

M-3C-1, 2, 3 号機の光学的 追跡について

—高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究 第47報—

*植村恒義・*大園茂夫・*山本芳孝・喜久里豊・栄楽正光
*水沼俊夫・*津野隆夫

1. まえがき

M-3C-1号機は昭和49年2月16日に発射され、科学衛星3号（たんせいⅡ号）を軌道にのせることに成功した。1年後の昭和50年2月24日にはM-3C-2号機が科学衛星4号（たいよう）を軌道にのせることに成功した。これら2機は、いずれも快晴に恵まれたため、光学的追跡には極めて良い条件となり、好結果を得た。これに対し、M-3C-3号機は曇天での発射となり、発射20秒後に低くたれこめた雲の中に入り見えなくなり、以後の光学的追跡は不可能となった。又、ロケット自体の飛しょうにも不都合を生じ衛星を軌道にのせることはできなかった。

光学的追跡法は充分高い精度を持ち、客観的観測を行い得る特長を持っている。その反面、電氣的な追跡に比べると追跡能力は天候に大きく左右される。光学的追跡の能力は現在使用している程度の貧弱なものでも、もし天候に恵まれれば、M型級の大形ロケットならば、2段目燃焼終了を撮影フィルム上に記録し得るし、さらに3段目燃焼終了迄直距離約350 km迄、ロケットの形態を確認しながら追跡することが可能である。

M-3C型ロケットはM-4S型を基本にして種々の改良を加えた全長20.24 m、直径、1.4 mの3段式ロケットである。M-3C型への種々の機能改良においても高速度撮影を用いた光学計測が行われ、能代実験場における燃焼実験、衛星とキックモータの切り離し機能の確認、接手バンドの機能およびトラス接手開傘機能確認試験を行ってきた。

本報告は鹿児島宇宙空間観測所におけるM-3C-1～3号機迄に使用した光学観測点と追跡装置の概略を紹介する。特に改造を加え将来、保安設備の一環としても併用できる光学的追跡による軌跡データ実時間処理装置についても紹介を行う。

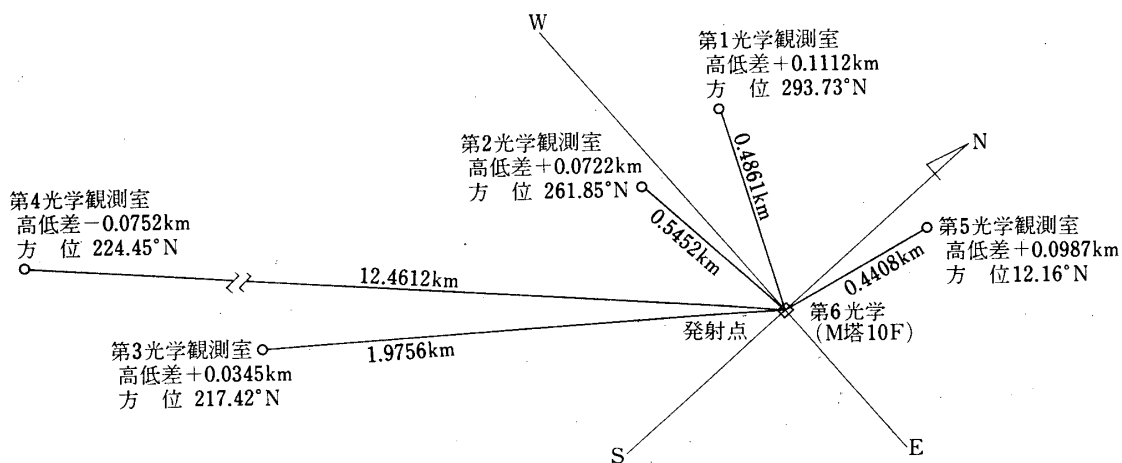
* 東大工学部

2. 観測点, 観測機器及び感光材料

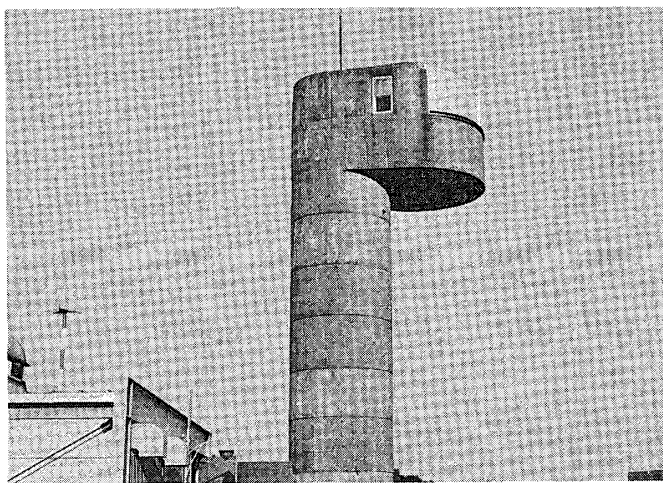
2.1 観測点

K. S. C における光学観測室 (点) は, 第1 光学観測点から第6 観測光学点まで, 合計6 個所である. それぞれの観測点は, K, L 及びM ロケット発射点の周囲に点在しており, 実験規模に応じて調整, 使用された.

第1 光学, 第2 光学及び第5 光学観測点は, M 発射点から約 450~550 m の水平距離を有している, これら発射点近傍の観測点では, 点火直後における燃焼状況の明確な観察とロケット整備塔周辺への影響を明瞭に観測することができるとともに, これらの観測点における追跡装置により, 主エンジンの他, 補助ブースタの燃焼中の状況及び燃焼終了から分離, 落



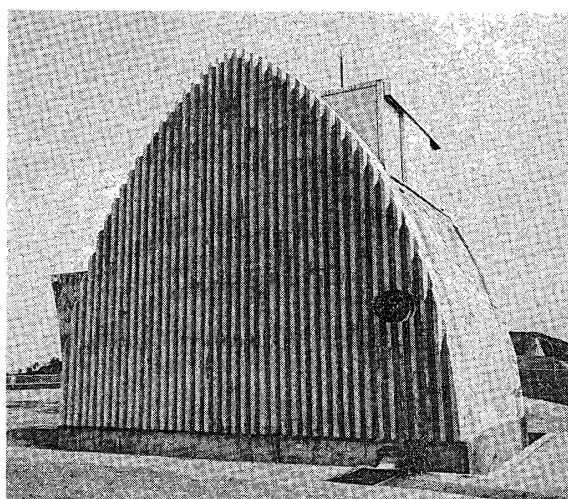
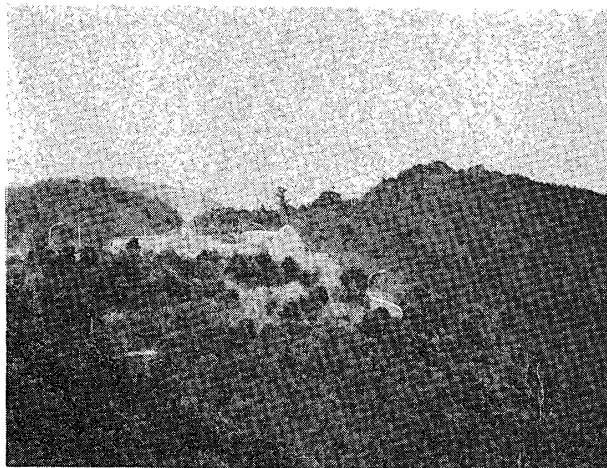
第1 図 整備塔を中心とする光学観測点配置図



第3 図 計器センターにおける第2 光学観測室

第2図 光学観測点各装置使用諸元

観測点	装置名	使用法	使用撮影機名称	駆動時刻	撮影レンジ名 距離	フィルム サイズ	撮影視野 タテ×ヨコ(角度)	フィルム 容量	撮影速度	撮影時間	撮影内容	画面内位置 読取精度	日盛値 読取精度	備考
第1 光学観測点	CT-3	手動追跡	カメラチャック35	手動にて X-10秒	ニッコール(Z) 85~250 mm Fix 250 mm	35 mm	4.12°×5.50°	400 ft	20f/s	320秒	現象	1'	1'	OPT. No. 1 K・S台地 後方
			目盛ボレックス	"	シネニッコール 13 mm	16 mm	—	100 ft	20f/s	200秒	データ	—		
第2 光学観測点	—	手動追跡	カラー-I.T.V (付加装置)	手動にて X-15秒	専用(Z) 46~108 mm Fix 108 mm	—	5.30°(横のみ)	—	—	—	現象 データ	—	—	OPT. No. 2 計器センター
			アリアレックス 35	手動にて X-10秒	アンジェニュー (Z) 25~250 mm Zooming	35 mm	UPのとき 3.67°×5.04°	400 ft	24f/s	267秒	現象	1'		
			シネラマM・600	"	アンジェニュー (Z) 15~150 mm Zooming	16 mm	UPのとき 1.34°×3.82°	400 ft	200f/s	80秒	現象	2'		
第3 光学観測点	H・S	固定撮影	16 H (No.108)	手動αタイ マ、X-3秒	ニッコール 50 mm	16 mm	8.01°×11.42°	100 ft	1,000f/s	約5秒	現象	—	20"	OPT. No. 3 宮原台地
			70 mm 改造カメラ	手動にて X-10秒	キャノン 2000 mm	70 mm	1.72°×1.72°	100 ft	1 f/s	435秒	現象	30"		
			目盛ボレックス	"	シネニッコール 25 mm	16 mm	—	100 ft	20f/s	200秒	データ	—		
			追跡ボレックス	"	シネニッコール 100 mm	16 mm	4.01°×5.72°	100 ft	20f/s	200秒	現象	2'		
			赤外 I TV (赤外追尾装置) 可視 I TV	手動にて X-30秒	ニッコール 135 mm	—	4.24°(横のみ)	—	—	—	現象 現象又は データ	—		
第4 光学観測点	CT-1-B	手動追跡	カラー I TV	"	シネニッコール 25 mm	—	28.07°(横のみ)	—	—	—	現象	—	0.1°	OPT. No. 4 戸崎
			ミツチェル 改造カメラ	手動にて X-10秒	キャノンTV (Z) 42~84 mm Fix 84 mm	35 mm	UPのとき 6.81°(横のみ)	200 ft	20f/s	160秒	現象	30"		
第5 光学観測点	CT-4	手動追跡	目盛ボレックス	"	シネニッコール 25 mm	16 mm	—	100 ft	20f/s	200秒	データ	—	1'	OPT. No. 5
			フォトソニックス 4 M	手動にて X-10秒	ニッコール (Z) 50~300 mm Fix 300 mm	35 mm	3.63°×4.77°	400 ft	24f/s	267秒	現象 データ	1'		
第6 光学 (整備塔)	H・S	固定撮影	16 H・S	タイマーに てX-3秒	ニッコール 20 mm	16 mm	19.85°×28.07°	100 ft	1,000f/s	約5秒	現象	—	—	OPT. No. 6

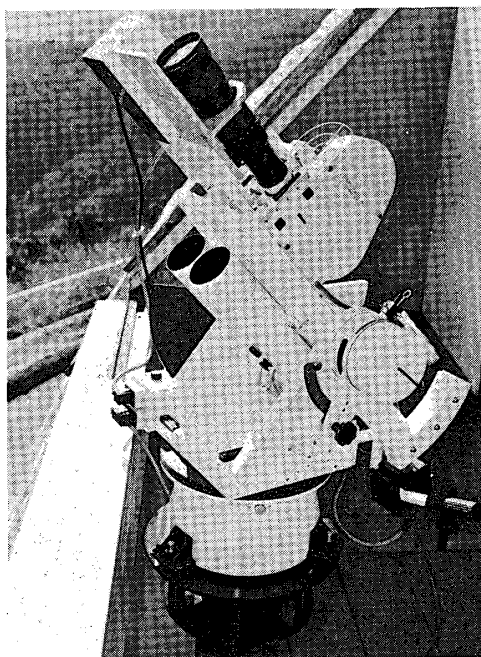


第4図 第5光学観測室

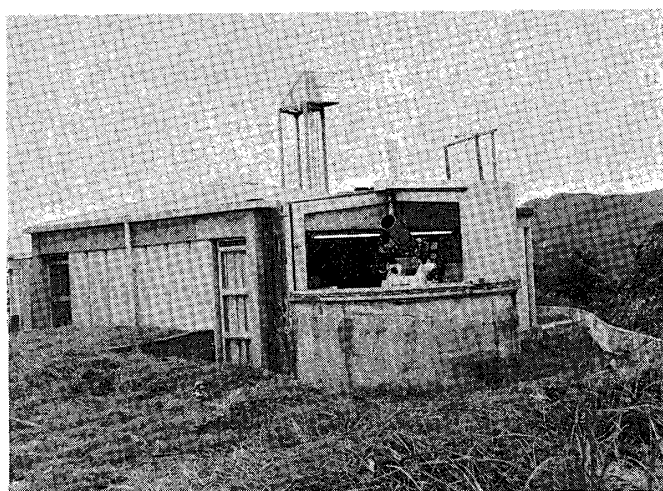
下にいたる状況を、明瞭に確認できる。第2, 5光学観測点は、整備塔左後方の高所にあり、ランチャ上のロケットを直視できるため、発射時における状況を高速撮影機で撮影するのに有利である。尚、第1光学観測点はロケットの飛しょうに対し、後方に位置している為、飛しょう軌跡の左右の分散を確認し易い。

第3光学観測点は、発射点より約2 km 離れている為、発射後数km にわたる飛しょう経路の横位置からの観察に適している。特に、補助ブースタの分離から海面に落下するまでの現象を、余す処なく確認できる。使用装置は、自動追跡が行えるほかレーダーとの連動も可能である。

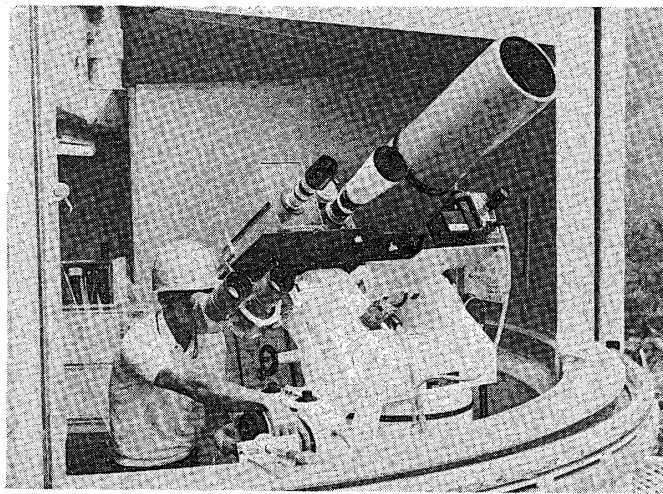
第4光学観測点は、発射点から約12.5 km の地点にあり、光学観測点中、最も遠方である。この位置は、方位角145度で飛しょうするロケットに対し、長時間側面から追跡のできる場所



第5図 第5光学観測室における現象及びデータを
同一画面に写し込める手動追跡装置（第5光
学観測点）



第6図 第3光学観測室（宮原）



第7図 第3光学観測点大型追跡装置

で、望遠レンズを使用しているため、2, 3段目の燃焼状況は、明瞭に撮影できる。

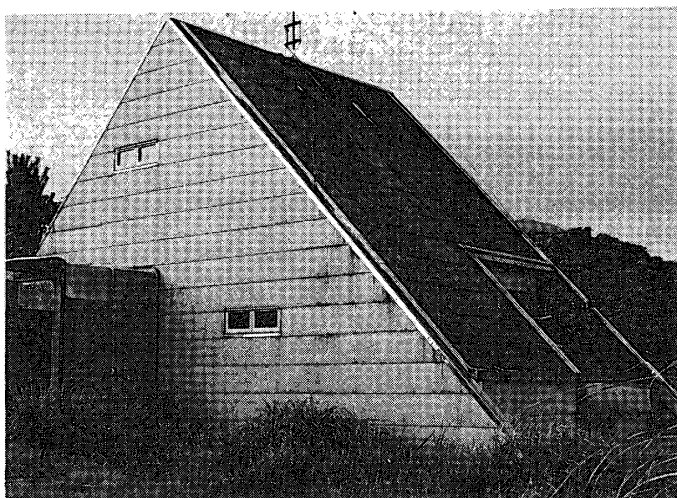
第6光学観測点は、M整備塔10階に設置されている高速撮影機で、ロケットランチャ周囲の火焰、煙の状況を広角レンズを用いて、撮影をしている。将来はさらに超広角レンズを使用し、撮影視野を広くして克明に観測する予定である。

2.2 観測機器

第2図に、観測点で使われる装置及び使用諸元を示す。追跡撮影装置は、通常、観測室床に固定された台座上に水平、上下の回転を行なえる追跡架台が乗せられ、その上に、追跡眼鏡及び眼鏡と光軸を一致させた各種連続撮影装置により、構成されている。追跡撮影装置は手動追跡撮影装置及びサーボ駆動による自動追跡撮影装置が用いられている。又、台座固定方式以外に、吊り下げ式の追跡装置も使用している。

自動追跡撮影装置は、第3光学観測点にあり、ロケットノズルからの火炎を赤外線用ITVカメラで撮影し、ノズル位置をモニタ上の最明点として、画面中心に対する位置を検出する。画面中心からの位置は電位差として取り出し、サーボ機構を働かせて最明点を常に画面中央に保つ方向に追跡架台を動かす。これにより連続的にロケットを追尾することができる。現在、更に性能向上をめざして改造を行っている。

追跡架台には飛しょう状況を記録する現象専用撮影機と追跡データを記録するデータ専用撮影機が搭載されている。データ専用撮影機は、16 mm 撮影機で、追跡架台に固定されており、上下角及び時刻カウンタを撮影記録する。ロケットの飛しょうに従って、急激に変化する角度目盛をブレを生ずることなしにはっきり記録するため、1 m Sec 以下で発光する専用ストロボが、照明装置としてついている。現象撮影装置は、35 mm 撮影機が観測点で使用されている。又、自動追跡装置には、70 mm 撮影機及び16 mm 撮影機が搭載されている。第5光学観測点で使用している追跡記録装置は追跡データと現象と同一の画面に写し込める方式となっている。



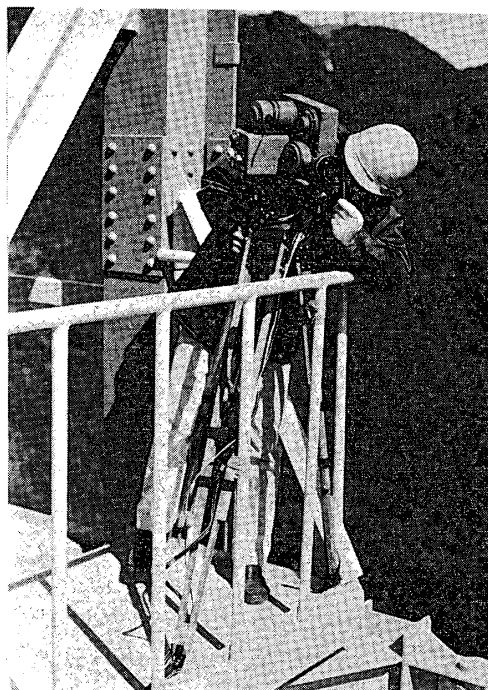
第8図 第4光学観測室（戸崎）及び手動追跡装置

追跡飛しょう記録用撮影機と目盛記録撮影機は、全てシンクロサモータで駆動され、全て時刻マークをフィルム片端に写し込める方式となっている。第1，2，3光学観測点には、10 m sec，100 m sec，1 sec おきの時刻信号が、コントロールセンターから送られているが、他の観測点では、独立した時間軸を作り出し使用している。

観測点間の同期信号は、Xマークを用いる他に、Xマーク信号で写真用フラッシュを発光させ、これを現象と共に写し込み、時間軸の原点としている。

追跡撮影の他に、固定撮影も行われている。

固定撮影装置は、実験場内の任意の位置で、撮影視野も固定し、必要な現象の撮影を行う。16 mm 高速度撮影機を第2，5，6光学観測点に配し、ロケットのランチャ離脱状況，ランチャ整備塔周辺における火焰の影響及び噴煙の状況等を撮影してきた。撮影速度は約1000



第9図 第6光学観測点(M整備塔10階)における高速度カメラ

駒／秒である。ロケット本体を視野一杯に、或いは近接撮影している為、現象をはっきり確認できる。時刻信号は、60Hz 電源周波数又は、専用時刻信号発生器により撮影機内のNe管を発光させ、撮影フィルムの端に記録する。又、第6光学観測点における高速度撮影機は、無人で運転する為、専用DC電源を用いて管制室からの信号により撮影開始する。撮影終了は撮影機内部に組み込まれたリミットスイッチにより自動的に行われる。

2.3 感光材料

データ記録撮影はいずれも16mm白黒ネガフィルムを用いている。ロケット飛しょう撮影用は、カラーフィルムを使うが、発射時刻、天候等を考慮に入れた上で白黒フィルムを用いることもある。カラーフィルムは高価であるが、色の差による識別要素もある特長を有している。以下に示すのが、最近、使用頻度の多いフィルムである。

Fuji	16 mm	白黒	Neg. Film	RS	Type	72161	ASA	80
Fuji	35 mm	白黒	Neg. Film	FS	Type	71141	ASA	160
Fuji	16 mm	カラー	Reversal Film	R・T400	Type	8425	ASA	400
Fuji	35 mm	カラー	Neg. Film		Type	8516	ASA	100
E.K	16 mm	白黒	Neg. Film	プラスX	Type	7231	ASA	100
E.K	16 mm	白黒	Neg. Film	4 X	Type	7224	ASA	400
E.K	16 mm	カラー	Neg. Film		Type	7254	ASA	100
E.K	35 mm	カラー	Neg. Film		Type	5254	ASA	100

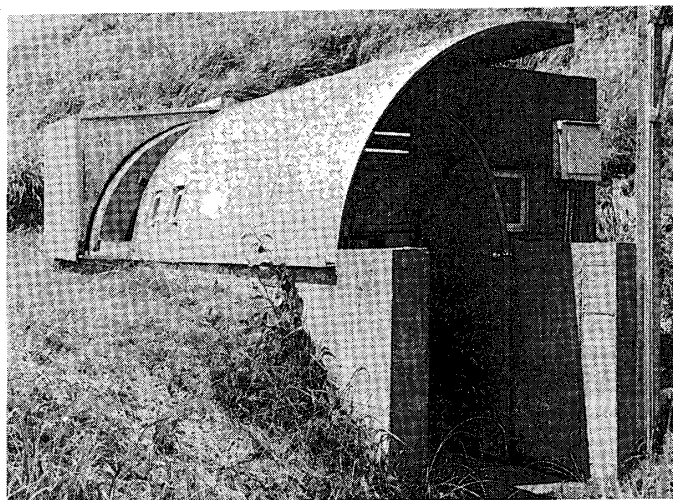
Fuji 70 mm 白黒 Neg. Film FujiKoku Type (?) ASA 125

2.4 第1光学観測点追跡付加装置

飛しょう安全 (Range Safty) システムは、ロケットの作動及び飛しょう経路の保安を目的として、レーダ、テレメータ情報を使う事によって数年前から整備されて来た。光学観測班も本来の光学観測の他に、昭和50年中期からその一端を負う事となり、ロケットの飛しょう経路に対し、左右方向の分散を確認し易い位置にある第1光学観測点の、追跡撮影装置を改造し、実時間で追跡データ処理と伝達を行うことになり、M-3C-3号機において、はじめてテストを行い作動させた。

追跡付加装置の基本構成は、従来、使用されてきた第1光学観測点における手動追跡撮影装置 (15倍手動追跡装置 CT-3) 本体に改造を加え、上下、水平角回転軸に取り付けられたエンコーダにより得られる角度データを追跡テレビカメラによるロケット画像とともに、コントロールセンタに送り込み、ロケットの飛しょう経路を確認する方式となっている。装置は、角度データ処理装置、時刻信号発生制御器、プリンタ及びペンレコーダと状況確認用カラー ITV カメラ、VTR 等である。個別装置は下記の通りである。

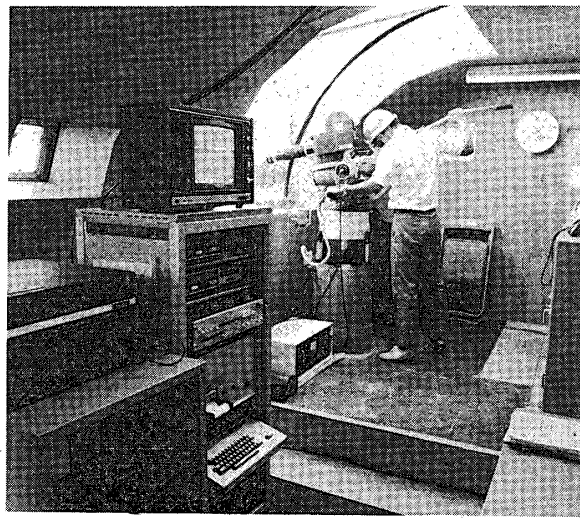
カラー ITV カメラ	1 式	ソ ニ ー	DXC-1700
ビデオタイマ	1 式	朋 栄	VTG-55
ビデオカウンタ	2 式	朋 栄	VC-80
キャラクターディスプレイ	1 式	田 丸	
ビデオコーダ	1 式	ソ ニ ー	AV-8750
ビデオモニタ	1 式	ソ ニ ー	CVM-1360
エンコーダ	2 式	日本光学	RH-9000 P
リバーシブルカウンタ	2 式	日本光学	ERC-A-164



第10図 第1光学観測室

ペンレコーダ	1式	理化電機	B-28 H
プリンタ	1式	ナダ電子	DPS-101
バッファ及び制御器	1式	田丸	

カラーテレビカメラおよびエンコーダは手動追跡装置に組み込まれ、プリンタは、バッファ



第11図 第1光学観測室における手動追跡装置及び実時間処理装置



第12図 第1光学観測室における手動追跡装置

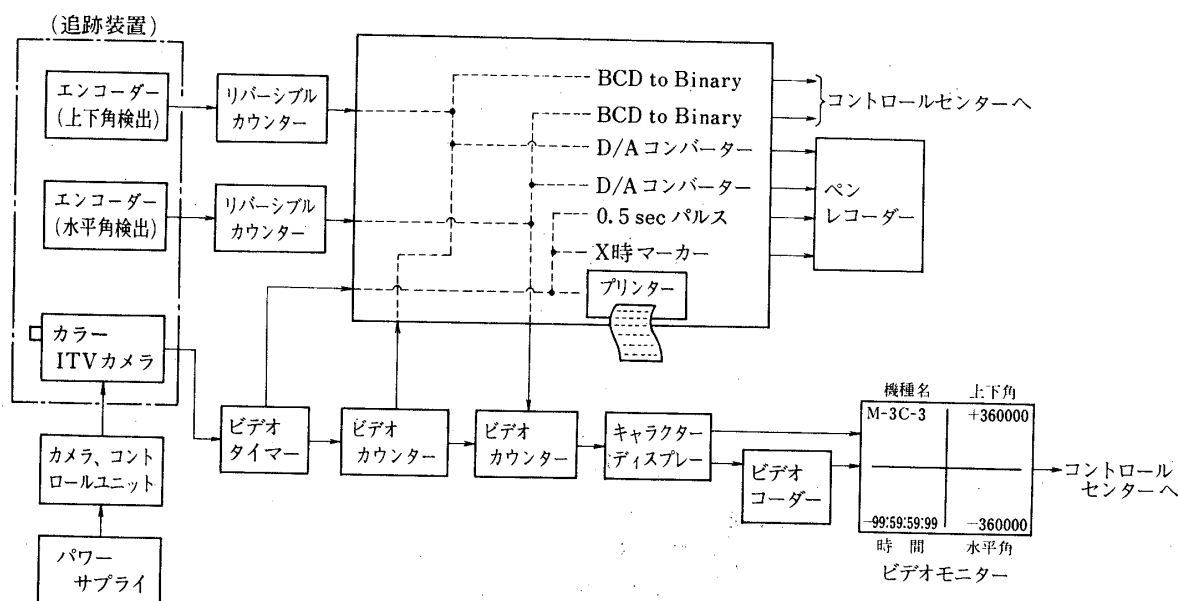


第13図 第1光学観測室における実時間
処理装置（追跡付加装置）

及び制御器に組み込まれている。又、残りの装置は、収納ラックに組み込まれ、追跡装置に連結されている。

第14図に、付加装置系統図を示す。

ロケットの追跡を行うことによって変化する追跡装置の上下，水平回転角度は，追跡架台回転軸に取り付けられたエンコーダの回転に従って，パルス信号を発生する。エンコーダ自体は，1回転 360° で9000パルスの信号を発生するが，リバーシブルカウンタにより4倍の36,000パルスとなる。従って1パルス当り $1/100$ 度（36秒角）の角度精度を有している。リバーシブルカウンタからの出力信号は，十進法信号として集中制御器に送り込まれ，更に，内部に組み込まれたプリンタにより時刻を含めた上下角，水平角の印字をする。時刻信号は水晶発振子により500 kHz₂を作り出している。将来はコントロールセンターからの信号を用いることを考慮している。カウンタからの10進法信号は，制御器内でD/A変換されてペンレコーダにより上下，水平角度曲線の標示が行われると共に制御器内で2進法信号に変換され，コントロールセンターの計算機に送り込まれている。10進法信号は，TVシステムのビデオカウンタにも入力され，テレビモニタ上に角度標示文字として表示される。一方，カラーTVカメラにより撮影された映像信号は，ビデオタイマによって，時刻信号を，ビデオカウンタによって上下，水平角度信号を，供々重畳した上で，キャラクターディスプレイを経由して，カラーモニタの上に映像として表示される。キャラクターディスプレイは，ロケット号機名，日付け等の文字データ及び上下，左右のセンターラインをセットして，カラーモニタに表示する役目をもっている。カラーモニタ上の映像及び文字はコントロールセンター



第14図 実時間処理装置系統図

に伝送され、飛しょう状況看視に利用されると共にカラー VTR に録画され、必要に応じて直ちに再生、解析に利用される。

第15図に、M-3C-3号機実験時におけるデータのプリントアウト例を示す。又、第16図は、追跡中のモニタ映像で、同位置から撮影されている追跡撮影状況を第17図に示す(M-3C-3号機)。

3. M-3C-1～3号機の飛しょう観測結果

これまでM-4Sロケットは、半年毎に実験が行われてきた。光学観測班は常に6ヶ所以上の観測点規模で観測を行ってきているので、Mロケットの特性とMロケットに対する光学観測装置の性能および信頼性を確認することができている。M-3Cロケットの実験には、上記の教訓を生かすことができ、天候による影響以外は、従来のデータと比較検討することができた。

3.1 M-3C-1号機

M-3C-1号機は、昭和49年2月16日、14時00分、上下角74.2度、方位角92度で、快晴の空に打ち上げられた。光学的追跡により2段目燃焼終了(X+150秒)まで確認できた。しかしながら発射時、無風であったため発射点近傍の観測点は、1段目燃焼終了付近から2段目点火付近までの間、上空に残留した排気煙が視界を遮り視野内にロケットを確認できない部分もあった。しかし1段目燃焼終了までの、整備塔周辺の状況、補助ブースタ分離状況等は良好に撮影できた。遠方の観測点では、良好な追跡が行なわれた為、補助ブースタを含めた1段目の状況、燃焼終了そして機体のコースティングから2段目の点火、燃焼終了迄、連続して捕えることができた。

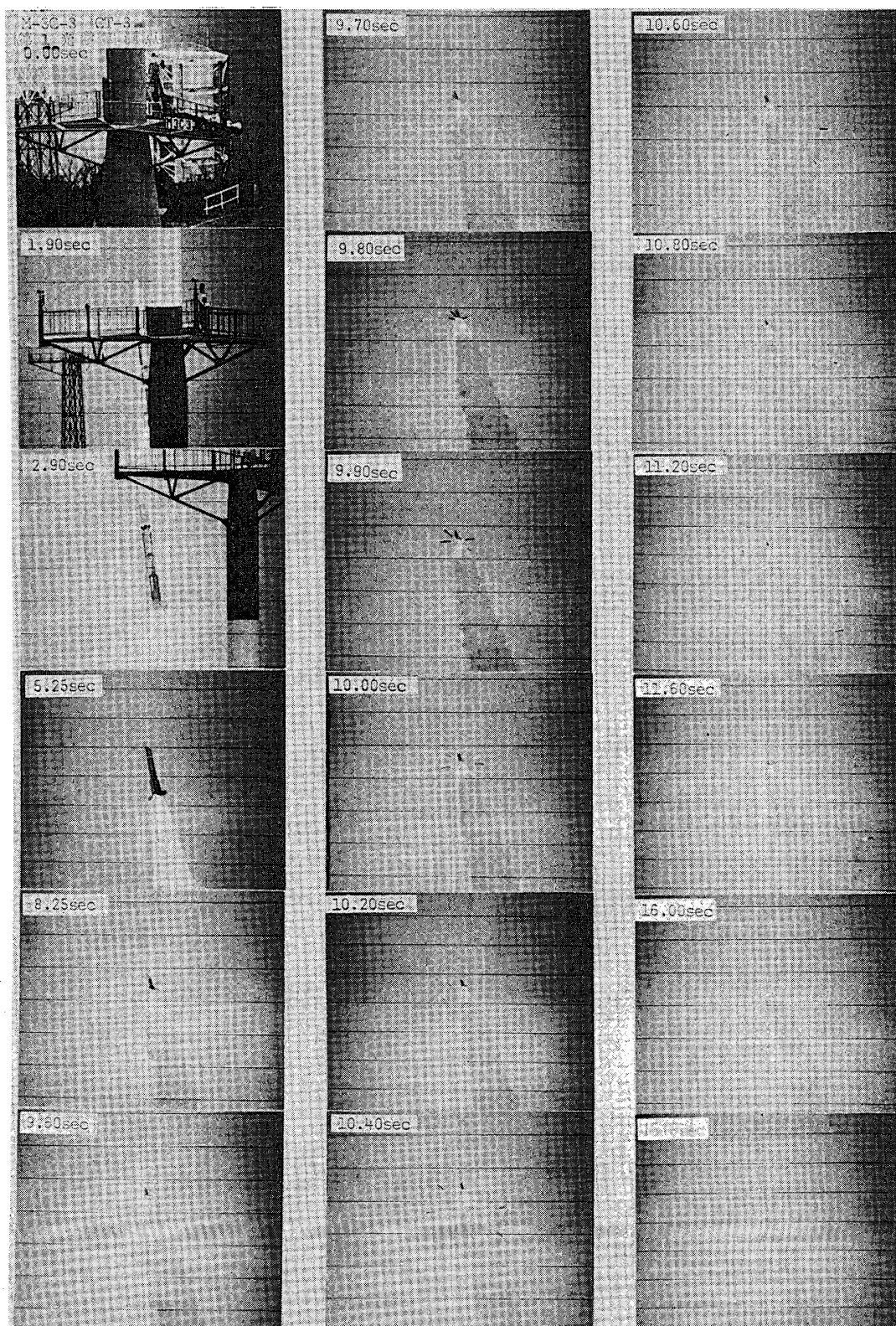
	時間			上下角	方位角
	時	分	秒		
ロケット 雲に突入	+	00	00	19.60	+05929+09367
	+	00	00	19.10	+05929+09374
	+	00	00	18.60	+05929+09359
	+	00	00	18.10	+05929+09364
	+	00	00	17.60	+05929+09384
	+	00	00	17.10	+05929+09423
	+	00	00	16.60	+05929+09420
	+	00	00	16.10	+05929+09442
	+	00	00	15.60	+05929+09479
	+	00	00	15.10	+05929+09483
	+	00	00	14.60	+05929+09525
	+	00	00	14.10	+05929+09550
	+	00	00	13.60	+05929+09584
	+	00	00	13.10	+05929+09608
	+	00	00	12.60	+05929+09654
補助ブースター 分離	+	00	00	12.10	+05929+09695
	+	00	00	11.60	+05929+09735
	+	00	00	11.10	+05929+09747
	+	00	00	10.60	+05929+09814
	+	00	00	10.10	+05929+09851
	+	00	00	09.60	+05929+09903
	+	00	00	09.10	+05929+09969
	+	00	00	08.60	+05929+10037
	+	00	00	08.10	+05929+10088
	+	00	00	07.60	+05929+10154
	+	00	00	07.10	+05929+10248
	+	00	00	06.60	+05929+10283
	+	00	00	06.10	+05929+10400
	+	00	00	05.60	+05929+10475
	+	00	00	05.10	+05929+10577
データ 読取方向 紙流れ 方向	+	00	00	04.60	+05929+10674
	+	00	00	04.10	+05929+10779
	+	00	00	03.60	+05929+10889
	+	00	00	03.10	+05929+10977
	+	00	00	02.60	+05929+11059
	+	00	00	02.10	+05929+11131
	+	00	00	01.60	+05929+11227
	+	00	00	01.10	+05929+11328
	+	00	00	00.60	+05929+11497
	+	00	00	00.10	+05929+11614
	+	00	00	00.00	+05929+11714
	+	00	00	00.00	+05929+11814
	+	00	00	00.00	+05929+11914
	+	00	00	00.00	+05929+12014
	+	00	00	00.00	+05929+12114
Xマーク, スタート	+	00	00	00.00	+05929+12214
	+	00	00	00.00	+05929+12314
	+	00	00	00.00	+05929+12414
	+	00	00	00.00	+05929+12514
	+	00	00	00.00	+05929+12614

第15図 第1光学観測付加装置によるプリントアウトの一例

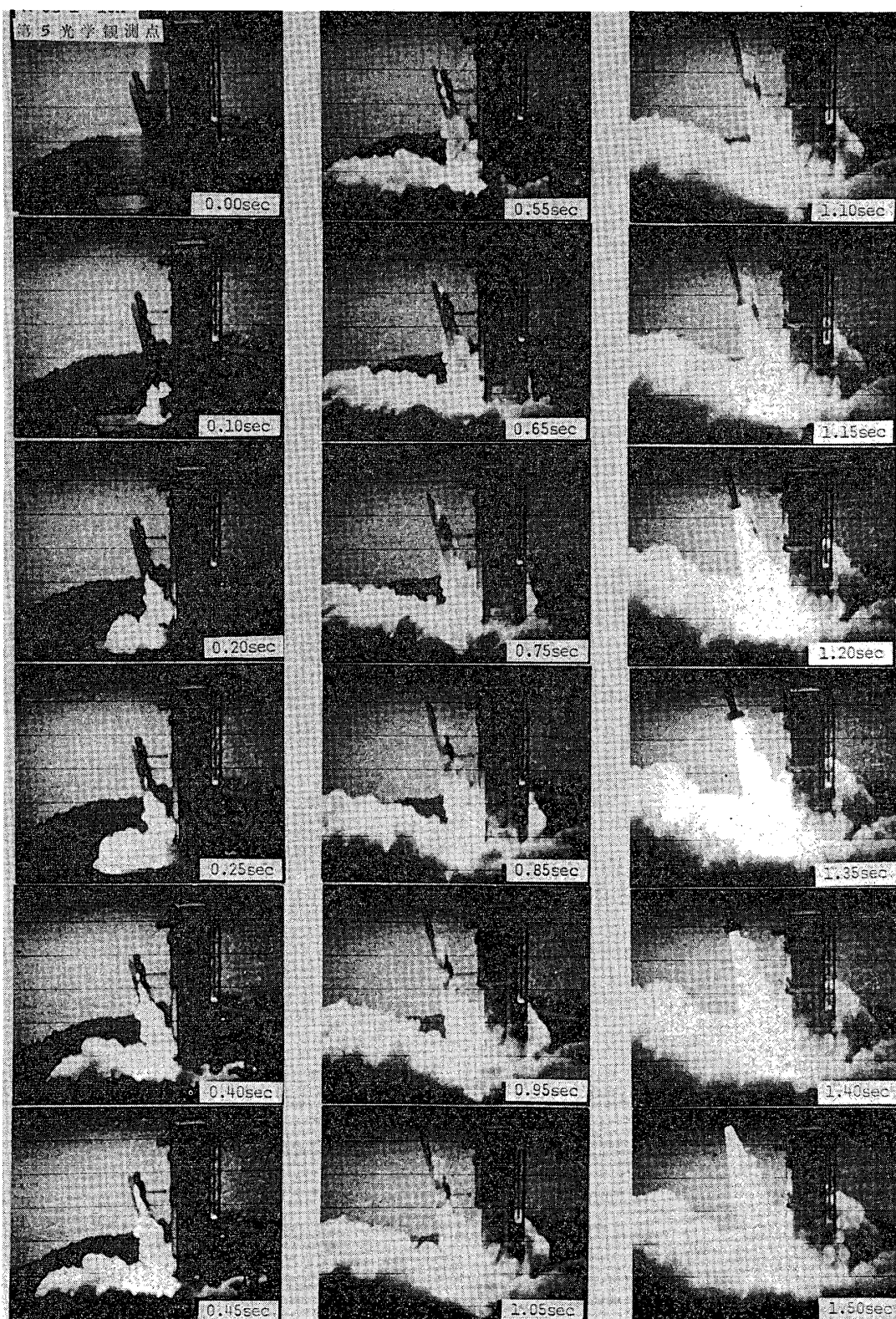
特に2段目は、点火して間もなく、ノズルからの噴煙が、次第に大きくなり煙も拡散のため半透明になっていく様子が見られた。高速度撮影機は、整備塔周辺における火焰、噴煙の状況等を良好に撮影できた。



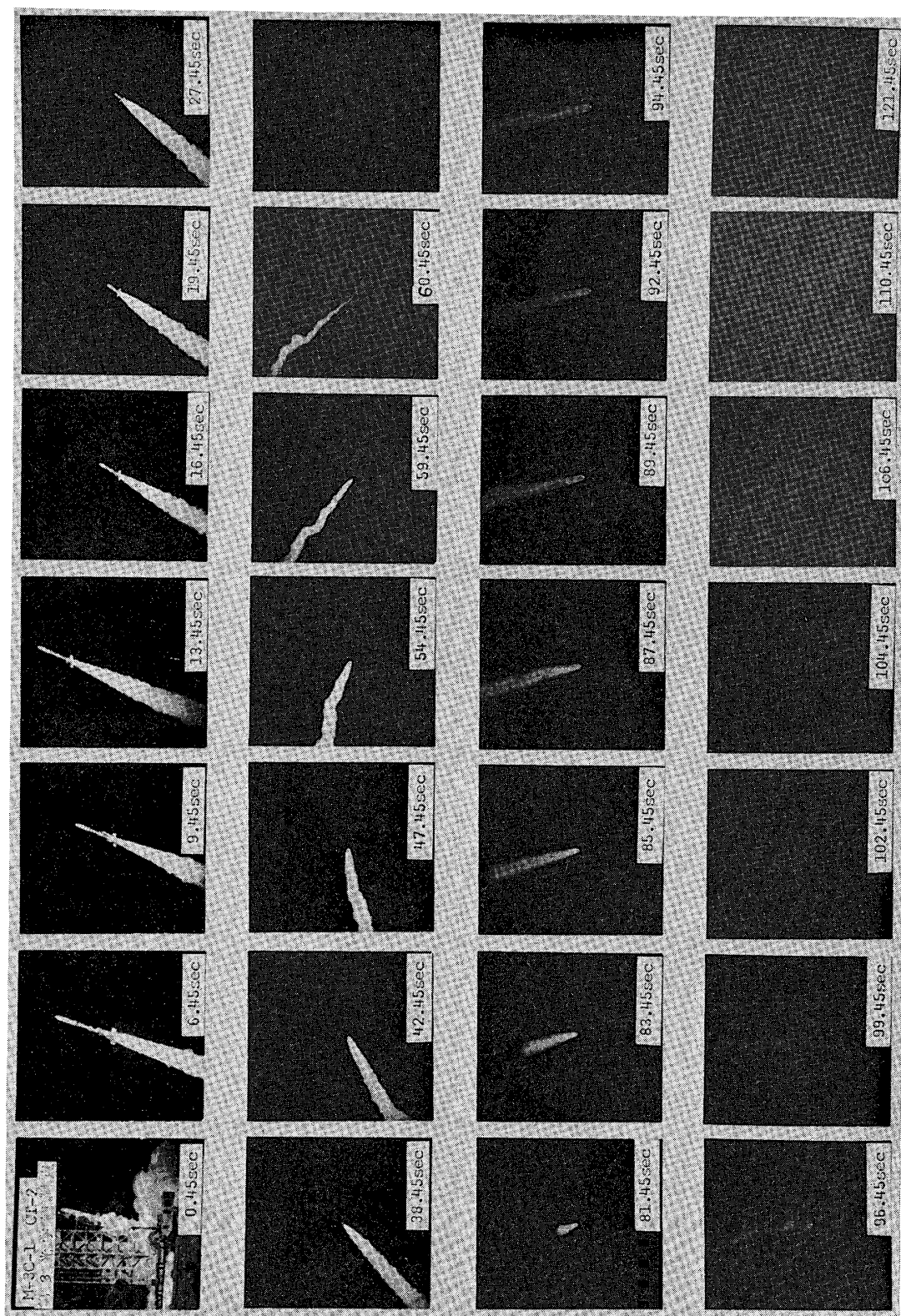
第16図 第1光学観測点M-3C-3号機追跡モニター



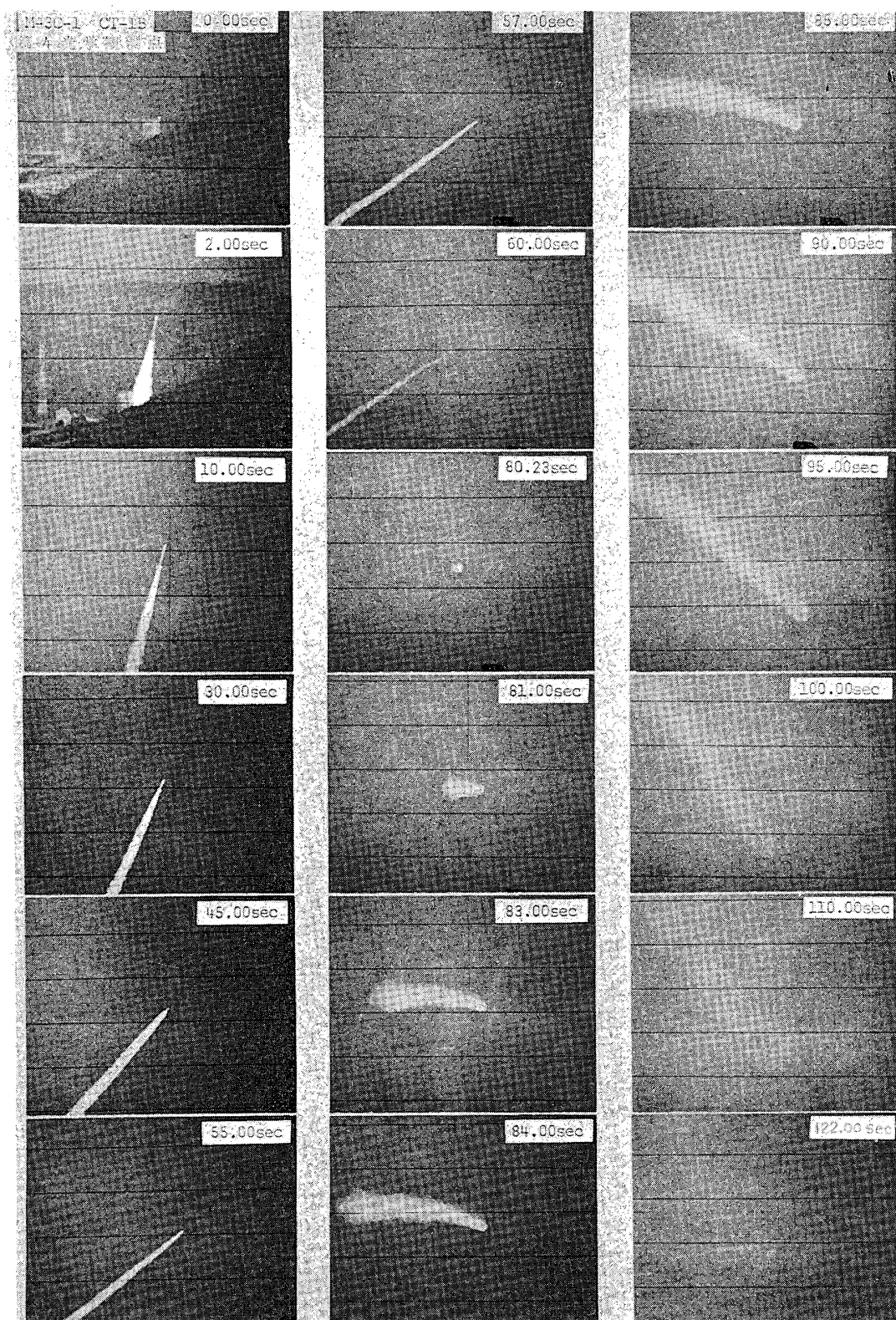
第17図 M-3C-3号機の飛しょう状況（第1光学観測点）



第18図 高速撮影によるM-3C-1号機のランチャ離脱状況 (第5光学観測点)



第19図 M-3C-1号機の飛しょう状況(第3光学観測点)



第20図 M-3C-1号機の飛しょう状況(第4光学観測点)

3.2 M-3C-2号機

M-3C-2号機は、昭和50年2月24日、14時25分、上下角74度、方位角89度で無風、快晴のもとに打ち上げられた。発射後の光学追跡は、いずれの観測点も良好で、1段目燃焼中における補助ブースタの燃焼終了、分離分散は明瞭に確認された。1段目燃焼終了時付近には、無風状態であった為、整備塔上空の残留煙が除かれず、発射点近辺の観測点にとっては、2段目燃焼中又は、2段目燃焼途中付近までの間、視界を遮えぎられる事となった。しかしながら、近傍の観測点でも残留煙を通してとぎれとぎれに確認できるかすかな飛跡を組合せX+100秒付近までを確認することができた。高速度撮影機は、第2、第5及び第6光学観測点に各1台ずつ配置し、整備塔周辺、ランチャ付近における火焰、噴煙の状況をロケットと共に写し込み、いずれも良好に撮影された。特にランチャ先端付近では、機体とランチャの間隙を上昇する火焰及び煙が、空中に広がる状況を明瞭に観察することができた。

3.3 M-3C-3号機

M-3C-3号機は、昭和51年2月4日、15時00分、上下角75度、方位角90度で打ち上げられた。

発射時は、曇で、密雲が低くたれ込めていた。光学追跡には非常に悪い条件の為、追跡も短時間の内に終わった。又、遠方の観測点からみた発射点は、曇の外に、モヤがあった為、機体は灰色となりコントラストのない撮影結果となった。ロケットは、X+18秒付近で雲中に突入したが、その間、補助ブースタの分離、分散は全ての観測点で良好に確認された。各追跡装置の撮影露出条件がロケットからの火焰に合わせてあった為飛しょう中の火焰噴煙の状況は明瞭に記録されていた。高速度撮影も、背景が暗灰色の為、火焰がくっきり観察できた。第1光学観測点では、M-3C-3号機から実時間処理装置（追跡付加装置）を使用し、追跡装置にカラーITVカメラを塔載し、ロケットの飛しょう状況をビデオコードに記録するとともにコントロールセンターにも送信した結果、動作は良好であることが確認された。

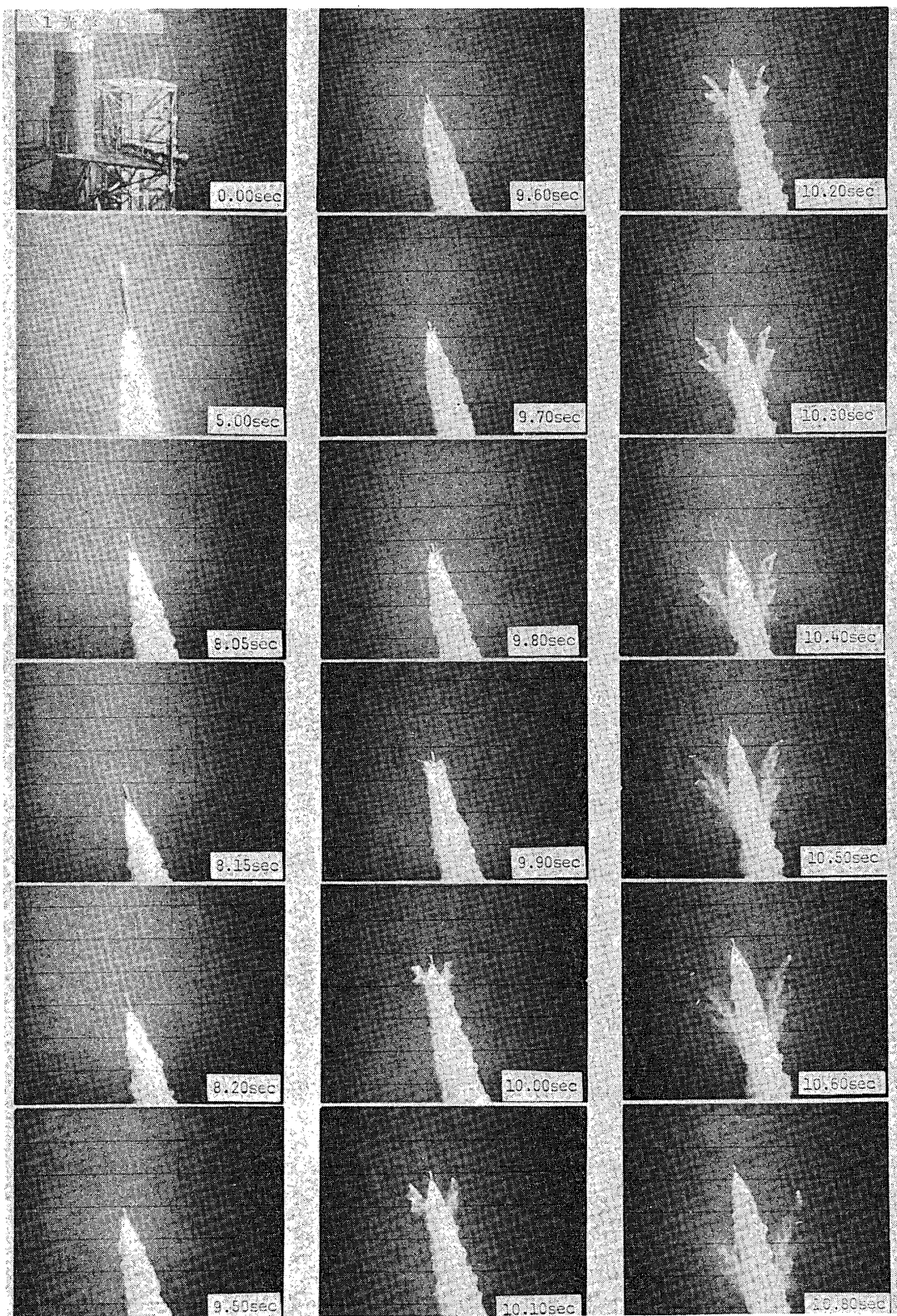
4. 解析結果

4.1 ランチャ離脱特性

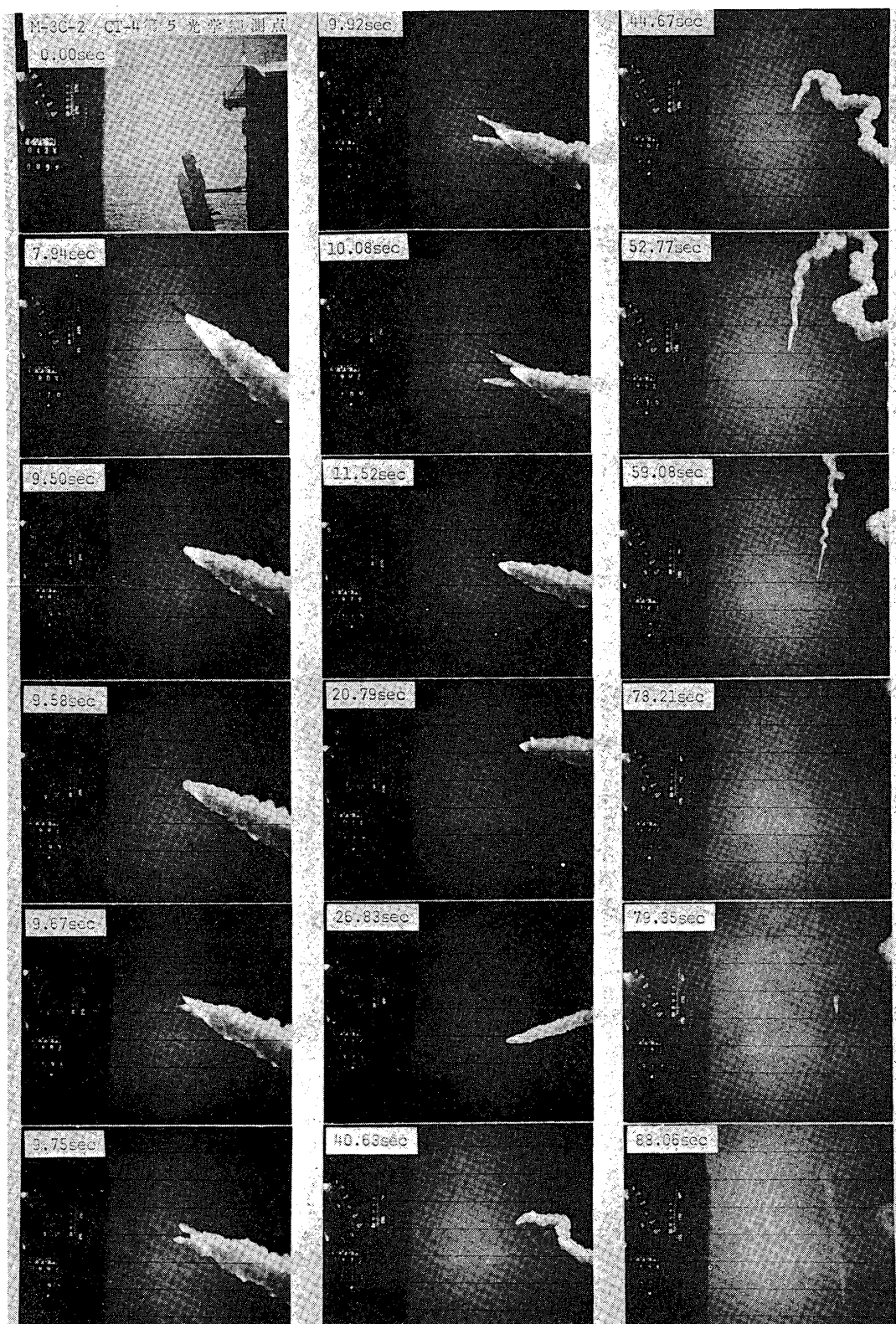
ロケットが発射されて、ランチャを摺動してゆく状況を確認する場合、方位角90度方向に設置されるMロケットでは、第5光学観測点が、他の観測点よりも最も真横に近い位置になっている。第5光学観測点では1,000 駒/秒で高速度撮影を行い、ロケットのランチャ離脱状況を刻明に記録した。ロケットのランチャ上での移動量を求める場合、ランチャ先端まで進んだロケット位置から時間的に逆方向に読み取ることによって、動きがあるかないか判定に困難なロケット動き出し付近のわずかな量に至るまでの変位曲線を得ることができた。時間軸原点は、フラッシュの点灯時を0秒（Xマーク ON）としている。

第24図に、M-3C-1、2、3号機の変位-時間特性を示す。3機共、ほぼ同じ特性を示している。

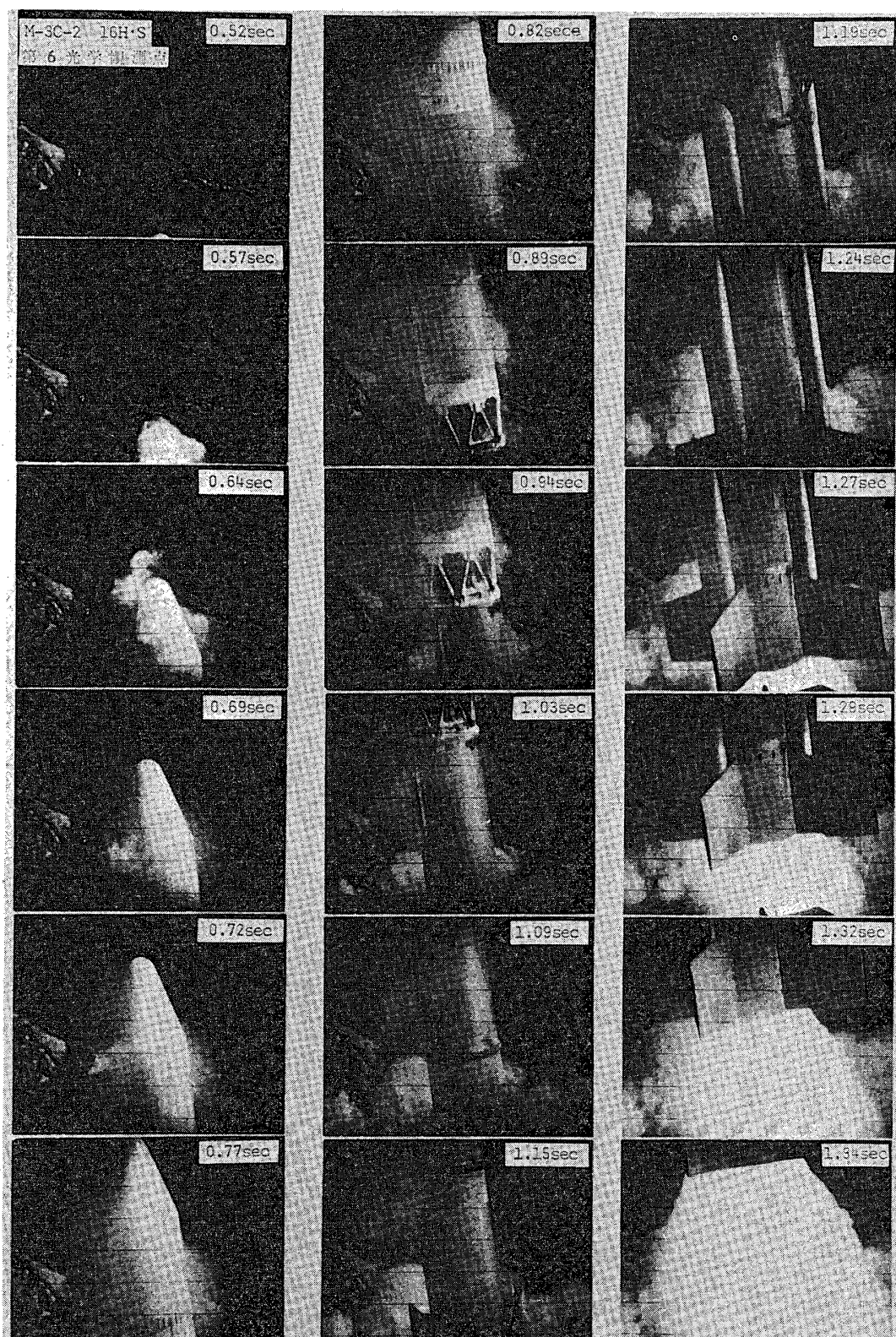
ロケットは、イグナイタ点火（フラッシュ ON）後約0.3秒で動き始めて約1.27秒の時間を経て、22mの長さを持つランチャ先端を抜け出ている。M-3C-3号機は、フラッシュが点灯せず、時間原点が不明確であったが、変位-時間特性曲線から、動き出し点は、図中



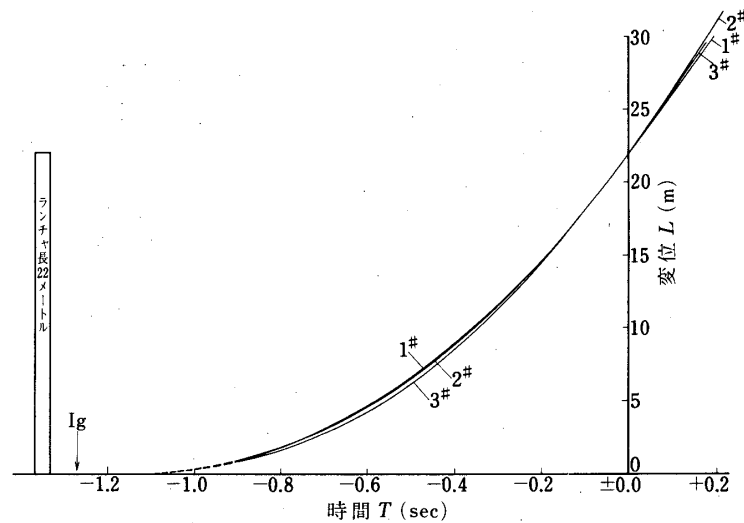
第21図 M-3C-2号機SBの分離状況(第1光学観測点)



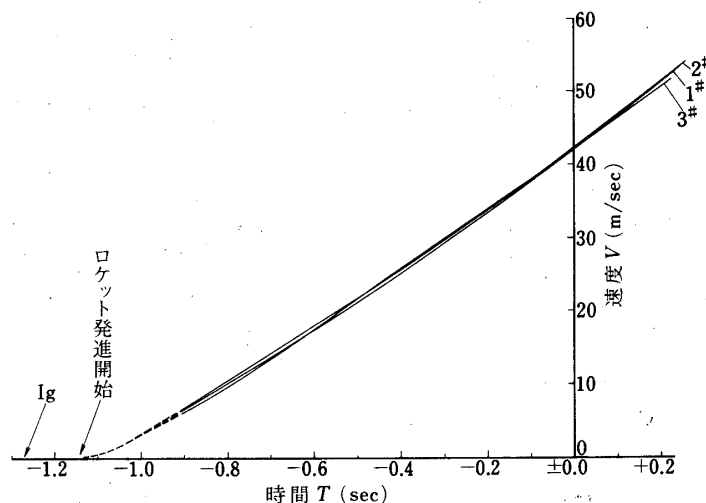
第22図 M-3C-2号機SB状況及び飛しょう状況(第5光学観測点)



第23図 H・SカメラによるM-3C-2号機のランチャ先端付近の状況(第6光学観測点)



第24図 M-3C-1, 2, 3号機ランチャ離脱までの特性(1)



第25図 M-3C-1, 2, 3号機ランチャ離脱までの特性(2)

の -1.14 sec の値であると、判断できた。第26図は、変位特性曲線を微分して得られた速度-時間特性である。速度特性も、3機共同じ特性を示している。M-3C-3号機のランチャ離脱時における速度は、第26図に示されているように、他の2機とほぼ等しい値である。従って、フラッシュは点灯しなかったが、Ig. ONの時刻は、他の2機とほぼ同じと考えても良いと判断できる。以上のことからM-3C-1, 2, 3号機のランチャ離脱時の平均速度は 42.1 m/sec であり、動き出して、ランチャ先端に達するまでの時間は、平均 1.14 秒であり、ランチャを抜け出るまでの平均加速度は、 36.9 m/sec² である。

第26図

ロケット速度	現象	点 火	動 き 出 し	離 脱 速 度
M - 3 C - 1		- 1.27 sec	- 1.15 sec	42.0 m/sec
M - 3 C - 2		- 1.27 sec	- 1.12 sec	42.3 m/S
M - 3 C - 3		(Flash 点灯せず)	- 1.14 sec	42.1 m/S
M - 3 C - 1, 2, 3 平均 値		(- 1.27 sec)	- 1.14 sec	42.1 m/S

第27図

現象	ロケット号機 秒	M - 3 C - 1		M - 3 C - 2		M - 3 C - 3	
		撮影結果 からの値	予 定 値	撮影結果 からの値	予 定 値	撮影結果 からの値	予 定 値
第1段・補助ブースタ点火		0 sec	0 sec	0 sec	0 sec	0 sec	0 sec
補助ブースタ・燃焼終了		7.39 "	7.4 "	8.19 "	7.7 "	8.37 "	7.7 "
補助ブースタ・切離し開始		9.34 "	9.0 "	9.55 "	9.5 "	9.55 "	9.5 "
補助ブースタ切離し完了		9.61 "	•	9.75 "	•	9.86 "	•
第1段燃焼終了		59.11 "	60	62.16 "	61 "	•	61
第1段切離し		•	78	•	78 "	•	78
第2段点火		80.11 "	80	80.20 "	80 "	•	80
画像消え		149.5 "	•	147.0 "	•	18.5 "	•
第2段燃焼終了		•	151 "	•	149 "	•	149 "

4.2 飛しょう状況

追跡撮影結果のフィルムから飛しょう中における現象が、時刻毎に確認できる。第27図は、M - 3 C - 1 ~ 3号機の現象と時間の関係を表わしている。現象の確認には、位置の異なる4 ~ 5個所の観測点の撮影結果フィルムから得られるデータを、現象毎に突き合わされ総合されるが、第27図に、「撮影結果からの値」として、表示されている。時間基準は、ロケットノズルが、ランチャ先端に達した瞬間を、各観測点の共通時刻とし、それ以後の現象を時刻毎に確認している。そして、Ig. ONの時刻は、4・1で述べられている方法で、補正され決定している。

飛しょう中のロケットノズルから噴出される火焰、噴煙は、打ち上げ時に、肉眼で見た場合に、極く短時間内の輝度の高い白桃色或いは、白橙色の噴流現象として、視覚に残る。追跡撮影には、カラーフィルムが使われ、撮影露出も火焰に重点的に合わせているので、プリントフィルム上では視覚的眩惑感はなく、火焰、噴煙の状態が、形、色、流れ等の要素に分別して確認することができる。

発射後の1段目及び補助ブースタの燃焼中における火焰流は、ランチャ近傍の第1, 2,

5 光学観測点から、特に明瞭に観察できるが、1 段目ブースタによる太い径の火焰流を中心にして、左右の、補助ブースタから前者の1/3 程度の径を有する火焰流が、一体となって補助ブースタ燃焼終了時まで続く状況を認めることができる。補助ブースタ燃焼終了は、第1 光学観測点から特にはっきり分るが、上記の1/3 程度の火焰流が突然無くなり、補助ブースタノズル内に、赤い色を伴った残留焰が見えている。

第27 図中にみられるようにM-3C-1 号機の補助ブースタ燃焼終了時刻は、ほぼ、予定通りであったが、2, 3 号機は、予定よりも0.5~0.6 秒後であった。補助ブースタ切り離し時刻は、1 号機では予定より0.3 秒強遅くれているが、2, 3 号機については、予定に近い結果となっている。

補助ブースタ切り離し開始から完了までの時間は、1, 2, 3 号機それぞれ、0.27 秒、0.20 秒、0.31 秒であった。これまでのM-4S ロケットでは、0.3 秒程度であった。補助ブースタ基部（ノズル側）が、1 段目ブースタから分離する瞬間を補助ブースタ切り離し完了としているが、各観測点から観測された結果を総合的に判断して決定している。又、補助ブースタの切り離し開始から完了までの時間は、0.2~0.3 秒程度であると思われる。

1 段目燃焼終了は、1, 2 号機共、1 秒前後の差で予定の時刻に近い値となっている。3 号機は、曇天のため確認することができなかった。1, 2 号機では、2 段目点火も、ほぼ、予定通りであった。2 段目燃焼終了は、予定時刻より1.2~2 秒程度早めに、火焰がみえなくなっているが、この時ロケットは、数百 km の遠方にあるためノズルの輝点（後述）が、微小となり、コントラストの低下の影響も考えられるので、ほぼ予定値に近い時刻で燃焼が終っているものと思われる。

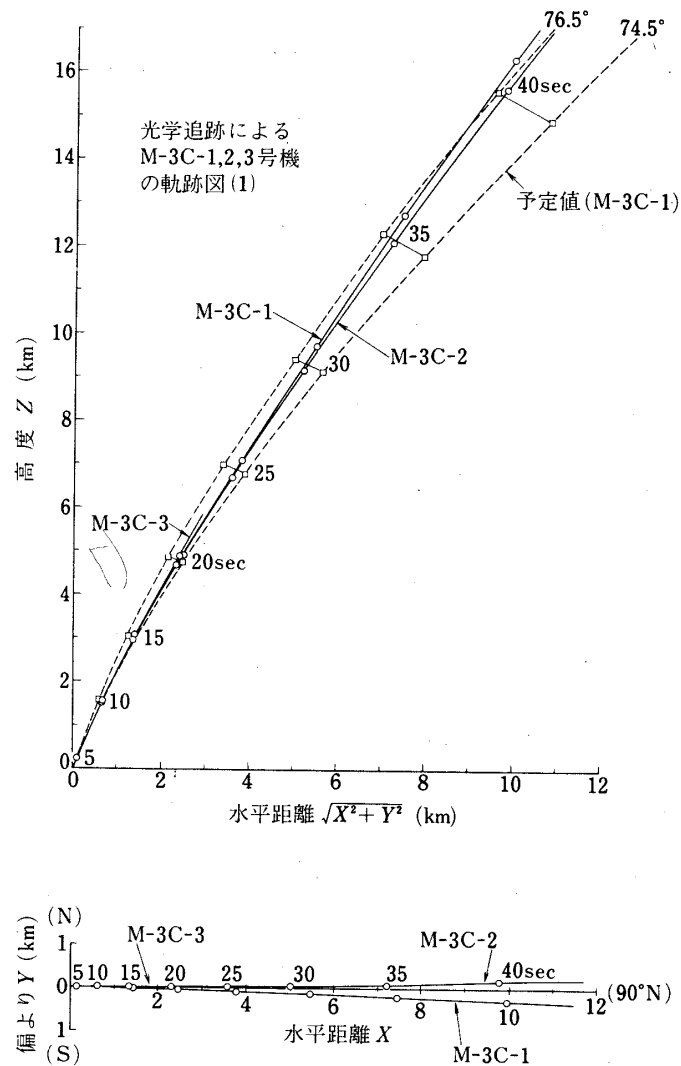
2 段目は超高空で飛しょうしている為、点火後燃焼中の噴煙は、次第に大きくなり、時間の経過と共に、濃度は淡く半透明状になって行くのが観察できる。更に、2 段目燃焼中期から後期になると、煙は、ほとんど見えなくなり、ノズルから噴出される火焰のみが、微小な輝点として記録され燃焼終了に至る。この状況は、M-4S-2 号機でも、3 段目点火直後、10 数秒間にわたり、確認されていた。M-3C ロケットの場合、快晴のため、2 段目から確認された。

4.3 飛しょう軌跡の解析

第28 図、第29 図に、M-3C-1~3 号機の光学的追跡による解析結果を示す。M-3C-1 号機は、最も長時間追跡できたロケットで、2 段目燃焼終了付近（X+150 秒）では、水平距離約 200 km、高度約 140 km という結果を得た。方位角 90 度方向に対する偏よりは、補助ブースタ切り離し後、南側に振れ、方位角 92.3 度方向へ飛しょうした。

M-3C-2 号機は、快晴時に打ち上げられたが、上空における薄い残留煙に視界をさまたげられたが、X+100 秒付近まで追跡し得た。ロケットは、X+40 秒付近までに、北側にわずかな振れを示したが、それ以後 100 秒までは、ほぼ方位角 90 度線に平行して飛しょうした。X+100 秒までの高度-時間特性は 1 号機よりわずかに下側となった。M-3C-3 号機は、X+20 秒付近までであるが、それまでに偏よりは無く、方位角 90 度線上であった。X+20 秒付近までの高度特性は、1 号機とほぼ同じであった。

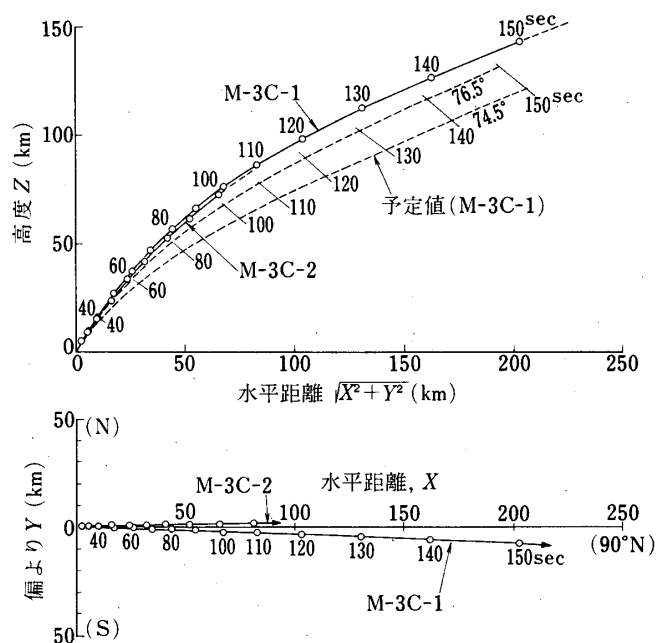
得られた飛しょう軌跡は、1 段目燃焼終了（X+60 秒）まではレーダ結果と良く一致して



第 28 図

いるがその後、わずかのズレを生じている。X+120秒まではそれほど差はない結果が得られている。

平面上の軌跡を方位角90度方向に対する偏より(分散)でみると、M-3Cロケットは90度線に接近して飛しょうしている。特にX+20秒以前の平面上における飛しょう軌跡は、M-4Sよりも方位角90度線に近いし、発射直後の風の影響による飛しょう軌跡の分散は、M-4SロケットよりM-3Cロケットの方が良く補正されているものと判断することができる。



第29図

5. 実験結果の検討

(1) 解析結果から得た飛しょう軌跡は、発射直後の風の影響を非常に良く補正し、予定通りの飛しょうをしているものと判断できる。特に水平面上の特性を、M-4S型と比べてみると、M-3Cロケットの偏り(分散)は、M-4Sロケットより小さい。

(2) 発射点付近における2, 3号機の噴煙及び補助ブースタノズルから出る残留煙の量は1号機よりも多めであり、ロケット、ランチャ間の間隙を上昇する火焰、噴煙において顕著である。補助ブースタ燃焼後も残留煙を噴出しておりブースタ切り離しを光学的に確認する際の妨げになった。

(3) 超高空で燃焼するロケットエンジンは、地上とは異ってみられM-3C-1号機、2段目の点火以後、燃焼終了までの間噴煙は拡散し、半透明から更には完全に透明となり大気中でみた煙の様相とは異なり、ノズルの火焰が微小な輝点として観察された。この現象は過去、M-4S-4号機の3段目でも記録されていた。

(4) M-3C-3号機実験時に、第1光学観測室において、実時間による追跡データ処理装置(追跡付加装置)が使用され、追跡データ及びカラーITVによる追跡映像をコントロールセンターのR.S班に伝送し、飛しょう軌跡確認に寄与した。装置は良好に作動したが、生憎の曇天であった為、 $\times + 20$ 秒前後のデータ伝送に終わった。一応、発射直後の軌跡の分散を判断するのに、有効であったとのことである。

(5) Mロケットに対する光学観測点は、常に6ヶ所以上の観測点を使用する事を目標としている。これはロケットの発射瞬間および飛しょう中の状況を各方向から観察し、又、風による噴煙の妨害等を考慮して決定したものである。光学観測点は、実験場内に、適当な距

離に点在していることが必要である。又、ロケットの不測の事態を考慮して使用している追跡装置は、ほとんど手動のものである。その為、班員数の不足は大きな問題でありM-3Cロケット2号機については、第6光学(M整10階)観測点を、3号機については、第4光学観測点を放棄せねばならなかった。

6. あとがき

Mロケットは、4S型で性能的にも安定度の高いロケットとして確認され、3C型で更に改良が加えられ、3段式ロケットとして、2個の衛星を軌道に乗せることに成功している。光学観測班は、班員不足のため実験のたびに過重な労働を強いられているが、半年毎に行われたM-4Sロケット以後の実験に対しても、極力、最大規模の観測点を行ってロケット固有現象の特徴を確認することができてきた。これは、M-3Cロケットに応用され、光学的観測を飛しょう実験の成功に生かすことができたのは幸いであった。しかしながら、使用されている光学的装置は、年々古くなっている為次第に調整に時間がかかるようになってきた。

今回改造が加えられた第1光学観測点における実時間データ処理装置は、特に、レーダで捕捉し難い、発射直後の飛しょう軌跡を、映像と共に確認できるようになっている。この装置はいずれも市販品を組合せて構成されたもので、特別に防湿処理を行ったものではなくほとんど屋外に近い環境を有する第1光学観測室には、長期間の使用には不適當なものが多く、一応、M-3C-3号機実験では、良好に動作したが、その後の実験では、湿気、温度等に影響される場合が多かった。従って第1光学観測室の環境改善を直ちに行う必要がある。将来、第3光学観測室の赤外自動追尾装置を改造し、実時間処理装置を備えるよう第1光学観測点の結果と合わせて、実時間で飛しょう軌跡を得る方法が考えられている。その為にも実時間処理装置の安全作動化を企てる必要が生じてくる。

しかし、種々の実時間処理装置が、完成したとしても尚、写真的記録方法を主とする各種撮影追跡装置は映像を客観的に記録できるという他の装置には譲れ得ない特徴を、不変なものとして有している。そのため、これら写真記録装置をもった光学的追跡装置も、更に性能を向上させ、あるいは老朽化した部分は、改造を加えてゆく必要がある。

昭和52年7月13日 新設部(工学)