

# 科学衛星光学トラッキング装置 II

齊 藤 成 文・古 在 由 秀\*・冨 田 弘一郎\*  
長谷部 望\*\*・高 須 芳 雄†

## An optical satellite tracking system (II)

By

Shigebumi SAITO, Yoshihide KOZAI, Koichiro TOMITA, Nozomu HASEBE  
and  
Yoshio TAKASU

**Abstract:** The details of the optical satellite tracking system are described. The system consists of the Schmidt camera sub-system, the electrical control console and the numerical control sub-system. The Schmidt camera sub-system has F number of 1.5 and 75 cm focal length, and field of view is  $4.2 \times 14.0$  degrees. The optical mount has the four axes (azimuth, elevation, tracking and polar axes), and is operated in the tracking exposure mode and the fixed exposure mode for scientific satellite observation.

The electrical control console is used for setting and indication of the camera with the numerical control sub-system.

### 概 要

衛星光学トラッキング装置の詳細を記述する。装置はシュミットカメラ装置、電氣的制御盤、数値制御装置よりなる。シュミットカメラ部は  $F:1.5$ 、焦点距離 75 cm で  $4.2 \times 14.0$  度の写野を有し、架台は 4 軸（高度軸、水平軸、追尾軸、極軸）を持ち、衛星観測のトラッキング撮影モード、固定撮影モードに適した構成になっている。電氣的制御盤は数値制御装置によりカメラ装置の設定と位置表示を司さどる。

### 1. 緒 言

本科学衛星光学トラッキング装置は、天空における人工衛星を恒星と共に同時撮影し、又その時に写し込まれた時刻から、人工衛星の軌道解析を行なう装置である。主要部は、主望遠鏡、架台、案内望遠鏡および制御装置よりなり、総重量は約 13 トンである。

---

\* 東京天文台

\*\* 東京大学生産技術研究所

† 日本光学工業株式会社

本装置を設計するに当り、次の様な事柄が考慮され基本となっている。

- (1) 撮影の際の時刻精度 0.1 msec, フィルム上における角度測定精度  $1''$  であること。
  - (2) 打ち上げられる人工衛星の明るさは、8~9 等星程度になると予想されるので、この様な暗い星を撮影するためには、大口径でしかも広視野であるシュミットカメラ光学系が適当であり、そのために望遠鏡の口径は 500 mm (極限等級は約 15.7 等級) が適当な大きさであること。
  - (3) シュミットカメラ光学系は、その焦点面が補正板と主鏡との中間にあって、しかも焦点面が球面であり、できるだけ幅を広く (写野を広く) し、かつ連続撮影可能のために、70 mm 幅の長尺フィルムを使用すること。
  - (4) フィルム上の星像位置測定精度を考慮し、光学系の収差のスポットダイアグラムを検討して、焦点距離、口径比およびシュミット光学系の補正板の方式などを決定したこと。
  - (5) 広く天空上をスキャン撮影するために望遠鏡を追尾しながら、スキップおよびシフトを与えて連続撮影が可能であること。
  - (6) 固定方式の撮影において、同時に撮影される恒星の像の流れを防止するために、追尾軸、高度軸および方位軸の外に極軸回転を付加した 4 軸方式の架台を採用すること。
  - (7) この種望遠鏡類での我国で初めての試みとして数値制御方式を採用し、紙テープによる位置決めが行なえること。
  - (8) 東京天文台堂平観測所において現在使用されているベーカーナン (BN) タイプの同種装置以上の性能を有すること。
- 以上の様な種々の事項を考慮して設計製造されたものである。

## 2. 全体の構成

この装置はいわゆるカメラ装置とその制御装置より構成されている。

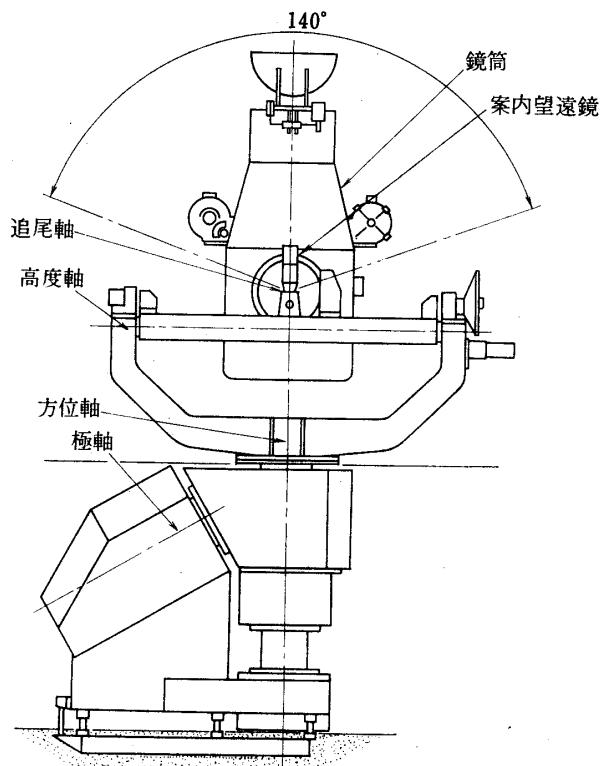
カメラ装置は第 2-1 図にあるように下から順に極軸、方位軸、高度軸、追尾軸からなる架台部の上に鏡筒部がマウントされ、鏡筒部には光学系およびカメラ部が組込まれている。

架台の極軸は天の北極を向き、カメラを固定して使用するとき日周運動を打消す方向に駆動され、方位軸、高度軸は衛星の通過する大円の方角と一致させるためのものである。追尾軸は暗い衛星をその動きに合わせて追尾して光の蓄積効果をあげるためのものである。

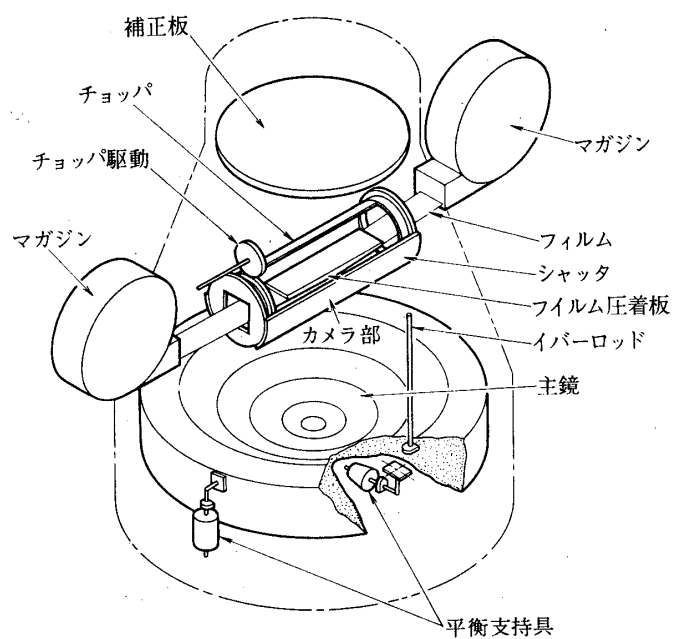
カメラ本体は鏡筒部に組込まれ、主鏡は第 2-2 図にあるように鏡筒の姿勢変化の影響を受けないよう裏面、側面各 6 点の平衡型支持具を用いて支持され、温度変化の影響を打消すため焦点面と主鏡の間にインバーロッドを挿入してある。

鏡筒の両側には第 2-2 図にあるようにフィルムマガジンがあってフィルムはカメラ部の中にあるフィルム圧着板に固定される。入射光は補正板を通して主鏡で反射されフィルム上に焦点を結ぶ。露光は茶筒型のカメラ部の両側面にある曲面シャッターをソレノイド駆動により開閉させる。この露出時間中に図のチョッパーが回転して、1 露出中 5 回のチョッピングを行なってその時刻をストロボにより同じフィルム上に焼込む。使用フィルムは幅 70 mm ASA 1250 の感度を有する。

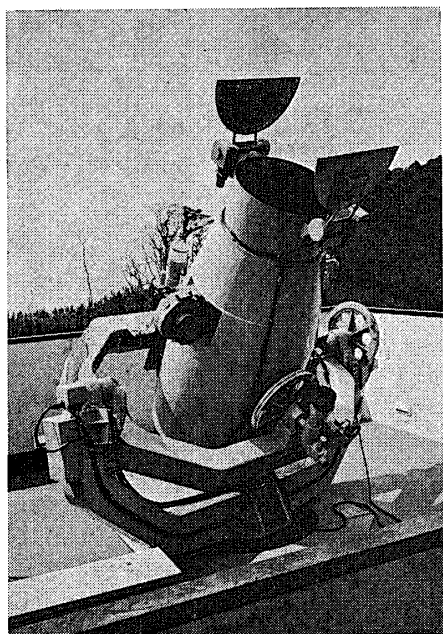
この鏡筒の両側には案内望遠鏡が対称に取付けられ、目標の追込みに用いられる。第 2-3



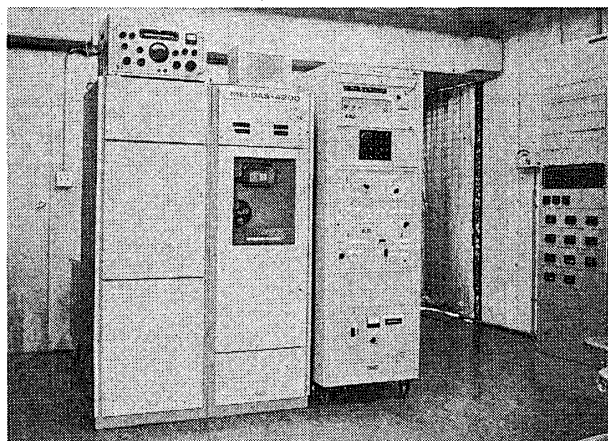
第2-1図



第2-2図



第 2-3 図 カメラ室 2 階，シュミットカメラ鏡胴部。



第 2-4 図 観測室内の機器左から電源装置，数値制御装置，制御盤

図はカメラ室の 2 階に見えている部分であり，極軸はこの床の下にかくれている。

制御装置は本体である制御盤とこの操作機能をめき出した操作卓および数値制御装置とからなる。制御盤にはカメラ軸の現在位置表示や各種操作に必要な指令押ボタンスイッチが設けられ，カメラ装置の駆動を司さどる。

このカメラ装置は数値制御装置との組合せにより，カメラの位置決め，原点復帰，現在位置表示，追尾軸の駆動，撮影操作をプログラム制御できる。第 2-4 図は観測装置室内であり，左 2 架は数値制御装置，右は制御盤である。

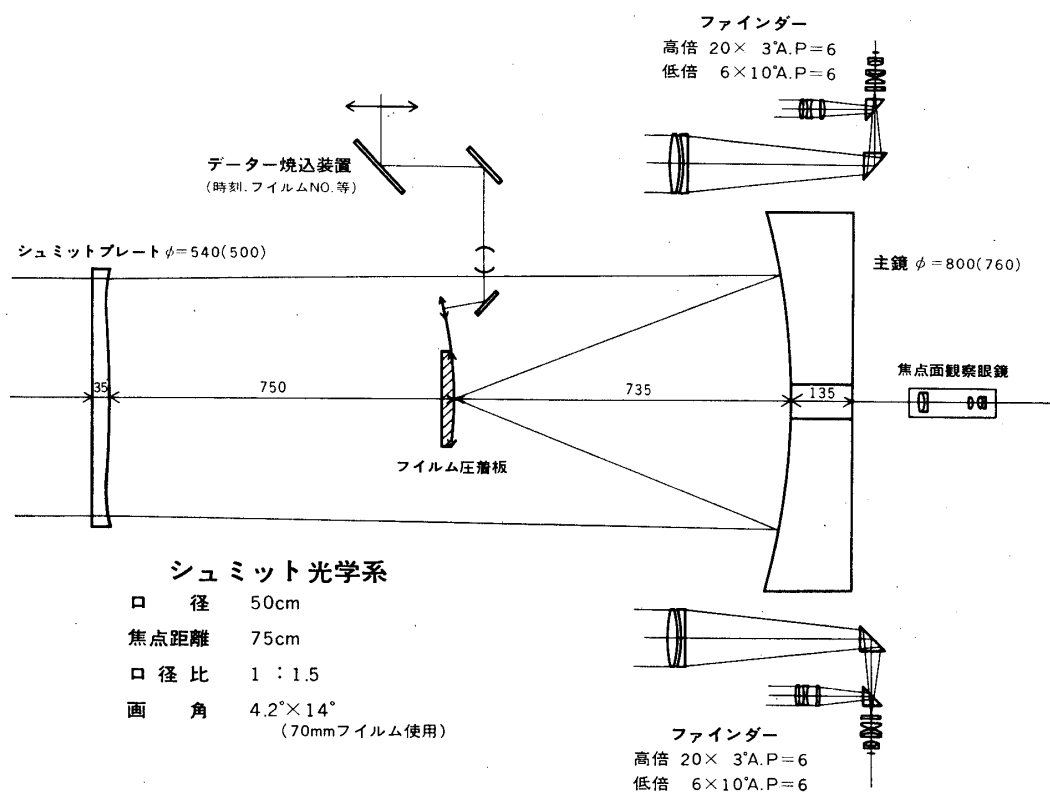
### 3. 光学系について

科学衛星光学トラッキング装置の光学系は第 3-1 図に示す如く主鏡と補正板（シュミットプレート）よりなるシュミット型望遠鏡で，追尾軸の両端に二組の案内望遠鏡を取付けたものである。また人工衛星撮影時の正確な時刻等をフィルム面に記録するためのデーター焼込用光学系が組込まれている。

主要光学性能は下記の通りである。

#### (1) 主光学系

○口 径	500 mm
○焦点距離	750 mm
○口 径 比	F/1.5
○視 野	4.2°×14°
○フィルム	70 mm パーフォレーション付長尺フィルム (1200 feet)



第3-1図

## (2) 案内望遠鏡

(高倍)

○対物レンズ口径	120 mm
○" 焦点距離	600 mm
○口径比	F/5
○倍率	20×
○視野	2°

(低倍)

○対物レンズ口径	36 mm
○" 焦点距離	180 mm
○口径比	F/5
○倍率	6×
○視野	10°

## (3) データ焼込装置

○使用レンズ	エルニッコール $f=135\text{mm}$ F/5.6
○撮影倍率	1/3×
○画面サイズ	37×50 (データサイズ 110×150 mm)

### 3.1. 主光学系 (シュミット光学系)

人工衛星のようにかなりはやい速度で運動する物体を撮影するカメラは明るい光学系でなければならない。カメラの明るさは一般にその口径と焦点距離の比,  $F\ No.$  で表わされる。この明るさを増すには光学系の口径を大きくすればするほど明るくなる。一方人工衛星の位置を測定する場合にその測定精度を高めるためには撮影された原板上でのスケールが問題となり、精度を高めるためには焦点距離の長いものが必要となる。

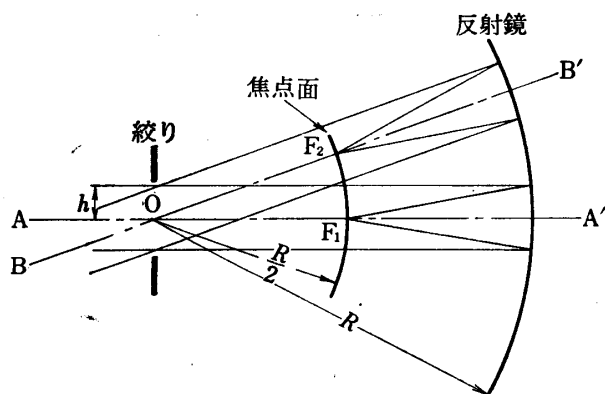
これらのことから主光学系としては大口径でしかも長焦点の光学系が必要とされてくる。すでに述べた如く人工衛星の角速度はかなりはやく単位時間内に天空を移動する範囲もかなり広くなる。しかも日本の人工衛星は予定軌道に対して初めはかなりばらつきがあるものと予想されており位置の予報がかなりむずかしいとされている。したがって日本の人工衛星を撮影するにはどうしても視野を広くとれるような光学系を選ばなければならない。

このように大口径、長焦点、広視野の条件を満たす光学系としてはシュミット光学系が最適なものとして選ばれたわけである。

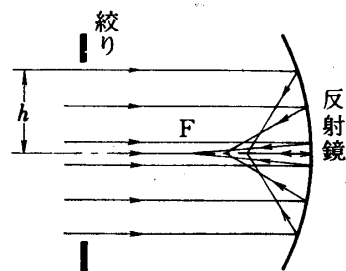
### 3.2. シュミット光学系の原理

本装置の光学系として採用されたシュミット光学系とはどんなものなのか、簡単にその原理を説明すれば、第 3-2 図に示す如く球面鏡の曲率中心に絞りをもちような光学系を考えてみる。その絞りが充分小さな場合には、その焦点は球面鏡の曲率半径  $R$  の  $1/2$  の点  $F_1$  に結像する。絞りの中心  $O$  を通る光線  $A-A'$  いわゆる主光線に対してその上下を通る光束は対称的に反射して結像されるので主光線に対しいわゆるコマ収差 (非対称収差) は生じない。また主光線  $A-A'$  は球面鏡の曲率中心を通った線でありどの方向に対しても対称的であるから非点収差もまた生じないわけである。

光軸  $A-A'$  に対して斜めに入射する  $B-B'$  の光線も絞りが球面鏡の曲率中心  $O$  にあるので  $A-A'$  と同様に  $R/2$  の所  $F_2$  に結像する。このように球面鏡の曲率中心に絞りをもち光学系においてはコマ収差や非点収差は発生しない。またこの光学系により天球座標のように無限遠方にある物体の撮影を行なった場合には絞りの中央  $O$  を中心とした球面上に結像されるので歪曲収差も生じない。しかしながら  $F_1, F_2$  は球面上に結像されているので像面湾曲



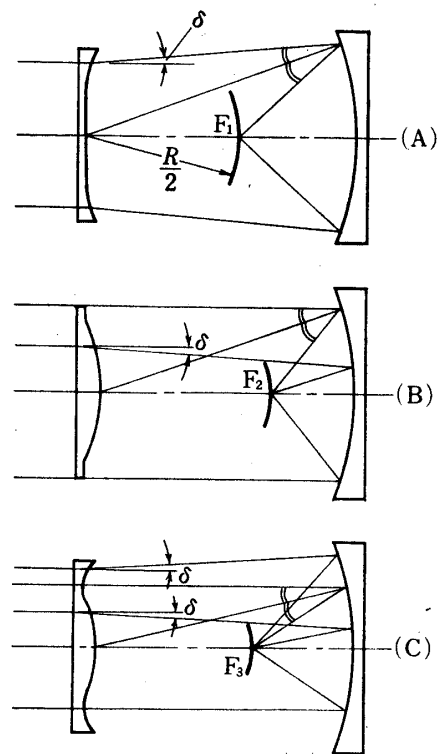
第 3-2 図



第 3-3 図

収差が存在する。したがって焦点面は球面にしなければならない。

絞りの大きさを近軸光線領域から外し拡大して考えると、絞りの大きさ即ち輪帯の高さの三乗に比例した大きさの球面収差が生ずる。(第 3-3 図) 絞りを通過するすべての光線を球面鏡の曲率半径の  $1/2$  の点  $F_1$  に結像させるためには、絞りの周辺に行く程光線の偏りが外向になるような形状、即ち凹レンズ変型のシュミット補正板にすれば良いわけである。(第 3-4 図 A)、また絞りの周辺を通過した光線が球面鏡により反射され光軸と交わる点  $F_2$  にすべての光線を結像させるためには、内側に光線が偏るような凸レンズ変型のシュミット補正板にすれば良い。(第 3-4 図 B) また輪帯の中間を通過する光線が球面鏡により反射され光軸と交わる点  $F_3$  にすべての光線を結像させるためには、この中間の輪帯を変曲線としてそれより外側では凹レンズの作用をなし内側では凸レンズ作用をもつ補正板とすればすべての輪帯を通過する光線は一点に集光されることになる。(第 3-4 図 C)



第 3-4 図

凹レンズ変型のシュミット補正板も凸レンズ変型のシュミット補正板も一種のプリズム作用をなし光線を一方向に偏らせているわけである。両者は輪帯の中間に変曲線をもつシュミット補正板よりプリズム作用が大きくなるので当然各波長による分散も大となり色収差による錯乱像が大きくなってしまう。

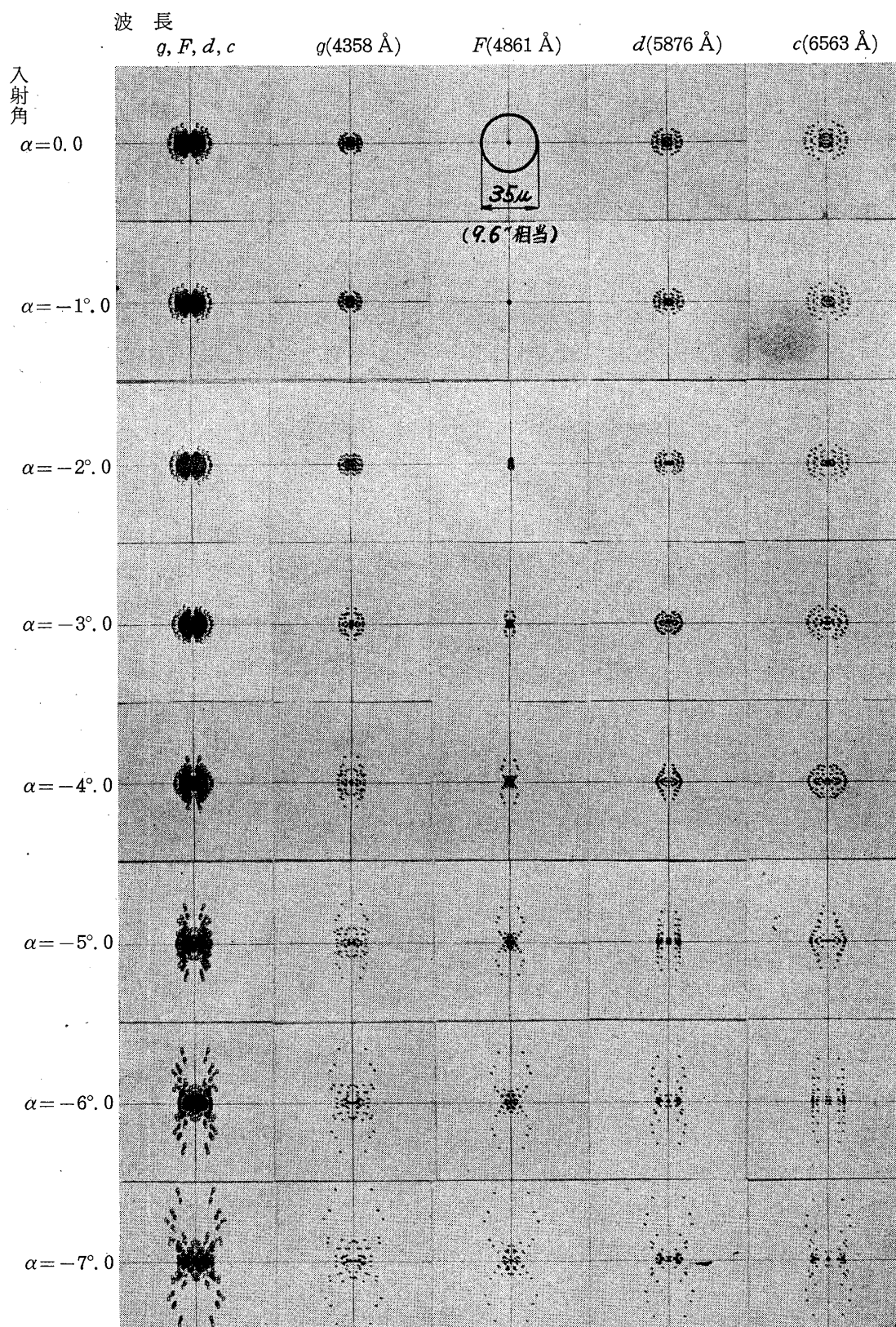
シュミット補正板の硝子材料はこの意味から屈折率が大きく分散の小さいものを選らばなければならない。また天体写真を撮影する場合には比較的短波長の光を良好に透過させることを必要とするので一般にクラウン系のガラスが用いられる。本装置のシュミット補正板は短波長域の透過率の良好な硼硅酸ガラス (BK 7 タイプ) を用い波長範囲  $4358 \text{ \AA} \sim 6563 \text{ \AA}$  の範囲で色収差が最小となるような型状で製作されている。

### 3.3. 主光学系の口径及び焦点距離

日本に於ける人工衛星撮影用のカメラは、東京天文台で使用されているベーカーナンシュミットカメラ、口径  $500 \text{ mm}$   $F/1.0$  が最大のものである。口径  $500 \text{ mm}$  の極限等級は約 15.7 等であるが、日本の科学衛星の明るさは約 8~9 等星になるものと予想されている。

実際にベーカーナンシュミットカメラでは 1 秒露出で 9 等星、0.5 秒露出で 8 等星が撮影されている。これは普通の天体乾板を用いた場合であり、超高感度フィルムを用いればさらに暗い等級の星まで撮影することができる。

カメラを固定して撮影する固定撮影と人工衛星の速さに合せて追尾しながら撮影する追尾撮影法ができる。本装置では、光学系の口径は  $500 \text{ mm}$  あれば充分な大きさであると言える。



第 3-5 図



フィルム上に撮影された星像を測定する場合に、その星像の対称性が良好なることが測定精度上非常に重要なことである。

ベーカーナンシュミットカメラの場合には3枚のシュミット補正板を組合せて広い視野にわたって色収差の少ない結像を目ざして作られているが、設計上からも製作上からも、この対称性を良好にすることはかなり困難さを伴う。特に非球面で構成されたシュミット補正板を複数枚合せる場合、ごくわずかな偏心があっても結像に与える影響がかなり大きくなることが設計上の検討で判明している。

本装置の光学系では以上の観点から1枚のシュミット補正板形式を採用することにし、口径比  $F/1.0$   $f=500$  mm,  $F/1.5$   $f=750$  mm,  $F/2.0$   $f=1000$  mm, の三種の光学系に関し、その視野及び収差（フィルム上に於ける結像状態）について検討がなされた。

フィルム上の位置測定精度からは焦点距離の長い  $F/2.0$   $f=1000$  mm が有利であるが、フィルムによる光束のケラレの割合が大きいことや装置が大型化する等の欠点があり  $F/1.5$   $f=750$  mm の仕様が決定された。

ちなみに角度  $1''$  に相当するフィルム上でのスケールは  $f=1000$  の場合約  $5\mu$ ,  $f=750$  で約  $3.75\mu$ ,  $f=500$  では  $2.5\mu$  となる。

本装置に採用された光学系では波長範囲  $4358\text{ \AA} \sim 6563\text{ \AA}$  の光については視野  $8^\circ$  以内の SPOT DIAGRAM は約  $35\mu$  以内に収まり、その結像はほぼ点対称で中心点は容易に決定することができる。視野  $8^\circ \sim 14^\circ$  の範囲の結像はやや長円形になるがその光量分布は中央  $35\mu$  以内に集中していることから同様に中心点は容易に決定することができる。(第3-5図)

SPOT DIAGRAM の扱いはそのままフィルム上に撮影される星像の形を表すものであるが、まったく同一の大きさに記録されるものではなく、過度の露出を与えればニジミ等により SPOT DIAGRAM の扱いより大きく感光するし、また少なめに露光された場合には周辺の光量分布の少ない部分は感光されずに中心の核に相当する部分のみ記録され SPOT DIAGRAM の扱いよりは、はるかに小さな星像が記録される。これらの星像を測定する際には何回もくり返しその中心部を測定することにより誤差の少いより正確な結果を得ることができる。

### 3.4. 主光学系の製作と調整

設計された性能を完全に保証するためには主鏡の鏡面はより正確に製作されなければならない。反射光学系に於ては、その反射面の精度が結像に与える影響は屈折光学系に比べ二倍の精度で作られなければならない。

本装置の主鏡は  $\lambda/8$  ( $\lambda \approx 0.5\mu$ ) の精度で研磨されている。この高い精度で研磨された鏡面は装置に組込まれても保証されなければならないものであり主鏡は金枠の中に固定すると外力による歪み等で研磨面精度に悪影響を及ぼすことがある。一般に精度の高い反射鏡はその底面と側面よりバランスウェートを取付けた支持台の上に載せたフローティング方式により支持されている。このような支持方式をとれば望遠鏡の姿勢差により主鏡の自重による変形も防止できるからである。

また温度変化による鏡面精度への影響を少なくするために、主鏡の素材は低膨脹係数耐熱ガラス ( $330 \times 10^{-8}$ ) が用いられている。

本装置が設置される内之浦の環境を考慮し、鏡面には Al の反射膜を蒸着した上に更に、酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) の保護膜が重ねて蒸着されている。Al のみの反射膜では埃等が付着した場合に蒸留水で流し落とす程度の手段しか構じられなかったが、この  $\text{SiO}_2$  の保護膜を施した反射面はアルコールとエーテルの混合液をしませた拭布等でよごれを拭き取ることができる。

また Al 反射膜に付着した埃が水分を吸収しその部分から腐蝕し反射率を低下させてしまうようなことも防止される。

シュミット補正板の非球面は数値制御化された非球面研削機であらかじめ数  $\mu$  の精度で成型され、その研磨精度を保証するために、主鏡と組合せて干渉計を用いて収差を検出しながら補正研磨されたものである。(写真 3-1)

このように精密に製作された主鏡と補正板は、それぞれ正確に組合せ調整されなければならない。

主鏡と補正板の正確な組合せは一般に星像写真を撮影しながら行なわれる。フィルム面を基準に主鏡の傾き調整が行なわれる。画面全体にわたって星像の大きさに非対称がないかどうかを検討される。非対称性がある場合にはフィルム面と主鏡との間に取付けられた 3 本のインバーロッドの先端にあるマイクロメーターにより主鏡の傾きが調整される。

主鏡の傾き修正時にはその曲率中心点も移動するので、シュミット補正板の中心も常に主鏡の曲率中心点に一致するように修正される。

シュミット補正板の中心にはそのため中心を示す指標が取付けられている。この指標が主鏡により反射結像された像と常に一致するように補正板の位置も移動調整しなければならない。

主鏡の傾き調整および主鏡と補正板の光軸調整が完了したならば更に 3 本のマイクロメーターを均等に移動しピント位置を移動しながら連続的に撮影する。

撮影された星像が最も小さく撮影された位置を求めてピント出し調整が完了される。(写真 3-2)

### 3.5. 案内望遠鏡とデーター焼込装置

主望遠鏡(主光学系)がいかなる方向に向いていても常に観察できるように主望遠鏡の追

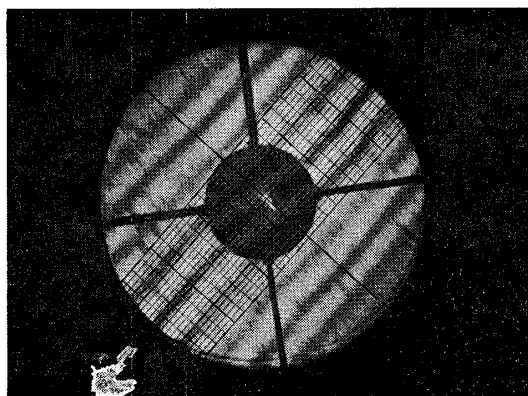


写真 3-1

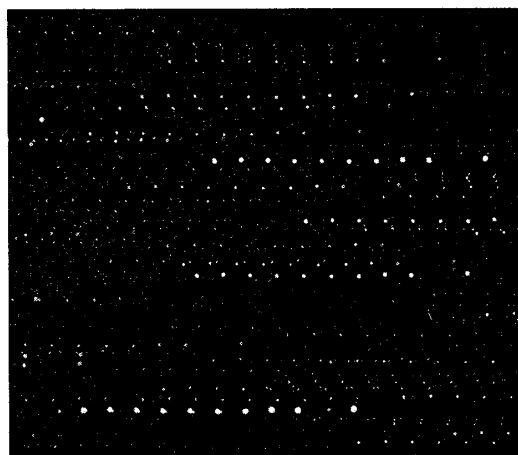


写真 3-2

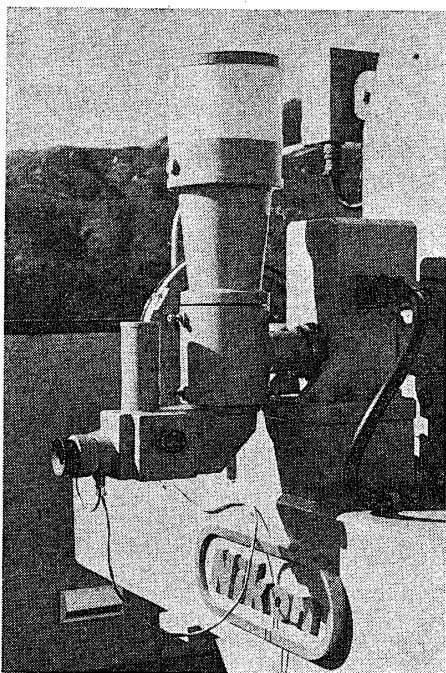


写真 3-3

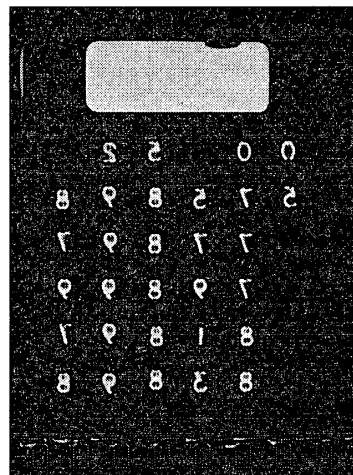


写真 3-4

尾軸両端に二本の案内望遠鏡が取り付けられている。したがって主望遠鏡で撮影中にも対象となる人工衛星や星をとらえ、望遠鏡の設定追尾速度の変更や対象物の確認ができるよう考慮されたものである。

この望遠鏡は高倍率のものと低倍率で広視野のものと二種類の望遠鏡から構成されており、つまみを  $90^\circ$  回転する簡単な操作で切換え使用することができる。したがって写真撮影中といえどもフェイディングからガイディングあるいはその逆の操作もきわめて迅速に行なえる。(写真 3-3)

データー焼込用光学系は写真撮影時にフィルム面直前で回転するチョッパーに同期してニクシー管にて表示される5回の時刻をフィルム面にデーターとして焼込むための光学系である。時刻以外にもストロボ発光が同調し簡単な MEMO 書き等のデーターもフィルム面に同時に焼込むことが出来る。(写真 3-4)

#### 4. 機 械 系

主望遠鏡、架台および案内望遠鏡の機械系について述べる。

##### 4.1 主望遠鏡

主光学系を含むシュミットカメラ本体部分で、鏡筒、主鏡セル、補正板枠、電動キャップ、カメラ装置および空気系などより成る。

##### 4.1.1 鏡 筒

光学系を正確に配置、保持し、使用上十分な強度、剛性を持つと同時に、主鏡面へのちり、ほこり、露などの付着を防ぎ、光学的に有害な空気のゆらぎによる悪影響をなくすために、構造用鋼板溶接構造による骨組と耐食性の優れたボンデ鋼板によるカバーにより密封形

式になっている。構造的には、加工組立を容易にするため4段のつみかさねにより、下より、主鏡セルの部分、追尾軸を持つ中間部分、カメラ装置および補正板枠を組み込んだ部分、そして電動キャップを持つフードの部分からなっている。

#### 4.1.2 主鏡セル

主鏡は、裏面6点、円周側面6点の個別平衡支持方式で支持し、望遠鏡がいかなる方向に向いても常に光軸が正しく保たれ、しかも主鏡に歪みの生じないようにしている。また望遠鏡が急速な運動をしても、光軸にくるいを生じたり、主鏡が不安定になったりしないよう考慮した。これらの機構は、主鏡再メッキ時には簡単に分解でき、再メッキ後の組立、調整が容易に行なえるようになっている。

主鏡中央の穴を通して焦点面中心部を視準できるよう小型の視準望遠鏡を付属している。

#### 4.1.3 補正板枠

円周フランジを持つ鋼板製枠で、主光学系補正板（シュミットプレート）に歪みが生じないように金属板ばねにより保持している。主鏡および焦点中心との光学位置出し機構を有している。補正板保護およびほこり防止のため、鈑金製キャップ（内側に乾燥剤入れがある）を付属している。

#### 4.1.4 温度差による焦点面補正機構

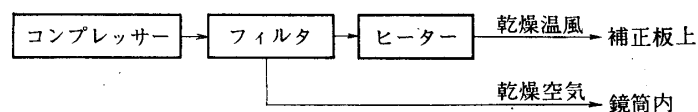
主鏡、焦点面間に3本の不変鋼（インバー）ロッドが常につばった状態で取付いており（主鏡支持のバランスを主鏡を焦点面方向に力がかかるように調整してある）、季節による外気の温度変化より鏡筒金物に寸法変化を生じても光学系の焦点面の位置は変化しない機構になっている。またこの機構は、正しい光学系配置を定める最終調整にも使用し、インバーロッド上端に精密マイクロメータヘッドのスピンドルが接触してあたり、マイクロメータつまみの回転により主鏡を上下移動させ、正確なピント合わせを行なう。インバーロッドの位置は架台原点において、S, NW, NE方向の3ヶ所、120°方向振分け位置にある。（インバー熱膨脹係数  $1.2 \times 10^{-6}$ ）

#### 4.1.5 電動キャップ

フード上端に電動キャップがある。これは観測時にのみ開き、観測時以外はなるべく閉じておくよう考慮された観音開き式の開閉キャップである。

#### 4.1.6 乾燥温風吹付および乾燥空気封入

コンプレッサーにより圧縮した空気を、エアトランスホーマを通過させ、混入している水分、油分、ゴミなどを除去し、エアパイプで望遠鏡までみちびき、これを2系列に分け、一つはフード横のヒーター（温度はコントロールパネルで操作）によりあたためフード内側に取付けた円周状に小孔をあけた金属パイプより補正板上に乾燥温風を吹きつけ、補正板上に露の付着するのを防ぎ、一方他の一つは、主鏡セル部より鏡筒内部に入れて鏡筒内を強制



第4-1図

循環させ、湿度の高い場合、鏡筒内に水滴の生ずるのを防いでいる。これらは観測時、非観測時にかかわらず運転できる。ブロック図を第4-1図に示す。

#### 4.1.7 カメラ装置

シャッター・チョッパ部、フィルム送り部およびデータ焼込部よりなり望遠鏡中心部に組込まれている。

##### (1) シャッター・チョッパ

フィルム送り方向に対して平行した幅をもつ円弧状の2枚の板を開閉させるはまぐり型シャッターである。チョッパは、シャッターの内側にあり、フィルムのまわりを遮蔽板が回転することにより露出を間欠的にカットする。チョッパの回転は、シンクロナスマータの回転より減速歯車機構を経て行ない、露出時間により、モーター2速度、ギヤ系2速度の合計4速度を作り出す。シャッターの開閉は、ソレノイド作動をギヤ系を経て行なう。

##### (2) フィルム送り機構

70 mm×1,200 feet フィルムを収納する供給マガジンよりフィルムを供給し、ガイドローラによって鏡筒内トンネルを通過し、シャッターチョッパ部のある焦点面を経て、フィルム送信用スプロケット部分を通過して、供給マガジンと相対する巻取マガジンに収納する。供給マガジン、巻取マガジンは、軽合金イモノ製であって着脱交換する。供給マガジンは、残フィルム長さ表示およびフィルムアウトスイッチを有する。フィルム送りは、リバーシブルモータおよび歯車系により、スプロケットの回転より1露出後1駒分送り、巻取はトルクモータにより行なう。

##### (3) データ焼込み

5組の小型数字表示管および書き込みデータを、3枚のミラーおよび投影レンズにより主焦点面横に写し込む機構である。5組の数字表示管は次の通りである。

○ <sup>h</sup> ○ <sup>m</sup> )	1回目のチョップ時刻
○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> )	
○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup>	2回目のチョップ時刻
○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup>	3回目のチョップ時刻
○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup>	4回目のチョップ時刻
○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup> ○ <sup>s</sup>	5回目のチョップ時刻

書き込みデータは、所定のマイラー用紙にエンピツ書きしきし込む。ストロボ照明により時刻データと同様フィルムに焼込む。

#### 4.2 架 台

光学系を含む望遠鏡を支持し、目的の方向に向けたり、トラッキングさせたり、シフトスキップさせたり、日周運動させたりする部分であって、極軸、方位軸、高度軸および追尾軸の4軸をもつ。

##### 4.2.1 基 礎 部

I型鋼(150×125)を溶接して作ったベースプレートを建屋とは独立の地殻岩盤より鉄筋コンクリート固めして埋込み、架台基礎部分をほぼ重心位置で支えている。その重心を中心にして、3方向3個所に方位、水平(東西、南北)を正確に出すための調節機構をもつ。

基礎部分は鋼板溶接構造で水平に対して南北方向  $31^{\circ}15'$  傾いた極軸のための平面を作っている。駆動部や機械的調節部は、すべてめくら蓋でふさぎ、ゴミの付着、発錆を防いでいる。

#### 4.2.2 極 軸

基礎部上に据付けた部分で、地球自転軸（地軸）に平行になるように水平面に対して南北方向に  $31^{\circ}15'$ （据付地点の緯度）傾斜している。軸はおよそ外径 400 mm、内径 300 mm の鋳鋼製で 2 組のアンギュラー玉軸受で支持している。極軸には恒星追尾を行なう恒星時回転のための時計駆動装置とセッティング駆動装置の 2 機構を持っている。また位置検出のためのレゾルバギヤ系も有する。作動範囲は、 $\pm 3^{\circ}$ （表示は  $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ （原点） $\sim 6^{\circ}$ ）である。軸および各ギヤ系はカバーで密封されている。

#### 4.2.3 方 位 軸

極軸の上に組込まれている部分で、地表に対して垂直な軸である。軸は、およそ外径 400 mm、内径 300 mm、長さ 1,150 mm の鋳鋼軸でアンギュラー玉軸受および単軸受で支持されている。原点より右回り  $200^{\circ}$ 、左回り  $200^{\circ}$  の旋回ができ、駆動用ギヤ系および位置検出用ギヤ系が組込まれている。この軸は、二階観測室の鉄板床を貫通しており、上部には、高度軸、追尾軸および望遠鏡本体があり、下部には、極軸に対するバランスウェイトがついている。また方位軸内部およびバランスウェイト中心部を配線用ケーブル、空気パイプが貫通している。

#### 4.2.4 高 度 軸

方位軸上に取付けたフレーム構造部で、高度軸、追尾軸でジンバル構造をなす。極軸、方位軸が片軸であるのに対して高度軸、追尾軸は、両端支持構造である。高度軸は、両端の一方に大型ウォームホイールを含む駆動系および検出用レゾルバ機構を有し、他方に、ブレ止めフランジおよびバランスウェイトを有している。作動範囲は、原点より  $\pm 70^{\circ}$ （表示  $20^{\circ} \sim 90^{\circ}$ （原点） $\sim 160^{\circ}$ ）である。電気的および機械的制限を有する。

#### 4.2.5 追 尾 軸

望遠鏡本体を科学衛星の動きに対して追尾させるもので、八角形状のフレーム中に鏡筒を支持している軸である。一方の軸に駆動系および検出系を組込み、他方の軸にブレ止め用フランジおよび電磁ブレーキを組込んでいる。両軸端に、案内望遠鏡取付部品により案内望遠鏡を主望遠鏡と光軸を合せて取付けている。作動範囲は、原点より  $\pm 70^{\circ}$ （表示は  $20^{\circ} \sim 90^{\circ}$ （原点） $\sim 160^{\circ}$ ）である。

### 4.3 案内望遠鏡

L 型構造をなし、高倍と低倍とを一つの共通接眼レンズを使い、低倍プリズム着脱により高低倍切換えが行なえる構造になっている。焦点鏡は、十字レチクルおよび低倍時におけるフィルム有効視野幅を示す線を有する。フードの色が、原点時に北側のものは黒色、南側のものは白色に色分けしてある。

## 5. 制 御 装 置

### 5.1 概 要

次に科学衛星光学トラッキング装置を駆動、制御するための制御装置について述べる。こ

の装置の主な機能としては、カメラを目的の方向に位置決めすること、写真撮影及び時刻データの発生である。位置決めは、数値制御装置 (NC) を使い、テープ指令により自動位置決めをすることができる。又、写真撮影もテープ指令により各種のモードで自動撮影することができるようになっている。

時刻装置は、撮影のデータとして 0.01 msec までの正確さで時刻データを得ることができる。

## 5.2 機能及び回路構成

### 5.2.1 位置決め

位置決めは、数値制御装置 MELDAS 4200 (三菱電機製) を主体とし、 $0.01^\circ$  単位の位置決めを行っている。

#### (1) 制御方式

位置決めはレゾルバーを位置検出器としたセミクロズドループ方式サーボ系によって構成されている。駆動は DC モーター (低慣性モーター) を、スイッチング方式の TR アンプにより駆動することにより行っている。

指令値に応じてデジタル位相変調器により基準信号の位相を変化させフィードバック信号との位相差により DC モータを駆動するインクリメンタルデジタルサーボ方式をとっている。

第 5-1 図にブロック図を示す。

#### (2) 原点復帰

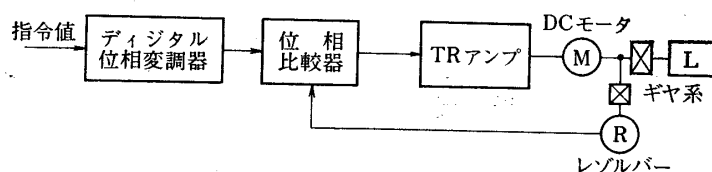
位置決めはインクリメンタル方式であるため、原点以外の位置で電源を ON にした場合は、原点復帰を行い、原点を決める必要がある。

原点復帰の方式は、第 5-2 図に示すように最終的には常に同一方向から位置決めされるような方式をとっている。

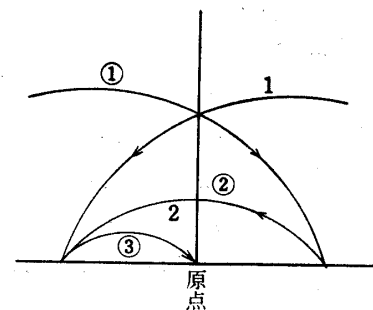
原点検出は、復帰の方向をリミットスイッチで検出し、原点は、レゾルバーの一定位相を電氣的に検出して精度を上げている。

#### (3) 現在値表示

現在値はレゾルバーからの信号の位相変化をデジタル変換し、インクリメンタルパルス



第 5-1 図



1.① : 早送り速度  
2.②, ③: 微動送り速度

第 5-2 図

を発生させ（位置決めのための指令パルスとは異なる。）リバーシブルカウンタにより計数し、表示している。

インクリメンタルパルスであるために電源 ON 時点には正しい値を表示しない。そのために原点復帰回路から原点信号を発生させ原点復帰を完了した時点で自動的に原点の座標をセットし絶対座標を得ている。

ブロック図を第 5-3 図に示す。

#### (4) テープ指令, マニュアル指令

テープ指令で駆動する場合はテープに書き込まれた量だけ (1) 項のデジタル位相変調器を移相し移動量を決定する。

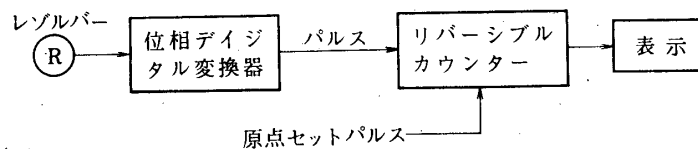
マニュアル指令の場合は駆動鈕を押している間だけ移相し、移動量を決定する。この場合急停止による機械的ショックをさけるために徐々に減速し停止するような時定数を持たせてある。

#### 5.2.2 指令制御部

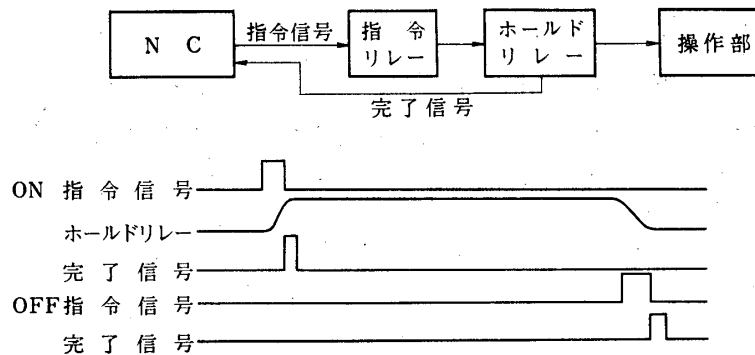
写真撮影等のために次の操作をテープにより指令制御することができる。

- (1) 撮影
- (2) 待ち時間タイマー駆動
- (3) チョッパー起動, 停止
- (4) 時計駆動開始, 停止
- (5) トラッキング開始, 停止

これらの操作は NC により指令信号を与え、外部リレーを作動させホールドすることによって行なう。NC は指令信号を与えるとすぐ次の命令を読み込み次の操作にうつる。よって



第 5-3 図



第 5-4 図

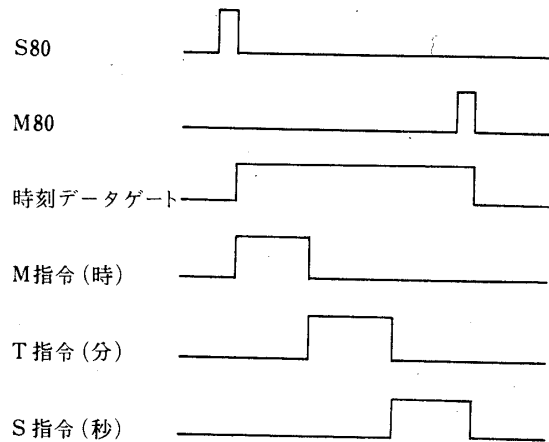


上の操作に関しては指令のみで、動作は NC に無関係に行なわれるようになっている。

第 5-4 図にこの関係を示すブロック図及びタイムチャートを示す。

NC は指令信号に対して完了信号がもどされるとテープを次の命令に進める。そのためこの場合はホールドリレーがホールドしたことを確認し、完了信号を帰している。

この指令信号は、M 指令、T 指令、S 指令、3 種類があり（詳細は MELDAS 取扱説明書参照）操作内容により使い分けている。



第 5-5 図

### 5.2.3 時刻一致

テープ指令により時刻データを読込ませ、その時刻に次の命令をスタートさせることができる。

時刻データは、M、T、S の指令信号を使い、BCD (1, 2, 4, 8) コードでリードリレーされる。この際時刻データと他の指令とを区別するために特別な命令 (S80, M80) を与え、この間の指令信号を時刻データとしている。

第 5-5 図にこのタイムチャートを示す。

### 5.2.4 トラッキング

トラッキング速度はタコジェネレーター速度帰還によるアナログ速度サーボ方式をとっている。速度指令は DC 電圧で与えられるが、マニュアルの場合はポテンシオメーターで連続的に与えられ、オートの場合は時刻データと同様に BCD コードで与えられる。第 5-6 図にブロック図を示す。

### 5.2.5 露出制御

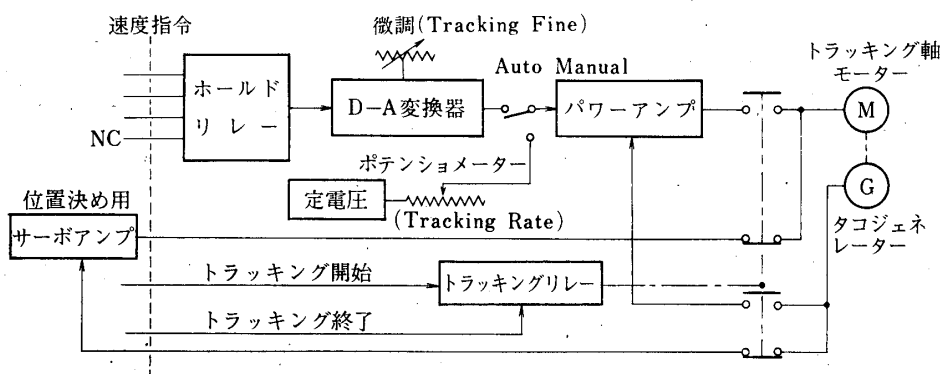
写真撮影のための露出はチョッピングとの同期をとるためにチョッパーに取付けられた同期信号発生器よりのクロックパルスに同期して制御される。同期信号発生器にはマグネセンサー (SONY 社製) を使用し十分な位置精度を上げている。

同期パルスはチョッパーの閉位置に対応する A 相と開位置に対応する B 相の 2 相クロックを用い A 相を露出制御に用い、B 相を時刻データ記録用のコマンドパルスとして用いている。A 相クロックはカウンタにより計数され第 1 のパルスでシャッターを開け第 6 のパルスでシャッターを閉じるように制御信号を発生する。更に露出の繰り返しは露出時間の 4 倍の周期に決められている。従ってチョッパーの回転数を変えることによって比例的に露出時間、露出間隔を変えることができる。第 5-7 図にタイムチャートを示す。

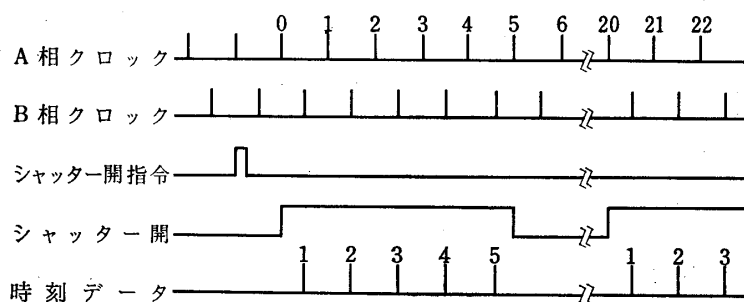
## 5.3 時刻装置

### 5.3.1 概要

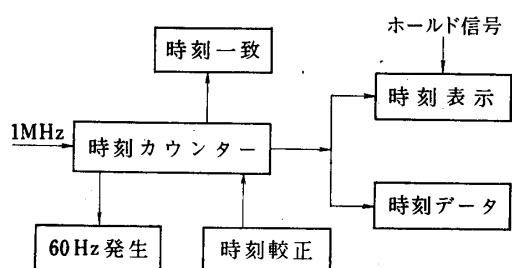
シュミットカメラでの撮影に必要な時刻信号を与える。この装置は 1 MHz 基準信号を入



第 5-6 図



第 5-7 図



第 5-8 図

力とし、次の出力信号を得ている。

- ・時刻データ出力 撮影時の正確な時刻をフィルムへ焼込むための出力
- ・時刻一致出力 撮影を自動スタートさせるための出力
- ・60 Hz 出力 チョッパーを回転させるための出力
- ・周波数出力 100 kHz, 1 kHz, 60 Hz, 1 Hz

### 5.3.2 構成

本装置は次の各部より成り立っている。(第 5-8 図参照)

#### 5.3.3 時刻カウンタ

1 MHz の入力信号を通減して  $10^1h$  から  $10^{-2}msec$  の時刻信号を得る。

1 MHz ON OFF スイッチ及び RESET 釦 (MCD 前面ボックス内) により、入力信号の ON OFF 及びスケーラーのリセットができる。入力信号は次の規格に規定されている。

波 形 正弦波又は矩形波  
 周波数 1 MHz  
 安定度  $10^{-10} \sim 10^{-11}$   
 振 幅  $0.5 V_{rms} \sim 3 V_{rms}$

出力インピーダンス  $75\Omega$

#### 5.3.4 時刻表示

時刻カウンターの内容は、時刻表示部の記憶回路にメモリーされ表示される。

記憶表示の方式は次の5つを前面パネルのロータリースイッチで切り換えることができる。

(1) 1PPS……カウンタよりの1Hz信号によりメモリーされる。従って1秒未満の数字は常に00000になる。

(2) MANUAL……パネル面の押釦スイッチ (HOLD) を押した時の時刻を表示する。

(3) REFSIG……外部時計からの信号により記憶表示する。従って外部時計との時刻差を測定できる。

(4) CAMERA……撮影時、シャッター開中の3回目のチョップ時のクロックパルスで記憶表示する。

(5) FREE……記憶なしにカウンターの内容をそのまま表示する。

#### 5.3.5 時刻校正

カウンターの内容を正しい時刻に校正するために校正回路を有している。

校正はJJY及びロランCの信号及び他の基準時計により行なうことができる。

(1) JJYによる校正

JJYの秒信号と時刻装置より1Hzの出力との位相をシンクロスコープにより比較して $10^{-2}\text{sec}$ の桁までの校正をすることができる。

(2) ロランCによる校正

ロランC受信機よりの997msecごとの基準パルスを秒に一致する時刻のパルスのみサンプリングし $10^{-1}\sim 10^{-5}\text{sec}$ まで校正することができる。この場合ディジススイッチにロランC信号の伝播時間、受信機内の遅れ時間等をセットすることによりこれらの誤差も校正することができる。

#### 5.3.6 時刻データ

時刻カウンターの内容を写真撮影時にデータ記録するために、シャッター開中の5つのクロックパルスによってクロックパルス発生時点の時刻を記憶表示する。

又、他のデータ記録のためのストロボ発光を第1のクロックパルスで行っている。

#### 5.3.7 60 Hz 発生

チョッパーを回転させるための60Hzを発生する。この60Hz信号は1MHz信号からPLL (Phase Lock Loop) 方式により得ている。

#### 5.3.8 出力信号

出力信号のうち100kHz、1kHz、1Hzはduty 1:8のパルス出力で、この立下り部分が時刻に一致している。

## 6. 試験結果

### 6.1 4軸の原点位置の設定

#### 6.1.1 極軸の原点位置の設定

方位軸の上端面に $40''/2\text{mm}$ 読みの水準器を載せ、方位軸を東西へ各 $180^\circ$ の範囲を回転

させて架台の整準ねじの高さおよび極軸の回転方向の修正を行ないながら方位軸の鉛直を出した。次に極軸の南側端面に（この端面は極軸に対して十分に直角が保証されている）平行平面反射鏡を張りつけ、トランシットにより太陽の南中をとらえて方位を固定しオートコリメーションさせてこの方位に合せて極軸の方位を設定した。この作業の間も常に水準器による方位軸の垂直変化を監視し続け変化のない事を更にオートコリメーション像がトランシットの焦点鏡十字線に合致している事を確認してこの位置を極軸の原点と見なしレゾルバーの出力をゼロに設定した。

### 6.1.2 高度軸、追尾軸の原点位置の設定

極軸の原点を設定した状態でシュミット補正板の上面に水準器を 2 個載せ 1 個は追尾軸の回転方向に合せ他の 1 個は高度軸の回転方向に合せたのち追尾軸および高度軸を回転させて水準器の読みがそれぞれ完全に水平になった位置をそれぞれの軸の原点と見なしその位置でレゾルバーの出力をゼロに設定した。

### 6.1.3 方位軸の原点位置の設定

追尾軸のファインダー取付軸に平行平面反射鏡を張りつけた専用工具をはめ込み、二階の床にトランシットを三脚により据付けて再び太陽の南中をとらえて方位を固定しトランシットと反射鏡でオートコリメーションしオートコリメーション像がトランシットの焦点鏡十字線に合致する様に方位軸を回転しこの位置を方位軸の原点と見なしてこの位置でレゾルバーの出力をゼロに設定した。

## 6.2 4 軸の可動範囲の測定

鏡筒の各軸を原点より電氣的制限まで駆動させてそのときの角度を制御盤の現在位置表示カウンターで読みとりこの値を各軸の可動範囲と見なした。各軸の可動範囲は第 6-1 表に示す。

第 6-1 表

軸 名 称	可 動 範 囲			
	E 方 向	4.0°	W 方 向	4.35°
極 軸	E 方 向	198.8°	W 方 向	202.2°
方 位 軸	S 方 向	66.0°	N 方 向	65.8°
高 度 軸	E 方 向	69.6°	W 方 向	69.8°
追 尾 軸				

### 6.3 4 軸の角度設定誤差および原点復帰誤差の測定

鏡筒を 1 項の原点位置に設定し各軸の回転方向に平面反射鏡を取付けオートコリメーション接眼レンズ付のトランシットを用いてコリメーションして視準したのちテープ指令によって鏡筒を駆動させ、その指令値とトランシットでオートコリメーションさせて測定した。値の差を求めてこれを角度設定誤差とした。駆動角度測定後直ちに原点復帰のテープ指令を行い再びトランシットによりオートコリメーションし最初に設定した原点位置からのずれを測定しこの値を原点復帰誤差とした。角度設定誤差および原点復帰誤差は第 6-2 表に示す。

第6-2表

	テープ指令 角 度		角 度 設 定 誤 差			原 点 復 帰 誤 差		
			最大誤差	最小誤差	平 均 値	最大誤差	最小誤差	平 均 値
追 尾 軸	W 方 向	10°	+2'50"	+1'25"	+2'10"	-1'32"	-1'02"	-1'12"
		20°	+2'47"	+1'18"	+2'14"	-1'35"	-1'01"	-1'12"
		30°	+3'06"	+2'13"	+2'42"	-1'41"	-1'03"	-1'14"
		40°	+2'07"	+1'36"	+1'50"	-2'05"	-1'08"	-1'29"
		50°	+2'40"	+2'03"	+2'25"	-2'02"	-1'05"	-1'26"
		60°	+3'08"	+2'47"	+2'55"	-2'18"	-1'15"	-1'49"
	E 方 向	10°	-5'47"	-5'25"	-5'38"	-2'01"	-1'02"	-1'11"
		20°	-5'04"	-4'39"	-4'53"	-2'02"	-1'06"	-1'27"
		30°	-5'25"	-5'07"	-5'18"	-2'09"	-1'08"	-1'31"
		40°	-5'42"	-5'08"	-5'28"	-2'12"	-1'12"	-1'43"
		50°	-4'12"	-3'22"	-3'58"	-2'09"	-0'53"	-1'11"
		60°	-4'01"	-3'21"	-3'48"	-1'23"	-0'21"	-0'59"
高 度 軸	S 方 向	10°	-1'35"	-0'57"	-1'10"	+0'58"	-0'37"	+0'20"
		20°	-1'42"	-0'58"	-1'15"	+1'25"	+0'38"	+1'00"
		30°	-1'23"	-0'57"	-1'10"	+1'31"	+0'41"	+1'00"
		40°	+0'26"	-0'15"	+0'15"	-0'58"	-0'04"	-0'27"
		50°	+1'06"	+0'13"	+0'45"	-1'11"	-0'06"	-0'40"
		60°	+1'03"	+0'21"	+0'45"	-1'10"	+0'02"	-0'37"
		65°	-0'52"	-0'18"	-0'35"	-1'13"	+0'04"	-0'39"
	N 方 向	10°	+1'23"	+1'02"	+1'17"	+1'28"	+0'16"	+0'55"
		20°	+0'50"	+0'11"	+0'21"	+1'57"	+1'08"	+1'32"
		30°	+1'52"	+1'13"	+1'39"	+1'32"	+0'14"	+0'52"
		40°	+0'59"	+0'02"	+0'32"	+1'14"	+0'03"	+0'39"
		50°	+0'54"	-0'14"	+0'12"	+1'42"	+0'17"	+0'51"
		60°	+0'49"	+0'03"	+0'25"	+1'48"	+0'17"	+0'56"
		65°	+0'12"	+0'16"	0	+1'59"	+1'02"	+1'32"
方 位 軸	W 方 向	20°	+1'53"	+1'11"	+1'37"	-2'14"	-1'18"	-1'47"
		40°	+2'42"	+2'02"	+2'19"	-2'20"	-1'21"	-1'47"
		60°	+2'50"	+1'48"	+2'12"	-2'31"	-1'25"	-1'54"
		80°	+2'37"	+1'23"	+2'07"	-2'13"	-1'13"	-1'47"
		100°	+3'47"	+2'51"	+3'14"	-2'38"	-1'15"	-1'54"
		120°	+3'59"	+3'01"	+3'34"	-2'38"	-1'12"	-1'54"
		140°	+3'08"	+2'06"	+2'47"	-2'43"	-1'16"	-1'59"
		160°	+3'57"	+3'11"	+3'34"	-2'57"	-2'01"	-2'22"
		180°	+4'02"	+3'15"	+3'42"	-2'59"	-1'54"	-2'22"
		200°	+3'52"	+2'56"	+3'27"	-3'13"	-1'53"	-2'24"
	E 方 向	20°	-5'53"	-4'58"	-5'24"	-3'15"	-1'51"	-2'23"
		40°	-4'52"	-4'02"	-4'30"	-3'13"	-1'48"	-2'20"
		60°	-3'51"	-3'03"	-3'27"	-2'58"	-1'42"	-2'16"
		80°	-4'39"	-3'55"	-4'14"	-2'46"	-1'31"	-2'07"
		100°	-3'53"	-3'10"	-3'39"	-2'42"	-1'29"	-2'07"
		120°	-4'28"	-3'31"	-4'00"	-2'38"	-1'32"	-2'07"
		140°	-5'21"	-4'37"	-4'59"	-2'41"	-1'35"	-2'07"
		160°	-4'52"	-4'09"	-4'37"	-2'45"	-1'37"	-2'07"
		180°	-5'13"	-4'39"	-4'54"	-2'46"	-1'30"	-2'21"
		200°	-5'15"	-4'46"	-5'07"	-2'21"	-1'16"	-1'52"

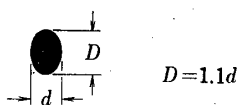
第 6-3 表 (鏡筒の安定性)

	加えたトルク (kg-cm)	鏡 筒 変 位 角	
		マグネット ON	マグネット OFF
追 尾 軸	1.8	0	5"
	5.4	0	10"
高 度 軸	2	0	0"
	6	0	10"
方 位 軸	2.6	0	0
	7.8	0	2'20"
極 軸	2	0	0
	6	0	10"

(極軸による星の追尾精度)



Exp=10min



星像の流れ量の測定

第 6-1 図

#### 6.4 鏡筒の安定性の測定

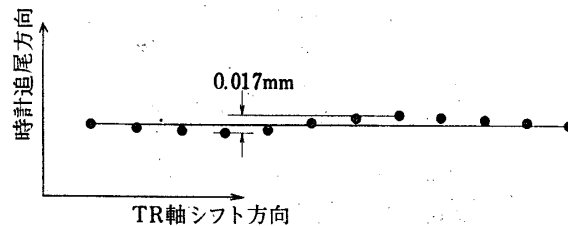
各軸の回転方向に平面反射鏡を取り付けてオートコリメータを用いてコリメーションし各軸の回転方向にトルクを加えたときの変位角を測定した。この測定はマグネットブレーキを作動させたとき、および作動させないときの両方について測定した。その結果は第6-3表に示す。

#### 6.5 極軸による星の追尾精度の測定

極軸の時計モータを駆動させて高倍用案内望遠鏡の焦点鏡中心に合致させた星像を20分間追尾させて焦点鏡中心に対して星像のずれ量を観測したがほとんどずれは認められなかった。同時に10分間露出の写真を撮影し星像の流れ量を工具顕微鏡で読みとった。測定結果は第6-1図に示す。

#### 6.6 極軸の時計ウォームの送り精度の測定

シュミットカメラのフィルム面上に適当な恒星が撮影出来る様にガイドして時計駆動による星の追尾を始める。時計ウォームの1回転に要する時間を10等分しウォームの1/10回転ごとに1個の星像を撮影し撮影終了と同時に時計追尾方向の直角方向へ高度軸にて（又は追尾軸）次の撮影による星像が重ならない程度に送りをかけて停止し次の撮影に入る。撮影は同一の星を用いて行ないウォームが1回転する間に合計11個の星像を撮影しこのフィルムを現像したのち微動載物台付の投影機を用いて11個の星像が両端の星像の中心を結ぶ直線上に配列しているかどうかを観測した。11個の星像が直線に対して出入りしている最大幅を主鏡の焦点距離で除した値を角度で表しこの値を時計ウォームの送り誤差とした。



Exp : 2sec  
TR軸Shift : 0.3°  
時計ウォームの送り誤差約4.7'

第6-2図

測定結果は第6-2図に示す。

#### 6.7 追尾軸速度の測定

追尾軸の一端にスパーギヤーを取付け、2000パルスのロータリーエンコーダー軸にギヤーを取付け追尾軸のギヤーと噛み合せ、エンコーダを高度軸のフレームに固定した、この状態で追尾軸をAuto及びMANUALにより駆動させてそのときの2000パルスエンコーダの出力周波数を周波数カウンターで計数し追尾軸の角速度に換した。測定結果は第6-4表に示す。

#### 6.8 チョッピングと時刻データ合致の測定

チョッパーの回転軸のマグネセンサー出力が0Vのときのチョッパーの位置を主鏡底部のカセグレン穴より写真撮影しフィルムのアパーチュアの両端からチョッパーのエッジまでの距離をそれぞれ工具顕微鏡で測定した。

測定結果はフィルムの中心に対してチョッパーの中心のずれ量は0.05mmであった。

#### 6.9 チョッピングの安定性の測定

チョッパーを駆動させてマグネセンサーの出力をユニバーサルカウンターに入れてマグネ

第 6-4 表

(追尾軸速度の測定)

AUTO			
テープ値	設定速度 ("/sec)	設定速度誤差 (%)	速度ムラ (%)
T 1	10	+3.3~-2.0	5.25
T 2	20	+0.8~-0.3	1.00
T 4	40	+0.3	1.00
T 8	80	+0.2	0.50
T10	100	+0.22~-0.25	0.48
T20	200	+0.08	0.17
T40	400	+0.15	0.12
T80	800	+0.08	0.12
S 1	1000	+0.23	0.10
T77	770	-0.65	0.12
T99	990	-0.05	0.13
S1T77	1770	-1.65	0.12
S1T99	1990	-0.12	0.09

MANUAL			(単位 %)
設定速度	設定速度誤差	速度ムラ	
100"/sec	-0.03	0.02	
500"/sec	-1.85	0.15	
2000"/sec	+0.03	0.20	

第 6-5 表

(チョッピングの安定性)

露出時間 (秒)	平均値 m sec	最大値 m sec	最小値 m sec	幅 m sec
0.5	100.11	100.23	99.88	0.35
1.2	200.01	200.54	199.54	1.00
2.0	399.77	400.16	399.26	1.00
4.0	799.98	800.96	799.87	1.09

センサー出力の繰り返し時間をカウンターで読みとった。測定結果は第 6-5 表に示す。

#### 6.10 シャッター指令からシャッターが開閉するまでの遅れ時間の測定

シャッター指令信号をトリガーにして、リレーが動作するまでの遅れ時間をシンクロスコープで測定した。同様にリレー信号をトリガーにしてシャッター用ロータリーソレノイドにフレームを取付けシャッター閉の位置と全開の位置に接点を設置してその接点の OFF ON までの遅れ時間を測定した。

##### (1) リレーの遅れ時間 15 m sec



- (2) リレーからシャッターが動き始めるまでの時間 61.7 m sec
- (3) リレーからシャッターが全開するまでの時間 155 m sec
- (4) リレーからシャッターが閉じるまでの時間 350 m sec

#### 6.11 画角の測定

トランシットを用いてシュミット補正板側からフィルム画角を測定した。

画角  $13.6^{\circ} \times 4.0^{\circ}$

#### 6.12 主鏡の焦点距離の測定

既知角度の2つの星を撮影しフィルム上の星像の間隔を測定して計算により求めた。

$f$  752 mm

#### 6.13 主鏡に対するフィルム面の傾き修正

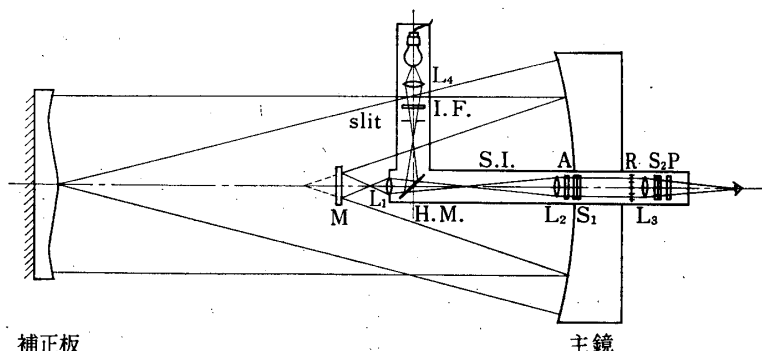
据付完了時点では焦点位置およびフィルム面の主鏡に対する傾きは未修正であるのでこれを修正する必要がある。フィルム面の傾きの修正は全面について同時に修正する事は極めて困難であるので一方向について行い次にそれと直角方向について行った。初めはかなり粗く行い次第に微小に行った。

カメラ部にフィルムを装填し極軸の時計駆動を開始し最初の1回目の撮影を行い次に撮影する星像が重さならぬ様にシフトするために時計駆動を10秒間停止させた後再び時計駆動を開始し東西方向のインバーのうち東側のインバーをINの方向に西側のインバーをOUTの方向にそれぞれ2mmずつ送り込みフィルムは巻きとらないでそのまま2回目の撮影を行い時計駆動を10秒間停止し以下順次同様の操作をくり返して10回撮影を行った。この操作により同じ星による大きさの異なった10個の星像が直線上に並んで同じフィルム面に撮影されたことになる。このフィルムを現像し乾燥してから顕微鏡により星像を観察してフィルム画角の東西方向の両端における星像がフィルム中央の星像に最も近い大きさのものを選び出してそれに対応するインバーの目盛を記録しておいたメモから選び出してその位置にインバーのマイクロメータの目盛を設定する。この操作でフィルム画角の東西方向はインバーの位置で少なくとも2mm以内に傾きが修正されたことになる。フィルム面の傾きは主鏡自体の傾きをかえて行うために補正板と主鏡のアライメントも同時にくずれてしまうのでその都度補正板と主鏡のアライメントをやり直す必要がある。東西方向の粗い修正が完了したので次に南北方向の傾きを修正しなければならない。南北方向のインバーは南側の1個所しかないので東西方向のインバーを固定したままで南側のインバーのみを操作して東西方向の修正と同様の操作を行い粗修正した。傾きの粗修正が完了したので今度は焦点位置を設定するために3個所のインバーをそれぞれ2mmずつ同方向に送り込みながら星像を撮影しこれを現像し乾燥して顕微鏡により観察して最も小さい星像を選び出してこれに対応するインバーの位置にマイクロメータの目盛を合わせる。これで焦点位置は最良焦点位置に対して少なくとも2mm以内に設定されたことになる。

次に最良焦点位置をもう少し小さい範囲で設定するためにあらかじめ3個所のインバーをOUT FOCUS 方向に1mmだけそれぞれ送ってこの点を最初の星像撮影点として以下0.5mmずつインバーをIN FOCUS 方向に送り込みながら前回と同様の操作を行い更に傾きの修正も0.5mmピッチの撮影を行って最後に0.03mmピッチの撮影テストを行ってフィル



第6-3図



補正板

主鏡

M : 表面反射鏡  
 I.F. : 干渉フィルター (e 線)  
 S.I. : シアリング干渉計  
 L<sub>1</sub> : 顕微鏡対物レンズ  
 L<sub>2</sub> : コリメーターレンズ  
 L<sub>3</sub> : 接眼レンズ

L<sub>4</sub> : 集光レンズ  
 A : アナライザー  
 P : ポラライザー  
 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> : サバール板  
 R : 焦点鏡  
 H.M. : ハーフミラー

第6-4図

ム面の主鏡に対する傾きと、最良焦点位置を設定した。

0.03 mm ピッチの撮影データは第6-3図に示す。

#### 6.14 鏡筒の姿勢差による星像テスト

フィルム面の主鏡に対する傾きの修正および最良像点位置が設定されたので次に鏡筒の姿勢差によって星像に変化が生じるかどうかのテストを行った。

鏡筒が垂直のときに撮影した星像に比較して鏡筒を東西南北に各 60 度傾けたときに撮影した星像がいずれも変化のないことを確認した。

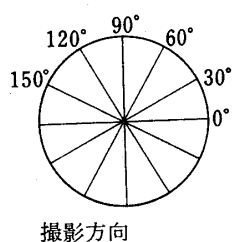
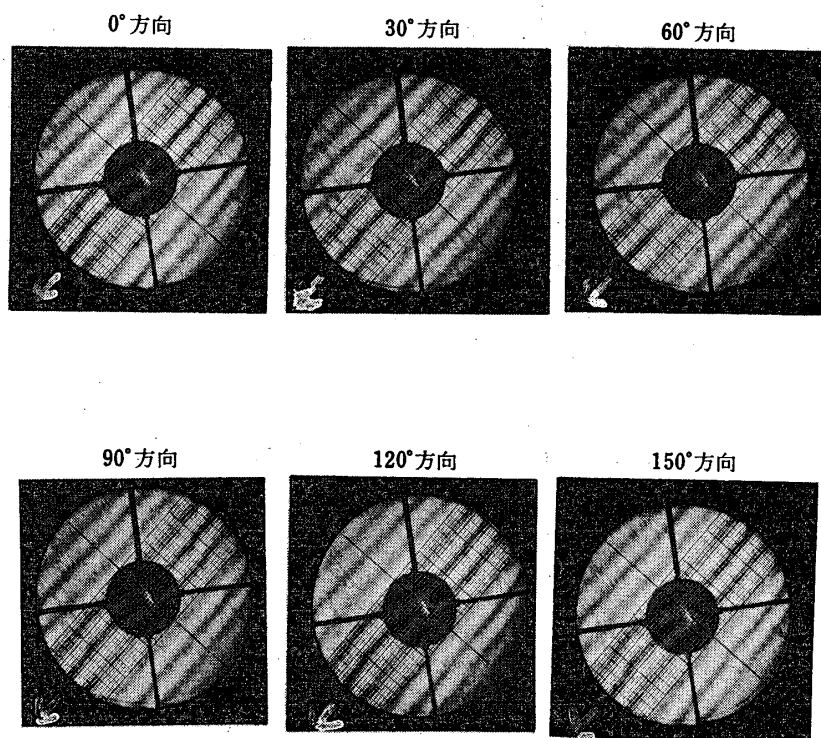
#### 6.15 シュミット補正板の検査

主鏡との組合せにより第6-4図の様に補正板のうら面を反射面としたオートコリメーション方式にセットし、シアリングテスト法を用いて、横収差量を測定した。横収差量は干涉縞の変形より促えることができる。

補正板の各方向に於ける横収差量は補正板をまわし、30 度毎に測定を行った。

横収差量と焦点面に於ける干涉縞のずれ量の関係は次式で与えられる。

$$X = \frac{1}{2m} \cdot \frac{f_1}{f_2} \cdot \frac{t_2}{t_1} \Delta y$$



使用波長：e線5461Å  
横収差量：0.02mm/1目盛

第 6-5 図

$X$  : 横収差量

$m$  : 顕微鏡対物レンズの倍率……………10 倍

$f_1$  : コリメータレンズの焦点距離 ……100 mm

$f_2$  : 接眼レンズの焦点距離……………25 mm

$t_1$  : サバール板  $S_1$  の厚さ…………… 3 mm

$t_2$  : サバール板  $S_2$  の厚さ…………… 3 mm

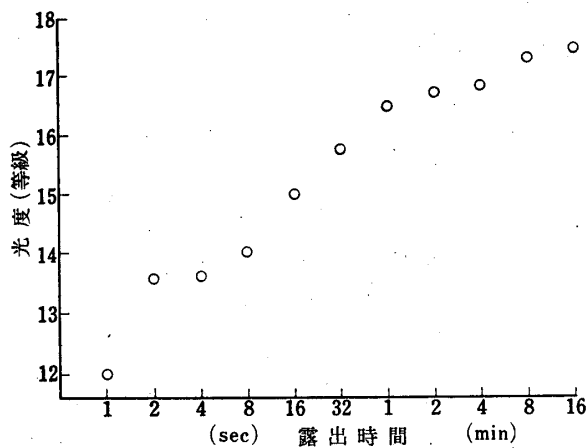
$\Delta y$  : 焦点面上での干渉縞のずれ量

以上の数値を代入して計算すると、焦点鏡 1 目盛 (0.1 mm) に対する横収差量は 0.02 mm となる。

撮影結果は第 6-5 図に示す。

#### 6.16 極限等級のテスト

北極標準星野の撮影によってこのカメラの極限等級を調査した。方法は極軸を作動させな



第 6-6 図

がらカメラを赤緯  $90^\circ$  に向けて露出時間を次々に変えて撮影する。現像処理したフィルムをルーペで調べ、検出できた最微光星の等級を縦軸に、横軸に露出時間をとって第 6-6 図に示す。

フィルム: KODAK 2475 レコーディングフィルム: 現像: DK 60a, 液温:  $20^\circ\text{C}$ , 6 分間現像, 露出 2 分以上はフィルムの相反則不軌があらわれている。人工衛星の場合には追尾精度にもよるが, 3 等級位能率が低下するものと考えられる。

## 7. 結 言 と 謝 辞

以上, 本科学衛星光学トラッキング装置は東京天文台での Baker-Nunn カメラを使用した経験を豊富に取り入れて, これと同等以上の性能を持ったカメラ装置として製作され, 光学系, 機械系, 制御系とも仕様性能を充分満足する試験結果が得られた。

今後, この装置の性能を十二分に活かして, 衛星の観測に, 天文観測に役立てていきたいと思っている。

おわりに, 本装置の仕様決定から設計, 製作に至るまでの間, 御尽力いただいた宇宙研の研究班のメンバー, 東京天文台天体掃索部ならびに関係各位に深謝するとともに日本光学工業株式会社の設計, 製造, 調整等の担当の諸氏に厚く御礼申し上げる。

1974 年 5 月 30 日 新設部 (工学)

東京大学

宇宙航空研究所報告 第10巻第3号(A)

正誤表

科学衛星光学トラッキング装置II

誤

正

P410 7行目      ○視野  $2^{\circ}$       —————→      ○視野  $3^{\circ}$

P422  
17行目～18行目      リードリレーされる      —————→      リードリレーでメモリーされる

P428  
第6-2図      時計ウォームの送り誤差約  $4.7^{\circ}$       —————→      時計ウォームの送り誤差約  $4.7''$

---