケット打上げ期間に於て、「光学観測将来計画 W・G 打合せ会」で提起されたリアルタイム方式に関して、装置試作を含む実験を行えた為、今まで懸案のビデオ記録に関する知識・情報を取得する事ができ、今後のリアルタイム化への有効な一歩となった。
- (5) 追跡架台の機能回復を行えた事と、高画質 TV カメラを用いる遠方記録装置のプロトタイプ等を用いた結果で、今後の超望遠 TV カメラ」装置の製作・使用に、はっき

りした見通しを得た。

9. あとがき

長年のロケット実験運用の中で、光学観測に期待を持たれてきた要素としては、フィルム記録結果からの飛しょう時の姿勢・機能、位置などの状況を観測すること、および記録画像のドキュメントへの利用などが主となっていたが、この外に実験の場では、電波情報がリアルタイムで飛しょう保安に役立っていると同様、光学観測による Visual 情報も、その中で整合され保安確認用として作用する事が、今後とも必要である。その為に、現有装置・観測形態などに対し、「飛しょう保安光学システム」として必要な機能向上、改修などを、数年前から試み現在に至っているが、今までの経過は、フィルム記録方式からの暫次脱皮という段階で、これからが本格的システム化の検討段階に入ると、考える。

終りに、光学記録のリアルタイム化の方針に大きな緒となった「光学観測将来計画 W・G 打合せ会」に参加し、貴重な御指摘をして頂いた宇宙工学の各先生方及び関係各位には、深甚の謝意を表します。

又、光学系駆動部、架台改修などに関し、製作して頂いた(株)ナック、(有)神和光器および(株)明星電気に感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 植村他“ロケット観測における光学的角度測定”精密機械 44 巻 5 号 1978 年 5 月, pp 59-64
- [2] 喜久里他“M-3SII-1, 2, 3 号機の光学的追跡について”宇宙科学研究所報告 特集第 16 号 観測ロケット研究所報告—M-3S ロケット特集号— 1986 年 10 月, pp 369-388
- [3] 雛田他“飛しょう保安光学システムの改修計画について” 昭和62年 3 月16日 (所内向け PR 冊子)
- [4] 光学観測班“第 3 光学追跡装置改修作業報告” 昭和63年11月17日 (所内向け報告書)