

ロケットの光学観測について

植村恒義*・菅谷勝彦**・金沢和夫***・田中勝也***
喜久里 豊***・小西 勇***・栄楽正光***

1. ま え が き

ロケットの光学的な追跡のおもな目的は種々の撮影速度の映画用カメラおよび光学的追跡装置によりロケットが発射台を離脱瞬間の詳しい様子、エンジンの燃焼中の様子、多段式ロケットの場合その切り離し状況、2段目以降の点火ならびに燃焼の状況を正確な時間目盛の入った写真的記録をとると同時に2個所以上の追跡装置により上下角、水平角、時間目盛および画面中のロケットの位置よりその軌跡を正確に求めることにある。

われわれ光学観測班は最初の昭和30年4月ペンシルロケット実験以来参加しているが、初期のロケットは小型であったために電氣的な測定器を塔載することができず光学観測がおもな測定手段であった。その後ロケットは急足な進歩と改良を加え大型化し、昨年10月には初めての本格的な人工衛星用超大型ミューロケットが打ち上げられた。ロケットが大型化するにしたがってレーダ追跡、テレメータ計測等の震気計測法が整備されたロケットが飛ぶ軌跡自体は電氣的計測がおもな方法となってきた。

光学観測はロケットが飛びたつ付近の近い距離での測定に威力を発揮する。ロケットが正常に飛んだときは電氣的測定で十分な場合が多いが万一ロケットに問題がおきた場合電氣的方法はほとんどこわれてデータがとだえてしまうので光学観測の記録が唯一の証拠となる。したがって光学観測は試験飛しょうの段階には特に重要な測定方法になる。鹿児島における飛しょう実験の光学観測のほか秋田県能代における地上燃焼実験においても数種の光学観測機器を用い燃焼状況の解析をおこなっている。またこれから人工衛星の軌道記録用弾道カメラおよびロケット搭載用各種光学測定機器が光学観測の重要な問題となってくる。

昨年10月のM-1-1ロケットの試験飛しょう実験の際には光学観測班は約30種以上の今までにない最大限の各種光学的装置と20名の人員を動員し大規模の光学観測を行なった。

以下光学観測班が現在行なっている観測内容、各種観測装置および観測結果等についてその概要を説明する。

2. おもな光学観測装置

現在の光学観測のおもなねらいは次の通りである。

-
- * 東大宇宙研 研究担当
 - ** 東大生産研 研究員（山梨大・工）
 - *** 東大生産研 植村研究室

a. ロケットの発射台離脱瞬間の詳細な解析

この解析のためには間歇のかきおろし式高速度カメラおよびプリズム式高速度カメラにより毎秒数百ないし数千コマの撮影速度で撮影しロケットの変位-時間曲線を精密にもとめ更に速度、加速度特性をも求めている。

b. ロケットの燃焼状況の解析

正確な時間軸の入った 16 mm, 35 mm, 70 mm, の各種映画撮影機高速度カメラおよび種々の固定カメラを用い毎秒 1 コマから数千コマにわたる撮影速度でロケット飛行燃焼中の状況ならびに多段式ロケットの切断, 点火, 燃焼終了状況等を撮影解析し, 万一事故が発生した場合その原因探究の有力な証拠を求める。

c. 近距離におけるロケットの飛しょう軌跡の解析

2 個以上の追跡装置を使用し上下, 水平角, 時間目盛, 画面中のロケットの位置より数 km ないし百数十 km の範囲の飛しょう軌跡を正確にもとめ, また事故があった場合レーダ追跡では得られない場合の異常軌跡をもとめる。

これらの目的のために使用しているおもな各種観測装置について説明する。

2.1 新型光学的追跡装置

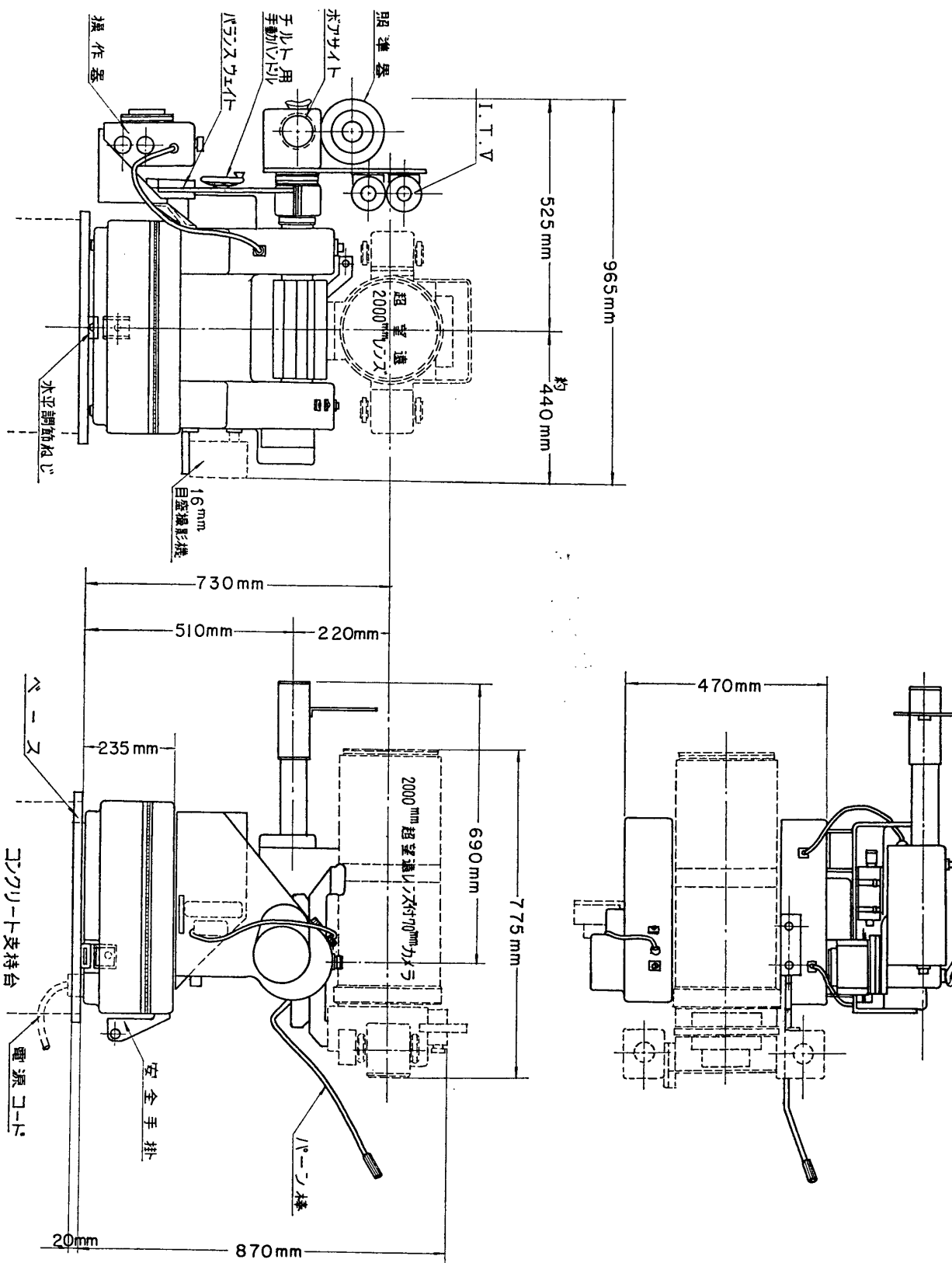
この装置は新しく開発したサーボ機構を用いた装置で遠距離のロケットの飛しょう状況を相当の大きさでとらえるため焦点距離 2000 mm の超望遠レンズと 70 mm カメラを搭載し本格的なシネセオドライトである。現在この装置に赤外線 ITV 装置を搭載しビデオコーダーにより磁気録画が可能で直に画面を再生観察可能である。また現在この赤外線 ITV 装置を用い自動追尾方式のテスト中である。

a. 本装置の駆動方式の特色

- (1) 本装置の駆動はロケットの追跡を行ないやすくするために位置制御と速度制御の両サーボ制御方式によっておこなわれる。
- (2) 操作方式は下記の 5 種類の方法が可能である。
 1. 操作ダイヤルによる手動追跡方式
 2. ITV を利用して追跡する遠隔手動操作方式
 3. レーダからの信号より駆動する自動追尾方式
 4. 予想軌跡計算よりプログラムしておき自動追跡を行なうプログラミング方式
 5. 赤外線 ITV 装置による自動追尾方式

b. 装置の構成**(1) 追跡架台部**

第 1 図のごとくロケット記録用撮影機を載せ制御部からの信号により上下, 水平光学目盛, 時刻および撮影コマ数などを指示する装置が内蔵しているものである。また架台の操作を行なうコントロールボックス (手動の場合), 飛しょう体を追跡するための照準用望遠鏡光学系も一緒に取り付けられている。なおこの装置が電氣的な故障にそなえて手動で機能的に追跡できるように追跡用パーン棒およびギア駆動装置も付している。追跡用撮影機は, 現在 10 mm 撮影機が使用されているが, 取り付け台を交換することにより他の撮影機を使用することができる。なおこの場合バランスウェイトを調整する。



第1図 外観図

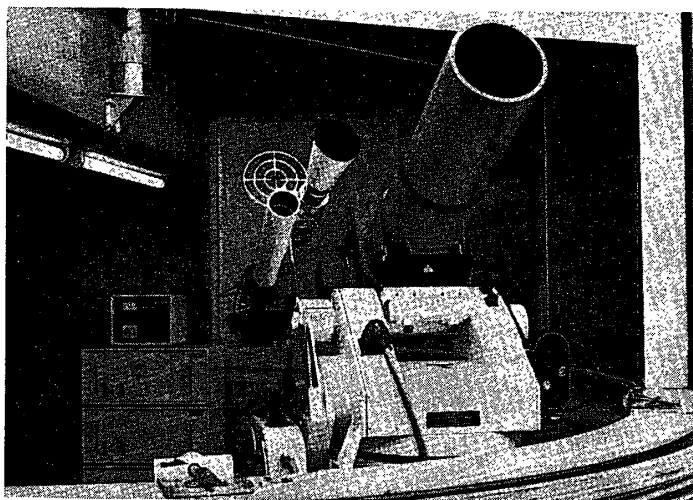
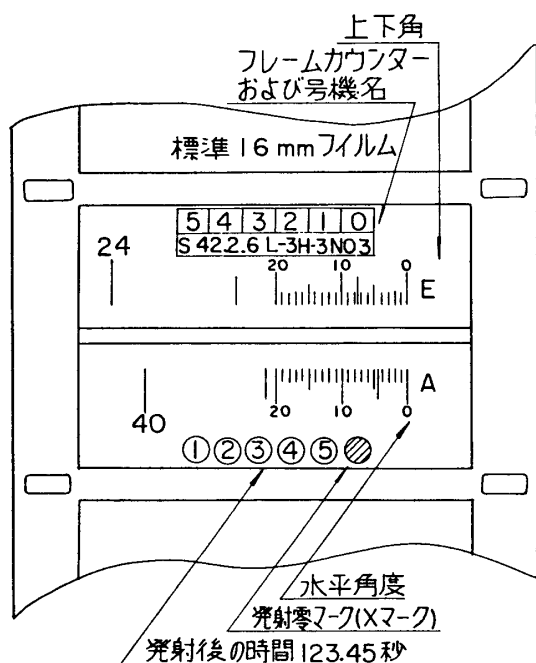


写真1 超望遠 2000 レンズ付 70 mm カメラ

(2) 追跡用撮影機部

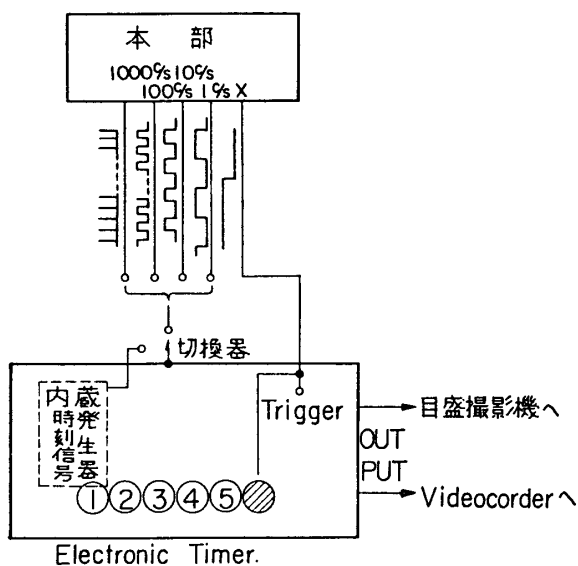
ロケット追跡撮影機は架台の上部に取り付けられている。写真1にあるように超望遠レンズ 2000 mm 付 70 mm カメラを使用している。この撮影機は X-ray 用カメラを改造したものがで回転シャッターにより 1/125 1/500 1/1000 秒の露出時間を得る。フィルム駆動用モータはシンクロナスマータを用い撮影速度 1 f/sec で行なっている。また使用する 70 mm フィルムエッジにはフレームナンバーが写し込まれるようになっている。なおこのフレームナンバーは同時に次にのべる目盛カメラにも写し込まれ解析時における時間軸一致に大いに役立っている。



第2図 目盛撮影画面

(3) 目盛撮影機部およびタイマー装置

ロケットを追跡中の時間に対する上下角、水平角、フレームカウンタおよびXマーク等を記録するものである。撮影画面は第2図のごとく画面上部にロケット追跡用撮影機のフレームカウンタおよびロケット号機名と実験日時が記入できるようになっている。画面中央は上下角および水平角がめもられている。画面下部は計数表示管により5けた (1/100, 1/10, 1, 10, 100) 秒の時間が記録され、計数表示管の右はじに発射マーク (Xマーク) 用ネオン管が点灯するようになっている。この時刻信号は各観測点で一致しなくてはならないので、本部からの標準時刻信号をもらいXマークで計数表示管がスタートするようにしてある。第3図



第3図 タイマー系統図

は時刻信号系統図である。本部からの信号あるいは内蔵信号発生器（本部からの信号がなんらかの影響で使用できない場合に用いる）からの信号を、ロケット発射時にコントロールセンタよりのスタート信号（Xマーク）により計数し同時に目盛撮影機およびビデオコーダ記録部へ送るものである。

目盛撮影機は駆動用モータとしてシンクロモータを用い撮影速度 20 f/sec で使用している。なおロケットが大型のものであったり、気球などの追跡時間が非常にながい場合、ギヤ交換により撮影速度 10 f/sec に変換できる。

(4) 駆動用サーボアンプ

写真2のごとく架台駆動用サーボアンプコントロールダイヤルを自動的に移行させる副サーボアンプおよび遠隔指示用サーボアンプよりなっている。

(5) 制御部

制御部は追跡架台側面に取り付けられ、位置制御および速度制御切り換えスイッチ、カメラ系スタートスイッチ、ダイヤルよりなっている。最初の計画では位置制御用操作かんと速度制御用操作かんを用意し、最初位置制御で追跡し角速度が小さくなったときに切り換えスイッチにより速度制御で追跡できるようにした。その間位置制御用操作かんは自動的に移行するようにした。しかし追跡装置の諸特性を解析し改良するため現在写真3のように位置制御水平旋回用ダイヤルと上下旋回用ダイヤルにして速度制御に切り換えた場合、上部の小さなつまみを回転させることにより上下、水平に駆動するようにした。また架台中央コ

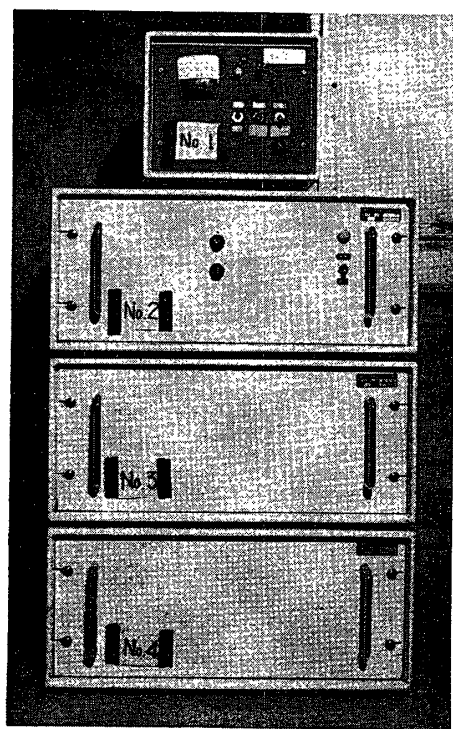


写真2 駆動サーボアンプ

ネクターに接続することにより写真4のような制御盤を使用し遠隔操作することもできる。

(6) 遠隔指示装置

新型光学的追跡装置の追跡状況を遠隔指示するもので現在は次章でのべる赤外線ITV

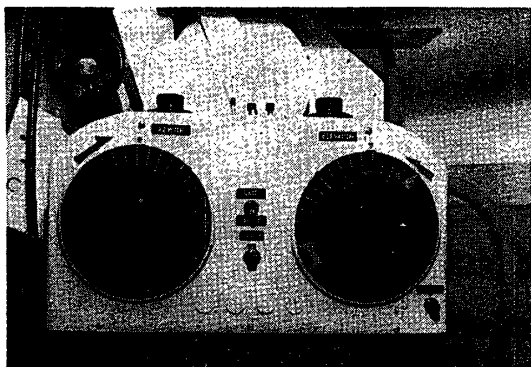


写真3 コントロールボックス

装置のデータ用可視光カメラにて撮影している。写真5にあるように上下角、水平角、時間および撮影コマ数を表示している。遠隔指示装置の諸元は次の通り。

角度目盛：精，1回転 10 度，最小目盛 2 分

粗，1回転 36 度，最小目盛 10 度

時 間：10 進 5 けた，最小けた 0.001 秒

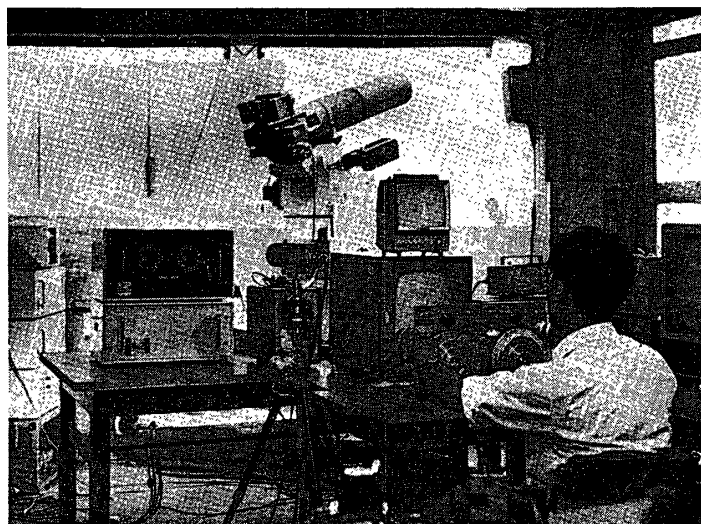


写真4 遠隔操作状況

(7) 赤外線 ITV 装置

この装置は1インチ赤外電磁型ビジコンおよび1インチ電磁型可視ビジコンを使用しロケットの噴射煙を検知し次章にのべる赤外線自動追尾用基礎実験として使用しているものである。使用している赤外線ビジコンは可視領域より $2400\text{m}\mu$ におよぶ赤外線領域にまで高い分光感度特性をもっており，ロケットエンジンの火焰を約 200°C 範囲から感ずるため可視光のビジコンに比べ数倍の大きさにとらえることができるすぐれた性能をもつものである。写真6は赤外線 ITV 装置

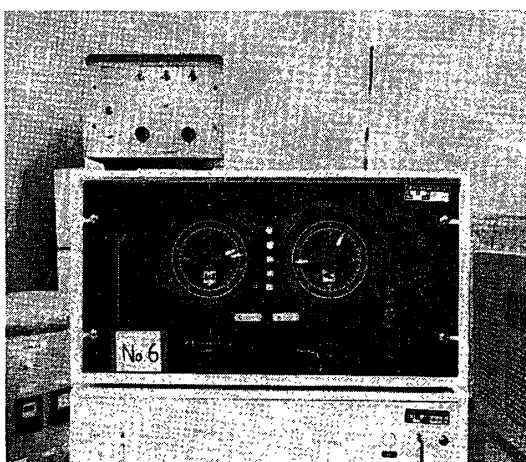


写真5 遠隔指示装置

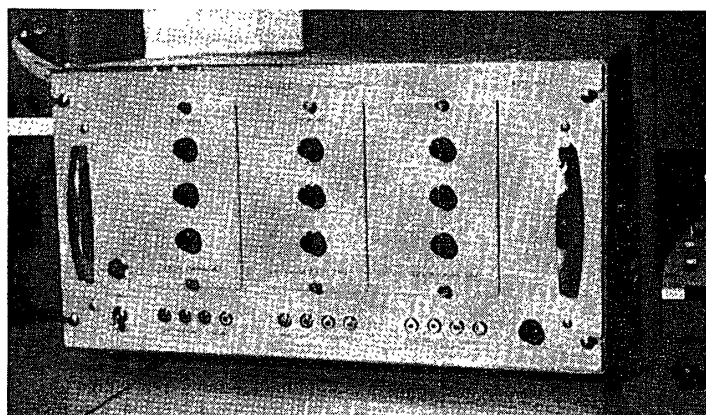
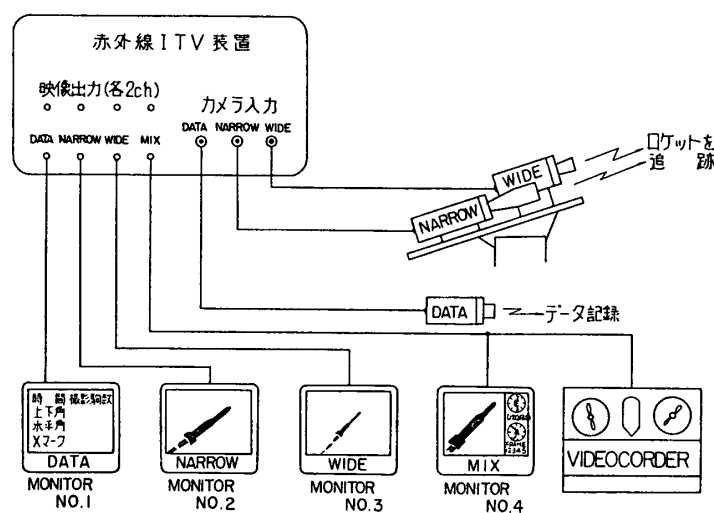


写真6 赤外線 ITV 装置



第4図 赤外線 ITV 装置結線図

である。第4図は赤外線 ITV 装置の結線図である。2台の追跡用赤外線カメラヘッド（望遠用、広角用）と1台のデータ撮影用可視カメラヘッドの計3台を集中制御し望遠用赤外映像の右方にデータ用可視映像をそう入した混合信号が得られる。この混合信号をビデオコーダに録画しロケット飛しょう実験後直に再生し検討に供している。

(8) ビデオコーダ装置

前述の赤外線 ITV 装置の混合映像信号を記録し、ロケットに異常があった場合とか、早急に飛しょう軌跡をもとめる場合等に非常に役立っている。写真7は本装置でもな性能諸元は次の通りである。

記録テープ	50.8 mm 幅
テープ相対速度	18.7 m/sec
記録時間	550 m テープで 84 分
映像信号方式	フィールド周波数 60 c/s の複合映像信号
映像信号対雑音比	40 db 以上

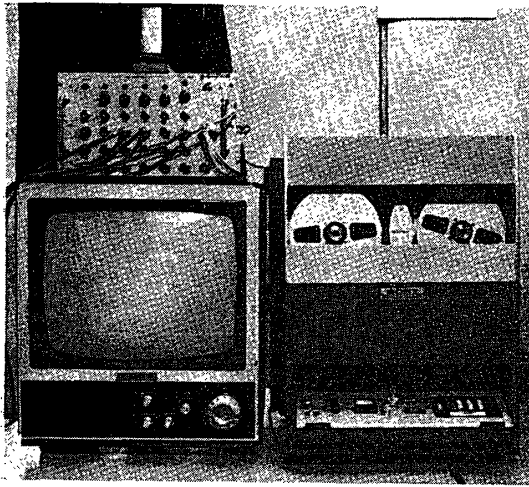


写真7 ビデオコーダー装置

実効解像力	330 本
スローモーション	画面が安定するまで 3 秒以内
静止	〃 0.3 秒以内

(9) その他

その他, シンクロサーボ系のための 400 c/s 電源装置, 自動電圧調整器, 配電盤よりなっている。

c. 性能諸元

新型光学的追跡装置の性能諸元は次の通り。

1. 動作角 上下角 -5° から $+95^{\circ}$
水平角 340° 以内

2. 動作速度 上下角 毎秒 60° 以内
水平角 毎秒 60° 以内
 3. 駆動方式 位置制御および速度制御の両用
 4. 光学目盛読み取り精度 $20''$
 5. 時刻信号 100 c/s を計数し 10 進 5 けた最小けた 0.01 秒
 6. 目盛照明 角度目盛用 Xe フラッシュランプ
フレームカウンター用 小型電球
- ズーム式追跡用望遠鏡
7. ボアサイト 倍率 7X~21X
視界 7.1° ~ 2.4°
電動ズーム時間 全範囲 5 秒±1 秒
 8. 遠隔指示部 上下, 水平最小目盛 精 $2'$, 粗 10°
精, 粗目盛の比 1:36
時刻 10 進 5 けた, 最小 0.01 秒
フレームカウンター 6 けた
 9. 入力電源 周波数 60 c/s
電圧 100 V
電力 2 kVA 以内

2.2 自動追尾用赤外線 ITV 装置

赤外線ビジコンを用いロケットの噴射煙を検知し, 視野中心からの変位を直交座標軸電圧出力に変換し, サーボ機構の駆動を行なうための ITV 装置である。この装置と新型光学的追跡装置と組み合わせロケットの自動追尾をおこなうものである。

a. 用途

ロケットなどの自動追尾として現在テスト中であるがこの装置は目標物の移動などの遠方制御および赤外線ふく射物体のパターン計測等にも利用することができる。

b. 特 徴

- (1) 赤外線ビジコンは可視領域より $2400\text{ m}\mu$ におよぶ高い分光感度特性をもつものである。
- (2) 視野内での最も輝度の高い点を自動的に検出するための最明点検出系が備えられている。
- (3) ロケットの手動追跡を容易に行なえるよう XY プローブとモニターよりなる XY ポインター系が備えられている。
- (4) 検出点は直交座標軸電圧出力に変換され、最明点検出系と XY ポインター系の切り換えが瞬時におこなえる。
- (5) 自動または手動検出動作が失敗した場合、被制御系の乱調を防ぐため、その直前のサンプリングサイクル内に得られた X-Y 値を保ちつづける検出ミス緩衝機構を備えている。
- (6) 最明点検出動作ならびに XY ポインター動作において X-Y 変換点を示す矢印状ポイントマークをモニター重畳することができ、同時に XY 変換動作の監視が容易にできる。
- (7) 時間分解能はサンプリングレート (60 c/s) が高いため被制御系の円滑な動作が期待できる。
- (8) 走査方式は日本標準方式に準じ、他の映像機器 (モニター, VTR) への信号供給が容易である。

c. 装置の構成

(1) カメラヘッド部

写真8はカメラヘッドである。ヘッド内には可視光より $2400\text{ m}\mu$ におよぶ赤外線領域にまで広い分光感度特性を有する赤外ビジコン (N 156) と低雑音前置増幅器、直線性補正型水平偏向回路、および帰線消去等の回路とともに収容されている。

(2) カメラコントロール部

写真9はコントロールユニットである。

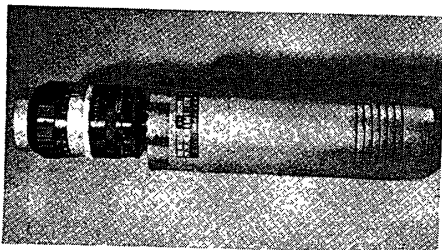


写真8 赤外線 ITV カメラヘッド

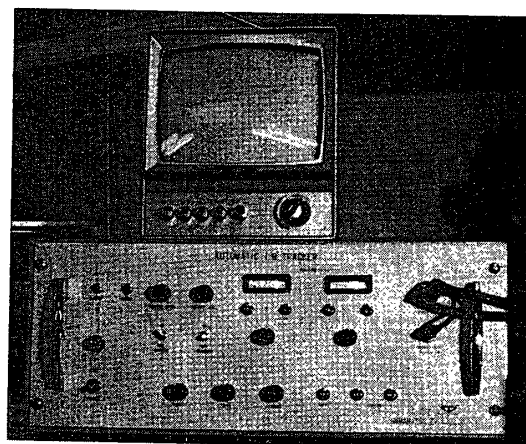


写真9 コントロールユニット

ユニット内には映像整形増幅器，最明点検出系 X-Y 変換器，XY ポインター系，水晶制御同期信号発生系，ビジコン駆動系および安定化電源系が収容されている。またカメラヘッドの電氣的なコントロールはすべてコントロールユニットで行なわれ，カメラヘッドとの結合はカメラケーブル 1 本で行なっている。

(3) XY プローブ

写真 10 XY プローブは映像モニター上の任意の点を検出 XY 変換するためのもので操作が容易なようにペンシル型状に仕上げてある。また自動一手動切り換えスイッチが取り付けられ最明点検出系と，XY ポインター系の切り換えが瞬時におこなえる。

d. 作動状況

自動追尾用赤外線 ITV 装置が実際に新型光学的追跡装置と組み合わせ実験されたのは昭和 41 年度第 6 次実験からで現在実験中である。写真 11 は昭和 42 年 1 月 31 日飛しょう実験された K-9M-22 号機の飛しょう状況で正確に最明点を検出し自動追尾をおこなっている。



写真 10 XY プローブ

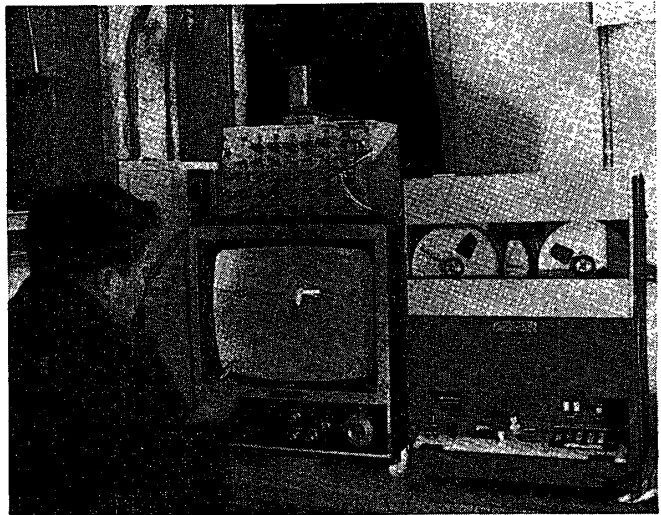


写真 11 自動追尾作動状況

2.3 その他の追跡装置および高速度カメラ

a. 手動光学追跡装置

この装置（写真 12）は約 10 年前に研究室で製作したもので現在有効に使用している。倍率 15 倍対空双眼鏡でロケットの飛しょう状況を手動で追跡し，上下，水平角および時間目盛を目盛撮影機で記録すると共に装置の上部にあるロケットの記録用 35 mm 撮影機で飛しょう状況を撮影するものである。撮影速度 24 f/sec. 現在本装置の改良型を製作中である。なおこの装置は必要に応じて 2~3 台使用している。

b. 16 mm プリズム式高速度カメラ

16 mm プリズム式高速度カメラ（写真 13）はロケットのランチャー離脱付近の諸特性

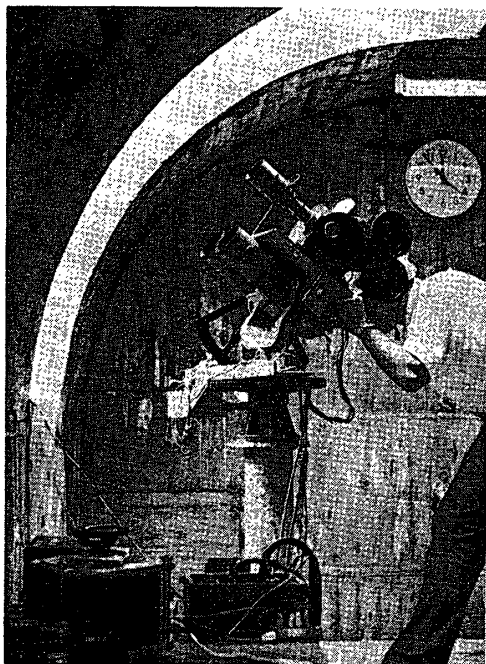


写真12 手動追跡装置

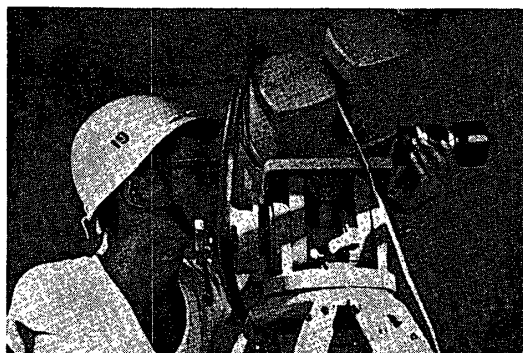


写真13 16 mm プリズム式高速度カメラ



写真14 16 mm かきおろし式高速度カメラ

を解析するもので撮影速度 500~10,000 f/sec まで使用できるが、いままでのロケットにおいては 500~2,000 f/sec で行なっている。なおフィルムエッジにはロケットの発射零マーク (Xマーク) および時刻信号が写し込まれるようになっている。この方式のカメラは 1~5 台使用している。

c. 16 mm かきおろし式高速度カメラ

16 mm かきおろし式高速度カメラ (写真14) はかきおろし方式で撮影速度 6~600 f/sec まで可変することができる。フィルムの装てんは 400 ft まで可能であり、特徴としてロケットの追跡中任意にリモートコントロールにより撮影速度をかえることができる。なお零マークおよび時刻信号も写し込めるようになっている。

d. 大型固定航空カメラ

ロケットの飛しょう軌跡の解析およびロケットの噴煙を利用して高層の風の測定などに使用しているもので、焦点距離 305 mm, $f: 2.5$ レンズ付で画面は $24\text{ cm} \times 2\text{ cm}$, 視野 40° の広画面を得ることができる。また撮影速度 1 f/sec, 250 こま連続撮影可能で各画面の撮影時間の信号をペンレコーダーに記録できるようになっている。写真15はこの装置



写真 15 大型固定航空カメラ

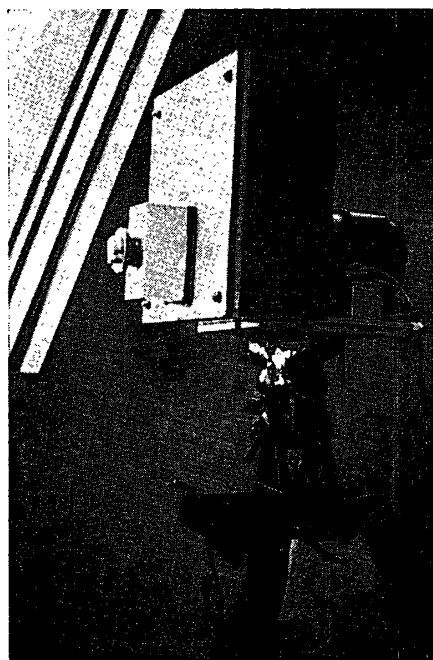


写真 16 セクター・フレーム・カメラ

で通常 2 台使用している。

e. セクター・フレーム・カメラ

ロケット撮影用扇形画面特殊撮影機（写真 15）で当研究室で約 10 年前に開発したものである。高速回転する扇形スリット付回転シャッターと回転する円形感光膜を組み合わせたもので撮影速度 10 f/sec, および 25 f/sec, 露出時間 1/1000 秒である。（写真 16）

f. 35 mm モータ・ドライブ・カメラ

ロケットの飛しょう状況を撮影するもので魚眼レンズ付カメラを使用した場合（視野が全天をカバーしている）ロケットがいかなる方向に飛しょうしてもとらえることができる。またライカ版の画面を得ることができ撮影速度 1~4 f/sec, 連続 250 こま撮影可能である。飛しょう実験においては焦点距離 8 mm(視野 180°) および数種の望遠レンズを使用し 1~2 台使用している。（写真 17）

g. 赤外線ポラロイドカメラ

赤外線ポラロイドフィルムを用い可視光をカットする赤外フィルターを使用することにより白昼でも青空を暗視野にすることが可能でロケットの火焰のみをうきださせ夜間撮影と同じ条件で撮影できるので 1 枚のフィルムに 10 秒ないし 20 秒間にわたって、ロケットの火焰を多重露出できるという新しい特徴をもっている。なおポラロドフィルムを用いているのですぐに撮影結果をみることができ、その軌跡を即座に求めることができる。回転円板シャッターを使用し 1 回の露出時間 1/1000 秒, 1 秒 1 回の割合で多重露出を行なう。使用レンズ焦点距離 60 mm. この装置は軌跡を正確に求めるためトランシット架台

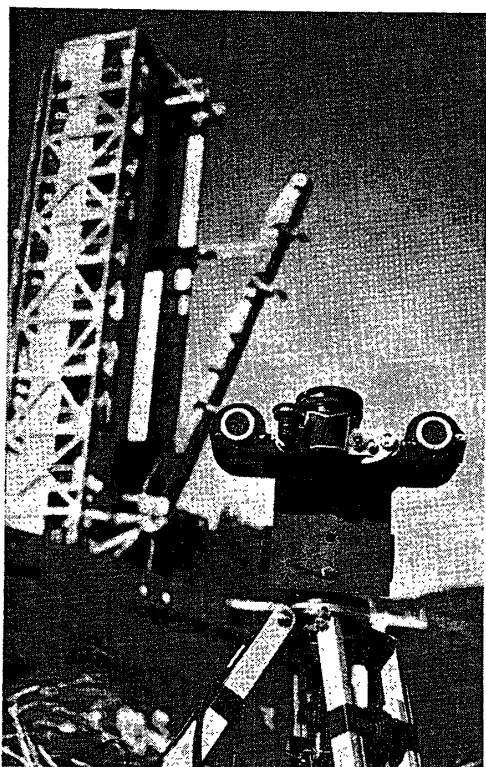


写真17 35 mm モータ・ドライブ・カメラ

に取り付けられている。装置と撮影結果を（写真 18-1, 2）に示す。

h. その他

ロケットの解析上必要に応じて正確な時間軸をもった 16 mm, 35 mm カメラおよび固定カメラ約 10 台使用している。

3. 観測結果の一例（超大型ミュー型ロケット光学観測）

3.1 追尾装置および飛しょう観測

本格的な人工衛星用超大型ロケット（M-1-1 号機）で第1段目の飛しょう性能試験のため、昭和 41 年 10 月 31 日午後 2 時 4 分に上下角 69° で発射された。ロケットは正常に飛しょうし最高々度約 34 km, 水平距離約 180 km に達した。光学観測班はこの超大型ロケット最初の試験飛しょうであるため、諸特性を詳細に解析する目的で既設の第 1, 2, 3, 4 光学観測室のほかに 3 観測点をもうけ約 30 台の観測装置およ



写真18-1 赤外ポラロイドカメラ

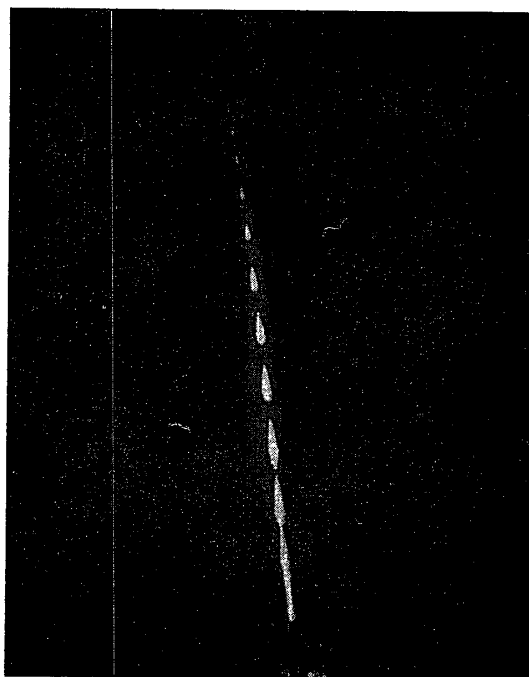


写真18-2 撮影結果



写真 19 観測点配置図

び 20 名の人員を動員して観測を行なった。観測点の配置は写真 19 の通りである。なお観測装置は第 1 表の通りである。

飛しょう日の天候は海面上に多少もやがあったが快晴に恵まれ各観測点の飛しょう観測は次の通りであった。第一光学観測室は発射後 90 秒まで追跡し、第 2, 3 光学観測室は発射後 60~70 秒まで追跡した。第 4 光学観測室では発射後 120 秒まで追跡し、第 5 光学観測点では発射後 15 秒噴煙に邪魔されるまで追跡をおこなった。また第 7 光学観測点および第 3 光学観測室は補助ブースタ着水まで追跡した。ロケットの飛しょうは正常でロケットの飛しょう軌跡および補助ブースタ分離状況、着水までの軌跡が求められた。

3.2 追跡装置による解析結果

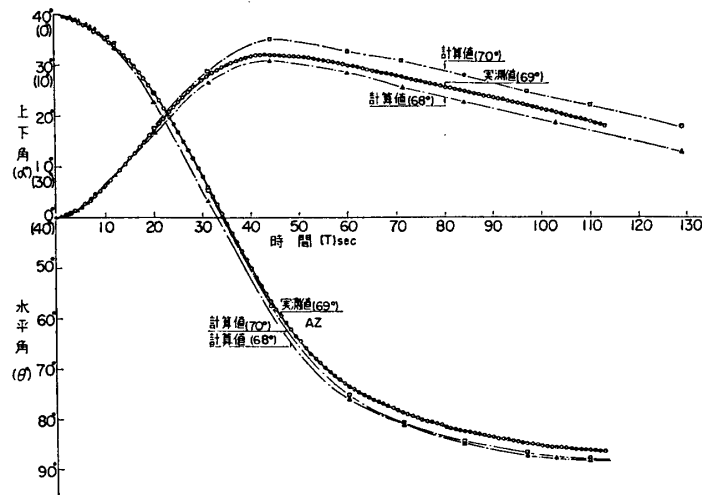
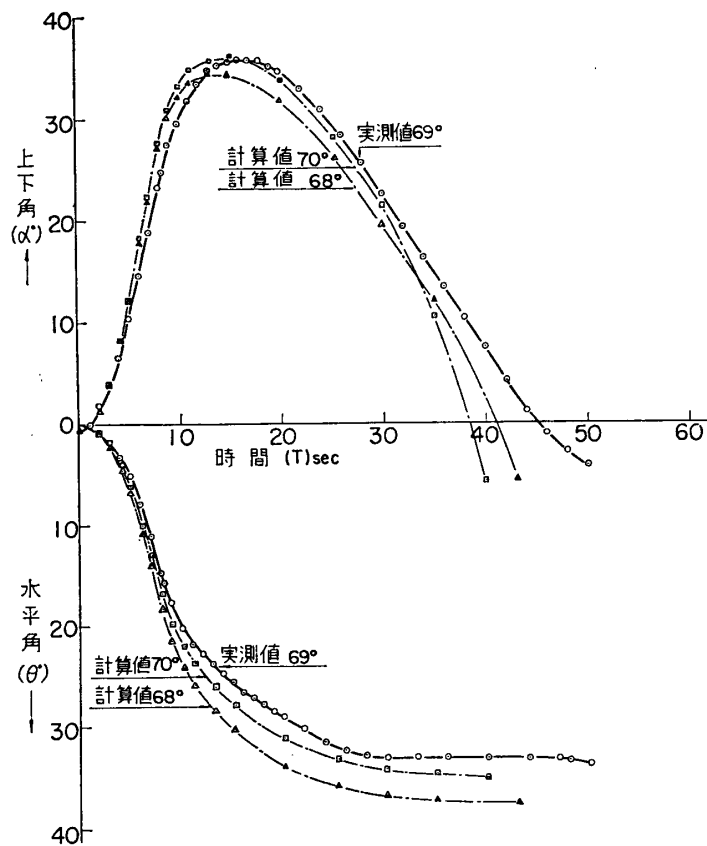
各観測点の手動追跡装置および新型光学的追跡装置により得られた結果を総合して解析をおこなった。

第 5 図は第 4 光学観測室における追跡した目盛撮影機から得られた上下 (α) 水平角 (θ) 時間 (T) 曲線である。計算値は発射上下角 68° , 70° の Trajectory である。

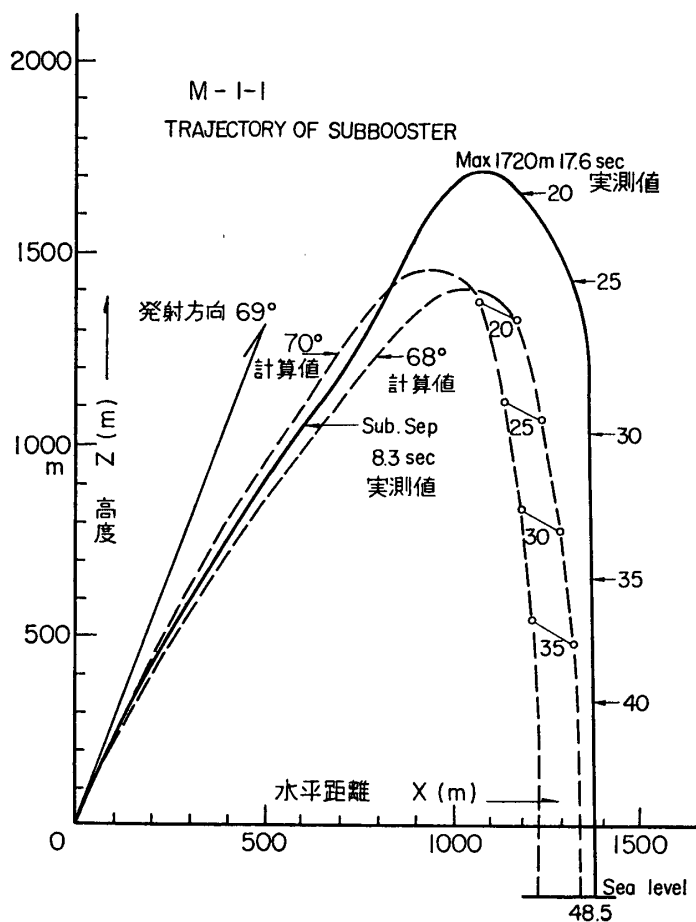
第 6 図は第 3 光学観測室より追跡した上 (α) 水平 (θ) 角—時間 (T) 曲線である。これはロケットの補助ブースタを撮影したもので、補助ブースタは 2 本 1 組で 4 組分離するがそのうちの 1 組を追跡した結果である。海面落下時は発射後約 50 秒である。計算値は発射上下角 68° , 70° の Trajectory である。このような特性曲線が各観測点で得られ、これらの時間に対する角度の測定値を基にして立体幾何等の応用により数値計算をおこない飛しょう軌跡をもとめた。

第 7 図は補助ブースタ飛しょう軌跡である。発射後 83 秒で補助ブースタが 4 組分離し、そのうちの 1 組を追跡した結果である。補助ブースタの最高々度約 1270 m 水平距離約 1380 m であった。

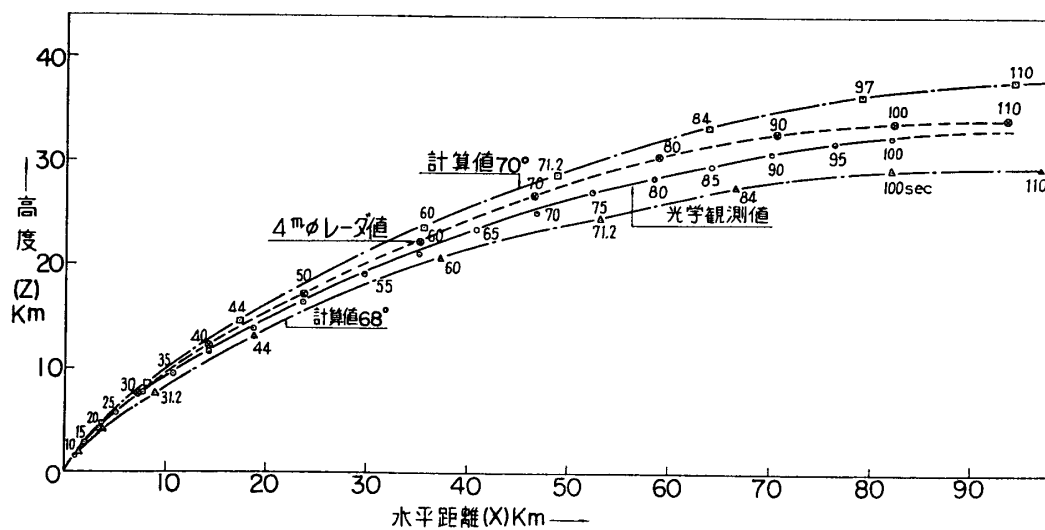
使用カメラ		第1光学	第2光学	第3光学	第4光学	第5光学	第6光学	第7光学
	露出時間 フィルム		1/500 sec EK (5251)			1/1200 sec EK (5051)		
35mm モド タイプ カメラ	レンズ 絞り フィルター 撮影速度 露出時間 フィルム		Nikkor 250mm f: 9.6 なし 4 t/s 1/250 sec EK (5251)				Nikkor 8 mm f: 16 なし 4 t/s 1/500 sec EK (5251)	
新 型 光 学 的 追 跡 装 置	定跡撮影カメラ 本体 レンズ 絞り フィルター 撮影速度 露出時間 フィルム			改造カメラ 70mm canon 2000mm f: 11 Fuji No 7 1 t/s 1/1000 sec Fuji 航空フィルム				
	目盛撮影カメラ レンズ 絞り 撮影速度 露出時間 フィルム			Nikkor 25mm f: 1.2 20 t/s ストロボ 100sec以下 Fuji (RP)				
	I T V ビジコン レンズ 絞り フィルター			赤外用 Nikkor 135 Ratten No 87				
赤外 ポラ ロイド カメラ	レンズ 絞り フィルター 露出時間 フィルム					Topcor 65mm f: 64 Ratten No 87 1 c/s 多重露出 ポラロイド (413)		
パノ ン カ メ ラ	レンズ 絞り フィルター 露出時間 フィルム					Ponohic 50mm f: 8 なし 1/250 sec Fujicolor (100)		Lax 26mm f: 11 なし 1/250 Fujicolor (100)
セク ター ・ カ メ ラ	レンズ 絞り フィルター 露出時間 撮影速度 フィルム							Xenar 135mm f: 4.5 Fuji No 7 1/500 sec 10 f/sec Fuji 特殊フィルム

第5図 M-1-1号機上下角(α), 水平角(θ), 時間(T) 曲線第6図 M-1-1号機補助ブースタ上下角(α), 水平角(θ),
-時間(T) 曲線

第8図はメインロケットの飛しょう軌跡である。発射後約100秒で高度約32.5 km, 水平距離82 kmである。計算値は発射上下角68°, 70°のもので点線はレーダによるもので



第7図 M-1-1号機補助ブースタ飛しょう軌跡



第8図 M-1-1号機 M-1-1号機飛しょう軌跡

ある。写真 20 は第 1 光学観測室の手動追跡装置より得られた結果で M-1-1 号機の補助ブースタ分離状況である。

写真 21 は第 4 光学観測室の手動追跡装置により得られた飛しょう状況である。3 番目の画面は発射後 9 秒のもので補助ブースタが完全に分離飛散している。8 番目の画面は発射後 62 秒、高度 22.2 km、水平距離 37.0 km のものである。

写真 22 は第 7 光学観測点において大型固定航空カメラで補助ブースタを追跡した状況である。補助ブースタは 4 組分離し発射後 25~35 秒間で補助ブースタ各 1 本ずつ分離飛散し

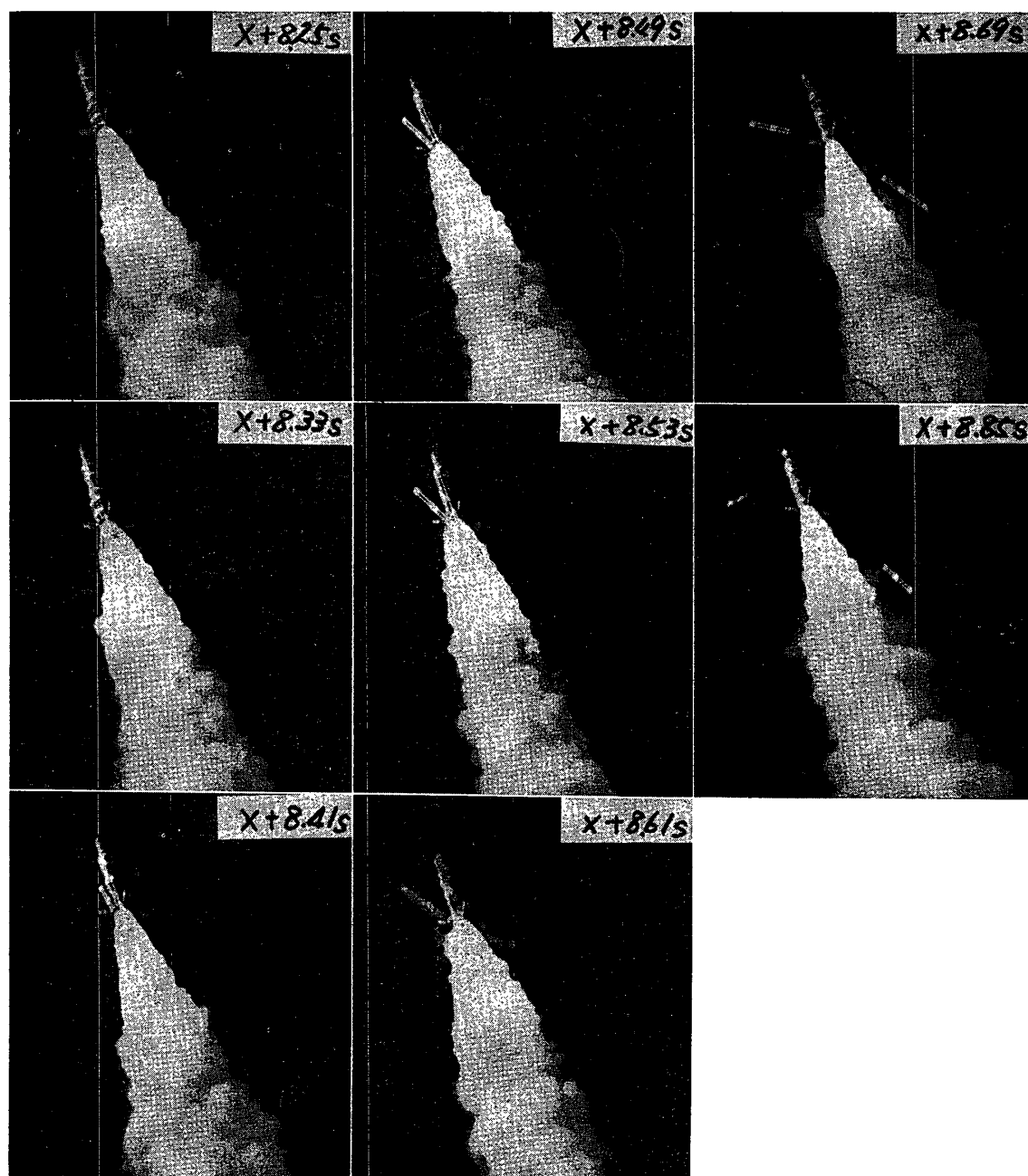


写真 20 補助ブースタ分離状況

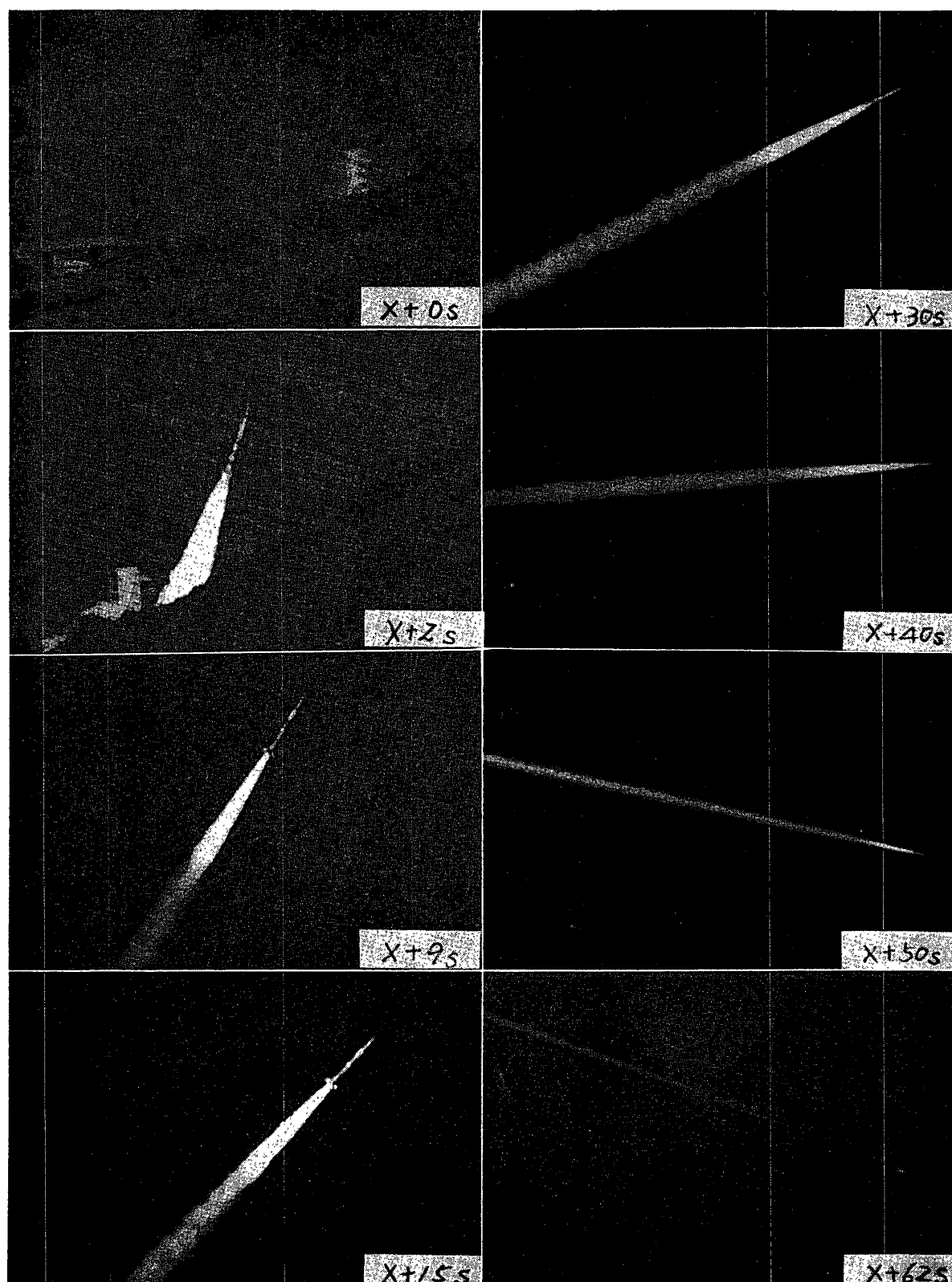


写真 21 飛しょう状況

た. 4こま目は補助ブースタ海面落下瞬間である. 写真 23 は第3 光学観測室における新型光学的追跡装置の 70 mm カメラ (2000 mm レンズ使用) の撮影結果である. 写真 24 は第6 光学観測点における魚眼レンズ使用のモータ・ドライブ・カメラの結果である.

写真 25 は第7 光学観測より撮影したセクター・フレーム・カメラの結果である.

3.3 高速度カメラによる解析結果

各観測点の高速度カメラにより得られた撮影画面を一こま一こま測定し時間に対する変位, 速度加速度をもとめた. 第9 図は M-1-1 号機のランチャー離脱付近の変位 (L), 速度 (V), 加速度 (α) 一時間 (T) 曲線である. ロケットのイグナイター点火後 1.19 秒してランチャーを離脱している. この変位 (L) 一時間 (T) 曲線を図式微分して速度 (V) 一時間 (T) 曲線を得た. ランチャー離脱時において速度は約 38 m/sec であった. またさらに速度曲線を図式微分して加速度をもとめた. ランチャ離脱時における加速度は約 31 m/sec² であった. 実験値と計算値を比較してみるとロケットがイグナイター点火してランチャ高さ (22.5 m) に達するまでに実測値が 0.1 sec 遅れている. 速度はランチャ離脱時において実測値 38 m/sec に対し計算値 40 m/sec となりやや低い. また平均加速度も計算値の 37 m/sec² に

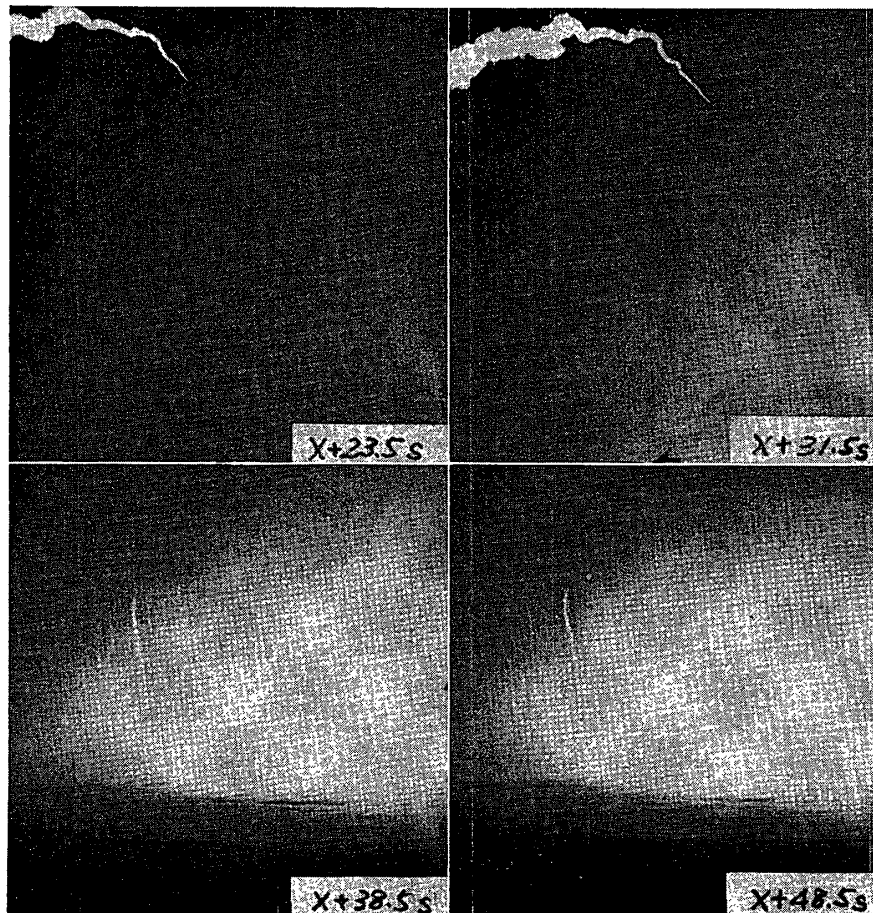


写真 22 補助ブースタ飛しょう状況

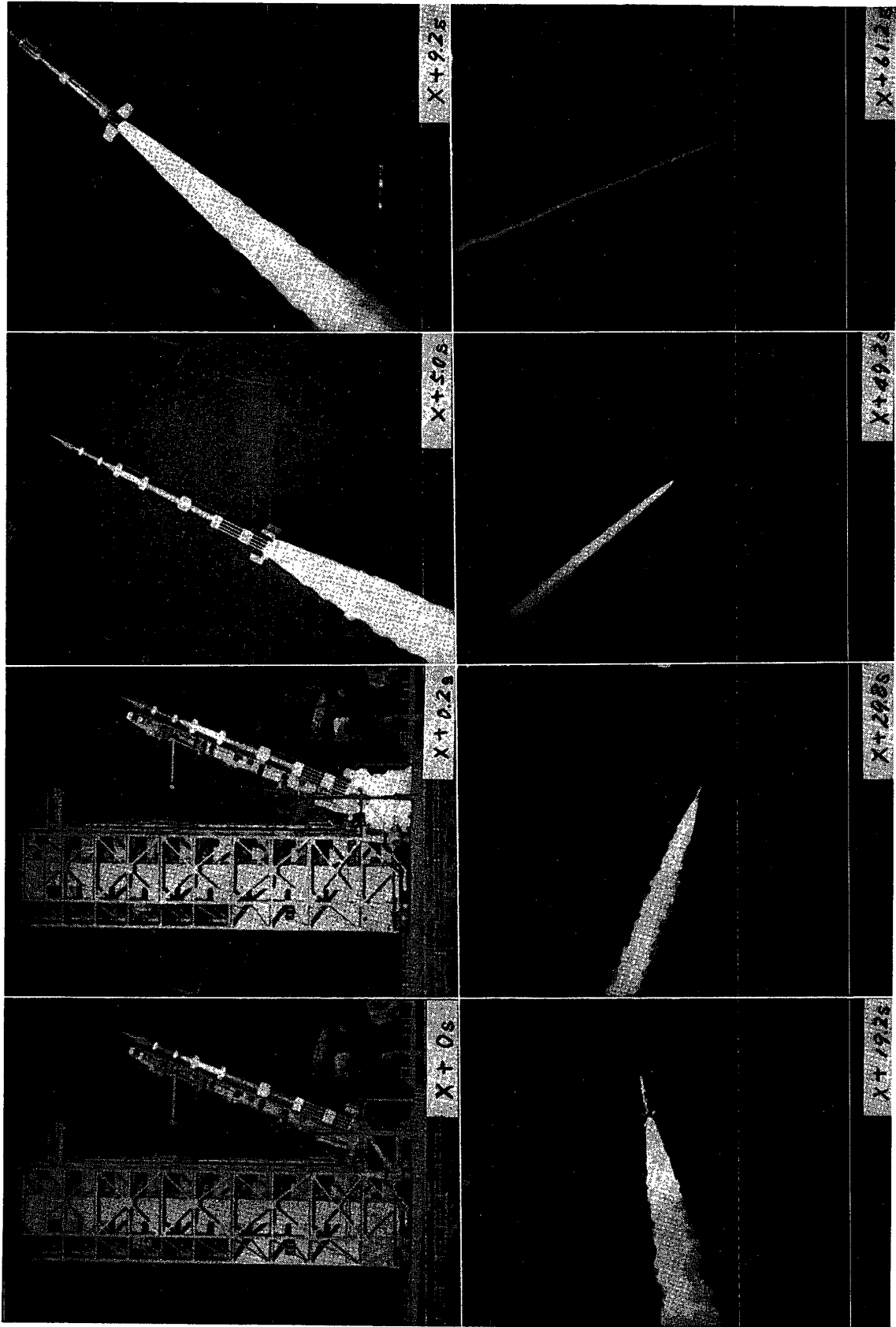


写真 23. 70 mm カメラ撮影結果

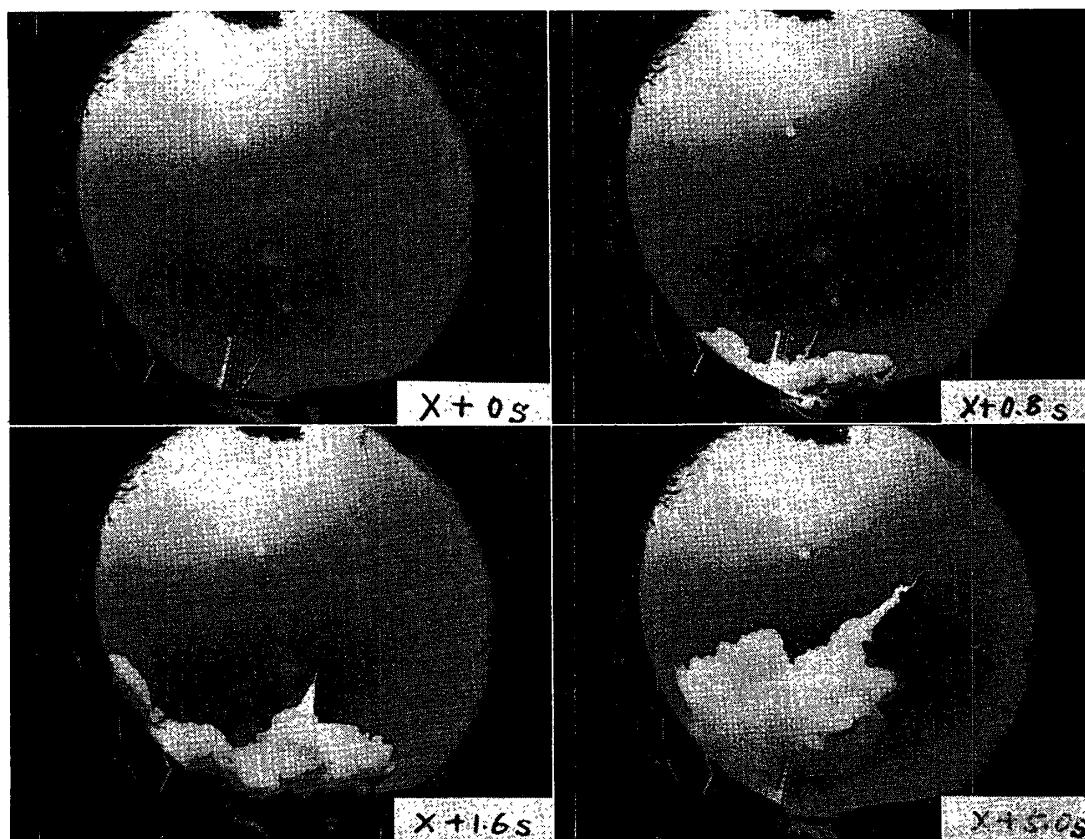


写真24 魚眼レンズによる撮影結果

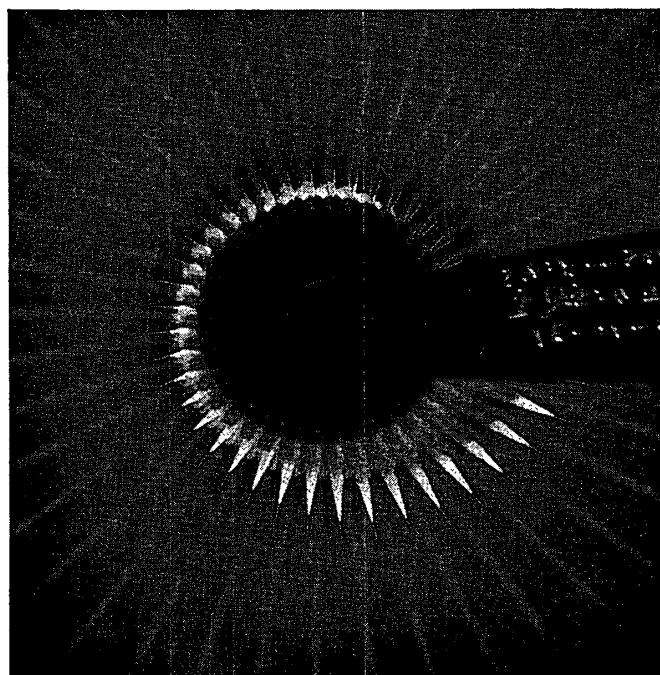


写真25 セクター・フレーム・カメラの撮影結果

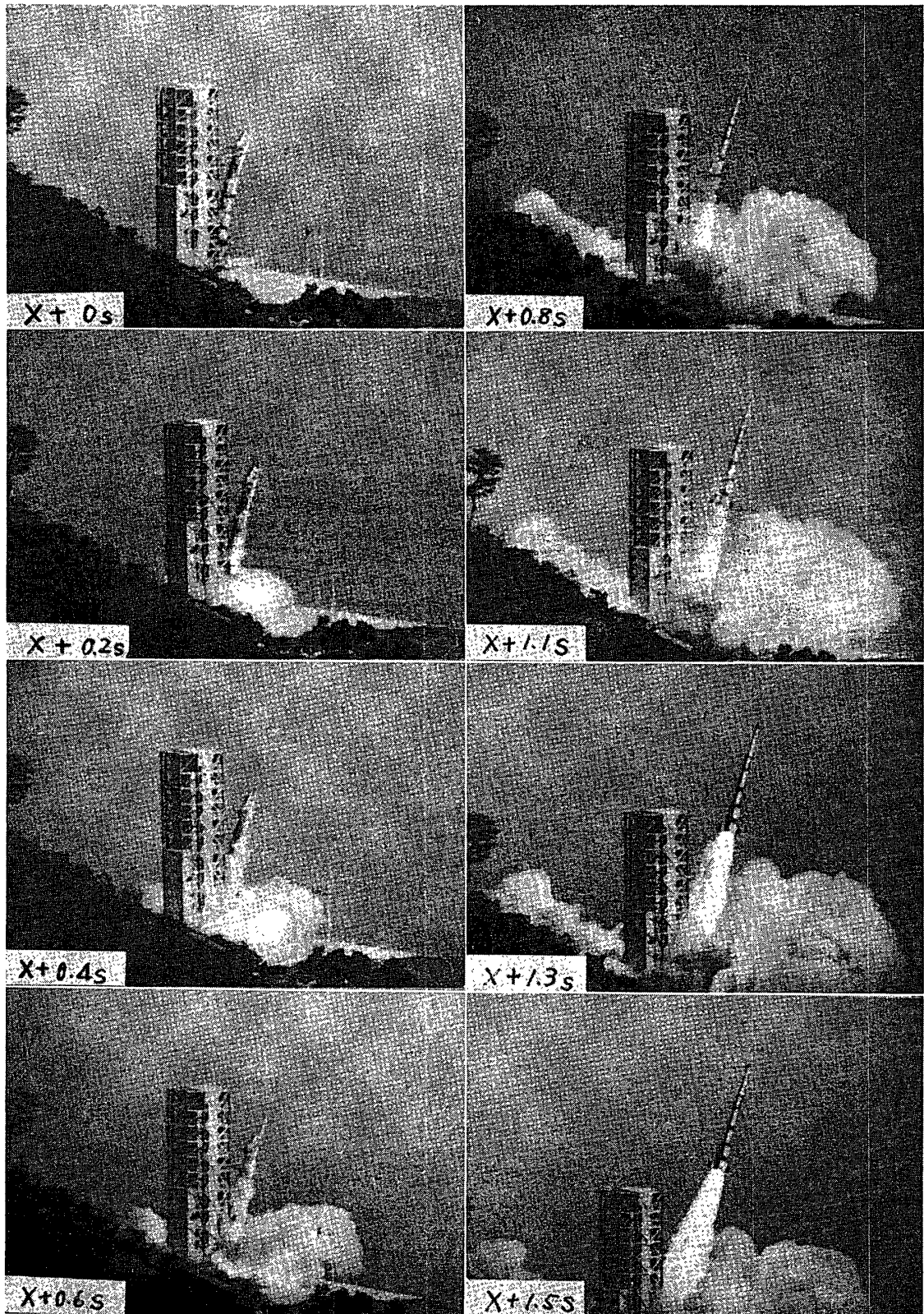


写真 26 かきおろし式高速カメラ撮影結果

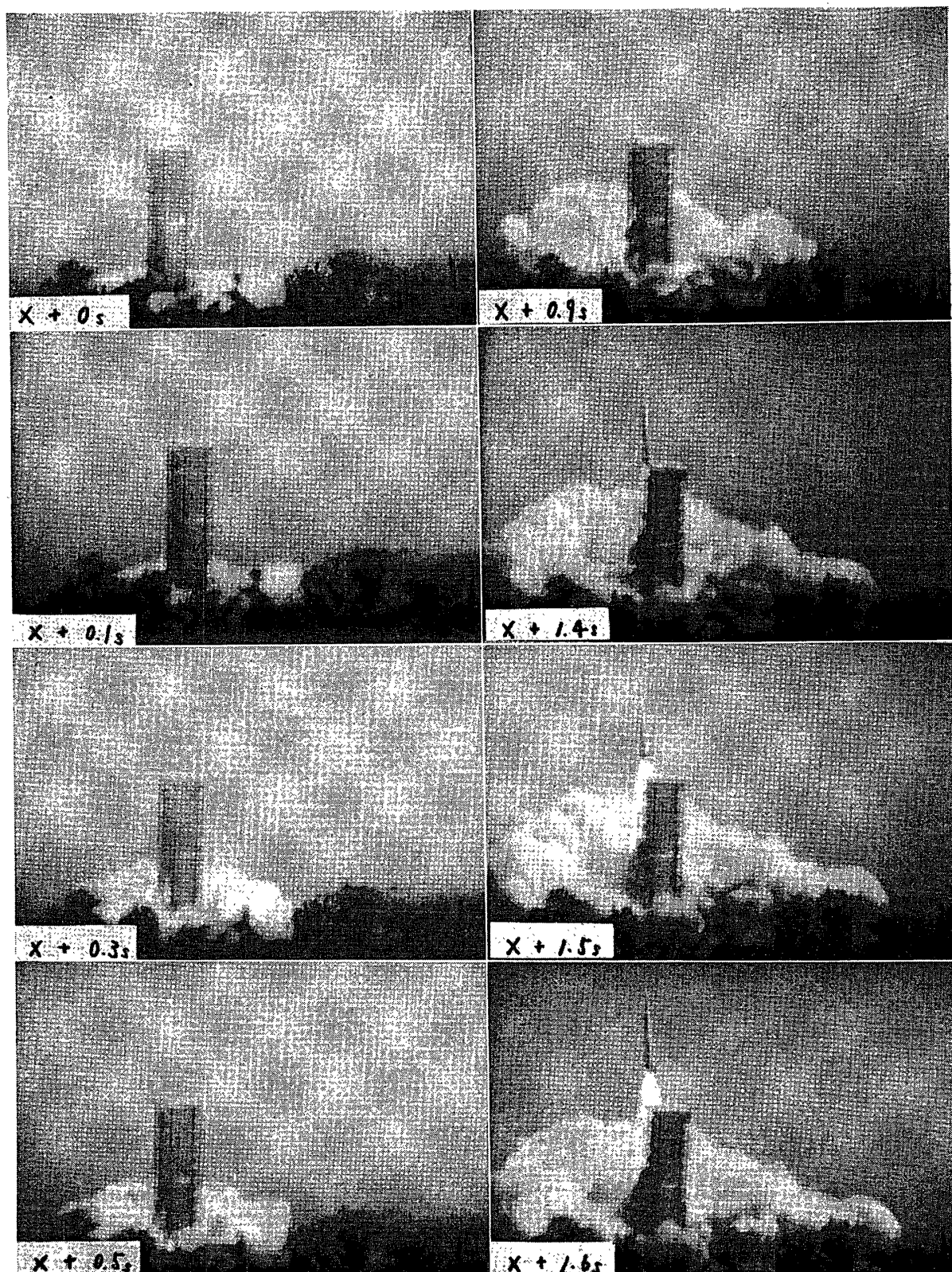
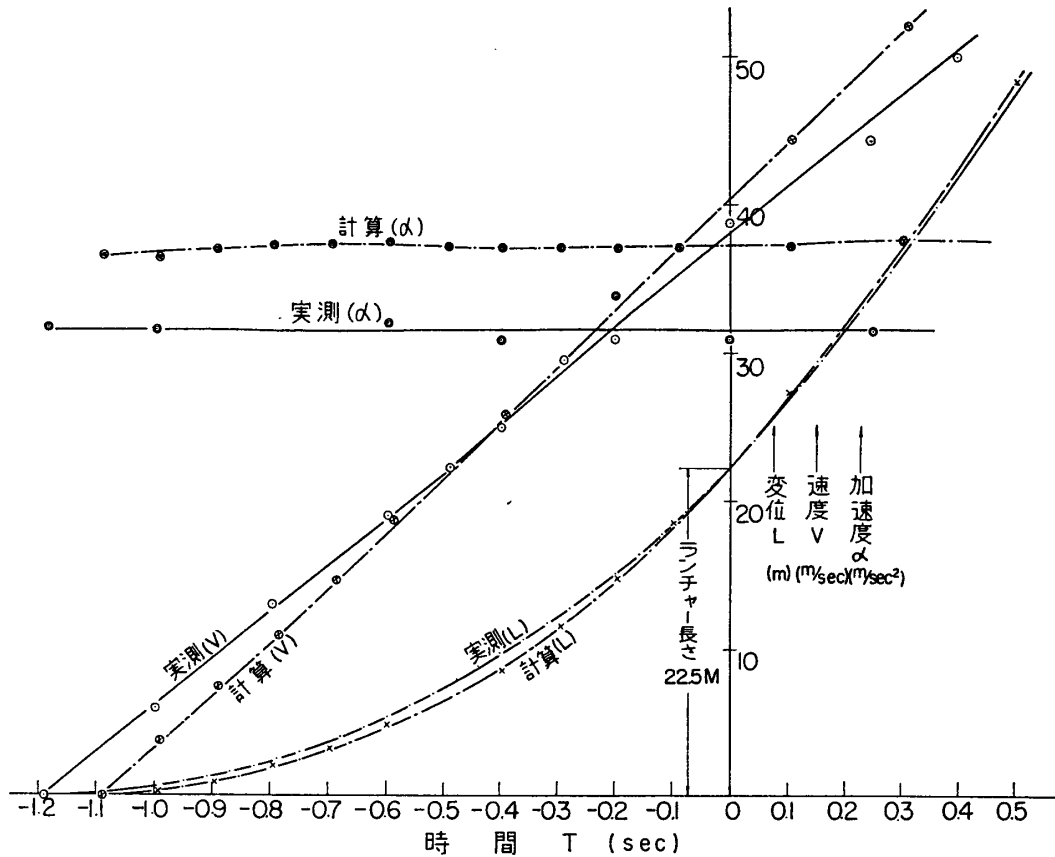


写真 27 プリズム式高速度カメラ撮影結果

第9図 変位 (L), 速度 (V), 一時間 (T), 曲線

対し 31 m/sec^2 程度であった。

写真 26 は第2光学観測室より得られた 16 mm がきおろし式高速度カメラの結果である。撮影速度は 200 f/sec のものを適当に抜焼したものである。

写真 27 は第5光学観測点より得られた 16 mm プリズム式高速度カメラの結果である。撮影速度 800 f/sec. この観測点は発射方向真後にあたりロケットからの噴煙の状況がわかる。

4. あとがき

鹿児島でロケット飛しょう実験が行なわれるようになり5年経過した。光学観測室も第1, 2, 3, 4 光学観測室および今年3月完成予定の第5光学観測室も含め5観測点が設置された。

観測装置は現在のところ初期の頃開発した装置が大半使用しているが最近種々の新しい本格的な装置を開発しつつある。今後は人工衛星用軌道撮影弾道カメラ, ロケット搭載用各種光学機器並びに観測データのじん速処理方式等の整備が必要となってくる。

最後に新型光学的追跡装置ならびに赤外線 ITV 装置について一方ならぬ協力をいただいた株式会社ナック, 浜松テレビ株式会社の関係各位に深く感謝する。

1967 年 2 月 10 日