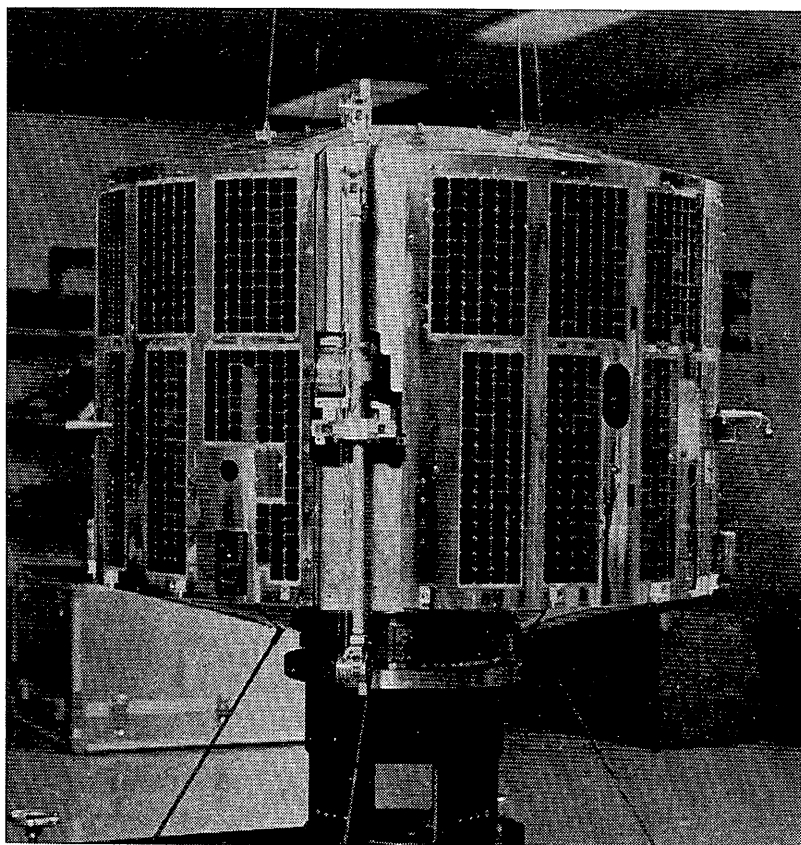


科学衛星EXOS-A 中間報告書



昭和 52 年 7 月

東京大学宇宙航空研究所科学衛星専門委員会

第 35 研究班



## 序

平 尾 邦 雄

第5号科学衛星 (EXOS-A) は第6号科学衛星 (EXOS-B) と共にわが国が国際磁気圏観測計画 (IMS) に参加するための科学衛星である。IMSは昭和51年1月より54年12月にわたって行われ、多くの地上観測、ロケット観測および気球観測と共に、はじめて多くの人工衛星を組織的に使って地球磁気圏の研究を行なう計画である。わが国のこの二つの衛星のうちEXOS-Bは地球上40,000 kmまでの磁気圏の中に直接進入して、波動や粒子等の観測を行うが、EXOS-Aはこれに呼応して、準極軌道を取りながら、磁気圏現象の地球近くへの一つの出口である極域におけるオーロラとその関連現象の観測を一つの柱として、磁気圏、プラズマ圏、電離圏の相互作用の研究を目的とする衛星である。

その搭載機器と観測目的を列挙すれば次の通りである。

### 紫外線によるオーロラ撮像装置

今迄可視域によるオーロラの撮像は米国やカナダの衛星によって行われている。しかし多くの場合衛星の運動又はスピンを利用して撮ったものであり、部分的で且つかかなりの時間を費して作られたものである。この衛星では広角結像系とテレビ方式を使用して短時間の露出により全オーロラを一度に撮像する。これにより、地上の多数観測点からの可視域のオーロラ観測と対比することにより、オーロラの形態および可視と紫外のオーロラ像の対応を研究することができる。使用する波長域は1300 Åを中心とした真空紫外領域であり、大気光特に中間紫外領域のそれとのコントラストをとるために $KB_{\gamma}$ 光電面をもった特殊な撮像管の開発も行った。衛星の情報伝送能力との関係もあり、十分な像を数多くとることはできないがオーロラの研究に一つの新しい資料を得ることができるものと思われる。

### 低エネルギー電子のエネルギースペクトル観測装置

オーロラを起したオーロラに伴って作られる二次的な電子の観測は今迄も米国、カナダ、ヨーロッパ連合の衛星によって行われてきた。EXOS-Aでは前にのべたオーロラの撮像と同時にこの観測を行うことによりオーロラのメカニズムに対し、より進んだ研究を行うことができる。特に使用する装置のエネルギー領域をかなり低くまでひろげた事によってオーロラ粒子と二次電子の組成をくわしく調べることができるようにしている。更に同時に搭載しているプラズマ波の観測装置との同時観測によりプラズマ波発生機構の研究に役立つものである。更に中低

緯度において磁力線にそった成分の観測を行うことにより、両半球を往復する電子のエネルギー授受機構の研究を行うこともできる。

#### プラズマ波動観測装置

極地において種々の興味あるプラズマ波動の存在することはよく知られた事実である。しかしこの波動の性質および発生機構、伝ばん機構等については未だ充分な研究が行われていない。この装置ではプラズマカップを感知器としたプラズマ波を磁力線に沿った成分とそれに直角な成分とにわけて観測を行い、またダブレットアンテナを用いて低周波電磁波動の観測を行う。プラズマ波動はその発生機構についてはビームとプラズマの相互作用、または波と波の相互作用等が考えられており、前述の電子のエネルギースペクトル観測装置との同時観測により、発生消滅機構等の解明に貴重な資料を得ることが出来ると思われる。

#### 真空紫外域大気光観測装置

電離圏、磁気圏の中には種々の大気光が存在する。これらは、化学的な発光、荷電粒子の衝突による発光、あるいは荷電交換による発光等々が考えられ、磁気圏内のエネルギー過程を研究するためにも重要な役割をもつものである。この観測装置では、酸素ヘリウムおよび水素の中性およびイオンの発光線の強度観測を行うものであり、衛星の軌道および姿勢の変化を利用してこれらの大気光の全天分布を測定する。

#### イオン質量分析器

四重極型のイオン質量分析器を用いて質量数1から16までの質量スペクトルの観測を行う。電離圏、磁気圏の境界領域のイオン組成の観測は、この衛星の使命とする両領域の相互作用の研究にとって極めて重要な事柄であり、磁気嵐に際して生ずる大規模な擾乱の研究にはかくとのできない資料である。

#### 電子密度および電子温度観測装置

この衛星による研究の場はプラズマで満されている所である。この衛星ではラングミュア探針により電子密度および温度を、また電子温度計を用いて電子温度の測定を行う。この衛星は70度前後の高緯度迄運行するのでプラズマ圏に関する情報を得ることができる他、「たいよう」衛星で見出された南大西洋上空の異常現象を南北に移動して観測を行うことができる。更に太陽活動度も「たいよう」衛星のときより増大することも考えられ、磁気嵐等の現象も出現すると考えられ、これらに伴うTIDの現象等も観測することができるであろう。



これらの観測を行うために、EXOS-Aは沿磁力線姿勢制御を行う。この技術は「たんせい3号」により試行されており、観測に必要な精度で姿勢制御は行われ得る。

また、おなじく「たんせい3号」によって試みられたプログラマブルタイマーも搭載しており、データ取得の範囲は非常に増大している。

EXOS-Aのデータ取得について特筆すべきは、はじめて多点でテレメータ観測を行うことである。鹿児島宇宙空間観測所は勿論主局であるが、その他にカナダのチャーチルにカナダ国立研究院の援助を得てテレメトリおよびコマンドの地上局をおき、リアルタイムの観測を行う。これによりオーロラおよびそれに関連したデータ取得量は内之浦一局のみの3倍以上に達するものと考えられる。更に南極の昭和基地にある国立極地研究所のテレメータ地上局でも、同研究所との共同研究としてリアルタイムの観測を行う。これによりプラズマ波動およびそれに関連するデータを多量に取得することができる。

第5号科学衛星のプロジェクトは、IMSのために計画されたものではあるが、わが国の科学衛星としてはじめて多数局による観測という大規模のものとなった。今後の科学衛星計画を立てるためにも大きな参考になるものと期待している。

簡単に第5号科学衛星計画についてのべ、中間報告書の序文とする次第である。以下衛星について各サブシステム毎に詳細な報告がかかれる。計画としては軌道、観測計画等書くべき事が他にも多くあるが、ここでは衛星の中間報告書の序文としての性格から割愛させていただいた。



# 目 次

序 .....	平 尾 邦 雄
EXOS - A 衛星のミッション概要 .....	伊 藤 富 造

## 第 1 章 観測機器各論

1.1 オーロラ撮像 (ATV) .....	金 田 栄 裕 他 .....	1
1.2 極紫外グローの観測 (AUV) .....	中 村 正 年 他 .....	17
1.3 電子エネルギースペクトルの観測 (ESP) ..	平 尾 邦 雄 他 .....	22
1.4 正イオン組成の観測 (MSP) .....	巖 本 巖 他 .....	29
1.5 電子温度の観測 (TEL) .....	平 尾 邦 雄 他 .....	37
1.6 電子密度の観測 (NEL) .....	平 尾 邦 雄 他 .....	46
1.7 静電プラズマ波の観測 (ESW) .....	中 村 良 治 他 .....	53

## 第 2 章 姿勢制御, 検出機器

2.1 ヨーヨーデスピナ (YO-YO) .....	二 宮 研 究 室 他 .....	63
2.2 姿勢安定化磁石 (MAG) .....	二 宮 研 究 室 他 .....	64
2.3 スピンライブラーションドンパ (SLD) ...	二 宮 研 究 室 他 .....	66
2.4 地磁気姿勢計 (GAS) .....	二 宮 研 究 室 他 .....	73
2.5 太陽方向検出器 (SAS) .....	河 東 田 研 究 室 他 .....	78

## 第 3 章 共通機器

<del>3.1 加速度計測装置 (YSA) .....</del>	<del>森 研 究 室 他 .....</del>	<del>83</del>
3.2 環境計測装置 (HK) .....	後 川 研 究 室 他 .....	88
<del>3.3 シーケンスタイフ系 (EST-SA) .....</del>	<del>秋 葉 研 究 室 他 .....</del>	<del>96</del>
<del>3.4 通信系 .....</del>	<del>野 村 研 究 室 他 .....</del>	<del>107</del>
<del>3.5 コマンドデコーダ (CMD) .....</del>	<del>野 村 研 究 室 他 .....</del>	<del>128</del>
3.6 データ処理系 (ENC, DR) .....	野 村 研 究 室 他 .....	135
<del>3.7 プログラムタイフ (PRT) .....</del>	<del>林 研 究 室 他 .....</del>	<del>145</del>
<del>3.8 アンテナ系 (ANT) .....</del>	<del>斉 藤 研 究 室 他 .....</del>	<del>151</del>

## ~~第4章 電源系~~

<del>4.1 電源系</del>	<del>後川研究室他</del>	<del>161</del>
<del>4.2 太陽電池パネル（SCP）</del>	<del>後川研究室他</del>	<del>163</del>
<del>4.3 電源系コンバータ（CNV）</del>	<del>林研究室他</del>	<del>169</del>
<del>4.4 蓄電池（BAT）</del>	<del>後川研究室他</del>	<del>173</del>
<del>4.5 電力制御器（PCU）</del>	<del>後川研究室他</del>	<del>181</del>
<del>4.6 電源系接続回路（JNC）</del>	<del>林研究室他</del>	<del>189</del>
<del>4.7 イグナイタ電源（IG-PS）</del>	<del>林研究室他</del>	<del>193</del>
<del>4.8 電力解析</del>	<del>後川研究室他</del>	<del>195</del>

## ~~第5章 構造，計装，熱設計，信頼性~~

<del>5.1 構造設計</del>	<del>森研究室他</del>	<del>205</del>
<del>5.2 熱設計</del>	<del>林研究室他</del>	<del>217</del>
<del>5.3 電気計装配線</del>	<del>林研究室他</del>	<del>231</del>
<del>5.4 信頼性および品質管理</del>	<del>後川研究室他</del>	<del>235</del>

## ~~第6章 データ取得~~

<del>野村研究室他</del>	<del>237</del>
-------------------	----------------

## ~~第7章 地上データ処理~~

<del>金田栄裕他</del>	<del>245</del>
------------------	----------------

~~EXOS-A 研究班名簿~~

~~EXOS-A 担当者名簿~~

# EXOS-A 衛星のミッション概要

東大宇宙研 伊藤 富造

現在目的とされているミッションの概要は次の通りである。

- (1) 打上げ時期                      昭和 53 年 1 月末
- (2) 打上げ用ロケット              M 3 H
- (3) 軌道
  - 傾斜角                       $66^{\circ}$
  - 近地点高度                  400 ~ 500 km
  - 遠地点高度                  4000 km
- (4) 姿勢制御                      沿磁力線制御
- (5) スピン                          ナチュラルスピン ( 数 RPO )
- (6) テレメトリー                  136 MHz ( PCM )  
                                        400 MHz ( PCM, FM )
- (7) 重量                          約 130 kg
- (8) 観測項目

EXOS-A の観測項目は次の 7 項目である。

- i) UV オーロラ撮像 ( ATV )
- ii) 極紫外グローの観測 ( AUV )
- iii) 電子エネルギースペクトルの観測 ( ESP )
- iv) 正イオン組成の観測 ( MSP )
- v) 電子温度の観測 ( TEL )
- vi) 電子密度の観測 ( NEL )
- vii) 静電プラズマ波の観測 ( ESW )

これらの観測項目の内容、使用機器については第 1 章に詳しく述べられている。

## (9) 観測モード

衛星の運用の都合上、観測モードは 2 つに別けられている。

- i) ノースポール ( NP ) モード

このモードは主として北極圏上空のオーロラ帯の観測を行なうモードで、観測項目は ATV, ESP, NEL, TEL の 4 項目である。

## ii) グローバル (GL) モード

このモードでは中低緯度および南極圏上空の観測を主として行ない、観測項目は

ESP, NEL, TEL, AUV, MSP, ESW の 6 項目である。

### ii) テレメトリーステーション

テレメトリーステーションとしては従来から使用されている鹿児島宇宙空間観測所 (KSC) の外に、北極圏に近いカナダチャーチル研究基地 ( $58^{\circ}45'N$ ,  $94^{\circ}04'W$ ) および南極昭和基地 ( $69^{\circ}00'S$ ,  $39^{\circ}35'E$ ) に受信点を設けることになった。受信設備の詳細は第 6 章に述べられている。

## 第 1 章

# 觀測機器各論





## 1.1 オーロラ撮像(ATV)

東大理 金田栄祐

東大宇宙研 丹羽 登

東大生産研 高木幹雄

浜松テレビ(株)

日本光学工業(株)

### 1.1.1 概 要

国際磁気圏観測年(1976~79)に於ける研究課題の一つの中心である“サブストームの生成機構”解明への重要なアプローチの一つとして、auroral substorm の総観的観測がある。

ATV は、この総観的観測を行い、更に他の搭載観測装置との同時観測を通して、magneto-ionospheric coupling の様相を明らかにする事を、その観測目的とするものである。ATV (Aurora-TV-camera) は、広角(視野角60°)の二次元撮像を北半球高緯度地域上空に於いて128秒毎に行い、この“auroral substormの全貌の動態観測”を通して上述の観測目的を達成するものである。更に、ATVでは真空紫外光に於いて観測対象の撮像を行うが、これは auroral substormの全貌を観測する場合に、必然的に対象領域となる、昼側領域での下層大気からの散乱光の影響を低減させ、散乱光に依る障害を避けてオーロラの観測を行はんとする意図に基くものである。

この様に ATV の機能は、外国の衛星に於いて従来採用されて居た、可視-近赤外光領域での、スキャナー(又は、衛星のスピンの利用)に依る一次元撮像と軌道運動を利用した、夜側領域に限定される“二次元的”オーロラ観測とは根本的に異なっている。上述の如き、明確な意図に基き新技術を採用した ATV に依る観測に於いては、auroral substorm の総観的様相の動態に就いて新たな知見を得る事が期待出来る。

前述の観測目的を達成する為に、ATV は上に略述した基本性能を有するが、この為の装置構成の概略は以下の如くである。

i 低速走査型テレビカメラ      ATVの基幹をなし、コマンドに依る制御を通して起動、停止、感度調節等が可能である。低速走査は、衛星のデータ伝送速度に対応して附与した機能であり、この為にピックアップには撮像蓄積管を使用して居る。

ii 結像系      テレビカメラへ観測対象の光学像を入力させる。真空紫外光に於ける撮像を行う関係上、反射鏡に依って構成されて居る。

iii 保護装置      太陽に依る異常露光から結像系、撮像管を保護する為のメカニカル・シャッター、同駆動機構と、シャッター自動制御用のサンセンサーを中核として構成されて居る。

ATVの各部には新規開発の部分が比較的多く採用されて居るが、地上に於ける各種試験の他に、1976年1月にはK-10-12号機に於いてATV用に開発した真空紫外光用光電面の飛翔体上での性能試験、更に1977年2月にはM-3H-1号機に依って打上げが行われた技術試験衛星MS-T3に於いて、ATVでの撮像蓄積管の蓄積部、走査部の多陽極への置換から作成された多陽極型光電子増倍管をピックアップとし、この変更に伴ってテレビカメラを多点測光装置に変換した真空紫外光多点測光装置(UVP)を通しての、ATV各部の衛星環境に於ける動作機能試験を行って性能の確認を完了して居る。

ATVは20項目の実時間コマンドに依って起動・停止・感度調節等の制御を受ける他、衛星機上のプログラマブル・タイマー中に書込まれる遅延コマンド4項目に依って起動・停止の制御を受ける。ATVは設定されて居る二つの観測モード中のNPモード下で稼動し、1 sceneの観測データは1サブ・フレーム中の198フレームを使用して伝送されるが、この画像データは帯域圧縮されたものであり実効6ビットの画像データが実質4.5ビットの容量で伝送される。従って観測の時間分解能は1サブ・フレーム分のデータ伝送時間に依って規定され、NPモードと1セットにして運用するハイ・ビットレート(2 Kbps)に於いても128秒となる。観測データの他、ATVは装置のステータス・モニターをデータ・フレーム中に8項目設定し、その動作状態の監視に供する。このうち1項目(ATV ON/OFF)は各モード共通のワード位置に設定されて居るが、残り7項目の動作時パラメーターはNPモードに於いて表示される。

ATVは衛星軌道上位置の地磁気緯度が北緯45°以上の場合に観測を行う事を運用の原則として居るが、EXOS-Aの予定軌道では1周当り大体20 sceneのデータを取得する事になる。この観測時間中EXOS-Aは内之浦KSCから殆んど非可視の位置にある為、観測は主として遅延コマンドに依って開始・終了の制御を受け、データは機上のデータ・レコーダーに記録されKSC上空でその再生を行い、データを取得する事になる。EXOS-Aの予定軌道ではKSCからの可視軌道は1日約6周程度となるが、KSCの地磁気双極子極に対する相対位置の関係上、KSC可視軌道は北半球高緯度地域の観測に於いて最大11.5°の地磁気緯度の逆バイアスを受ける。この為にEXOS-A観測実験期間中、北半球高緯度地域上空での観測強化、データ取得率向上を目的としてFort Churchill(Canada)に地上局が設けられる事となった。同地上局は受信の他に、実時間コマンド送信機能を有する為、原理的にはKSCと独立にEXOS-Aの制御が可能である。ATVの観測・データ取得は、これ等2地上局の機能を利用する事に依って殆んど全部の軌道周回に就いて可能となった。

### 1.1.2 観測の目的及び意義

概要に於いて述べた如く、本観測の目的は、i) サブストームに伴って極地域全体に展開するオ

オーロラの全体像の時間的変化を観測し、サブストームの動態を巨視的規模で解明する、ii)機上で同時に行はれる他の in-situ 観測とリエゾンし、これ等の観測結果とサブストームの巨視的側面との対応関係を明確にしてサブストーム時の magneto-ionospheric coupling の様相解明に当る、の二つに要約される。

従来、サブストームの生成機構解明の為に地球磁気圏の構造及びその変化に関する in-situ 観測が多く、衛星に依ってなされ、大きな成果を挙げて来た。然し乍ら最近に於いては、これ等の観測結果とサブストームの巨視的側面との対応づけの基礎をなして居た IGY (国際地球観測年) 期間中の地上観測記録の解析結果を根幹とするオーロラ・サブストームの認識では不十分な事が次第に明らかとなり、新しい認識を求める為に、オーロラの全体像観測を目的とした衛星 ISIS-II, DMSP 等が打上げられて居る。唯、これ等の観測に於いてはサブストーム研究の上で重要な、時間分解能及び昼側磁気圏中性点直下領域に関する情報が不足して居る。従って、この点に留意して真空紫外光 TV カメラに依る撮像を行う本観測から、オーロラ全体像の時間的変化が始めて明らかにされ、新たな知見が得られる事が充分期待出来る。亦、上述した如く、従来の衛星に依る in-situ 観測に於いては synoptic なリモート・センシングの同時観測に依るサポートが行はれなかった為に、観測結果の地球(磁気圏)物理的な意味づけが必ずしも充分ではなかった。EXOS-A に於いては、全く性質を異にする、これ等2種類の観測が同一の現象をその対象として居る。従って観測結果の有機的結合から、現象の新たな側面が解明される可能性が大きい。

本観測は単なる“オーロラ入り風景写真”の取得が目的ではなく、地球物理的な2次元情報の取得を目的とする為、EXOS-A に於ける基本計測、特に衛星姿勢関係が許容精度の範囲内で逐行される事が、観測目的達成の前提である事を最後に附言する。

### 1.1.3 観測装置

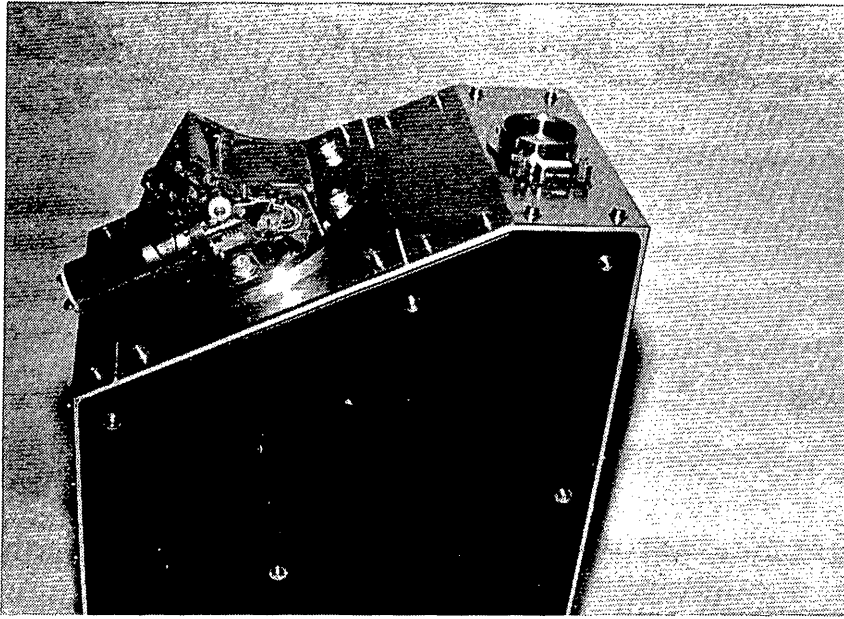
前述の目的を達成する為に EXOS-A に搭載される観測装置 ATV (真空紫外オーロラ撮像観測装置) の概略を i) 形状・寸法・取付位置、ii) 構成・機能、iii) 動作シーケンス 等に沿って記述する。

#### i) 形状・寸法・取付位置

ATV は第1図に見られる如き外観であり、結像系及び保護装置が低速走査テレビカメラの筐体上に取付けられて居る。この様に一筐体構成をとる ATV の外観寸法を第2図に示した。

ATV は北半球高緯度地域のオーロラを観測するが、姿勢制御装置との関連で、ベースプレート下部のスラスト・チューブ内に取付けられ、その入射主光線は衛星基軸と並行である。猶、衛星打上げ時の3段目モーター燃焼終了・切離しの際の、M3Aのスラストに依る ATV 光学系汚染の防止を目的として衛星と3段目モーターの接合部衛星側に ATV プロテクターが取付けられて居り、

最終軌道投入後、実時間コマンドによってこのプロテクターの切離しが行はれる。



第1図 ATV(フライト・モデル)外観写真

## ii) 構成・機能

第3図にATVの構成ブロック図を示したが、概要に於いて述べた如く、機能的には次の三つに分ける事が可能である。

### a) 低速走査型テレビカメラ

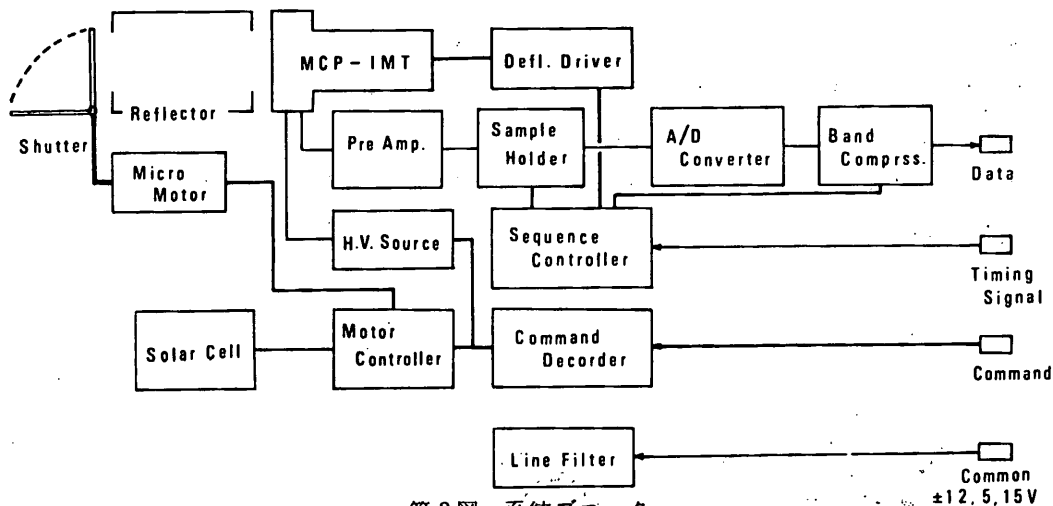
結像系 (Reflector) に依って入力された観測対象の光学像をピック・アップ (MCP-IMT) 中で電子像に変換し、衛星機上でのデータ伝送速度 (ATV 稼動時: 2 K bps) に合せた低速走査に依ってこれを読み出し、ディジタル信号に変換した後、エンコーダーに出力するもので、ピック・アップを中心として構成されて居る。ピック・アップは、大気球実験に於いて搭載された実績を有する撮像蓄積管をベースにして作成された、真空紫外光用高感度撮像蓄積管である。本撮像蓄積管は、軽量・小型・低電力消費の設計基準の遵守から、静電偏向・静電集束方式を採用して居る。ATVに於ける新規技術開発の過半は、本撮像蓄積管作成に関連するものであった。

第4図はATV用撮像蓄積管の断面寸法図であるが、図中に偏向電極とカソードは省略されて居る。面板の材料は、真空紫外光用の窓材のうち、安定性及び透過限界波長の点から弗化マグネシ

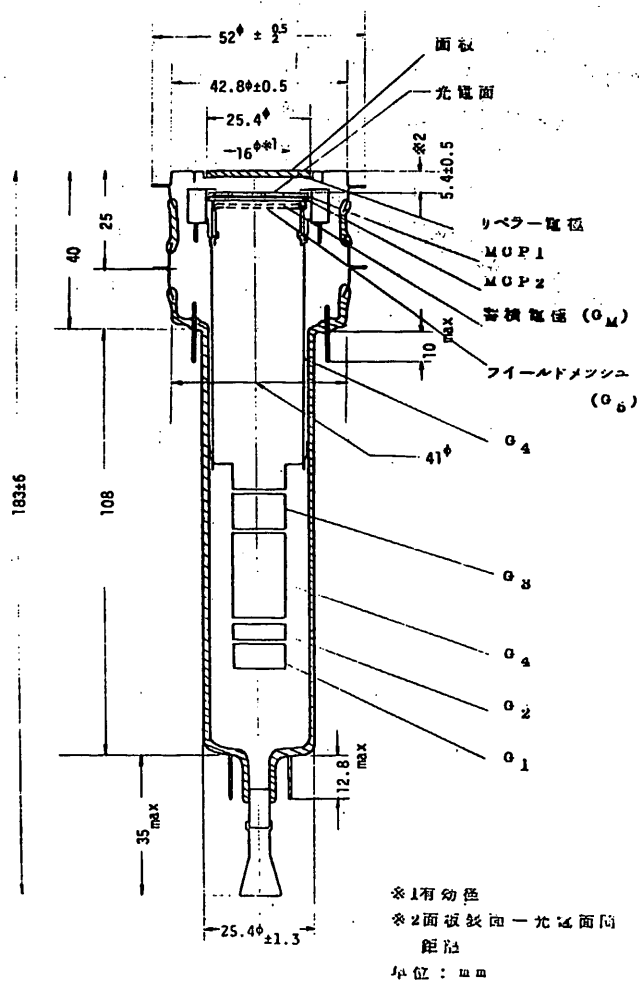
The technical drawing illustrates a mechanical assembly with the following components and dimensions:

- Main Assembly Dimensions:**
  - Total width: 265 mm
  - Total height: 270 mm
  - Internal vertical dimension: 197 mm
  - Horizontal offset from left edge: 85 mm
  - Horizontal offset from right edge: 85 mm
  - Bottom horizontal dimension: 1300 (2 x 2) (mm)
- Top View Details:**
  - Angle: 60°
  - Radius: R35
  - Dimension: 30 mm
  - Label: "主光轴" (Main Optical Axis)
- Front View Details:**
  - Angle: 60°
  - Dimension: 81 mm
  - Dimension: 12 mm
  - Dimension: 10 mm
  - Dimension: 20 mm
- Side View Details:**
  - Width: 110 mm
  - Height: 100 mm
  - Internal feature: 10 mm
- Detail Views:**
  - Top Left Detail:** Shows a circular component with four mounting holes.
  - Top Right Detail:** Shows a circular component labeled "NHB (PBM-95)" with a central hole and a dimension of 8 mm.

- 5 -

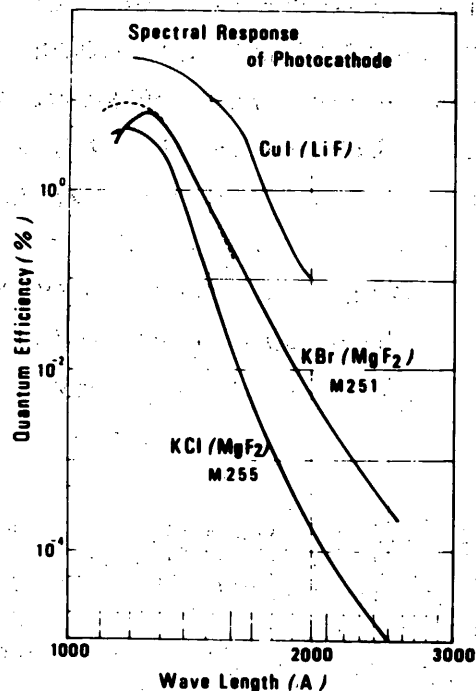


第3図 系統ブロック



第4図 ATV撮像蓄積管 (MCP-IMT) 内部構成図

ATVは真空紫外領域の光を対象としてオーロラの撮像を行う訳であるから、この為の光電面物質は次の条件を満足させるものでなければならない。即ち、i) オーロラからの輻射が強く且、昼側に於いて下層大気からのアルベードが余り強くない波長領域（ $\sim 1600 \text{ \AA}$ 迄）に於いては高い量子効率を有する事、ii) 昼側に於いて下層大気のアアルベードが強くなる、これより長波長側の領域では充分な cut-off 特性を有する事、の2条件に要約される。この相反する2つの条件を満足させるものとして、真空紫外光用の光電面物質に於いて、塩化物と沃化物の中間的性質を示す臭化物の中から臭化カリウム（KBr）をATV用光電面として撰定した。第5図に、ATV用MCP—IMT 開発の過程で達成された光電面KBrの量子効率波長依存性の標準曲線を示した。



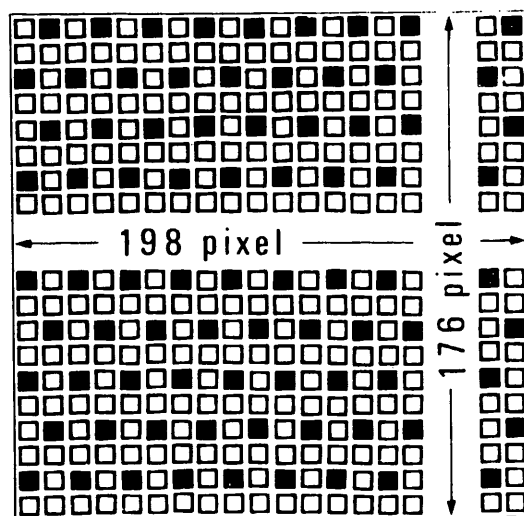
第5図 ATV用MCP—IMT光電図分光波長感度特性

光電面上に結像された観測対象の光学像に依って出力された光電子はカスケードに設けられた2枚のMCPに依って最大 $10^5$ 倍迄の電子増巾を受けた後、蓄積電極格子点（1000メッシュ/inch）絶縁物（ $\text{CaF}_2$ ）上に電子像として蓄積され、第4図での $G_1$ より管尾側に設けられて居るカソードからの読取りビームの走査を受けてビデオ信号として出力される。この際の信号電極として、第2段MCPの出力側面が使用されて居る。猶、第4図中の $G_1 \sim G_3$ 迄の電極はビーム集束用の為のものである。ビデオ信号読出しに於いてS/N比を向上させる目的から、読取りビームの水平走査は階段状の電圧掃引に依って行い、読出信号は一定時間積分後、A/D変換に依って

6ビットのデジタル信号として取り出される。然し実際にエンコーダーに送出される信号は、データ圧縮（帯域圧縮）を受けて居る。

ATVの為に開放されたテレメーター・データフレーム中の領域は、1サブ・フレーム中19.8 KWord（100ワード（ $W_{28} - W_{127}$ ） $\times$ 198フレーム（ $F_{58} - F_{255}$ ））で、全データ（32.8 KWord）の60.4%に達する程の好条件であるが、観測結果を地上に送信する場合、何らかの対策を講じない限り、画像諸調度或いは空間分解能の何れかを犠牲にせざるを得ない。様々な試みの後、1データフレーム中の99ワード（ $W_{29} - W_{127}$ ）の領域にテレビの1水平走査に対応する画素を実効6ビット、実質4.5ビットで176画素を格納し、1sceneを1サブ・フレーム内で完結させ、176 $\times$ 198画素構成となるデータ圧縮を行う事とした。このデータ圧縮に於いては、i) この為のATV側の回路が簡単である事、ii) データ伝送路上で発生したエラーの影響はデータ復原時に拡大伝播しない事、等に重点を置いて、その方式の検討を行い、以下の如き圧縮処理を行う事にした。

A/D変換に依って6ビットのデジタル信号となった画素情報は、4画素毎に1回は全情報6ビットを送り残り3画素は夫々、LSB4ビットを送る事とする。従って、データフレームには、これ等6 $\cdot$ 4 $\cdot$ 4 $\cdot$ 4 $\cdot$ 6 $\cdot$ 4 $\cdot$ 4 $\cdot$ 4 $\cdot$ 4……のビット・パターンで繰返される情報が8ビット単位に区切られて格納される様に、エンコーダーに出力される。第6図は、このデータ圧縮を受けて送信された画像情報の画素ビット構成の様相を示すものである。LSB4ビットで構成される画素は、4画素毎に配置されて居る6ビット構成のKey Pixel間の内挿に依って復原されるが、復原を2次元的に行う目的でKey Pixel配置の位相を、奇数フレーム・偶数フレームで交互に切換へを行って居る。



第6図 ATV出力画面データ圧縮方式（■：Key Pixel，□：4 bit pixel）



第3 図中に示されて居るシーケンス・コントローラーは、エンコーダーからのタイミング信号に基づいて、データ送出時に上述の如き処理の制御を行う他、MCP－IMTの撮影準備・撮影等の動作制御も行う為、後述する“動作”の項でまとめて報告する。

#### b) 結像系

第1 図の外観写真に見られる様に結像系は低速走査テレビカメラの筐体に取り付けられ、更に結像系自身にも保護装置の一部を形成するメカニカル・シャッター、同駆動機構、同駆動用マイクロモーター等が取り付けられて居る。結像系(90 FL 34)はプロトモデル(90 FL 20)と基本的には全く同一の設計思想に依ってまとめられて居るが、90 FL 20 は前述の撮像管(MCP－IMT)がイメージ部を有する非近接型の設計段階に対応して作成されたものであるのに対し、90 FL 34 はMCP－IMTの近接型化に対処した設計変更を行って居る。主たる変更点は像面フランジバック距離(8 mm→11 mm)、像サイズ(24 mm→16 mm)である。

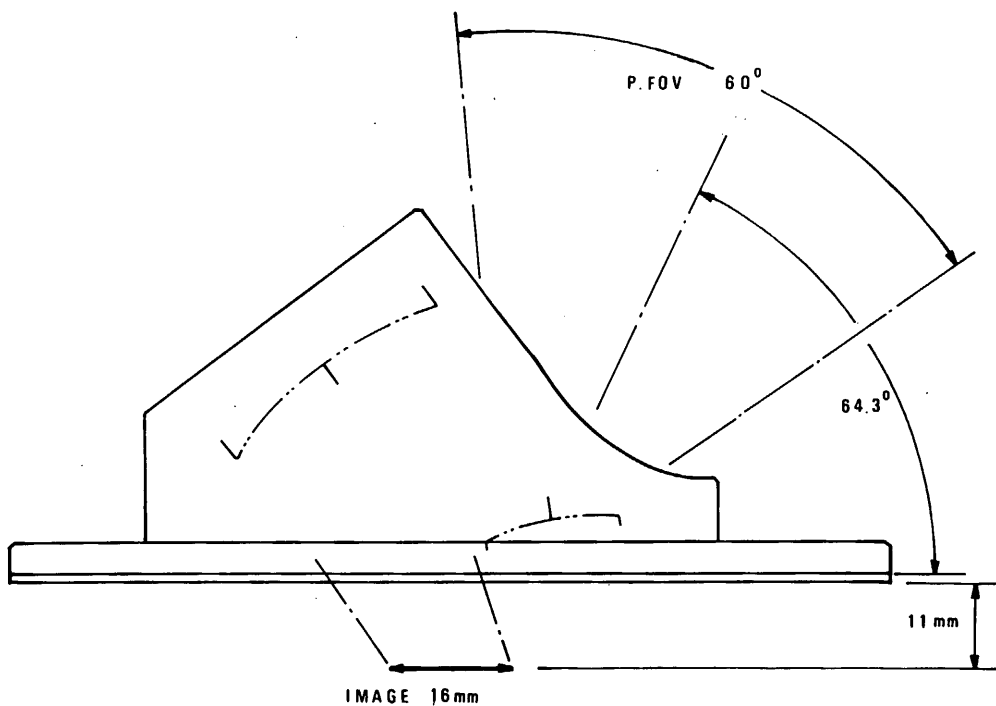
結像系は1150 Å～1800 Åの真空紫外領域に於いて、色収差の補正が容易で且、透過率の良好な光学材料が現在見当たらないとの状況から、反射光学系に依って構成する事が唯一の可能な方法である。結像系の重量・寸法、視野角と結像分解能の間で様々なトレード・オフの可能性に就いて検討を行った結果、像の平坦性を60°の画角に対して満足させる非共軸2群2枚球面反射鏡に依る光学系をATV用として決定した。結像系90 FL 34 の光束と入射角、像位置等の関係を示す為に、光路図を簡略化して第7 図とした。第7 図中の2点鎖線で示した凸面鏡、凹面鏡は熔融石英の基盤上に、純度99.999%のAlを蒸着させ反射面を形成し、反射面の酸化防止を目的としてMgF<sub>2</sub>膜をAl面上にオーバー・コートしたものであり、MgF<sub>2</sub>の膜厚はオーロラからの主要輻射が存在する波長領域での反射率向上を狙って約250 Åに定めた。

90 FL 34 の写像特性を示したものが第8 図であり、結像系視野内の光軸方向を中心とする5°毎の同心円及びこの中心を通る15°間隔のラディアルの像が示されて居る。図中、円形にハッチを施した領域はピックアップの光電面を示して居り、像の平坦性が保証されて居る画角60°の視野(P. FOV)の像は光電面内に結ばれて居ると云へる。

#### c) 保護装置

第3 図中のShutter, Micro Motor, Solar Cell, Motor Controller 等に依って構成されるものである。このうちメカニカルな部分は、b)に於いて述べた如く、結像系90 FL34 上に取付けられて居り、サンセンサーを形成するSolar Cellとそのハウジングは第1 図に於いて、筐体頂部右側に取付けられて居るのが認められる。保護装置はATVの稼動中、太陽に依る異常露光に伴って発生するMCP－IMT光電面等の焼損事故を防止する目的で附加されたものであるが、軌道投入時のスラストに依る光学系の汚染も防止する様に、メカニカル・シャッターの設計に配慮が加へられて居る。保護装置に於けるトピックスは、i) 可動部分の真空潤滑、ii) メカニカル・シャ

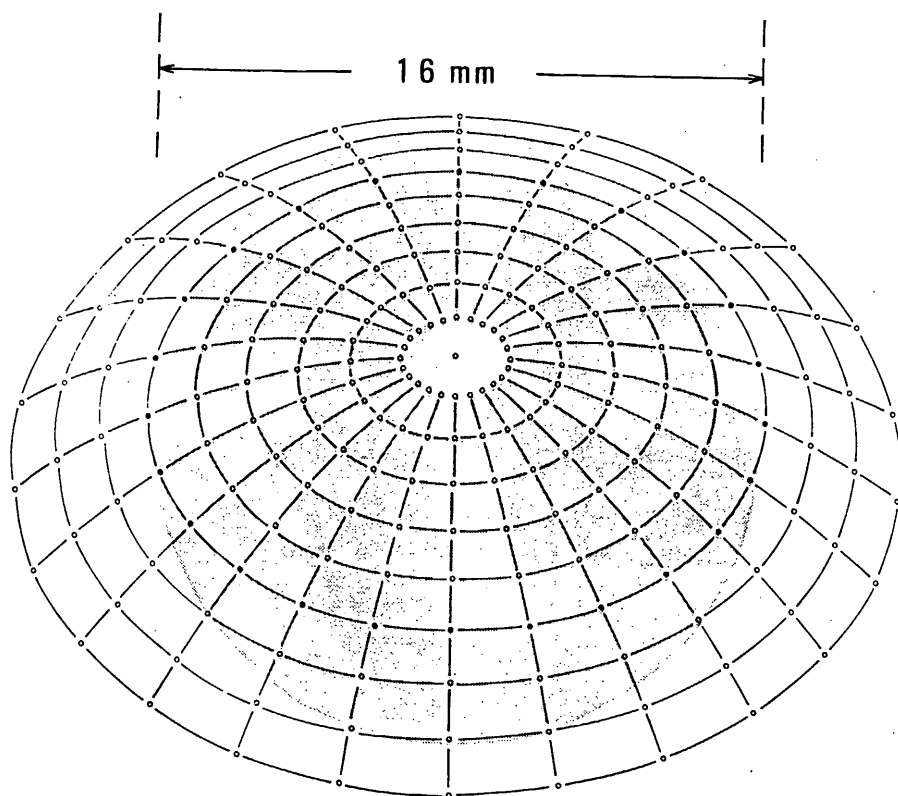
ッター自動制御用サンセンサー、の2点である。



第7図 結像系(90 FL 34)光路・寸法略図

異常露光防止用のメカニカル・シャッター駆動の為に必要な可動部分は真空潤滑機能を有しなければならないが、動作中各部の負荷が軽い事、総稼動時間が短い事等の条件から、比較的簡単な固体潤滑処置に依って、潤滑機能を獲得する事が出来た。即ち、強度・電気伝導度等の関係から金属相互の接触が要求される場合には、窒化処理と二硫化モリブデン( $MoS_2$ )焼付けの併用、 $MoS_2$ 入り金属成形材使用等に依って潤滑機能の獲得を計ったが、通常は金属とルーロン・デルリン等の樹脂間に存在する潤滑機能を利用した。

メカニカル・シャッターの開閉制御には上述のソーラーセル・ハウジング前面のピンホールと電氣的に独立な二重の感光部を有する太陽電池に依って、90 FL 34 がMCP-IMT 光電面上に結像させる視野領域を二重に囲む、サンセンサーを形成する。この感光領域のうち、外側領域に太陽が入った場合にはシャッターを“開”内側領域に入った場合には“シャッター閉”の制御信

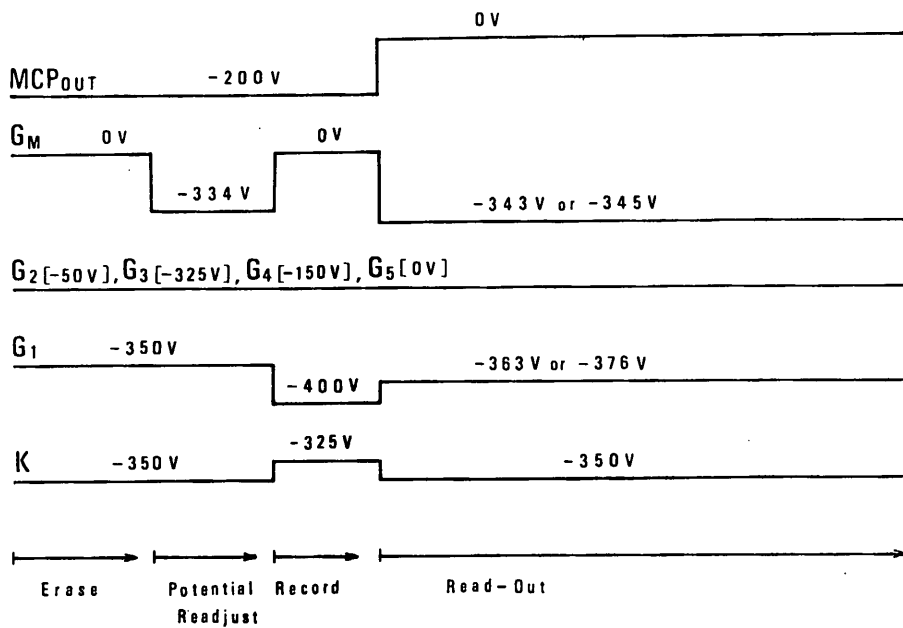


第8図 結像系(90FL34)写像特性

号を発生させ、これに応じてマイクロモーターを駆動させる方式を採用して居る。

### iii) 動作

ATVはコマンドに依って起動・停止を含む動作状態の変更を受ける他、前項のATV内蔵のセンサーに依る感光部保護の動作等も行うが、こゝでは定常的に稼動して居る場合のMCP-IMTの状態を中心にして、ATVの動作に就いて述べる。ATVはハイ・ビットレート(2Kbps)下の“NPモード”に於いて、1サブ・フレームに対応する時間内(128sec)で、その動作を一巡させる。動作はMCP-IMTの状態と対応するa)消去, b)準備, c)記録, d)読取の4段階に区分される。第9図はこれ等の各段階に於けるMCP-IMT内各部の電位配分の変化を示したものである。



第9図 ATV各動作段階での撮像蓄積管内各電極の電位配分

#### a) 消去 (Erase)

蓄積電極メッシュ点の  $C_a F_2$  上に前回の動作サイクル中に記録されて残って居る観測対象の電荷像を電子銃からの電子ビームに依って塗りつぶす動作を行う段階であり、衛星機上のクロックで云うと、各サブ・フレームの先頭  $F_0 W_0$  より8秒間継続する。電子銃を形成するカソード(K)、アパーチャ・グリル( $G_1$ )の両電極は、電子ビームの効果的な射出の為に、同電位に保たれて居る。電子銃からの放出後、吸収される事なく蓄積電極(GM)のメッシュ間を通り抜けた電子ビームの一部は、信号読出電極となって居る2段目マイクロ・チャンネルプレート出力側(MCPout)と $G_M$ 間の電位配分に応じた割合で、 $G_M$ 上の $C_a F_2$ に衝突する。この衝突に於いて、ビーム電子の二次電子放出係数( $\delta$ )は1より大である為、 $C_a F_2$ の表面電位は次第に上昇するが、この段階の終りには全 $C_a F_2$ 蓄積点の表面電位が一様に $G_M$ と同電位となり、前回の電荷像が塗りつぶされる必要がある。この為、電子ビームに依るラスタ・スキャンを行うが、偏向電極に印加されるパワーは垂直0.5 Hz、水平2 KHzの周波数を有する事から、この“消去”の8秒間に4回繰返して $C_a F_2$ 上の電荷像の消去動作が行はれる事になる。

#### b) 準備 (“Potential Readjust”)

前段階で一様な状態となった $C_a F_2$ の表面電位に、次の“記録”に備へて、一定の書込み電位巾を予め付与する段階であり、“消去”に続く8秒間に行はれる。猶、電子銃の状態、電子ビー

ムに依る蓄積電極上のラスタ・スキンのパラメーターも前段階と同一である。a)の場合と同様に $G_M$ のメッシュ間を通り抜けた電子ビームの一部はMCP out と $G_M$ との新たな電位配分に対応した比率で $C_a F_2$ に衝突する。但し、この段階での衝突に於いては、ビーム電子の $C_a F_2$ 表面電位に対する相対エネルギーから $\delta < 1$ となる為、結果的にはビーム電子の $C_a F_2$ 上への附着となる。この動作を8秒間継続する事に依って $C_a F_2$ 表面電位は電子銃電位( $G_M$ より16V低い値)となり、“記録”の為の書込み巾が用意された事になる。

c) 記録 (“Record”)

光電面上に形成されて居る観測対象の光学像を蓄積電極上に電荷像として書き込みを行う段階である。“準備”に続いて行はれ、衛星機上のタイミングに於いては、サブ・フレーム中 $F_{58}$ より始まる“読取り”迄の間に完了する。実際の記録動作時間はコマンドの指定に依って、0.5, 1, 2, 4, 8秒の蓄積時間の中から5通りの組合せモードが選択可能である。この段階は動作の4段階中で走査ビームがシャット・オフされる唯一の期間であるが、電子銃カソード内のヒーターはOFFされる事なく、連続して加熱されて居る。このビーム遮断は $G_1$ の電位をカソードのそれよりも低くする事に依って行はれるが、この際カソード電位を上昇させて遮断動作を補助する。

観測対象のオーロラ輝度レベルの関係上、実際の蓄積時間に同期させてMCPに高電圧を印加し、最大 $10^5$ 倍の増巾を受けた電荷像が $G_M$ の $C_a F_2$ 上に蓄積される。猶、この増巾率はコマンドに依って4段階の指定が可能である。この段階に於いては $G_M$ が0Vに設定されて居る為、MCPに依って増巾された光電子が $G_M$ の $C_a F_2$ に衝突する場合 $\delta > 1$ となり、光電子の密度に対応して $C_a F_2$ の表面相対電位は“準備”に於いて設定された電位より上昇し、正の電荷像が形成される。

d) 読取 (“Read-Out”)

1サブ・フレーム128秒のうち、先行する段階29秒の後、99秒間が“読取”動作に割当てられて居り、この期間に198回電子ビームに依る水平走査が行はれ、信号がMCPout から読出される。猶、この読取動作は $C_a F_2$ 上の電荷像に対して非破壊モードで行はれて居る為、低速走査が読取結果に影響を及ぼす事はない。読取走査の為に電子銃から放出される電子ビームは充分良くコリメートされて居る事が必要である。この関係で $G_1$ の電位はカソード電位より若干低く設定されて居るが、ATVの長期に亘る稼動に依ってカソードのエミッションに減少を来した場合には、この $G_1$ の電位調節に依るエミッション量補正のコマンドが用意されて居る。

前段階に於いて $C_a F_2$ 上に形成された電荷像中のハイライト部分の電位は、 $G_M$ の電位そのものよりも或る程度低い値となって居る。“読取”に於いては、このハイライト部の電位が電子銃電位と等しくとった場合に、 $C_a F_2$ 上の電荷像が最良の諧調度で読出される。この様な理由で $G_M$ の電位が定められて居るが、MCPout・ $G_M$ ・電子銃は三極管のイメージに依って、その動作を理解する事が出来よう。猶、長期間の稼動に依ってMCP—IMTの動作点に変動が生じた場合には

諸調度の補正を行う必要があり、この為に“読取”に於ける $G_M$ 設定電位を変更するコマンドが用意されて居る。

#### iv) 表面処理、ポッティング

ATVの外側面のうち、結像系 90.FL34 (含附属物) 外面及びテレビカメラ筐体の 90.FL34 取付部附近は金メッキ、その他の部分はテレビカメラ筐体のベース・プレート取付面・コネクター部分の塗り逃げを除いて黒色ツヤ消し塗装を行ったが、これ等の表面処理は全て指定に従った。

第1図から、この表面処理の様相が理解されよう。

ATVに於いては、マイクロ・チャンネルプレート(MCP)用に Velonex 社製のプログラマブル高圧電源( $-1.8 \sim -2.6$  KV)及び撮像蓄積管(MCP-IMT)管内電極用に $-300$  V 前後の中圧電源を使用して居る。これ等の高電圧はMCP-IMT管内電極(含MCP)に印加される為、外部に直接的に開放されては居ないが放電事故防止対策として、ブリーダー抵抗、MCP-IMTピン等の部分にはシリコンゴム系の材料(GE RTV-11)を使用してポッティングを行う。その他、防震用としてエコ・フォームを用いたポッティングを電子回路部分に施す。

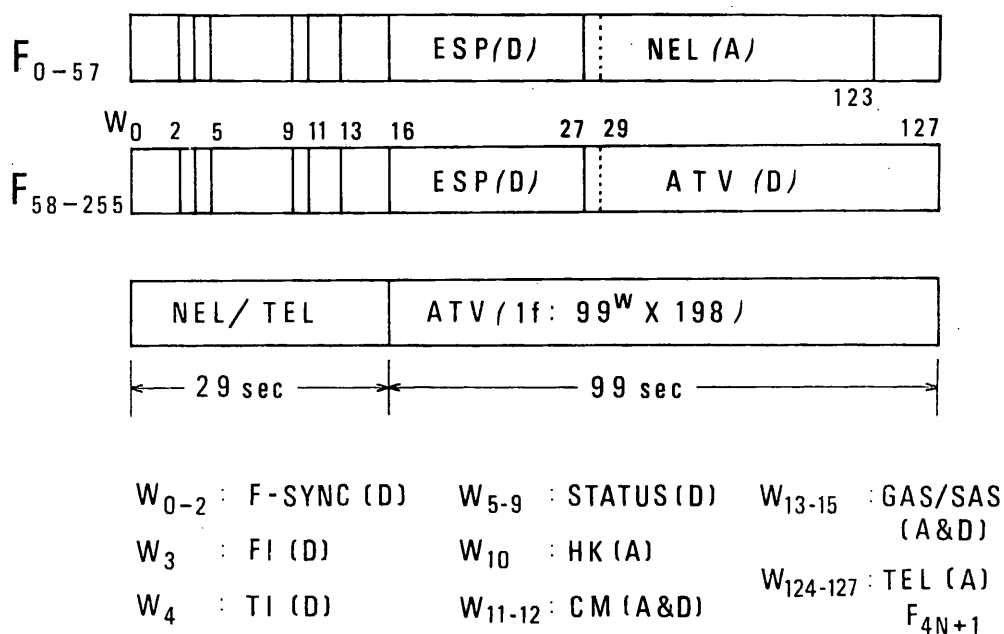
#### 1.1.4 運用・制御

EXOS-Aの予定軌道、姿勢制御方式等を考慮に入れたATVに依るオーロラ撮像の計算機シミュレーションの結果では、各周回に於けるATV稼動期間を決定するパラメーターは衛星軌道上位置の地磁気緯度であり、同緯度が北緯 $45^\circ$ 以上の場合に観測を行う事が一般的に妥当であるとされた。各周回でのATV稼動期間中、EXOS-Aは内之浦KSCより殆んど見通しの範囲外に存る為、KSCからの運用に於いては遅延コマンドを併用する必要がある。地磁気双極子極軸は自転軸に対して $11.5^\circ$ 傾斜して居るが、経度方向の位置関係からKSCに於ける可視軌道は地磁気緯度に於いて最大 $11.5^\circ$ の逆バイアスがかゝって居る。一方、Fort Churchill(FC)に於ける可視軌道は最大 $11.5^\circ$ のバイアスがかゝって居り、ATV稼動期間には衛星が見通しの範囲に殆んど存在する為、実時間コマンドのみに依る運用が可能である。然し乍らFC局に於いては受信データの解析設備がない為、FC局の制御結果のチェックには、各FC可視軌道群の最終周回に於いて、衛星からFCへ観測データを送信すると同時に機上のデータ・レコーダーに記録を行いKSC上空でこれを再生して行うデータ解析が必要である。

この様な運用を行う為には、コマンドに依る制御を行はねばならない。ATVは観測モード“NP”に於いてのみコマンドに依る制御が可能であるが、唯一の例外はATVに於いて使用して居る高圧電源の安定的使用の為のウォーミング・アップ用コマンドであり、これには観測モードの指定はない。コマンドに依るATV停止後、再稼動させる場合にはATVの回路構成から、このウォーミング・アップ用コマンドを再稼動に先行して送信する事が必要である。実時間コマンド

には、これ等起動・停止用コマンドの他、パラメーター指定のものも含めて20項目が用意されて居るが、遅延コマンドは前者のグループ4項目のみである。装置の動作状態の判定は、テレメーター (TM)・データフレーム中の特定の位置に設定されたステータス・モニターのビット・パターンの解読を通して行はれる。第10図は NP モードに於ける TM データのフォーマットを示したものであり、ATV 関係のステータス・モニターは以下の如くである： ATV ON/OFF ( $W_7, B_5$ ) Gain ( $F_{NP} W_9 B_0 \sim B_4$ ), HV ON/OFF ( $F_K W_{28} B_2$ ), バイアス ( $F_K W_{28} B_3$ ),  $\delta$  ( $F_K W_{28} B_4$ ), シャッター ( $F_K W_{28} B_5 \sim B_7$ );  $K \geq 58$ 。以下にコマンドの種類とその機能を略記した。

## NP - Mode Data Frame



第10図 NP・モード下のTMデータフォーマット

コマンド項目名	実時間コマンド		遅延コマンド		コマンドの内容
	AD	EX	AD	EX	
HV—Stand By	5	3	2	2	この二つのコマンドの AND がとれた時に高圧電源が ON になる。
Pre Heat ON	3	4	1	1	
ATV ON	4	7	4	0	実際には“NPモード”ONのコマンド。
ATV OFF	5	2	3	2	高圧・一般回路共に OFF
Cal ON	4	10	4	2	ATVの機能チェックの為に Calibration 信号の ON・OFF。
Cal OFF	4	11	5	2	
Gain 1	2	3			高圧電源の二次側出力を指定して、ATV の感度の粗調整を行う。  5 段階の何れか 1 つが指定される  ステータス・モニターとはビット対応。
” 2	2	2			
” 3	2	4			
” 4	3	1			
” 5	3	2			
露出時間 1	1	1			撮像蓄積管の“記録”動作時の蓄積時間を指定して、ATV の感度の微調整を行う。 5 段階の何れか 1 つが指定される。  ステータス・モニターとはバイナリーで対応
” 2	1	2			
” 3	1	3			
” 4	1	4			
” 5	2	1			
バイアス 1	3	3			撮像蓄積管 電子銃 エミッション量の調節。何れか 1 つ選択。
” 2	4	3			
1	4	2			画像諧調度の調節。  何れか 1 つ選択。
2	4	3			
サンセンサー	5	1			サイクリック・コマンドであり、結像系に取付けられて居るシャッターの開閉を保護装置サンセンサーの出力に依って自動制御を行うか、或いは ATV ON/OFF に同期して制御するかの切換を行う。

## 謝 辞

ATV のフライト・モデルを作成し、本報告を脱稿する段階に於いて、今日迄御指導を頂いた方々に改めて御礼を申し上げる次第です。西教授（東京天文台）及び同研究室の方々には、真空紫外光の絶対測定等の基礎計測に関して、特に本 Project の初期に於いて一方ならぬ御指導を頂きました。真空潤滑に関しては、木村助教授（宇宙航空研究所）及び同研究室の全面的な御指導・御援助を頂いて、衛星搭載仕様を満足するものの作成に成功した次第です。



## 1.2 極紫外グローの観測 (AUV)

筑波大物理 中村正年 渡辺 隆  
松栄電子(株)

### 1.2.1 はじめに

極紫外領域 (Extreme Ultraviolet, EUV) の大気放射は水素 (H), ヘリウム ( $\text{He}$ ), ヘリウムイオン ( $\text{He}^+$ ), 酸素原子 (O), 酸素原子イオン ( $\text{O}^+$ ) といった原子や原子イオンの輝線スペクトルからなっている。これらの原子や原子イオンは主に熱圏・外気圏あるいはプラズマ圏と呼ばれる比較的外側の大気中に分布している。

多くの輝線は太陽 EUV 放射の共鳴散乱によって発光しているが、単純散乱のみではなく多重散乱によって地球の夜側にまわりこむものもあって地球コロナを形成している。

EUV 大気光は下層大気の吸収があるために地上では観測することができないので、ロケット・衛星による観測が不可欠である。

### 1.2.2 AUVの観測目的・観測方法

AUVでは極紫外領域のグローのうち代表的な  $\text{He}^+ 304 \text{ \AA}$ ,  $\text{He} 584 \text{ \AA}$ ,  $\text{O}^+ 844 \text{ \AA}$ ,  $\text{H} 1216 \text{ \AA}$ , (ライマンアルファ) 及び  $\text{O} 1304 \text{ \AA}$  の放射強度を新たに設計した EUV 分光器を用いて観測する。

EUV 領域でのグローの測定は フィルターフォトメトリーを用いる方式と分光器方式の2つがある。前者は金属薄膜フィルタと検出器としてチャネルトロンを組みあわせて用いるもので安価・小型・軽量という利点をもっているため従来の観測の大半はこの方式である。この方式のほぼ唯一の欠点はフィルタの波長分解能の良いものがないため  $300 \sim 400 \text{ \AA}$  程度の分解能しか得られないということである。従って目的とする輝線の近傍の輝線による contamination があり、これを補正するためにさまざまな方法がとられるが、強度の大きい輝線が近接していると原理的に精度のよい測定が困難になる。

回折格子を使用した分光器は波長精度・分解能の点でフィルターフォトメータに比べて優れている。極紫外グロー測定に適する分光器としては光学系を単純にして反射ロスを少なくするために凹面回折格子を使用し、斜入射方式とすることが最良である。衛星搭載用分光器としては小型・軽量であること、また波長掃引のためにモーターを使用することは電力・ノイズ・信頼性の点で不可能となったことが分光器設計の段階での重大な問題点であった。

さまざまな方式の組み合わせを検討した結果次節で詳しく述べるような観測方式となった。この分光器の波長分解能は  $10 \text{ \AA}$  (視野  $5^\circ \times 5^\circ$ ) なので、フォトメータ方式に比べ30倍程度すぐれて

いる。これは極紫外域の輝線をほぼ完全に分離して測定できる性能であって各輝線強度を独立に測定することが可能になった。またモーターに代るものとしてピエゾ効果を利用した振動型入射スリットが開発され波長掃引が可能となった。

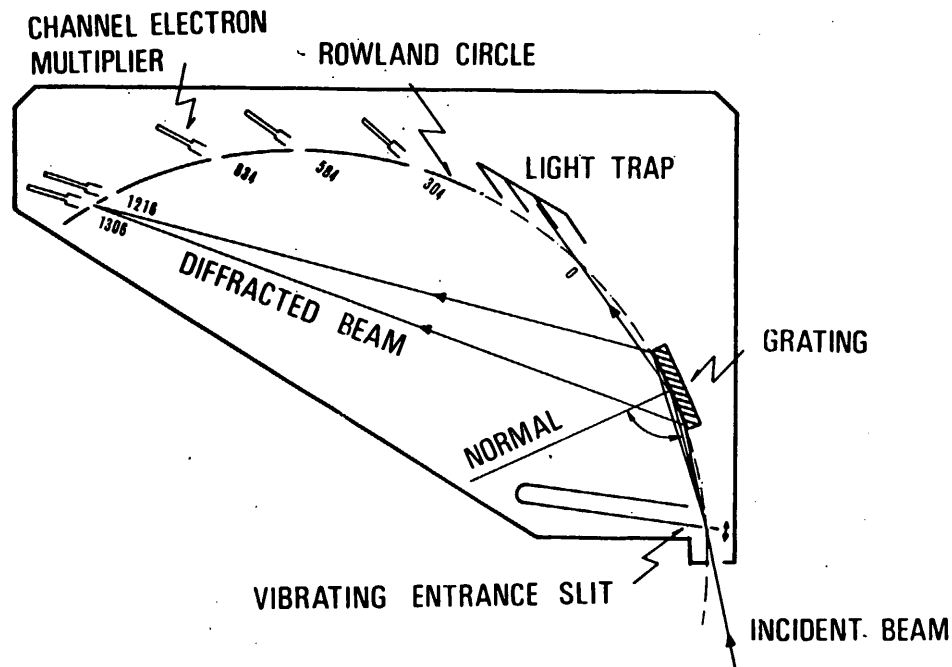


図1. AUV 光学系概要

### 1. 2. 3 装置概要

AUV 観測装置は図1に概観が示されている。図にみられるように入射スリットから入射したグローは曲率半径40cmの凹面回折格子で分散されローランド円上の5組の出射スリット上で結像する。この5組の出射スリットはそれぞれ $H_e^+ 304 \text{ \AA}$ ,  $H_e 584 \text{ \AA}$ ,  $O^+ 833 \text{ \AA}$ ,  $H 1216 \text{ \AA}$ , 及び  $O 1304 \text{ \AA}$ の位置に来るように調整されていて、それぞれの出射スリットには検出器（チャネルトロン）が配置してあるので5輝線は独立に観測される。更に振動型入射スリットを使用して各輝線の近傍の $\pm 15 \text{ \AA}$ を波長掃引している。この振動型スリットはピエゾ素子によって駆動される音さの先端にとりつけられていて、周波数42.67 Hzで振動し、振巾は $\pm 2.5 \text{ mm}$ である。スリットの振巾が変化すると掃引する波長が変化するため振巾がモニターされ、モニター電圧が一定になるよ

うコントロールされている。

放射強度の検出器は Mullard 社のチャネルトロンでコーン部は巾 2 mm 高さ 9 mm のスリット状である。

チャネルトロンで計数されるカウント数  $I$  (counts/sec) と輝線の放射強度の関係は次式で表えられる。

$$I = \frac{Q}{4\pi} \cdot 10^6 \cdot A \cdot \Omega \cdot \eta_G \cdot \eta_S \cdot \eta_D$$

ここで  $Q$  はスペクトル強度 (Rayleigh,  $10^6$  Photons/cm<sup>2</sup>·sec),  $A$  は入射スリット面積 (cm<sup>2</sup>),  $\Omega$  は視野立体角 (Steradian),  $\eta_G$ ,  $\eta_S$ ,  $\eta_D$  はそれぞれ回折格子, 出射スリット, 検出器の効率をあらわす。AUV では  $A = 0.1$  cm<sup>2</sup>,  $\Omega = 0.006$  steradian ( $5^\circ \times 5^\circ$ ),  $\eta_G \cdot \eta_S \cdot \eta_D \sim 1 \times 10^3$  (at 584 Å) であるので, He 584 Å の強度として  $Q = 10^2 \sim 10^3$  Rayleigh とすると,  $I(584 \text{ Å}) = 8 \sim 80$  counts/sec 程度となる。分光器の諸特性を表 1 に示してある。

表 1.

#### EUV SPECTROMETER CHARACTERISTICS

Spectral range	240 - 1360Å <sup>o</sup>
Spectral resolution	10Å <sup>o</sup> (entrance slit width: 1mm)
Concave grating:	
focal length	400mm
grating constant	2400 lines/mm
ruled area	30 x 38 mm
blaze wavelength	304Å <sup>o</sup>
reflecting coating	Platinum
Field of view	5° x 5°
Angle of incidence	80°
Wavelength scan	30Å <sup>o</sup>
Scan period	1/42.67 sec
Accumulation time	2 sec (at 2048 bit/sec) or 8 sec (at 512 bit/sec)

## 1. 2. 4 データ処理

各輝線に対応する5個のチャンネルトロンからの出力はチャージアンプ・波形変換回路を経て計数される。これら5つのチャンネルの測定は更にそれぞれ $\pm 15\text{\AA}$ の波長掃引を行なっているが、掃引の周波数は $42\text{Hz}$ なのでチャンネルトロンからの出力は入射スリットの振動に同期させてサンプリングしている。即ち入射スリットの $\frac{1}{2}$ 周期を6分割した時間に受けた信号をスリットの6つのポジションに対応する6個のアドレスに順次入力させる。測定データの蓄積時間は約4フレームに対応する時間、正確には $F_{4n+3} W_{88}$ から4フレーム後の $F_{4n+3} W_{23}$ までの447 Wordsである。従って、low bit rateの時6.98秒、high rateの時1.75秒がデータ蓄積時間である。

伝送すべきデータは5つのチャンネル(色)毎に6つのカウントデータがあるので計30個である。カウントデータは16ビットのカウンタの内容を指数3ビット、仮数7ビットの計10ビットに圧縮し、データの先頭に色(3ビット)、スリットポジション(3ビット)の指標を加えて、合計16ビット(2語)で4フレーム毎に $F_{4n+3} W_{28} \sim W_{87}$ 間の60語(1データ=2語)で順次送り出される。図3にデータ表示法が示してある。

## 1. 2. 5 コマンド・HK項目

### (1) コマンド

AUV ON

ディスクリレベル制御(4段階)

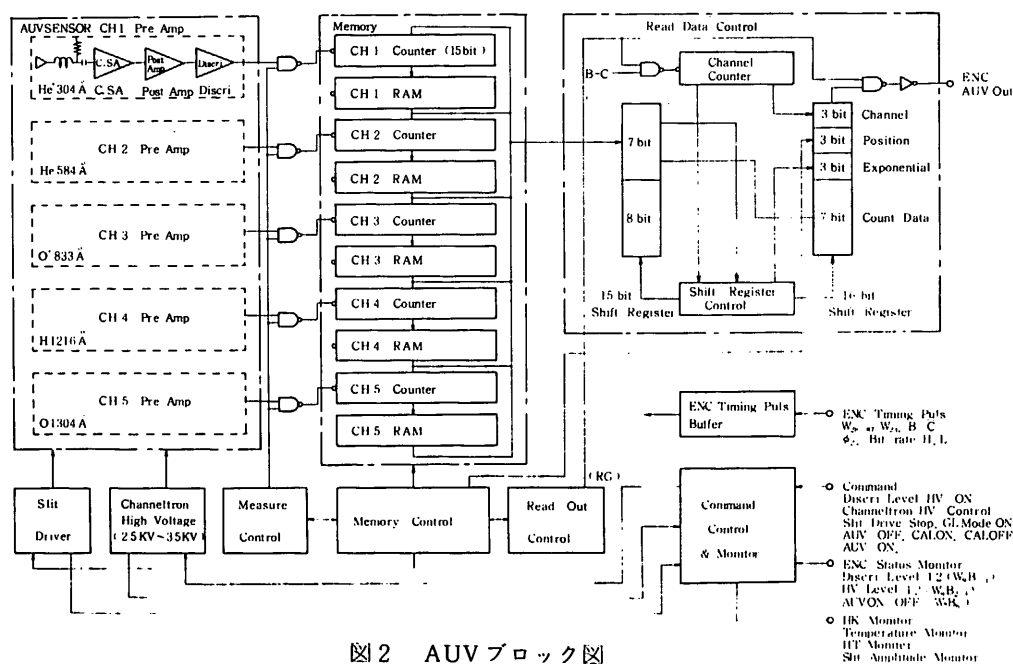


図2 AUVブロック図

$F_{4n+3} W_{28}$								$F_{4n+3} W_{29}$							
$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$
波 長			ポジション			デ ー タ ( 指 数 部 )		デ ー タ ( 仮 数 部 )							

図 3 AUV データ表示法

チャンネルトロン高圧制御 (4 段階)

高圧 ON

スリットドライブストップ (固定波長による観測)

AUV OFF

(2) HK 項目・モニタ項目

AUV ON/OFF  $F_n W_7 B_6$

高圧レベル  $F_n W_9 B_0 B_1$

ディスクリレベル  $F_4 W_9 B_2 B_3$

センサ温度  $F_{36} W_{10}$

高圧モニタ  $F_{24} W_{10}$

スリット振巾モニタ  $F_{25} W_{10}$

} HK 項目

## 1.3 電子エネルギースペクトルの観測 (ESP)

東大宇宙研

平尾邦雄 西田篤弘 向井利典

林 友直 橋本正之

松栄電子(株)

### 1.3.1 観測目的および意義

電離圏および磁気圏において低エネルギー電子の果たす役割は非常に大きい。ESP の観測目的は 5 eV~11 keV の電子フラックスの磁力線に沿った 2 成分 (互に逆向きの成分, 即ち upward flux と downward flux) を同時計測することである。その物理的内容は次の 2 つの部分から成る。

#### (1) オーロラ電子の観測

この観測例は近年非常に多くあるが, まだ幾多の問題が残されている。特にオーロラ電子の加速機構の解明は電離圏・磁気圏相互作用および磁気圏サブストームの研究において非常に重要である。この機構の 1 つとして考えられている沿磁力線電場に関する情報を得るために, 通常観測されている keV-range の電子の他に非常に低いエネルギー ( $\sim 10$  eV) の電子を磁力線に沿って influx と outflux に分けて同時計測を行ない, その比較をすることは大きな意義がある。

NP モードでは, ATV の観測データとの比較によりオーロラのパターンに対応したエネルギースペクトルを得ることができる。また, GL モードでは ESW の観測データとの比較によりオーロラ電子の加速機構に関する情報が得られることが期待される。

#### (2) 電離層光電子の観測

光電子は電離層の熱収支において重要な役割を果たすが, この観測例はそれ程多くない。特に関心があるのは, protonosphere の熱入力あるいは磁気共役点効果において重要な escaping-photoelectron の観測である。そのエネルギースペクトルは, その origin の電離層 (観測された場所の磁力線に沿って下ろした電離層) の状態および途中での輸送を反映して, upward flux と downward flux に差があることが予想される。これらの観測は現在非常に少なく大きな意義がある。

### 1.3.2 電子分析装置

#### A. 原理および方法

電子分析器は図1に示すように同心半球形静電偏向板をエネルギー分析器として、その前にコリメータ、後に検出器としてのチャンネルマルチプライヤーを配置して構成される。コリメータを通して半球形静電分析器に入射した電子は、分析器電場によって偏向されエネルギー分散される。適当なエネルギーを有する電子のみが分析器を通り抜けてチャンネルマルチプライヤーに入射する。分析エネルギー  $E_0$  及び通過幅  $\Delta E$  (半値幅) は次式で与えられる。

$$E_0 = e (V_0 R_0^2 - V_i R_i^2) / (R_0^2 - R_i^2) \quad (1)$$

$$\Delta E / E_0 = \omega / (R_i + R_0) \quad (2)$$

ここで、 $e = -1.6 \times 10^{-19}$  Conlomb : 電子の電荷量

$R_0, V_0$  : 外球半径及び外球電位

$R_i, V_i$  : 内球半径及び内球電位

$\omega$  : 分析器の入口及び出口スリットの幅

今の場合、 $R_i = 28.0 \text{ mm}$ ,  $R_0 = 32.0 \text{ mm}$ ,  $\omega = 2.0 \text{ mm}$ ,  $V_i = -V_0 = V$  に設計されている。従って、 $E_0 / e = 7.53 \times V$ ,  $\Delta E / E_0 = 1/30$  となる。

チャンネルマルチプライヤーによって計数された counting rate と ambient flux の間の変換は次式で与えられる。

$$C = -\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0+\tau} dt \int_A \vec{r} \cdot d\vec{a} \int_{\Omega} d\Omega \int_0^{\infty} \epsilon(E) F(E, t) dE \quad (3)$$

ここで、 $E$  は電子エネルギー、 $\tau$  はサンプリング時間、 $\vec{r}$  は  $\Omega$  の方向の単位ベクトル、 $d\vec{a}$  は入口の面積素ベクトル、 $\Omega$  は立体角、 $\epsilon$  は計測器の検出効率、 $F$  は電子フラックスである。電子フラックスがサンプリング時間及び計測器の視野角と  $\Delta E$  にあまり依存しない場合、またチャンネルマルチプライヤーの検出効率が1に近いとすれば、(3)式は

$$C = \Delta E \cdot G(E_0) \cdot F(E_0) \quad (4)$$

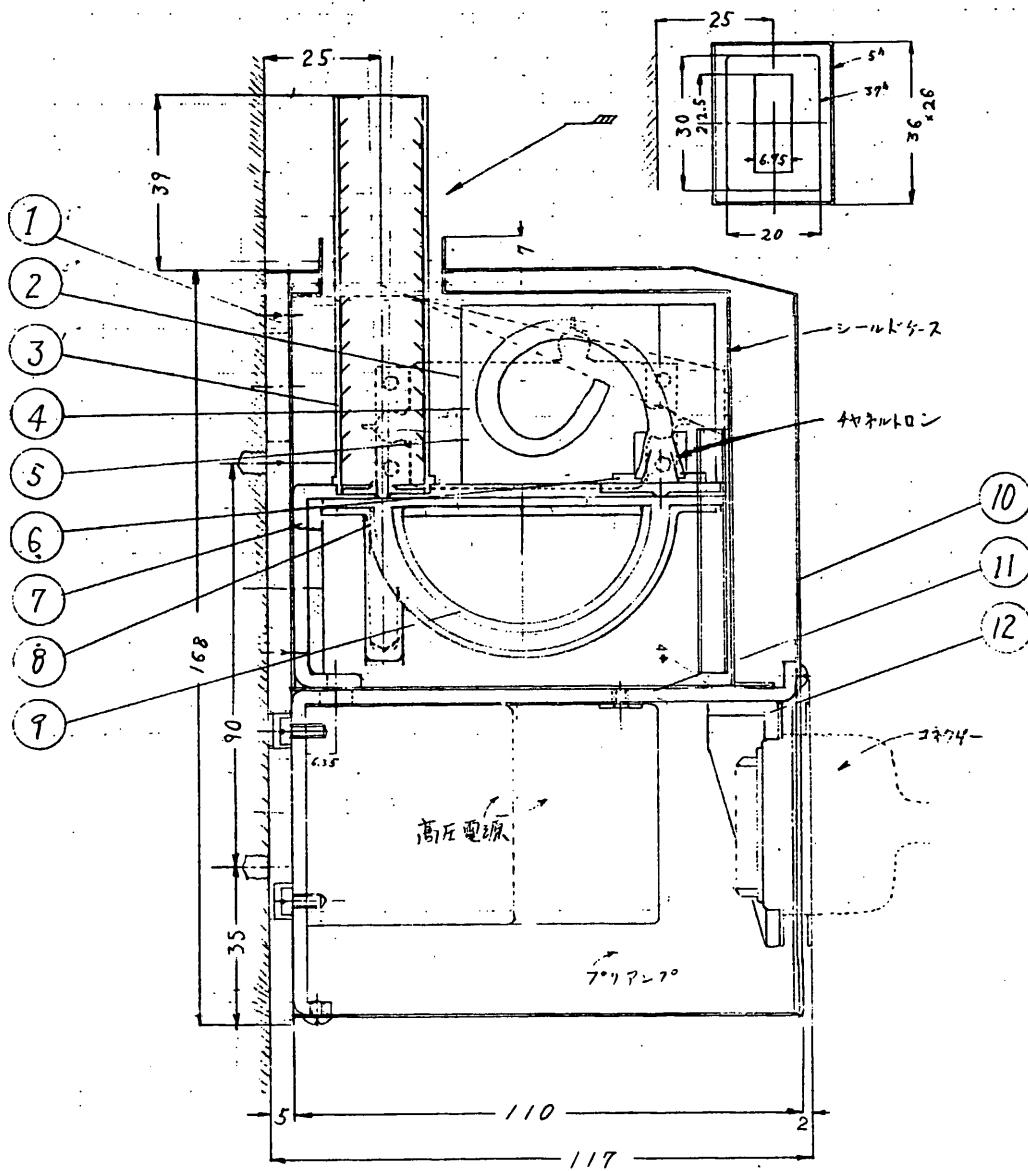
今の場合、 $C = 5 \times 10^{-5} \cdot E_0 \cdot F(E_0)$  となる。

チャンネルマルチプライヤーは複合型のフレキシブル・マルチプライヤーであって、そのゲインは  $10^7 \sim 10^8$  である。counting rate の dynamic range としては  $1 \sim 10^4$  cps ではゲインの低下はほとんど認められない。今の場合、マルチプライヤーの出力は計数法によって処理されるので、 $10^5$  cps を越えても充分有用である。

なお、電子分析器は磁気遮蔽のために high- $\mu$  metal でおおわれている。その遮蔽効果は 34 dB (実測値) である。

## B. 装置

電子分析装置は、センサ部とエレクトロニクス部(データ処理部)に分れている。センサ部は同一のものが2コあって、それぞれコリメータ方向が磁力線方向になるようにスラストチューブ



図番	名	約	規	部	組	数
1	スラット4-7mm取付板		525		1	
2	補強板		"		2	
3	コリナ-4-		"		"	
4	チャネルロン押入		970mm		1	
5	" 穴		"		"	
6	" 押入端子		B.P.S.H		"	
7	分析器取付金具		525		"	

8	同心半球形静電合板具		516		1	
9	"		"		"	
10	取付ケース		525		"	
11	高圧電源627mm取付板		"		"	
12	コネクタ取付金具		"		"	

図1 EXOS-A 電子エネルギー分光分析器 (ESP) センサー部



に取り付けられている。

図2にブロック図を示す。図1及び2に示すように、センサ部には電子分析器本体の他に分析器用掃引電源及びそのモニタ、チャンネルマルチプライヤ用高圧電源及びそのモニタ、プリアンプ部が納められている。

エネルギー掃引は分析器用電源が発生した指数関数的な掃引電圧 ( $\pm 1500 \rightarrow \pm 0.6$  volt) を半球形静電分析器に印加することにより行われる。この掃引の正体の時間は812.5 msecで、この他に立上り時間として125 msec, backgroundの測定時間(この間、分析器電圧の極性を逆転)として62.5 msecあって結局1回の掃引時間としては1000 msecになる。このエネルギー掃引はセンサIとセンサIIで同時に行われ、そのtimingはデータ処理部から制御される。

チャンネルマルチプライヤ用高圧電源は2.5～4.0 kvoltの直流電圧を発生し、この電圧の制御はコマンドによって行われる。マルチプライヤの出力の電荷パルスはプリアンプ部で増幅・弁別・整形されてデータ処理部に送られる。弁別レベルは入力電荷量換算で  $2 \times 10^{-13}$ ,  $8 \times 10^{-13}$ ,  $3 \times 10^{-12}$ ,  $1 \times 10^{-11}$  クーロンの4段階あって、このレベル設定はコマンドによって行われる。

カウントデータは15ビットのカウントで62.5/125 msecのサンプリング時間毎に連続的に計数される。このカウント出力(15ビット)は機上処理により8ビットに圧縮されて、一旦メモリに貯められた後、指定されたテレメータワードのtimingで地上に伝送される。センサIのデータは偶数フレーム、センサIIのデータは奇数フレームで伝送される。

1回のエネルギー掃引で10コのカウントデータ(うち1コはbackground)を得る。表1に各カウントデータに対応したエネルギー範囲及びサンプリング時間の関係を示す。なおテレメータワードのESP割当は表1の他にワード16, 17があるがこれは分析器電圧(正と負の2種類ある)のモニタである。

C. コマンド項目 ——— 表2 参照

D. モニタ関係

(1) 分析器電圧モニタ ——— ワード16及び17

分析器用掃引電源のモニタ出力として1/300に分圧した出力がある。このモニタ出力をバッファアンプを通した後、7ビットでA/D変換する。1回の掃引をカウントデータのサンプリングに同期して9点の測定でモニタを行なう。掃引の途中でモニタ用バッファアンプのゲインを切り換えるが、このゲイン切替のstatusの1ビットと前記の7ビットを合わせて8ビットのデータとする。

(2) Status Monitor ——— 表3 参照

(3) HK 項目 ——— 表3 参照

図 2. ESP ブロック図

# E. 消費電力

+12 volt ——— 103.5 mA  
 -12 volt ——— 32.0 mA  
 +5 volt ——— 32.0 mA  
 +15 volt ——— 80.0 mA (リレー駆動時)

# F. 重量

センサ部 ——— 1.9 kg × 2 = 3.8 kg  
 エレクトロニクス部 ——— 1.19 kg  
 合計 4.99 kg

表1. カウントデータのテレメータワードに対応した測定  
 エネルギー範囲及びサンプリング時間の関係  
 (設計値)

Word No	モ ー ド A		モ ー ド B	
	エネルギー範囲	サンプリング 時 間	エネルギー範囲	サンプリング 時 間
18	11.3 ~ 6.4 keV	62.5 ms	11.3 ~ 3.5 keV	125 ms
19	6.4 ~ 3.5 keV	"	3.5 keV ~ 1050 eV	"
20	3.5 ~ 1.9 keV	"	1050 ~ 320 eV	"
21	1.9 keV ~ 1050 eV	"	320 ~ 93 eV	"
22	1050 ~ 570 eV	"	93 ~ 51 eV	62.5 ms
23	570 ~ 170 eV	125 ms	51 ~ 28 eV	"
24	170 ~ 51 eV	"	28 ~ 15 eV	"
25	51 ~ 15 eV	"	15 ~ 8 eV	"
26	15 ~ 4.5 eV	"	8 ~ 4.5 eV	"
27	background	62.5 ms	background	"

(注) ESP の観測は NP, GL 両モードで行われる。

ESP に対するテレメータワードの割当は両モード同一である。

モード A : keV - range に主眼を置いたモード

モード B : 10eV - range に主眼を置いたモード

表 2. コマンド項目

項 目	リアルタイムコマンド				遅延コマンド		備 考
	C M		E N C		RRG・TIMER		
	AD	EX	A D	E X	AD	EX	
動作モード制御	1	13	—	—	2	3	
チャネルトロンH <sub>V</sub> 制御1	1	14	—	—	—	—	
” 2	2	13	—	—	—	—	
ディスクリレベル 1	2	14	—	—	—	—	
” 2	3	14	—	—	—	—	
CAL ON	4	10	—	—	4	2	連動コマンド
Sweep V ON	4	13	—	—	1	2	
NP Mode ON	—	—	NP Mode ⊕	NP Mode ⊖	4※	0※	連動コマンド
GL Mode ON	—	—	GL Mode ⊕	GL Mode ⊖	5※	0※	”
ESP OFF	3	13	ENC OFF⊕	ENC OFF⊖	—	—	”
高圧電源 ON	4	14	—	—	1	2	
ESP ON	2	15	—	—	1	3	
CAL OFF	4	11	—	—	5	2	連動コマンド

表 3. ESP の Status Monitor, HK 項目

フレーム No	ワード No	ビット No	項 目	“1”	“0”
F <sub>n</sub>	W <sub>7</sub>	B <sub>4</sub>	ESP ON/OFF	ON	OFF
F <sub>4n</sub> 及び F <sub>4n+1</sub>	W <sub>8</sub>	B <sub>2</sub>	HV レベル (1)		
		B <sub>3</sub>	HV レベル (2)		
		B <sub>4</sub>	ディスクリレベル (1)		
		B <sub>5</sub>	ディスクリレベル (2)		
		B <sub>6</sub>	観測モード A/B	A	B
		B <sub>7</sub>	SV モニタスタート	S	
F <sub>21</sub>	チャネルマルチプライヤHV モニタ (センサⅠ)				
F <sub>22</sub>	チャネルマルチプライヤHV モニタ (センサⅡ)				
F <sub>34</sub>	チャネルマルチプライヤ温度 (センサⅠ)				
F <sub>35</sub>	チャネルマルチプライヤ温度 (センサⅡ)				

} HK 項目

## 1.4 正イオン組成の観測 (MSP)

郵政省電波研

巖本 巖 佐川永一 水津 武 畚野信義

明星電気(株)

### 1.4.1 概 説

EXOS-A計画はエアロノミーの立場から磁気圏-電離圏の相互作用を、プラズマ諸量、紫外放射、オーロラ現象などの測定を通じて総合的に解明し、現在国際的に研究が進められているIMS計画などに積極的に寄与しようとするものである。本ミッション、"MSP"は質量分析計(Mass Spectrometer)により正イオン組成比、その分布を観測することにより、この目的の一端を担うことをめざしている。エアロノミーの総合性を重視する立場から、当初計画では中性大気組成も測定する予定であったが、軌道、電力その他の事情により、これは割愛せざるを得なかった。

上部電離圏以上の高度においては、プラズマは大気の主要構成要素であり、正イオン組成測定は基本的パラメータをおさえておくという意味で重要であるが、特に磁気圏-電離圏の相互作用を論ずる場合、プラズマ-正イオン組成比の分布に関する morphology 及び dynamics は

- (1) 磁気圏対流の様子を端的に示すこと
  - (2) 昼夜で入れ換る電離圏-磁気圏相互のプラズマの流入、流出の状態を示し、電離層物理にとっても重要であること
  - (3) 磁気圏境界面では wave-particle 相互作用が重要な役割をもっていると考えられるが、この場合磁場の強さとともに粒子密度が重要なパラメータであり、plasma sphere の形、その変化が密接な関係をもってくること
- といったような意味で重要である。

EXOS-A衛星の高度は500~4000 kmと予定され、磁気圏全体をカバーすることはできないが、軌道傾斜角 $65^{\circ}$ ~ $70^{\circ}$ で極域を通過するので、磁気圏の様子をかなり知ることができるであろう。この衛星と時期を同一にして、Top side sounder、球形プローブによるプラズマ測定器、ベネット型質量分析計などを搭載した電波研究所のISS-2が打上げられる予定になっており、両者のデータの相互比較を行うことにより有意義な結果が得られるものと期待される。ISS-2の軌道傾斜角はEXOS-Aのそれとほぼ同一で、高度1000kmの円軌道で、両者の軌道はクロスし、比較には都合がよく、Top side sounderによる"in flight calibration"も有効に行うこともできる。

本ミッションの測定器としては四重極型質量分析計（マスフィルタ）を分析部として、チャンネルトロンでイオンを検出しパルスカウント方式により計数する。ステップ状に質量掃引を行い1—16 AMUの範囲のイオンを測定する。これにより本衛星軌道で主要と考えられるH<sup>+</sup>、H<sub>e</sub><sup>+</sup>及びO<sup>+</sup>に加えてH<sub>e</sub><sup>++</sup>（又はD<sup>+</sup>）、N<sup>+</sup>などが測定できる。マスフィルタは磁場を用いず、高周波と直流電圧の制御によりかなり高い分解能が期待でき、磁気トルクによる姿勢制御を行う本衛星には適している。以下本測定器の主要な点について説明する。

#### 1.4.2 マスフィルタの原理

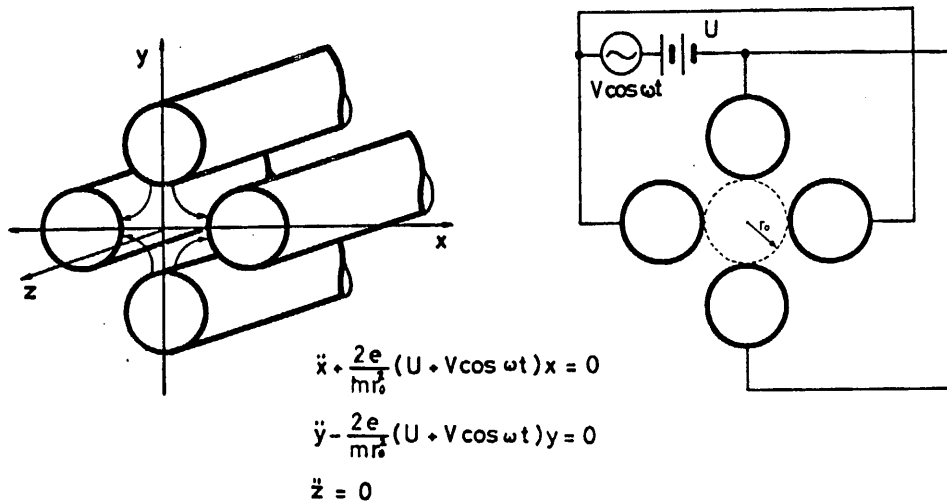


図 1. マスフィルタ動作原理

マスフィルタは双極型高周波電界中での荷電粒子の特異な運動を利用して質量対電荷比の異なるイオンの分離を行うものである。図1に示すように円形金属ロッド（理想的には双曲断面）を4本平行に配置して、直流、高周波電圧を重畳して印加する。座標を図のように選べばロッドで囲まれた空間での荷電粒子の運動方程式は図中に示すとおりとなる。

x, y に関する方程式は

$$\omega t = 2\xi \quad \frac{8eU}{Mr_0^2 \omega^2} = a, \quad \frac{4eV}{Mr_0^2 \omega^2} = q$$

とおき換えると、

$$\frac{d^2 x}{d\xi^2} \pm (a + 2q \cos 2\xi) X = 0, \quad + : \text{for } x, - : \text{for } y$$

となりよく知られたマシューの微分方程式に帰着する。

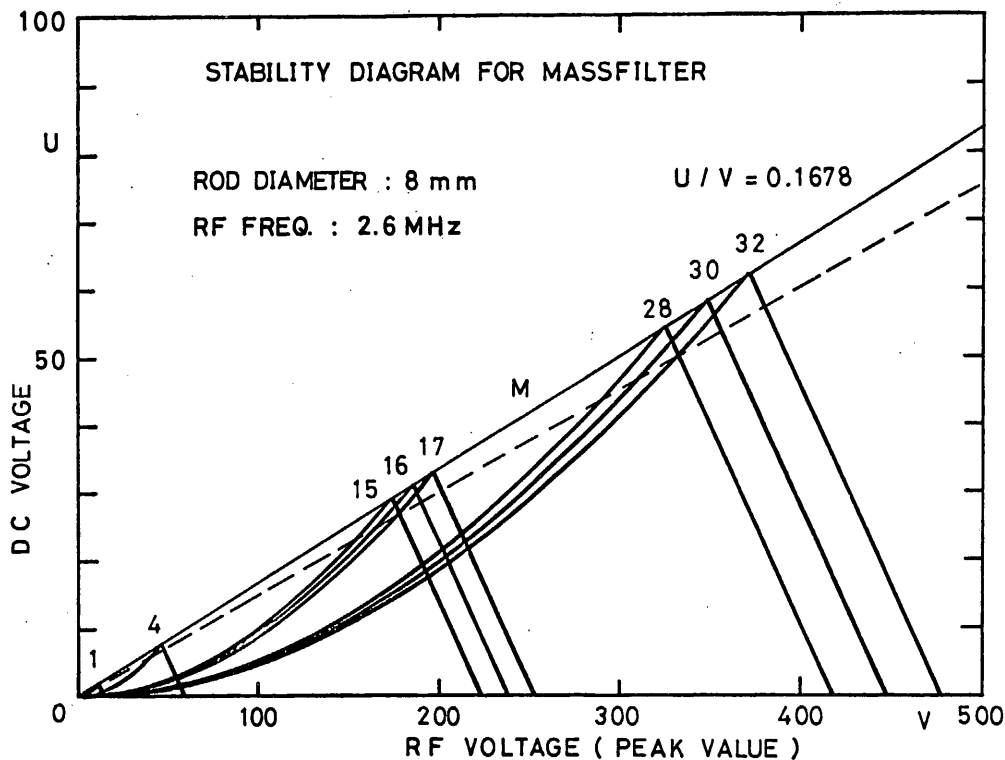


図 2. U - V 平面上の安定領域

この方程式の解は  $a, q$  の値により安定、不安定に分れ、安定解は有限範囲でイオンが振動することを意味し、不安定解の場合、イオンの軌跡は無限に発散することを意味する。図2はイオンの質量数を一定に定めた時、U-V平面上に安定領域を図示したものである。それぞれのイオンについて略三角形で囲まれた範囲が安定領域である。この図で明らかなように三角形の頂点附近では単一の質量数のイオンのみで安定であり、U, V電圧をこの値に設定すれば、単一のイオンのみがロッド中を通過し、他のものは発散され、マスのフィルタ作用をもつことがわかる。この三角形の頂点は  $U/V = 0.16784$  の直線上にあり、直流、高周波電圧の値をこの比に保って両者を掃引すれば質量スペクトルが得られる。又図2から  $U=0$ 、即ち直流電圧をゼロとすると高周波電圧で決めるある質量数以上のイオンは全て安定で、high pass filterの作用があることもわかる。

これはいわゆるトータルイオンモードで、マスフィルタをこのように使って衛星観測した例もある。このようにして分析されるイオンの質量数  $M$  は

$$M = 0.139 V / (f^2, r_0^2)$$

$$M = \text{in AMU}, \quad V : \text{in Volt (peak 値)}, \quad f : \text{in MHz}$$

$$r_0 : \text{in cm}$$

分解能は

$$\frac{M}{\Delta M} \cong 0.1261 (0.1678 - U/V)$$

で与えられる。即ち  $U/V = 0.1678$  で分解能最大、感度 0 となる。 $U/V$  比を変化させることにより、感度、分解能の調節を行うことができる。

図 3 は時間軸を横に取り、 $y$  方向の変化、即ち  $y-z$  plane 内でのイオンの軌跡の例を計算して図示したものである。いずれも  $(y)_{t=0} = 0$ ,  $(dy/d(\omega t/2))_{t=0} = 1$ , 初期位相 = 0 の条件で  $U/V$  比のみ変えたものであるが、 $U/V$  比が極限に近づくに従って運動の振巾が大きくなり、

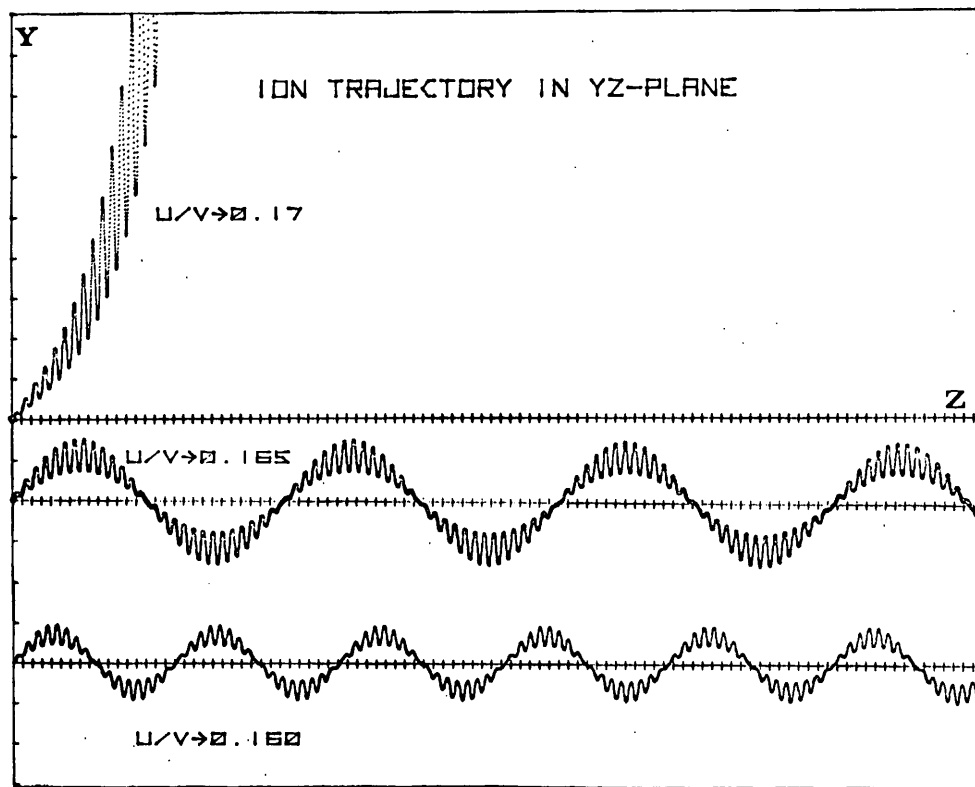


図 3.  $Y-Z$  面内でのイオンの軌跡の例  
 $([y]_{t=0} = 0, [dy/d(\omega t/2)]_{t=0} = 1)$   
 原点は見易くするため移動させている。  
 (縦軸 1 目盛 = 10, 横軸 1 目盛 =  $\pi$ )



これを越えると発散することがわかる。又この図からマスフィルタは軸方向への収束作用があることが見てとれる。これはイオンのとり込み角度が一定しない本衛星での観測にとって好ましい性質である。

### 1.4.3 MSP 装置

図4にMSP装置の構成を示す。MSP装置はセンサ部(MSP-S)と回路部(MSP-E)に分れており、センサ部には分析部、プリアンプ、高周波終段回路が、回路部にはロッドに印加す

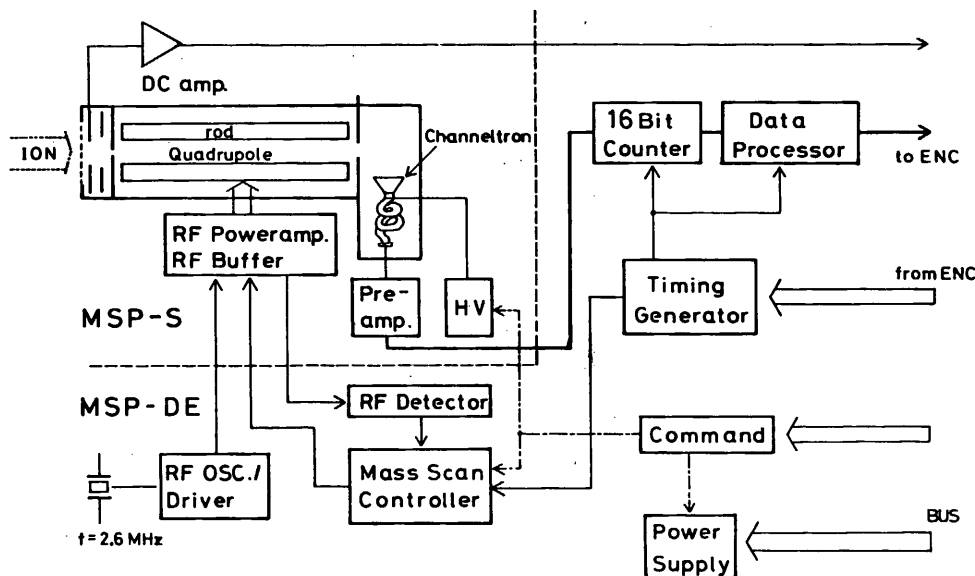


図 4. MSP ブロック図

る直流—高周波制御回路、計数回路、データ処理回路などが納められている。分析部は図5のようにイオンレンズ系、四重極ロッド、チャンネルトロンにより構成されている。レンズの最初の電極は-5 Vにバイアスされ、イオンの捕集を行い、中間の電極で流れ込むイオンの総量をモニタする。この電流モニタの感度はコマンドにより high 及び low - gain の切り換えができる。本衛星にはイオン総量を測定するミッションが搭載されていないので、このモニタには4フレームに1ワードしか割り当てていないが有益な情報である。

分析部の中心である四重極ロッドはNEVA社のモリブデン製で直径8 mm ( $r_0 = 0.345$  cm)、長さ11cmのものを用いている。ロッドの組み立て精度が分解能の良悪を決定するため、数ミクロンの精度で仕上げられている。

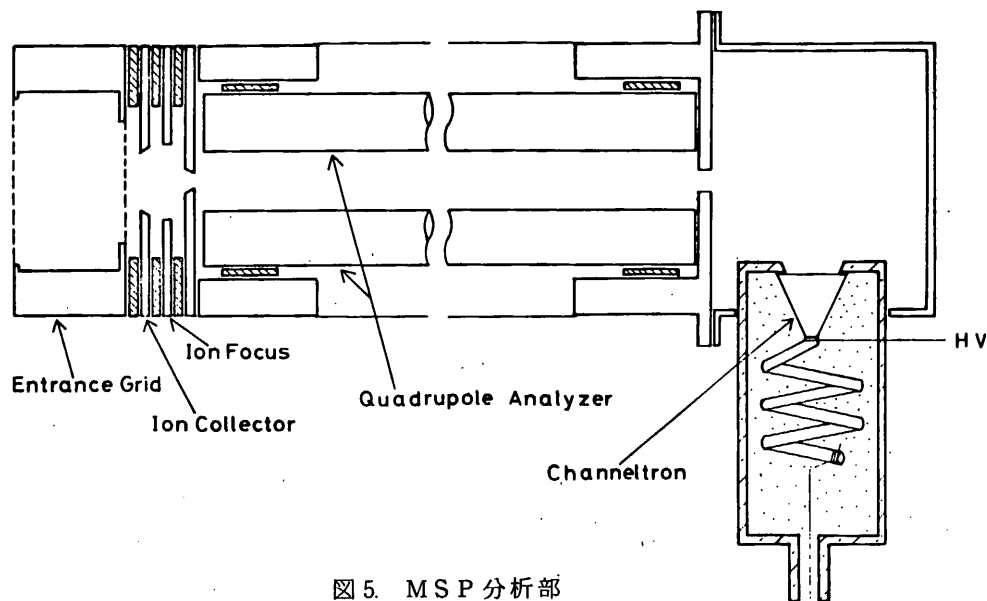


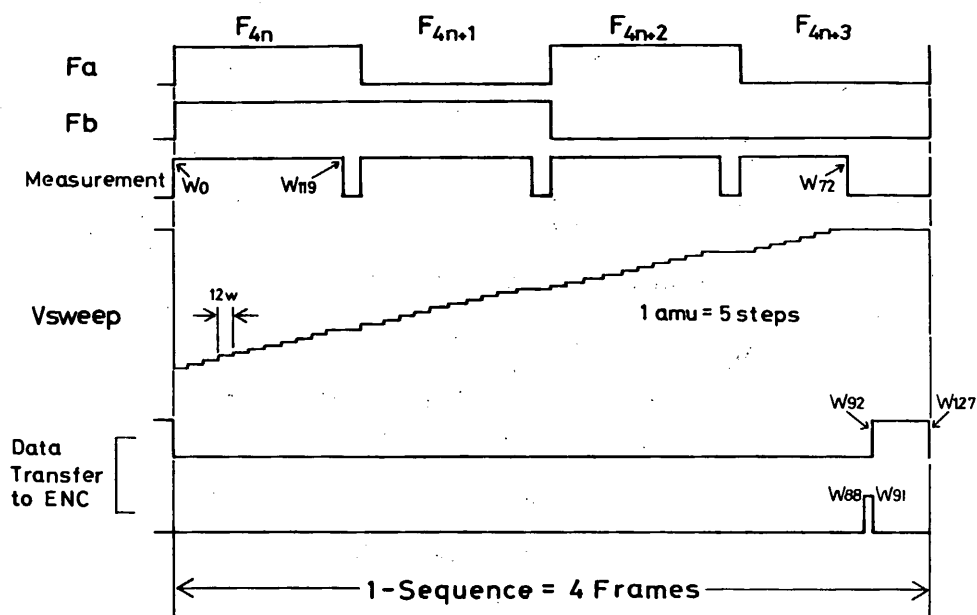
図5. MSP分析部

ロッドの中心電圧とロッドのケース全体を負電圧にバイアスしてイオンの良好な透過を図っている。ロッド中心電圧はコマンドにより $-5\text{ V}$ 又は $-10\text{ V}$ に変化することができ、感度の調整に利用する。この電圧を中心にして同じ振幅で逆極性でかつ比を一定に保った高周波及び直流電圧を2組のロッドに印加する。高周波の周波数は $2.6\text{ MHz}$ で水晶発振器を用いて安定している。図6のタイミングチャートに示すように、上記高周波—直流電圧を階段状に掃引して質量数のスキャンを行う。質量範囲は $1-4$ 及び $14-16\text{ AMU}$ である。データ検約のためにあまり存在が考えられない $5-13\text{ AMU}$ の範囲の測定は行わない。

$17\text{ AMU}$ 以上のイオンについては $^{18}\text{O}^+$ 、 $\text{H}_2\text{O}^+$ とか、又場合によっては $\text{N}_2^+$ 、 $\text{NO}^+$ 及び $\text{O}_2^+$ などの分子イオンの存在も考えられるが、この衛星の高度では主要でないこと、測定器のダイナミックレンジの拡大の必要があり、又、与えられたテレメトリワードも足りないことなどにより、掃引は行ず、直流電圧を0に落すトータルイオンモードで1ワード測定する。上記7質量数の掃引には1質量数当り5段階、計35段階電圧を4フレームかかって変化させ、各段毎に1ワード分のデータを取得しメモリしておき、最後にまとめてエンコーダに送出する。

直流—高周波電圧の比、 $U/V$ 比は分解能、感度を決定する。この比の値は $0.1650 \sim 0.1678$ 程度の範囲で制御する必要がある、極めてクリティカルである。このため、直流電圧は高周波電圧を整流することにより発生させ、フィードバックをかけて安定させている。 $U/V$ 比の値は4種類用意され、コマンドにより選択する。

イオンの検出にはヘリカル型のチャンネルترون（ガリレオ・エレクトロオプティックス社C EM 4039）を用い、イオンによる信号パルスをカウンタで計数する。チャンネルترونは細いが



MSP Timing Chart

図 6. MSP測定タイミングチャート

ラス製で壊れ易くかつ高電圧（-3KV）が印加されるので実装には特別の注意が必要とされる。我々の場合には、エポキシ製ケースにチャンネルトロンを入れ、シリコンゴム系の RTV-11（GE社）で薄くポッティングし、振動による破壊と熱サイクルによる破損にそなえている。

イオンの計数には16ビットのアキュムレータを用い、これを指数部4ビット、仮数部4ビットのフローティングの8ビット信号に圧縮する。

MSPに与えられたテレメトリデータワードは図7に示すように  $F_{4n+3} : W_{88} \sim W_{127}$  の40ワ

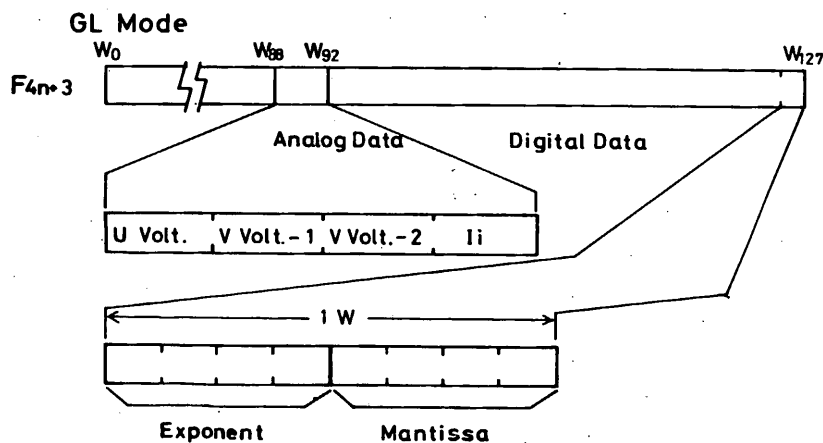


図 7. MSPデータ配分及びデータ形式

ードで  $W_{88} - W_{91}$  にはアナログのモニタ電圧が、 $W_{92} - W_{127}$  には先に述べた36ステップに対応するカウントデータが送られる。このようにデータ送出は  $F_{4n+3} W_{88} - W_{127}$  で行れるが、測定は先に述べたように全フレームにわたって行れ、シフトレジスタに次々と蓄えられている。

論理回路系の動作状態をチェックするために CAL-ON の時には水晶発振器の信号を分周して、チャンネルトリグ出口に加えている。

表 1

COMMAND, STATUS and HK ( MSP )

I, Command

AD	EX	Function
5	10	Rod Bias Volt. 1-2 *
	11	Gain 1-2 *
	12	MSP - ON
6	10	MSP HV - ON
	11	U/V - 1
	12	U/V - 2
7	10	U/V - 3
	11	U/V - 4
	12	MSP - OFF

\* cyclic command

II, Status

Fn	Signal	Range
23	MSP - HV	0- 3.5 kV
37	MSP - S - Temp.	-50 - +80°C
40	MSP - E - Temp.	//

III, HK

Wn	Bn	Signal
7	3	MSP - ON -OFF
9	4,5	U/V Status
9	6	Rod Bias Volt.

表1には今まで述べたコマンド項目、その他ステータスモニタ、HK項目などがまとめられている。

## 1.5 電子温度の観測 (TEL)

東大宇宙研

平尾邦雄 小山孝一郎

三留重夫

松栄電子(株)

### 1.5.1 観測目的

EXOS-Aは準極軌道衛星であり、赤道から極光帯までの広汎な緯度圏をカバーした観測が可能である。いわゆるF領域の赤道異常を1000 km以上の高度で観測することができる。特に興味深いのはプラズマポーズ付近の電子密度、温度の緯度プロファイルである。またこの地域は赤色アーク出現の領域であり磁気圏からの熱伝導による上部熱圏の加熱、運動などを電子密度、温度をモニターすることによって知ることができるであろう。電子温度測定器は電子温度だけを測定するものであって、電子密度はDC Langmuirプローブによって測定される。

### 1.5.2 測定原理

プラズマ中に浸された電極に高周波電圧を印加するとシースの非直線性によって浮動電位（イオン電流と電子電流が等しくなる電位）が変化する。この電位の変動  $\Delta V_f$  は

$$\Delta V_f = G \cdot k T_e / e \cdot \ell_n \left[ I_0 \left( \frac{ea}{k T_e} \right) \right]$$

ここで

a : 印加した高周波電圧の振幅 (V)

e : 電子の電荷,  $1.6 \times 10^{-19}$  C

k : ボルツマン定数  $1.38 \times 10^{-23}$  J/ $^{\circ}$ K

$T_e$  : 電子温度  $^{\circ}$ K

G : 増幅器利得

と表わされる。この式で  $\Delta V_f$  は測定量であって、従って  $\Delta V_f$  がわかれば電子温度が原理的には算出できる。しかしこの為には増幅器の利得Gが正確に知られていなければならず、電子温度算出の精度がGによって左右されることになる。実際には振幅 a, 2a を印加したことによる浮動電位の変動分  $\Delta V_{f1}$  および  $\Delta V_{f2}$  を検出し、その比 r を取ることによって電子温度を求める。

即ち

$$r = \frac{\Delta V_{f2}}{\Delta V_{f1}} = \frac{\ell_n \left[ I_0 \left( \frac{2ea}{k T_e} \right) \right]}{\ell_n \left[ I_0 \left( \frac{ea}{k T_e} \right) \right]}$$

において、 $r$ が測定されると、 $k, e, a$ は既知であるので上式より電子温度がもとめられる。上記の方法によって得られるデータは、まず情報処理が通常のDCラングミュアプローブ法と異なり極めて簡単であるということ、電極汚染の影響をうけないので信頼性の高いデータが得られることである。また測定器そのものについていえば、DCラングミュアプローブ法よりはるかに部品点数が少ないことがあげられる。

### 1.5.3 測定器

上記の原理に従って設計された測定回路のブロックダイアグラムは図1のようである。測定器は大きく2つにわけられる。その一つは衛星より突出され始終きびしい宇宙環境におかれる電子温度プローブと衛星内部にあって Encoder へ入力する為のデータ処理部である。

電子温度プローブは電極へ印加する高周波電圧の発生回路とこの振幅を変調するパルス回路、および高周波電圧を電極へ印加したことによって得られる浮動電位の shift の検出、その増幅のための回路である。電極に印加する高周波電圧はコマンドによって2段階に切換えることができる。測定器の校正時においては、高周波電圧をダイオードに印加した時の電位の shift が出力にあらわれることになっており、これによって DC Ampおよび高周波電圧発生回路のチェックを行う。電子温度プローブは磁力線に沿う方向とこれに直角な方向に一個ずつ突出され、特に極域における電子温度の方向性をしらべることができるであろう。衛星内部におかれたデータ処理部は電極に印加した高周波電圧の振幅に応じて、順次に送られてくる浮動電位をまずホールドし、指定された時間まで store してこれを Encoder へ送り出すための回路である。処理部は2個の電子温度プローブに対して共通で、センサー1, 2の信号は共にデータ処理部へ送られ一フレーム毎に交互に Encoder へ送られる。

電子温度の測定範囲は  $300 \sim 5000 \text{ }^{\circ}\text{K}$  で電子密度  $10^3 \text{ e}/\text{cm}^3$  以上であれば信頼しうるデータをうるることができる。

以上電氣的な諸元をまとめると

セ ン サ ー 部	部 名	数	規 格 そ の 他
	プ ロ ー ブ	2	130 $\phi$ , 2分割 金メッキ
	高周波印加部	2	30 $\text{KH}_2$ , 0.4/0.8 $\text{V}_{\text{p-p}}$ 又は 0.5/1.0 $\text{V}_{\text{p-p}}$
	直流増幅部	2	Amp Gain 15倍, 周波数特性 (100 $\text{H}_2$ (-3db))
	校正信号発生部	2	入力 0.8 $\text{V}_{\text{p-p}}$ にて出力 0.3 V DC
ア ナ ロ グ 処 理 部	データ保持部	4	ホールド時間 15.6 ms
	センサー切換部	1	センサー1およびセンサー2の出力を交互に切換えData outする
	制御部	1	各部の動作をコントロールするパルスを発生させる
	P・S コマンド部	1	コマンド信号による装置の電源の on-off を行う
	TEL/NEL 出力切換部	1	TEL 出力と NEL 出力の切換を行う

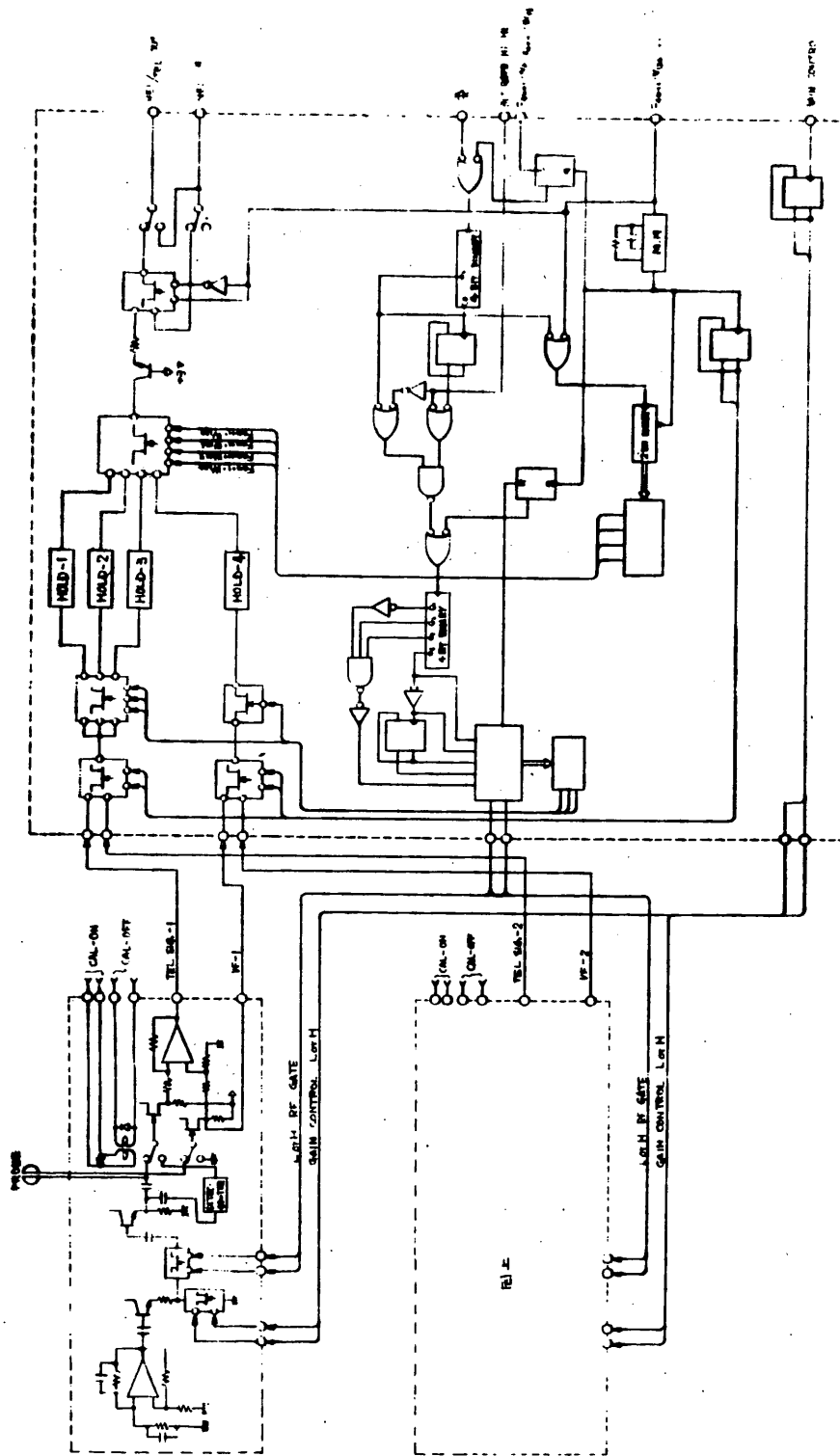


図1. 電子温度測定器 Block Diagram

## 2. 性能

### 2-1 高周波印加部

#### 1) 印加電圧

電圧振幅  $0.4\text{ V}_{p-p}$  および  $0.8\text{ V}_{p-p}$  又は  $0.5\text{ V}_{p-p}$  および  $1.0\text{ V}_{p-p}$  をコン  
ドからの Gain Control により切換る。

印加時間 , 4 フレームに 1 回,  $0\text{ V}$ ,  $0.4\text{ V}_{p-p}$ ,  $0.8\text{ V}_{p-p}$  (又は  $0\text{ V}$ ,  $0.5\text{ V}_{p-p}$ ,  
 $1.0\text{ V}_{p-p}$ ) を  $125\text{ ms}$  の間印加し, その他の時間を  $0\text{ V}$  とする。

2) 周波数および許容差,  $30\text{ KHz} \pm 5\%$  以内

3) 振幅安定度, 4 % 以内

4) 歪率, 1 % 以内

5) 振幅設定許容差,  $(0.4 \pm 0.002)\text{ V}_{p-p}$ ,  $(0.5 \pm 0.00025)\text{ V}_{p-p}$   
 $(0.8 \pm 0.004)\text{ V}_{p-p}$ ,  $(1.0 \pm 0.005)\text{ V}_{p-p}$

### 2-2 直流増巾部

1) 入力電圧  $0.3\text{ V max}$  ( $0.8\text{ V}_{p-p}$  印加時)

2) 増幅度 10 倍

3) 周波数特性  $100\text{ Hz} (-3\text{ db})$

4) CMRR 60 db 以上

### 2-3 校正信号発生部

1) 入力信号  $30\text{ KHz}$   $0.4/0.8\text{ V}_{p-p}$  又は  $0.5/1.0\text{ V}_{p-p}$

2) 出力電圧  $0.8\text{ V}_{p-p}$  入力にて  $0.2 \sim 0.3\text{ V}_{DC}$  (可変できること)

### 2-4 データ保持部

1) 検出エラー 1 % 以下

2) リークエラ 1 % 以下

3) データ保持時間  $62.5\text{ ms}$

### 2-5 センサー切換部

1) センサ 1 とセンサ 2 の出力を 4 フレーム毎に切換てアナログ処理部の入力とする。

### 2-6 制御部

#### 1) 入力パルス

ビットパルス  $512/2048\text{ bit/sec} (\phi_2)$

リードパルス  $F_{4n+1} \cdot W_{124 \sim 127}$

タイミングパルス  $F_{4h+1} \cdot W_0$

タイミングパルス  $F_{4n+1} \cdot W_{96}$



ビットレート切換パルス Bit-rate Hi/Low

2) 出力パルス

センサーコントロールパルス

データ保持部コントロールパルスおよび

TEL 出力コントロールパルス

3) 出力信号

TEL/NEL OUT (アナログ信号)

4) モニター信号

センサー 1 or 2 デジタル信号

Gain 1 or 2 デジタル信号

TEL on-off デジタル信号

2-7 PS およびコマンド部

1) 入力コマンド信号 12V および 0V (2 信号)

2) 操作項目 PS-ON および PS-OFF, センサー部

Gain Control, cal control

コマンド項目

	リアルタイムコマンド						用 途	備 考
	C M		ENC		遅延 コマンド			
	AD	EX	AD	EX	AD	EX		
NP - mode ON	—	—	⊕	⊖	4	0	TEL 電源 ON	連動コマンド
GL - mode ON	—	—	⊕	⊖	5	0		“
TEL OFF	6	4	⊕	⊖	—	—	TEL 電源 OH プリセットクリア	“
CAL ON	4	10	—	—	4	2		“
CAL OFF	4	11	—	—	5	2		“
Gain Control	5	4	—	—	—	—		
TEL ON	6	15	—	—	1	0	TEL 個別 ON プリセットクリア	

3) 電源  $\pm 12V$  4%  $100_m V_{PP}$

4) 消費電流  $+12V$   $10_m A$

$-12V$   $10_m A$

## 2-8 TEL/NEL 出力切換部

NELの出力をTEL内に取り込みTEL内で切換えてENCに出力する。TEL OFFの時はNELをENCに出力する。TEL専有時間は $F_{4n+1} W_{124} \sim W_{127}$ とする。

## 2 構造

電子温度測定器の概観図を図2に示す。

機械的諸元は下記の通り

3-1, センサー部  $130 \phi \times 25(H)$  2個, 重量0.2 kg 2個

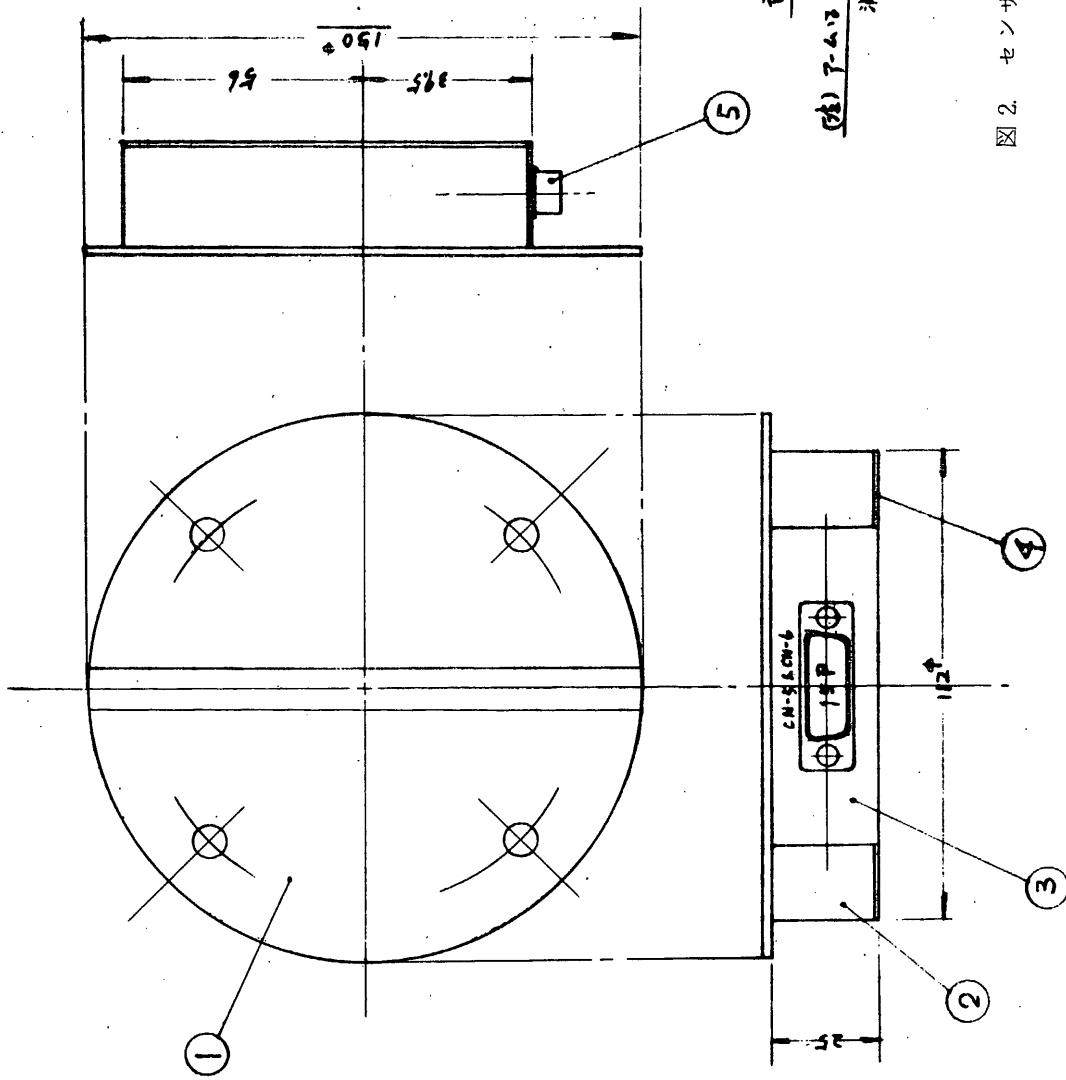
アナログ処理部  $130 \times 165 \times 70(H)$  重量0.9 kg

### 1.5.4 電子温度プローブの熱設計について

電子温度プローブは衛星本体から約1 mつき出され厳しい宇宙環境におかれることになる。従って電子温度プローブが正常に働けるように独自に熱に関する問題を解決しなければならない。予備的なテストは90 $\phi$ 厚さ1 mmのケースの内部にプリント基板をおき、上部はエコホームを満し、スーパーインシュレーターで三重包みにして行われた。この際ケースはエピコ2000で塗装した。クセノンランプで1時間照射し、その後1時間OFFした時のケース各部の温度変化はケース基板で最低-87 $^{\circ}C$ , 最高-54 $^{\circ}C$ , 電極で最低-76 $^{\circ}C$ , 最高25 $^{\circ}C$ , プリント板で最低-66 $^{\circ}C$ , 最高-34 $^{\circ}C$ で測定器の動作からいえば、もう少し安全側にもっていききたいところである。

### 1.5.5 今後の問題

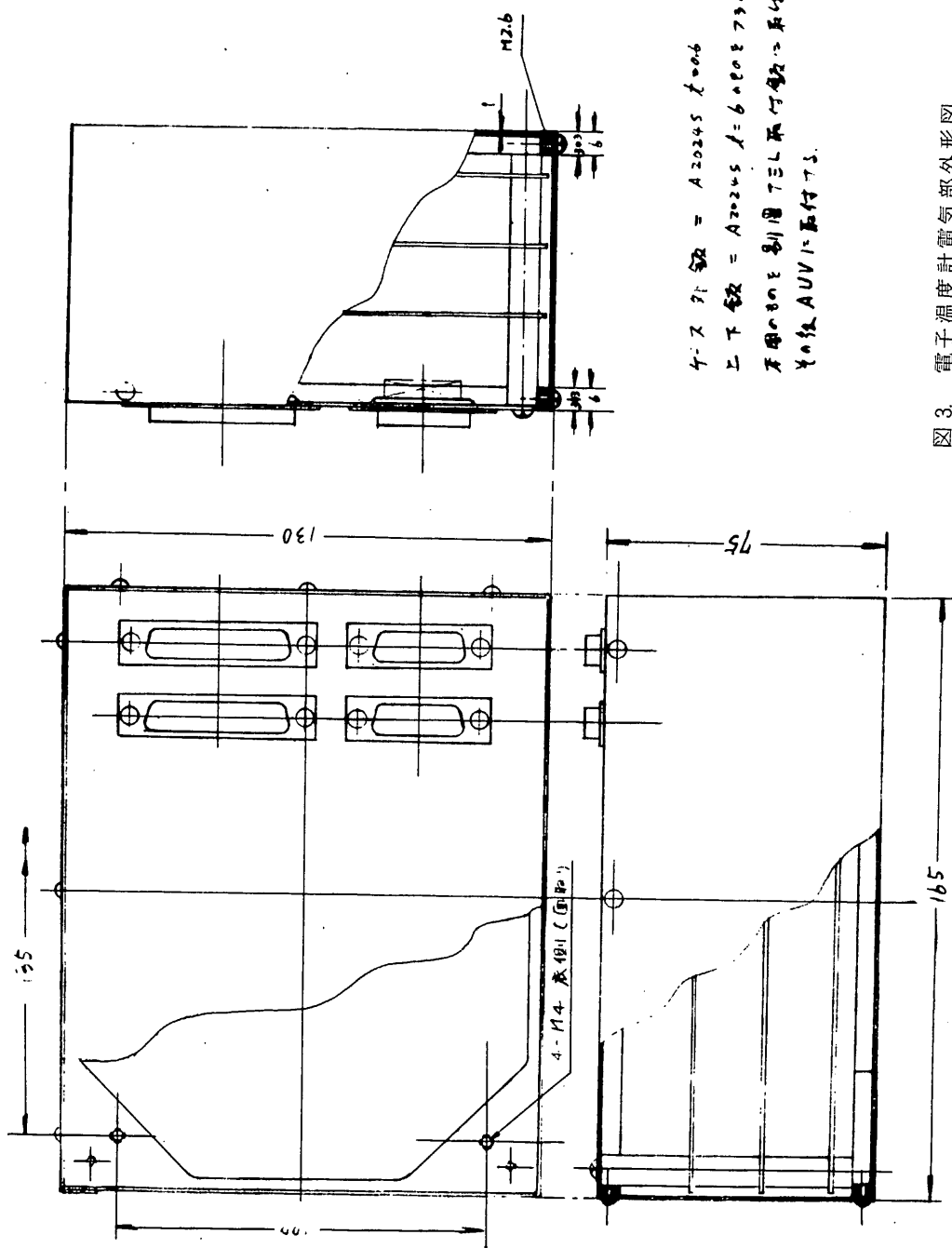
電気系そのものの動作については多くのロケット実験および“たいよう”衛星の経験によって十分に信頼できると思われる。前述のように予備実験が示すように、電子温度プローブを取巻く環境が極めてきびしい。この問題については、塗装の種類をかえて再度実験し最終的にケースに塗る材料を決定しなければならない。また予備実験ではブームの熱伝導を考慮してなく、この影響をどのように評価するか難しい所である。



質量 = 200g

(注) 7-6.13 ESW 2 10-7-6.13  
消費電力 0.1 W

図 2. センサー部図面



4-12 外観 = A20245 1006  
 上下観 = A20245 1006 7317 752  
 正面観と側面 7317 752 系付  
 4-12 AUV 1006 系付

図 3. 電子温度計電気部外形図

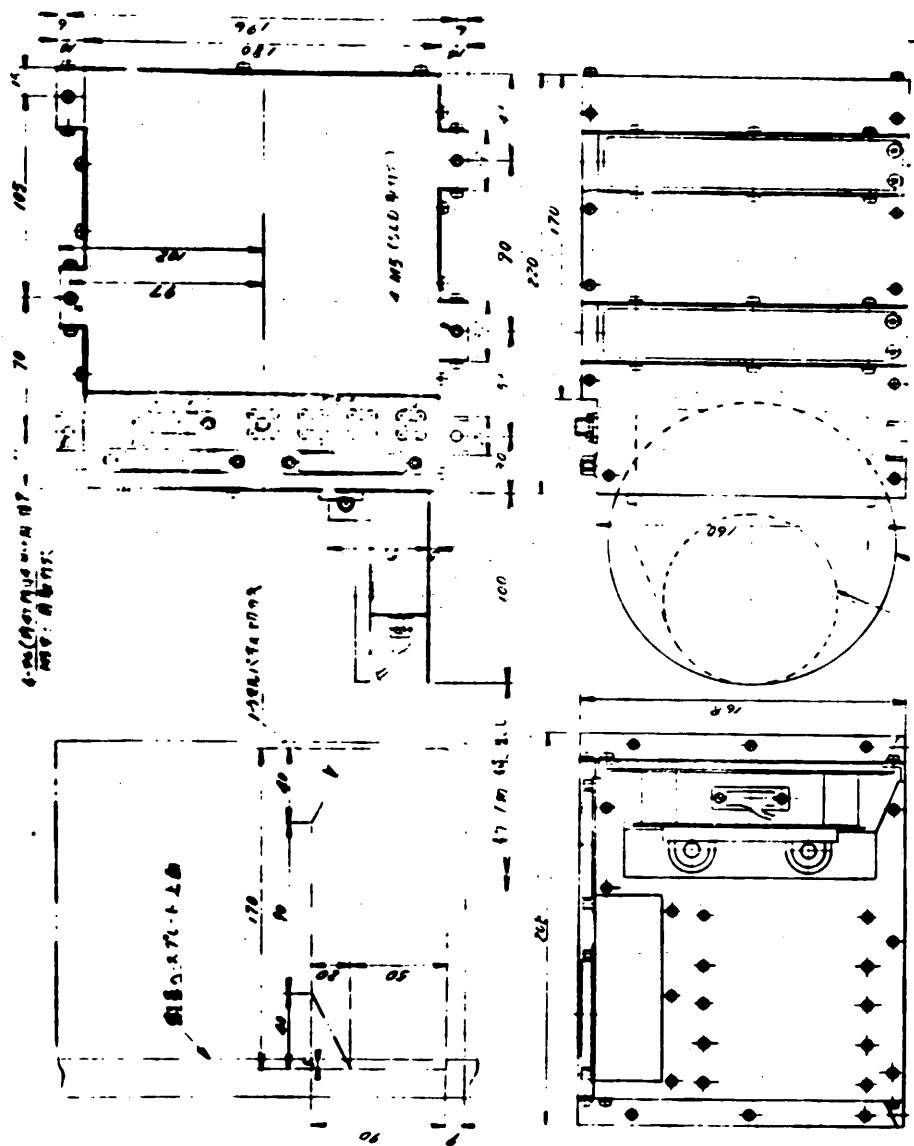


図4. 電子温度プローブ取付位置

TEL. 07-1000000  
TEL. 07-1000000  
TEL. 07-1000000

## 1.6 電子密度の観測 (NEL)

東大宇宙研

平尾邦雄 小山孝一郎

明星電気(株)

### 1.6.1 概要

電子密度は電離圏、磁気圏における地球物理現象を議論する時に欠かせないプラズマパラメータの一つであり、地上からは電離層観測器によって、宇宙空間においては、1945年V-2 ロケットによって初めてE層の電子密度が測定されて以来、ほとんどすべての観測ロケットおよび衛星で測定されてきた。電子密度は主に電極に電圧を印加した時に流れ込むあるいは流れ出る電流との関係から求められてきた (DC ラングミュアプローブ法)。DC ラングミュアプローブはEXOS-Aにおいても、極域現象に重点をおいて、主に電子密度を測定すべく搭載を予定されている測定器であって、これから得られるプラズマ物理量は上記の電子密度の他に電子温度、質量分析計およびエネルギー分析装置などのデータとあわせて総合的に検討される。

### 1.6.2 測定原理

衛星からまわりのプラズマに突出された電極に流れ込む電流  $i_p$  は

$V < V_p$  のとき

$$i_p = \frac{1}{4} N_e \cdot S_e \cdot e \cdot \sqrt{\frac{8k T_e}{\pi m_e}} \exp\left(-\frac{eV_p}{k T_e}\right) + i_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

$V > V_p$  のとき (シリンダープローブの時)

$$i_p = \frac{1}{4} N_e \cdot S_e \cdot e \cdot \sqrt{\frac{k T_e}{\pi m_e}} \cdot f \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで 
$$f = \frac{a}{r} P(\sqrt{\phi}) + e^\eta \left(1 - P(\sqrt{\eta + \phi})\right)$$

$$\eta = \frac{eV_p}{k T_e}, \quad \phi = \frac{r^2}{a^2 - r^2} \quad \eta$$

$$P(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$$

$r$  ; プロブ半径,       $N_e$  ; 電子密度  
 $a$  ; シース半径       $S_e$  ; プロブ表面積

$e$  : 電子の電荷  $V_p$  空間電位

$k$  : ボルツマン定数

$m_e$  電子質量

$i_i$  : イオン電流

室内実験においては電子温度は  $V < V_p$  即ちまわりのプラズマ電位に対して電極電位が低い時の式(1)より、イオン電流をさしひいて、これを片対数プロットすることによりもとめ、また電子密度は  $V = V_p$  における電流より計算する事が広く行われているが、宇宙空間プラズマにおいてはプローブ特性を一般的に

$$i_p = A e p \left( \frac{e V_p}{k T_e} \right) + B V_p + C$$

とおき、実際に与えられた電流とのカーブフィティングにより、 $B$ 、 $C$ 、即ちイオン電流成分に関する情報と  $A$  即ち電子密度に関する情報及び  $T_e$  をもとめる方法が広くとられており、この衛星でもこの方法によって Data 処理を行う予定である。

### 1.6.3 測定器

上記の原理に従って設計された測定器は電極に印加する掃引電圧を発生する回路とその結果電極に流れ込む電流を検出、増幅する DC AMP であり、おおよその電子密度を知るためのピーク電流の保持回路、衛星電位検出回路が付加されている。この他に DC AMP ゲイン切換、測定器の ON-OFF、掃引電圧の設定等のためのコマンドに関する回路がある。電極に印加する掃引電圧は本来 0 から 3 V で極域において衛星電位の変動が考えられるので、時に応じて、-1, 0, 1 および 2 V のげたをはかせ、従って掃引電圧は -1 ~ 2 V, 0 ~ 3 V, 1 ~ 4 V, 2 ~ 5 V に設定できるようになっている。プラズマ密度の測定範囲は  $10^2 \sim 10^5$  els/cm<sup>3</sup> で 300 ~ 600 0° K の電子温度が測定できるであろう。

### 1.6.4 センサーについて

使用される電極は長さ 230 mm, 直径 2 mm の心線を先端より 98 mm のところから長さ 132 mm (内径 3.6 mm, 外径 4 mm) の円筒でおおったもので、心線と外側円筒電極には同じ電圧を印加するが、心線に流れる電流のみを検出増幅し、エンコーダへ送る。電極および外側円筒は外径 8 mm, 内径 6 mm のガラス管に封入されており地上で約 300 °C に加熱しながら真空に引き、約 1 週間後にチップオフして電極汚染に対して策をほどこしたのち、衛星が宇宙空間にとびだしてから、ガラス管をわり測定を開始する。このセンサーに関する、ガラス管の破壊、電極のつき出しの動作の具合は 1 word を使ってモニターする。

### 1.6.5 Encoder への入力信号について

NEL 信号は、NP モードにおいては  $F_0 \sim F_{57}$ 、GL モードにおいては  $\sum_{n=0}^{63} F_{4n+1}$  の  $W_{28} \sim W_{123}$  までを使ってエンコーダに送られる。このうち  $W_{28}$  は下記のように、プローブの バイアス、AMP Gain, Calibration などの Status Monitor につかわれる。

### 1.6.6 電氣的諸元のまとめ

#### (1) ステータスモニター

電子密度測定器の電氣的諸元をまとめると下記のようなものである。

$W_{28}$ $B_0$ , Bias 制御	$B_5$ , SAFETY SW ON, モニタ
$B_1$ , Bias 制御	$B_6$ , $A_n$ + カッターモニタ
$B_2$ , Bit rate H/L	$B_7$ , $A_n$ + 伸長終了モニタ
$B_3$ , Amp Gain H/L	
$B_4$ , NEL CAL	

#### (2) アナログ信号

$W_{29}$ , $W_{123}$	バイアス電圧
$W_{30} \sim W_{119}$	電圧電流特性をそのまま送る。
$W_{120}$ , $W_{121}$ ,	衛星浮動電位
$W_{122}$	プローブ掃引電圧の最大値が印加された時の電流の保持値

#### (3) NEL ON-OFF 識別信号, $W_7$ $B_2$

#### (4) DC AMP 諸元

入力電流,	$0.01 \sim 10 \mu A$ (検出抵抗, $1 K\Omega$ )
出力電圧	$3 mV \sim 3 V$ (Low Gain アンプ, 300 倍)
出力電圧	$30 mV \sim 3 V$ (High Gain アンプ, 3000 倍)



## (5) NEL 用 CM 項目表

項 目	コマンド発生源別コマンド信号名						用 途	備 考
	リアルタイムコマンド					遅延 コマンド		
	CM		ENC		PRG TIMER			
	AD	EX	A D	E X				
GAIN CONT	6	3	—	—	—	—		
BIAS CONT	7	2	—	—	—	—		
NEL OFF	7	3	ENC OFF ⊕	ENC OFF ⊖	—	—	NEL 電源 OFF	
NEL ON	7	15	—	—	2	1	NEL 電源個別 ON	
NP-MODE ON	—	—	NP MODE ⊕	NP MODE ⊖	(4)	0	NEL 電源 ON	連動 CM
GL-MODE ON	—	—	GL MODE ⊕	GL MODE ⊖	(5)	0	NEL 電源 ON	“
CAL ON	4	10	—	—	4	2		“
CAL OFF	4	11	—	—	5	2		“
NEL ガラス割り	6	13						
NEL プローブ展張	6	14						

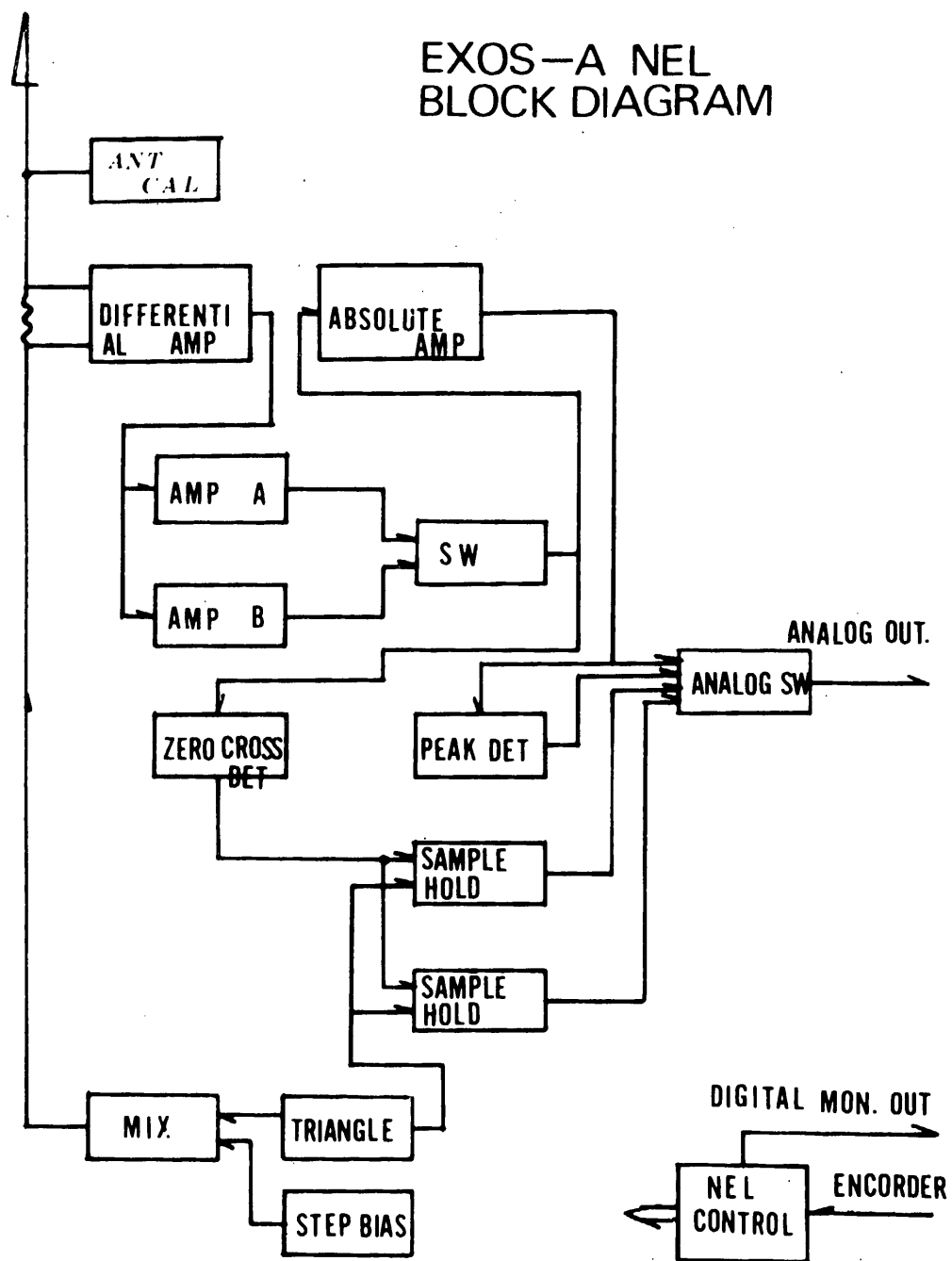


図 1 ブロックタイアグラムタイプ

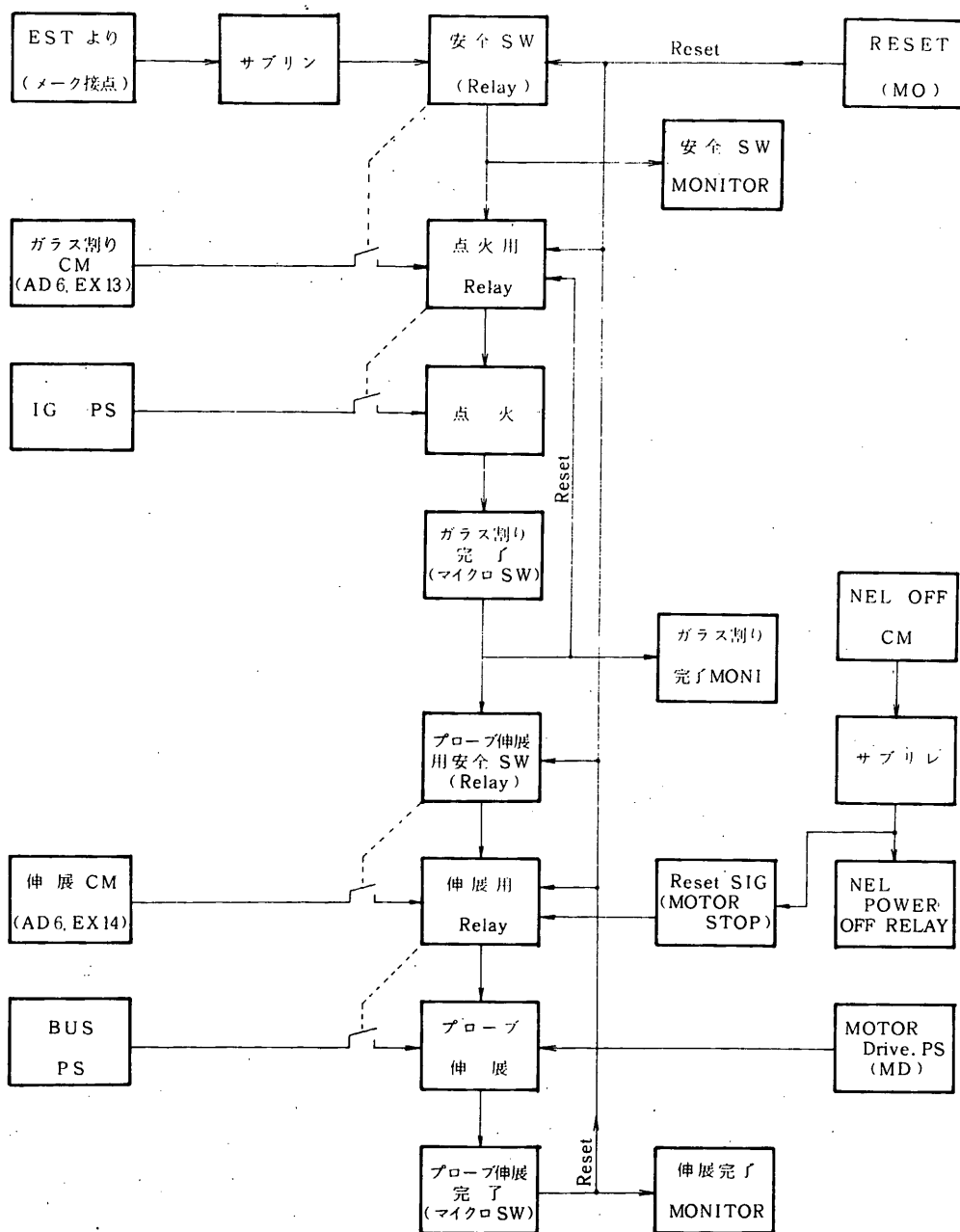


図 2 プローブ伸張のためのコマンド系統図



## 1.7 静電プラズマ波の観測 (ESW)

東大宇宙研 中村良治 伊藤富造  
電通大 柴田 喬 芳野赴夫  
明星電気 (株)

### 1.7.1 観測目的

最近ポーラーカuspでオーロラヒス, ソーサーやオーロラキロメートル波等の波動が観測されている。観測される時には電磁波であるこれらの波の励起の過程については理論的に考察されており種々な考え方がある。そのなかには, 磁力線に沿って降下してくる磁力線と垂直方向の温度をもった10 KeV 程度の電子によってホイッスラー波が増幅されるという説もあるが, プラズマ静電波として励起され伝播していく過程でプラズマ密度の不均一等のため電磁波に変換されるという考えもある。プラズマ静電波は電磁波に比べ位相速度が遅く粒子の速さと同程度になるので粒子による波の増幅や静電波による粒子の加速, 加熱等のいわゆる波動-粒子相互作用が起る。例えば降下電子による電子プラズマ波や電子サイクロトロン波の励起や磁力線に沿って流れる電流によるイオンサイクロトロン波とイオン音波の増幅の可能性が理論的に指摘されている。

本測定器 (ESW) は EXOS-A 衛星が傾斜角約  $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$  でオーロラ帯を横切ることからこの領域でのプラズマ内の電磁波と静電波を同時観測する。南極昭和基地上空を通過するのでここに設置されているテレメータ受信装置を利用して  $0.4 \sim 30 \text{ KHz}$  の周波数についてはリアルタイムで観測を行う。電磁波と静電波は片側2 mのダイポールアンテナで受信する。静電波は電子密度の振動をとまなうのでファラディカップで電子を捕集しその電流から波を検出する。ファラディカップは衛星から1 m離して2個展張し1つは磁力線に沿って伝播する波を, もう一つは磁力線に直角方向に伝播する波を受信する。観測する周波数は  $400 \text{ Hz}$  から  $3 \text{ MHz}$  である。

### 1.7.2 観測方法

#### 1. センサー

##### A ダイポールアンテナ

絶縁線を沿磁力線制御用の磁石のブームにそわせたもので片側2 mである。衛星内部は同軸ケーブルで前置増幅器に接続する。回路のブロックダイアグラムを図1に示す。アンテナからの信号はテレメータのキャリアをおとすためのフィルターを通して前置増幅器へ入る。これは2つあり後述するモード種別により切換を行う。VLF帯の場合, 入力抵抗  $1 \text{ M}\Omega$  で入力感度は High Gain の時  $1 \mu\text{V}$  で入力  $100 \mu\text{V}$  の時 WB テレメータへの出力が  $2 \text{ V}_{p-p}$  である。Low Gain で



は利得が 20 dB 小さくなる。利得の選択はコマンドによって行う。振幅は線形増幅して周波数領域 0.4 ~ 30 KHz を WB テレメータにより地上へアナログ伝送する。入力感度は熱雑音により制限されてしまう。

HF 帯の前置増幅器の入力抵抗は 1 K $\Omega$  で入力感度は 0.2  $\mu$ V。やはり 20 dB の利得の切替を行う。増幅された 45 KHz ~ 3 MHz の信号は 11 のバンドパスフィルター (Q = 10) により周波数を選択しその振幅をアナログ量としてエンコーダーに入り 8 ビット表示で PCM テレメータにより順次伝送する。観測する 11 の周波数は対数にして間隔がほぼ等しいように選んでありそれらは周波数の低い方から 45, 60, 90, 140, 220, 320, 500, 700, 1000, 2000, 3000 KHz である。

#### B. ファラディカップ

外觀図を図 2(a) と図 2(b) に示す。ファラディカップは外形 90, 内径 78, 厚さ 9 mm で 1 枚のグリッドとコレクターから成る。グリッドは線径 0.2 mm, ます目は 2.5  $\times$  2.5 mm で金メッキが施しである。同じもの 2 個を互いに 180 $^{\circ}$  の方向に衛星表面から約 1 m 離す。その 1 つは磁力線方向を向き (FC (A)) もう 1 つは磁力線と直角方向を向く (FC (B))。グリッドとコレクターには直流バイアスを印加しコレクターに捕集される電子電流の直流成分と交流成分を観測する。印加する直流電圧は 0, 3, 7 と 10 V のいずれかでその選択はサイクリックコマンドによって行う。グリッドは交流的には接地され太陽電池からの雑音等がコレクターに受信されるのを遮蔽している。電子密度の測定範囲は  $10^3 \sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$  で密度の変動率  $\delta n/n$  の測定範囲は 0.1 ~ 20% である。

#### 2. 観測モード

地上に伝送する情報とその方法は (1) 0.4 ~ 30 KHz の受信信号をリアルタイムで WB テレメータにより昭和基地へ送信する, (2) HF 帯の信号は 11 チャンネルの周波数で観測しその強度を PCM テレメータで, (3) ファラディカップの直流電流を PCM テレメータで伝送するの 3 つであるがその組合わせから VLF モードと ESW モードの二つにわけた。この観測器が動作するのは GL モードの時であり電源が入ると ESW モードであるが VLF モードへは サイクリックコマンドにより切替える。

##### A VLF モード

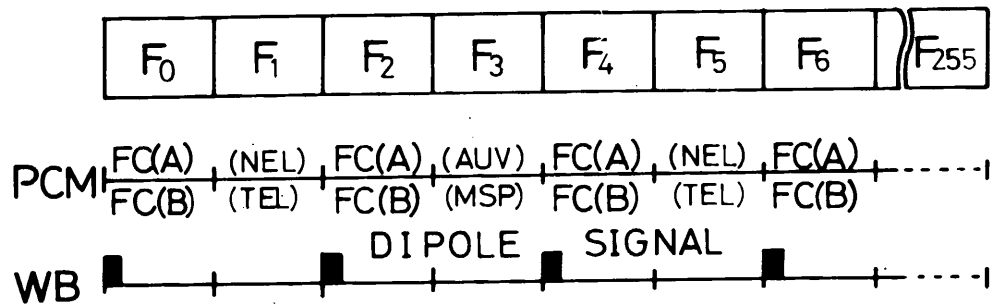
図 3 と図 4 に示したようにこの測定器がデータ伝送に使用するのは PCM テレメータの偶数フレームのワード 28 から 127 までである。VLF モードの時ダイポールアンテナでは HF 帯の観測は行わずファラディカップでは VLF 帯の測定はしない。PCM テレメータはファラディカップでの受信強度のみを伝送し WB テレメータはダイポールアンテナの受信信号を送信する。識別のために  $W_{27}$  の時 1 ワード分だけ 30 KHz の信号を WB テレメータに重畳する。ワード構成は図 4 のようになっている。 $W_{28}$  は後で述べる状況モニターである。 $W_{29}$  はファラディカップの直流電圧



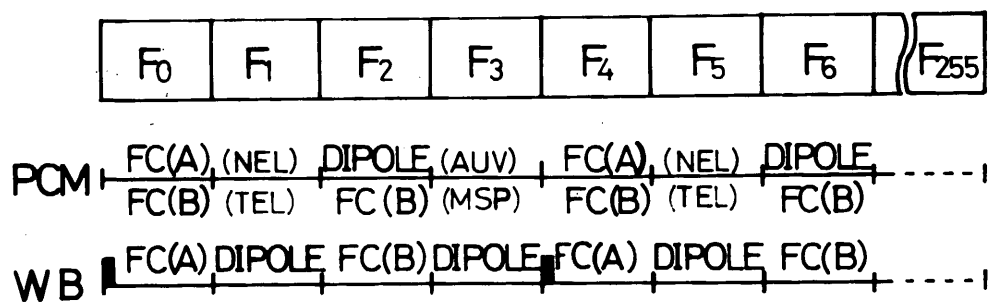




### (1) VLF MODE



### (2) ESW MODE



### (3) TO ENC

1. DIGITAL SERIAL NRZ-L DATA 1 line (W28)  
GL MODE  $\sum_{n=0}^{63} (F_{4n} + F_{4n+2})$
2. ANALOG 1 line (W29~W127)  
GL MODE  $\sum_{n=0}^{63} (F_{4n} + F_{4n+2})$
3. ESW ON OFF DIGITAL 1 line (W7 B1)

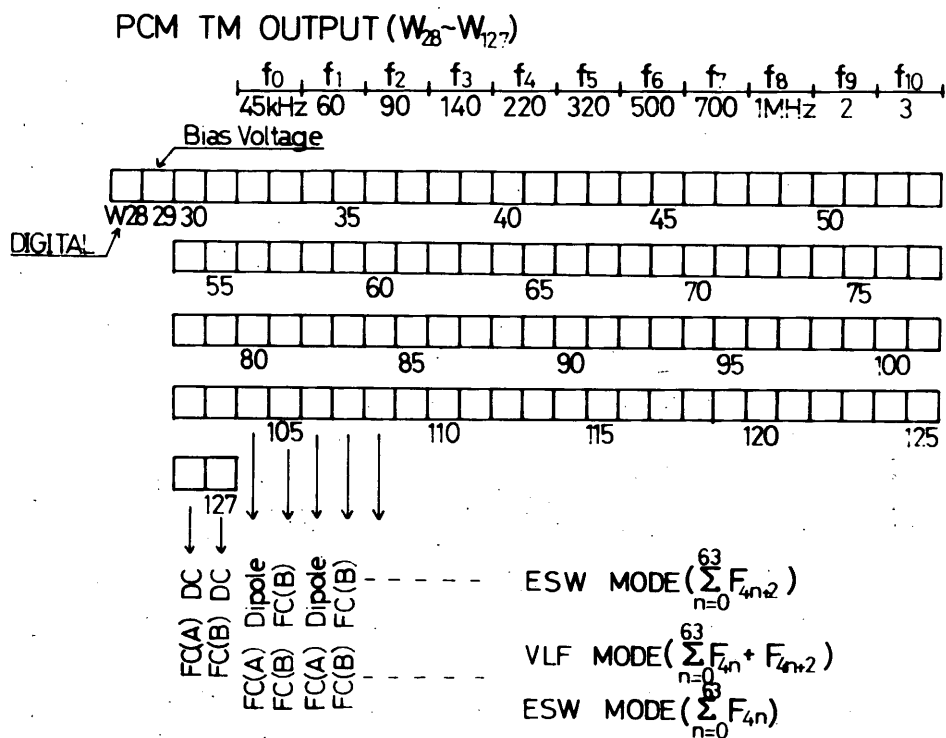


図 4

を10Vの時約3Vになるよう圧縮して8ビットで表示する。 $W_{30}$ と $W_{31}$ ,  $W_{54}$ と $W_{55} \dots W_{126}$ と $W_{127}$ はファラディカップ(A)とファラディカップ(B)の直流電流をそれぞれ8ビットで表示する。これからHF帯の強度測定に入り, 1つの周波数でファラディカップ(A)(B)と観測して次の周波数に移る。例えば $W_{32}$ ,  $W_{56}$ 等はFC(A)の45KHzの強度,  $W_{33}$ ,  $W_{57}$ 等はFC(B)での45KHzの受信強度,  $W_{52}$ ,  $W_{76}$ 等はFC(A)の3MHzの強度をアナログ量としてエンコーダに入り8ビット表示で伝送する。

#### B ESWモード

このモードの観測では時間的な分解能は犠牲になるがダイポールアンテナ, ファラディカップ共にVLF帯とHF帯の計測を行う。図3に示したようにPCMテレメータの場合,  $4n$ フレームではVLFモードの時のようにFC(A)とFC(B)のデータを送るが(図4),  $(4n+2)$ フレームではダイポールアンテナとFC(B)でのHF帯の観測を行う。WBテレメータはPCMテレメータのフレームに同期して $F_0$ の間はFC(A),  $F_1$ でダイポールアンテナ,  $F_2$ でFC(B),  $F_3$ でダイポールアンテナ, 以後この順序を繰返す, の信号を送信する。別々に送信されるPCMとWBのデータの突合わせの際の便宜のため $F_{4n}$ の $W_{27}$ の時 $\frac{1}{2}$ ワードだけ30KHzの信号をWBテレメータに重畳する。

### 3. 状況モニター

$W_{28}$  の 8 ビットのデジタル表示で状況をモニターする。 $F_{4n}$  と  $F_{4n+2}$  では異なったものを表わすがそれらをまとめて表 1 に示した。 $B_0$  ではビット速度が早いか遅いか、 $B_1$  では VLF モードか ESW モードのどちらにあるかを示す。 $F_{4n}$  の  $B_2$  と  $B_3$  はファラディカップに印加している電圧が何 V であるかを表示する。例えば  $B_2$  が H で  $B_3$  が L であれば 7 V である。

表 1

## STATUS MONITOR

SERIAL NRZ-L DATA 1 line

		$\sum_{n=0}^{63} F_{4n} \cdot W_{28}$	$\sum_{n=0}^{63} F_{4n+2} \cdot W_{28}$
$B_0$	H L	BIT RATE HIGH LOW	BIT RATE HIGH LOW
$B_1$	H L	VLF MODE ESW MODE	VLF MODE ESW MODE
$B_2$	H L	BIAS • 3 • MON • 7 •	CAL ON CAL OFF
$B_3$	H L	BIAS • • 10 MON OV. • •	GAIN1 HIGH VLF LOW
$B_4$	H L	FC(A) SAFETY SW ON OFF	GAIN 2 HIGH DIP HF LOW
$B_5$	H L	FC(B) SAFETY SW ON OFF	GAIN 3 HIGH FC HF LOW
$B_6$	H L	FC(A) EXTEN OVER NOTOVER	GAIN4 HIGH FC VLF LOW
$B_7$	H L	FC(B) EXTEN OVER NOTOVER	GAIN5 HIGH FC DC LOW

F<sub>4n</sub>のB<sub>4</sub>とB<sub>5</sub>はタイマーからの信号によってファラディカップが展張の状態にあるかないかをモニターする。これがONであれば後述するコマンドによって展張できる。展張が完了すればリレーが入りF<sub>4n</sub>でのB<sub>6</sub>のB<sub>7</sub>が展張終了を表示する。

F<sub>4n+2</sub>のB<sub>2</sub>はコマンドによって測定器に校正信号を印加した時に校正モードになるかのモニターである。

F<sub>4n+2</sub>のB<sub>3</sub>からB<sub>7</sub>までは利得のモニターである。増幅器としてはダイポールのHF帯とVLF帯、ファラディカップの直流電流、HF帯とVLF帯の合計5つあるのでこれらの増幅器の利得の状態を表示する。

#### 4. コマンド

本測定器関係のコマンドを表2にまとめてある。

Gain 1 と Gain 2 は上に述べた5つの増幅器の利得を制御する。ESW電源ONではすべてがLow Gain になっていて表1のB<sub>3</sub>のVLFがスタンバイに設定される。Gain 2 コマンドを送ることによりそのVLFがHigh Gain となる。もう一度Gain 2 コマンドをONすると再び low

表 2

### COMMAND

FUNCTION	REAL TIME		DELAY TIME	
	AD	EX	AD	EX
GAIN 1	1	11		
GAIN 2	1	12		
VLF MODE ON	3	11	6	2
BIAS CONTROL	2	11		
ESW OFF	2	12		
GL MODE ON	5	8	5	0
CAL ON	4	10	4	2
CAL OFF	4	11	5	2
ESW ON	3	12	7	2
FC EXTEN ON	7	13		

Gain となりサイクリックに切替わる。次に Gain 1 コマンドを ON すると B<sub>4</sub> の ダイポールアンテナ HF 帯の増幅器がスタンバイになり Gain 2 コマンドを送ることにより High Gain に切替わる。以下同様であるので例えば表 1 B<sub>6</sub> のファラディカップ VLF 帯の増幅器を High Gain にする場合、ESW の電源を ON にした後、Gain 1 コマンドを 3 回送ってから Gain 2 コマンドを ON にすればよい。

VLF Mode ON はまずこれを送ることにより RARR に使用している 400 MHz テレメータを ESW のための WB 送信用とする。また同時に 3 図で示した観測モードを VLF MODE に切替える。もう一度このコマンドを送れば ESW MODE となる。以後サイクリックに観測モードを切替える。

Bias Control コマンドは ESW ON で 0V に設定されているファラディカップの直流電圧をこのコマンドを送る毎に順次 3 V, 7 V, 10 V, 0 V と変えることが出来る。

ESW OFF コマンドは本測定器単体の電源を切る。またこのコマンドによりファラディカップの展張用のモーターを停止させることが出来る。

GL Mode ON コマンドを送るとこの測定器がスタンバイになっているならば動作を開始する。

CAL ON と CAL OFF は利得を校正するための校正信号を印加するかそれを切るかである。

ESW ON はこのコマンドを送ることによりこの測定器がスタンバイの状態に設定される。電源を ON にして動作させるためには GL Mode ON コマンドを更に送らなければならない。

FC Extension ON はタイマーからの信号で Safety Switch が ON になってから本コマンドを送ればファラディカップ展張用モーターが作動し展張を開始する。展開が終ればスイッチにより自動的に電源が切れる。途中で止める時には ESW OFF コマンドを送ればよい。

## 第 2 章

# 姿勢制御、検出機器





## 2.1 ヨーヨーデスピナ (Y $\bar{O}$ -Y $\bar{O}$ )

東大宇宙研 二宮研究室

日立製作所(株)

先端に錘(ヨーヨーマス)をつけたワイヤ1組を、衛星のベースプレート附近の外周に巻きつけて、ワイヤカッタでヨーヨーマスをとめてあるピンを切断すると、ワイヤは対称にほどけてゆき、衛星のスピンの速度を下げる働きをする。ワイヤは、ほどけ終ると半径方向に分離する。なおワイヤカッタの作動は地上からのコマンドにより実施される。

以上の働きにより、初期スピン速度 132 rpm を沿磁力線制御を行うために約 0 rpm に落すためのものであり、「たんせいⅡ号」「たいよう」「CORSA」「MS-T3」の Y $\bar{O}$ -Y $\bar{O}$  と同一方式でヨーヨーマス中にワイヤカッタが入っているものである。

外観	図1に示す
ヨーヨーマス重量	約 700 g
ワイヤの長さ	約 7 m

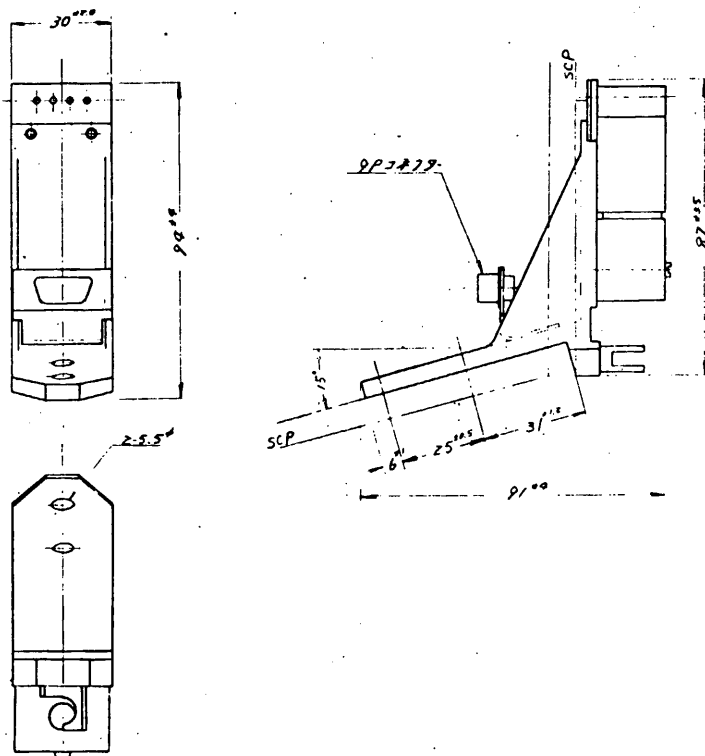


図1 Yo-Yo 外観図

## 2.2 姿勢安定化磁石 (MAG)

東大宇宙研 二宮研究室  
日立製作所 (株)

沿磁力線制御とは、衛星の特定軸 (EXOS-A ではスピン軸) を常に磁力線の方角に向けるものである。これは磁針 (コンパス) が磁力線の方角を向くのと同一原理で、特定軸に大きな磁気モーメントを持たせた衛星のスピンが 0 であれば磁力線の方角を向くことを利用している。

MAG は以上述べたように、衛星に大きな磁気モーメントを持たせるものであり、1 対の MAG-EX の先端に取り付けられており、ヨーヨーデスピナによりスピンを止めた後、地上からのコマンドにより MAG-EX の腕が展開すると、衛星中心から約 2.4 m 離れた位置に固定される。

外観	図 1 に示す
	(磁石部 $24 \phi \times 160 \ell$ )
磁気モーメント	$50 \text{ AT} \cdot \text{m}^2 \times 2 \text{ 個}$

### 2.2.1 動作

スピン軸と磁力線の方角を  $\theta$ 、地磁気の全強度を  $H (\ddot{O}_e)$ 、MAG の磁気モーメントを  $M (\text{AT} \cdot \text{m}^2)$  とすれば、MAG によって発生する復元トルク  $T (\text{dyn} \cdot \text{cm})$  は

$$T = MH \sin \theta \times 10^3$$

となる。

また衛星のスピン軸直角方向の慣性モーメント (MAG-EX 展開後) を約  $21.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 、外部磁界を  $20,000 \text{ r}$  とすれば衛星は約 10 分の周期で磁力線の方角を振動 (ライブラレーション) する。このライブラレーションは宇宙空間では摩擦がないため永久に減衰しない。

このため、2.3 で述べる SLD が必要である。

なお、MAG-EX 展開後の MAG による衛星中心附近の磁界は、約  $700 \text{ r}$  程度であろうと考えられる。

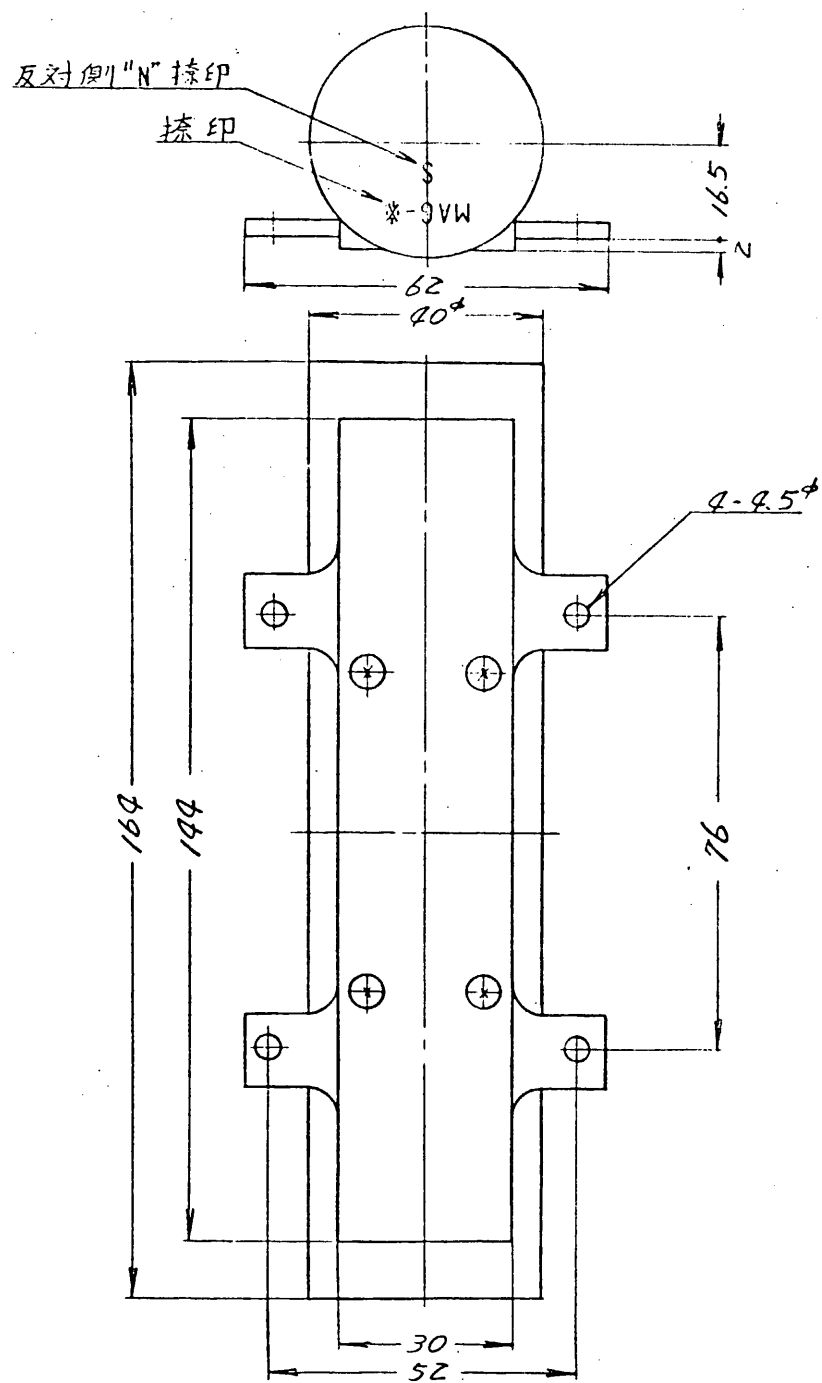


図1 MAG 外観図

## 2.3 スピンライブレーションダンパ (SLD)

東大宇宙研 二宮研究室

日立製作所 (株)

SLDはチャージャブルマグネット部 (SLDM) とそれを制御する電子回路部 (SLDE) からなり、機能として、衛星の残留スピンを減衰させるスピンドアンパ (SD) 機能と、ライブレーションダンパ (LD) 機能の2つを有している。SLDM, SLDEの外観は図1, 図2-1 および図2-2 に示すとおりである。

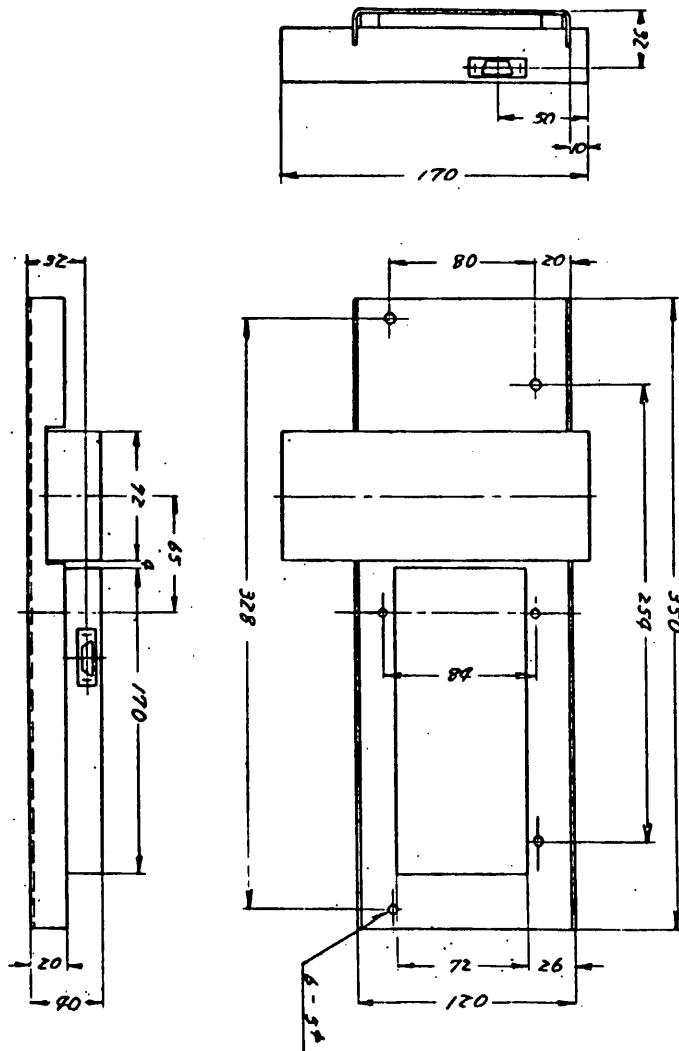


図1 SLDM 外観図

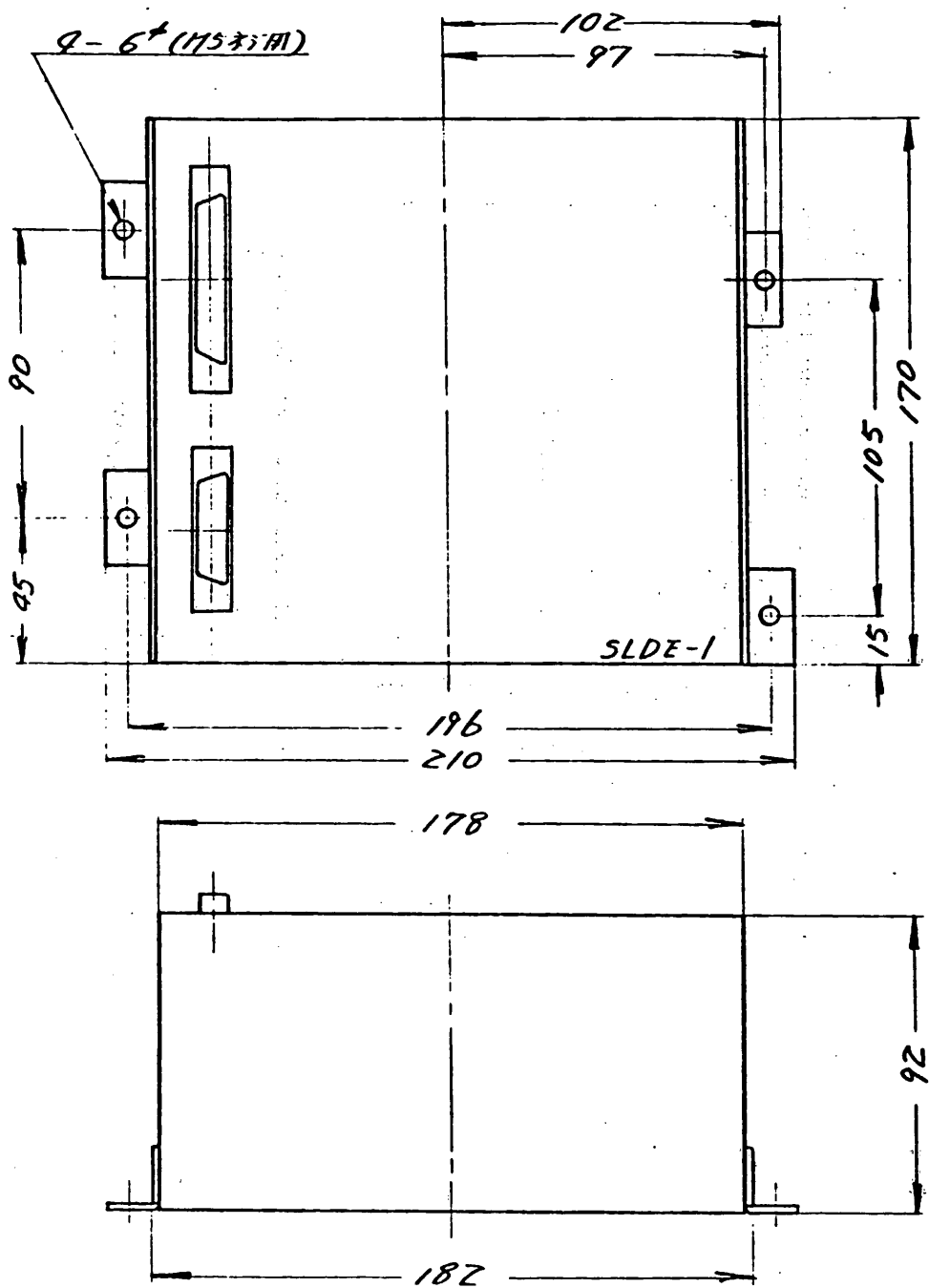


图 2 - 1 SLDE - 1 外觀圖

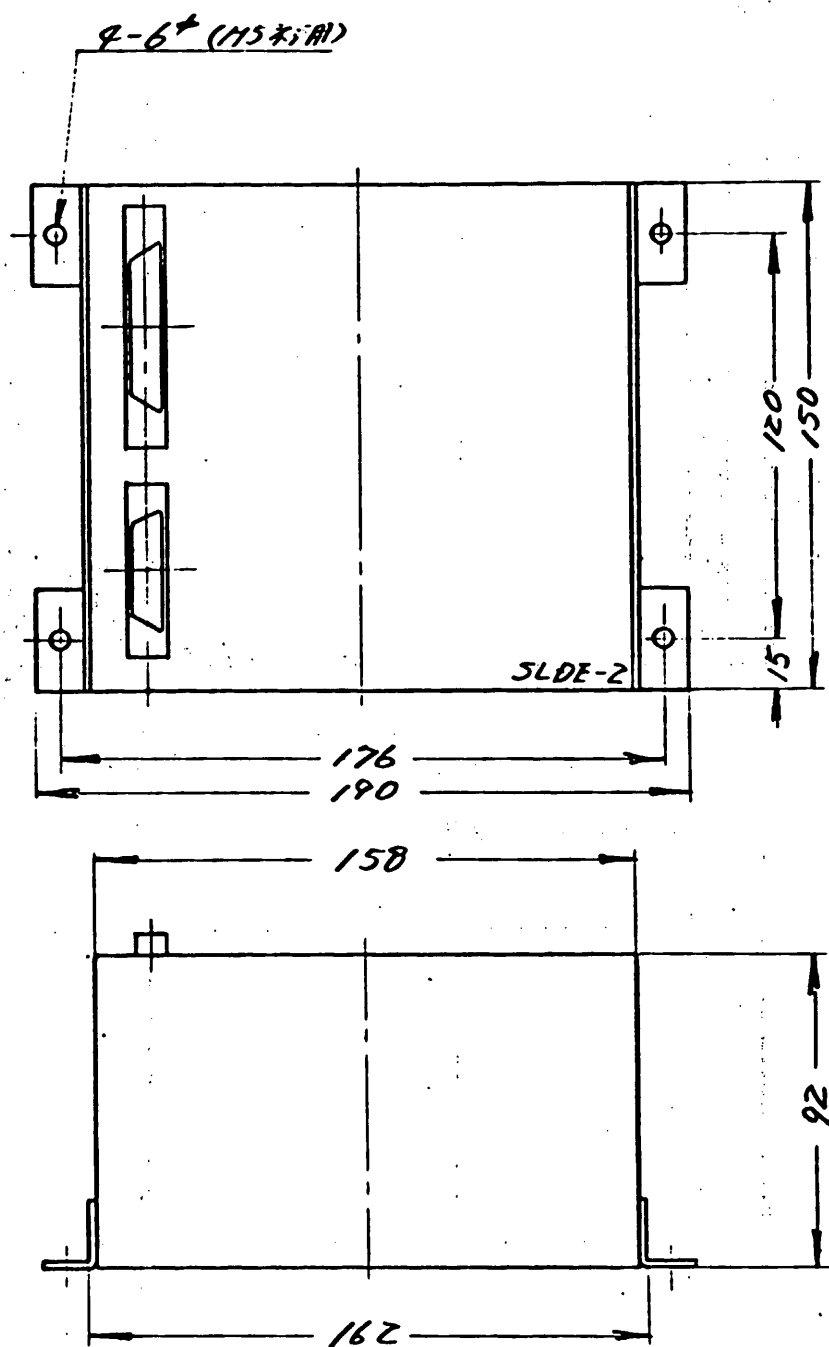


图 2 - 2 SLDE 外觀圖

### 2.3.1 SLDM

5.6  $\phi \times 160 \ell$  のリメンダを磁心としたチャージャブルマグネットで X 軸および Y 軸に平行に各 2 本ずつ搭載されている。磁気モーメントは SLDE により、スレッシュホルドのレベルによってそれぞれ  $3.5 \text{ ATm}^2$  ( $7000 r$ )  $0.5 \text{ ATm}^2$  ( $2000 r$ ) (暫定値) にチャージされる。

またコマンドにより  $0 \text{ ATm}^2$  に消磁される。

### 2.3.2 SLDE

SLDE は、従来のオープンループの制御と異なり、GAS の信号を受け、オンボードにより制御を行なう。

その動作は図 3 に示すように GAS からの信号があるスレッシュホルド (コマンドにより可変) を超えた時に SLDM をチャージする。(チャージの方向等は SLD の動作モードにより自動的に選択される。)

なおこれらの動作は、テレメータによりモニタ (6 ビット) される。モニタの内容については表 1 に示す通りである。

またコマンド項目、HK 項目についてはそれぞれ表 2、表 3 に示す通りである。

SLDE は衛星実装上の制約から 2 筐体に分割されている。

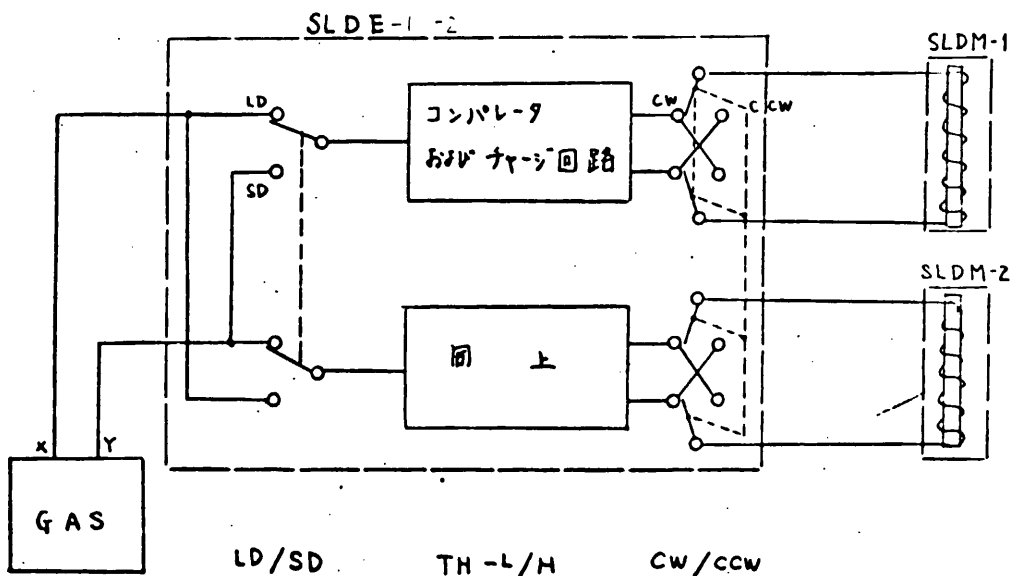


図 3 SLD 機能

表 1 SLD テレメータ内容

フレーム No	ワード No	ビット No	名 称	内 容	
F <sub>4n+2</sub> F <sub>4n+3</sub>	W <sub>8</sub>	B <sub>2</sub>	SLD	1	SD モード
			SD/LD	0	LD モード
		B <sub>3</sub>	SLD	1	CW
			CW/CCW	0	CCW
		B <sub>4</sub>	SLD	1	High
			TH	0	Low
		B <sub>5</sub>	SLD	1	チャージ +
			CH (X)	0	チャージ -
		B <sub>6</sub>	SLD	1	チャージ +
			CH (Y)	0	チャージ -
		B <sub>7</sub>	ア キ	1	



表 2 コマンド内容

コマンド名称	A D	E X	内 容
SLD - ON	8	1	SLD の電源を ON にする
SD モード	8	2	SLD を SD として動作させる
SD モード - CW	8	3	SD モードにおける発生トルクの 方向を時計方向にする (M3 A モー タより見る場合)
スレッシュホル ド - H	8	4	コンパレータのスレッシュホルドを High (7000 r) にする。SLDM の磁気モーメントを $3.5 \text{ AT m}^2$ にする
CAL	8	5	疑似 GAS 信号を発生し、SLD 系 の動作が正常であることを校正する
START	8	6	制御を開始させる。CAL モード のリセットを行う
SHOJI	8	7	コマンドのリセットを行う <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">[</div> <div style="margin-right: 10px;">SD → LD</div> <div style="margin-right: 10px;">CW → CCW</div> <div style="margin-right: 10px;">TH - H → TH - L</div> </div> SLDM を消磁 ( $\approx 0 \text{ AT m}^2$ ) する
SLD - OFF	8	8	SLD の電源を OFF する

表 3 HK 項目

フレーム No.	項 目	内 容
59	SLD - X	X・コンパレータレベルのモニタ
60	SLD - Y	Y・コンパレータレベルのモニタ

### 2.3.3 動作

#### (1) SD

ヨーヨーデスピナ展開後の残留スピンを完全に0にする機能であり、コマンドにより任意の方向のトルク（時計方向または反時計方向）を発生させることができる。

このモードでは、GASのX軸（Y軸）の信号を用いてY軸（X軸）に平行なSLDMをチャージする。

外部磁界を20,000 $\gamma$ 、スレッシュホールドを7,000 $\gamma$ （磁気モーメントを3.5 AT m<sup>2</sup>）とすれば、約900 dyn cmのトルクを発生する。

#### (2) LD

沿磁力線モードでMAGだけでは前述したようにライブラーションを起すが、LDモードではこれを減衰させることができる。

このモードでは、GASのX軸（Y軸）の信号を用いてX軸（Y軸）に平行なSLDMをチャージする。発生するトルクは各軸とも、スレッシュホールドにより、40または980 dyn・cmとなる。

また、沿磁力線方向からの誤差角は、ほぼ不感角 $\theta_0$ の値であろうと考えられている。ここで不感角は外部磁界を $H_0$ （ $\ddot{O}_e$ ）スレッシュホールドを $H_{th}$ （ $\ddot{O}_e$ ）とすれば

$$\theta_0 = \sin^{-1}(H_{th}/H_0)$$

で表わされる。従って、 $H_0 = 10000\gamma$   $H_{th} = 2000\gamma$  とすれば誤差角は約 $10^\circ$ となる。

## 2.4 地 磁 気 姿 勢 計 (GAS)

東大宇宙研二宮研究室  
測機舎(株)

### 1. 観測目的

本装置は地球磁力線を基準として、衛星の姿勢を測定するものである。

### 2. 概 要

本計器は、科学衛星 EXOS-A の姿勢を決定するために設計された磁力計である。

宇宙空間での衛星の姿勢決定には独立した3つの座標軸が必要であるが、地磁気ベクトルもその1つとして利用できる。そこで本計器は3軸の磁力計から構成され、それぞれの磁気センサは、衛星スピン軸に平行な成分(Z軸)及びそれと垂直な平面にそれぞれ直角な2成分(X, Y, 軸)が搭載されて、地磁気ベクトルに対する磁気成分を測定し、地上にてそのデータからベクトル軸と衛星スピン軸との角度を計算により求める。

又、姿勢安定系に送り出している信号として、GASのX軸とY軸の信号をSLDに与えている。この信号は、衛星の残留スピンを減衰させるスピンドamping機能と、ライブラーションドamping機能の、2つに使用される。図1はそれらを含むGASブロックダイヤを示す。尚、本計器は特に衛星用として小型軽量耐宇宙環境性、信頼性等に考慮が払われて設計されているものである。

### 3. 本計器の主なる仕様は次の通りである。

3.1 磁場測定範囲	X, Y, Z, 各軸 $\pm 50,000 \gamma$ 及び X, Y 軸は, $\pm 5000 \gamma$ で コマンドによる切換付き。
磁力計感度	100,000 $\gamma$ / 3 V (X Y Z 各軸) 及び 10,000 $\gamma$ / 3 V (X, Y 軸) 切換
磁場測定精度	$\pm 500 \gamma$ (0 ~ 40°C) 但し最大感度に対して
応答速度	D, C ~ 10 Hz
出力信号型式	◦ アナログ電圧 ◦ ノイズレベル : 10 mV 以下 ◦ 出力インピーダンス : 2 K $\Omega$ 以下
動作温度範囲	- 30°C ~ + 60°C



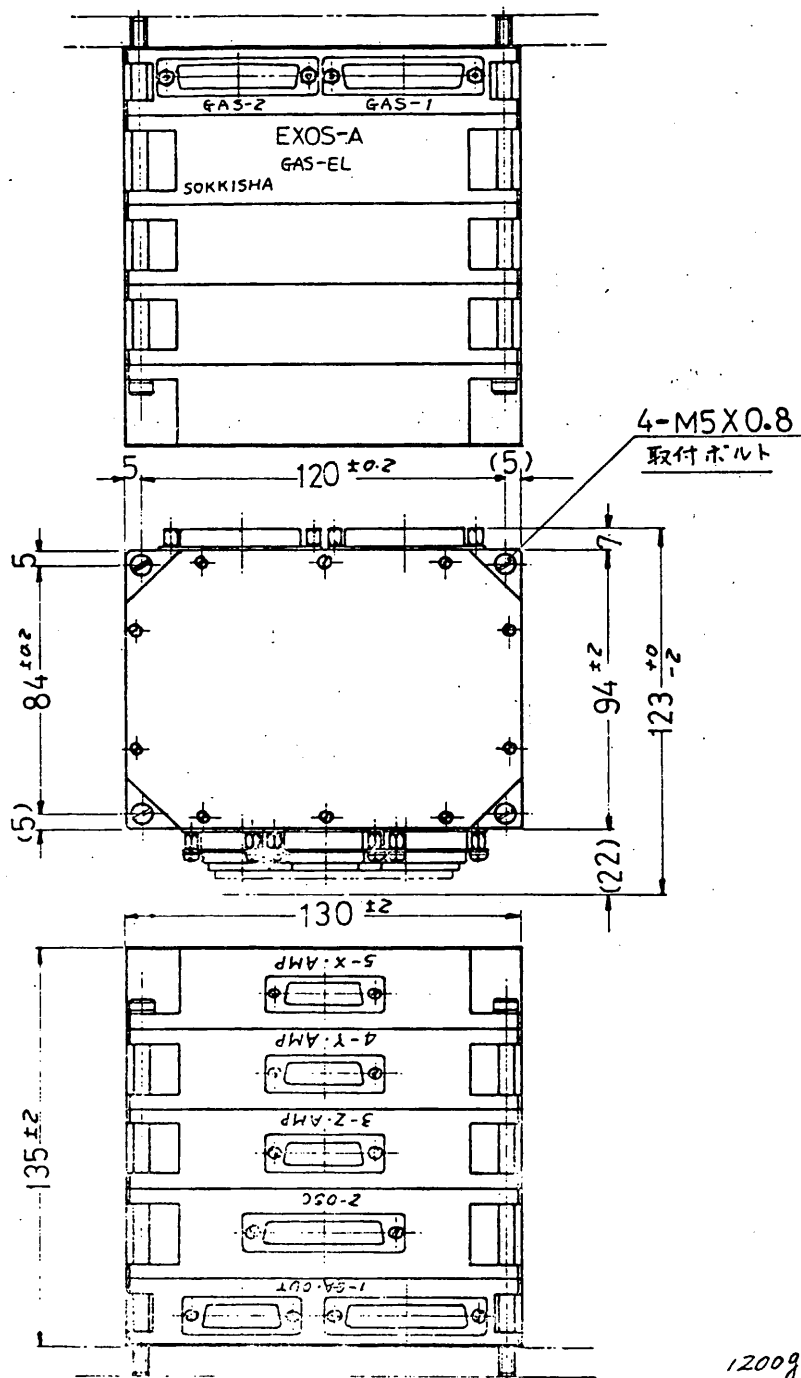


図 2

3.2	消費電力	+12V	70 mA 以下	0.84 W
		-12V	50 mA "	0.60 W

### 3.3 外形付法

電気部 135 × 130 × 94 H (図2)

センサ部 80 × 55 × 108 H (図3)

### 3.4 重量

電気部 1.2 kg

センサ部 0.29 kg

### 3.5 機械的性能

振動、衝撃試験及びその他の環境試験は、宇宙研規格に準ずるものとする。

### 3.6 HK項目 ナシ

### 3.7 コマンド項目

電源 ON	個別コマンド	AD - 1	EX - 15
	連動コマンド	ENC ON+	ENC ON-
電源 OFF	個別コマンド	AD - 2	EX - 10
	連動コマンド	ENC OFF+	ENC OFF-
CAL	CAL ON コマンド	AD - 4	EX - 10
	" "	AD - 4 ( delay )	EX - 2 ( delay )
	CAL OFF コマンド	AD - 4	EX - 11
	" "	AD - 5 ( delay )	EX - 2 ( delay )

## 4 現状報告

設計上において、磁力計感度の High Gain 出力として約 10000 $\tau$ /3V としているが、実際の試験衛星 MS-T3 の沿磁力線軌道時における運用上の値を確認し、当設計感度で飽和する場合には High Gain 感度の設定値を変更する事も考えられる。

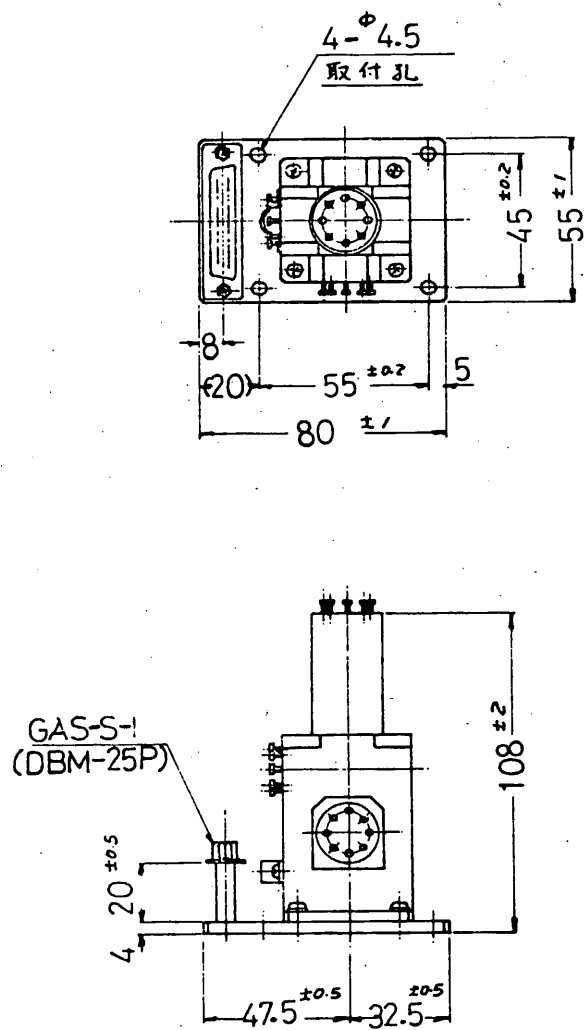


図 3

## 2.5 太陽方向検出器 (SAS)

東大宇宙研 河東田研究室  
測機舎(株)

### 1 観測目的

太陽方向を検出して衛星の姿勢を測定する事を目的とする。

### 2 概要

本器は科学衛星 EXOS-A の姿勢を決定するための一要素として設計された太陽方向検出器 (以下 SAS という) である。宇宙空間での衛星の姿勢決定には独立した 3 つの座標軸が必要であるが太陽方向もその 1 つとして利用できる。EXOS-A は沿磁力線制御されスピンは止められる。そこで本器は衛星の水平周りに 4 組のセンサを  $90^\circ$  間隔に配置し、上下面にも 1 組ずつ配置され計 6 組のセンサ部分からなる。各組のセンサはそれぞれエレベーション角、アジマス角を測定し、太陽方向とそれぞれのセンサとの成す角を測定し地上にて太陽方向と衛星スピン軸との角度を計算により求める。太陽センサは Si 光電素子の組合せによりグレイコード化された信号を出す。この信号は指定された時刻にレジスターに記憶し、順番に読み出す方式である。図 1 はそのブロックダイヤを示す。

### 3 主仕様

#### 3.1 太陽方向検出器

角度測定範囲 (各センサの視野)  $\pm 50^\circ$

角度測定精度  $\pm 1^\circ$

出力信号型式 デジタル (8 ビットグレイコード)

レジスタ記憶時刻 
$$\sum_{n=1}^8 (F_{8n+1} + F_{8n+2} + F_{8n+3} + F_{8n+5} + F_{8n+6} + F_{8n+7}) W_{13} \sim W_{14}$$
$$\sum_{n=1}^8 F_{8n} W_{12}$$

動作温度範囲  $-30^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$

3.2 消費電力 5 V 30 mA 以下

#### 3.3 外形寸法

電気部 (図 2)

センサ部 (図 3)



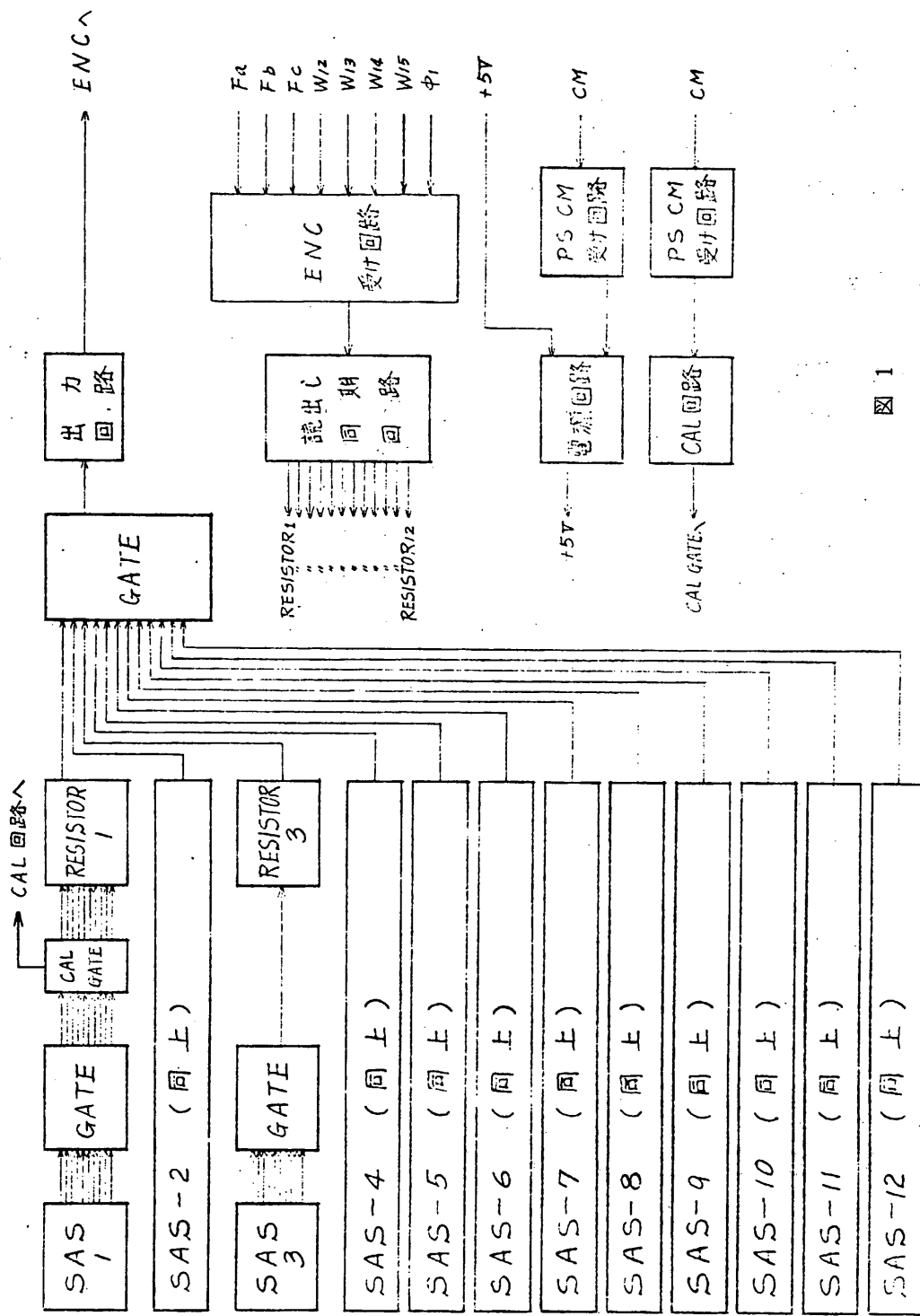


図 1

### 3.4 重量

電気部 1.7 kg  
センサ部 (2 個 1 組) 0.22 kg  
(但しセンサ取付金具を含む)

### 3.5 機械的性能 振動衝撃試験及びその他の環境試験は宇宙研規格に順ずるものとする

## 4 HK 項目 なし

## 5 コマンド項目

電源 ON 連動コマンド	ENC ON⊕	ENC ON⊖
電源 ON 個別コマンド	AD-1	EX-5
電源 OFF 連動コマンド	ENC OFF⊕	ENC OFF⊖
電源 OFF 個別コマンド	AD-2	EX-5
CAL ON コマンド	AD-4	EX-10
	AD-4 (delay)	EX-2 (delay)
CAL OFF コマンド	AD-4	EX-11
	AD-5 (delay)	EX-2 (delay)

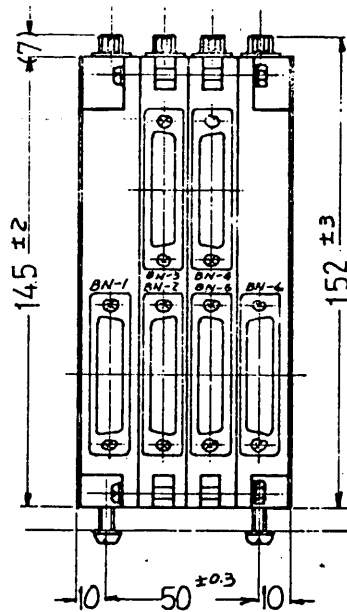
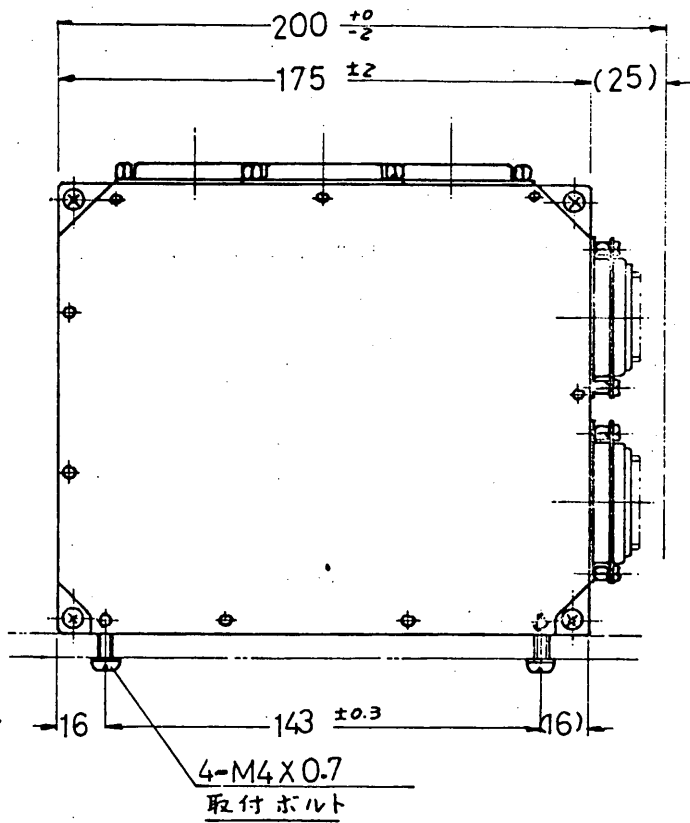
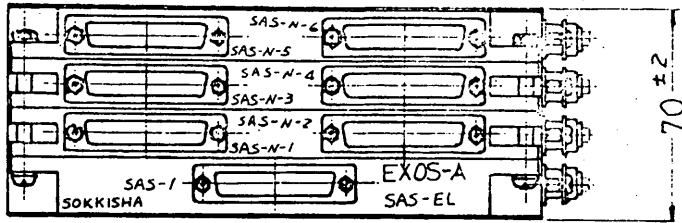


図 2

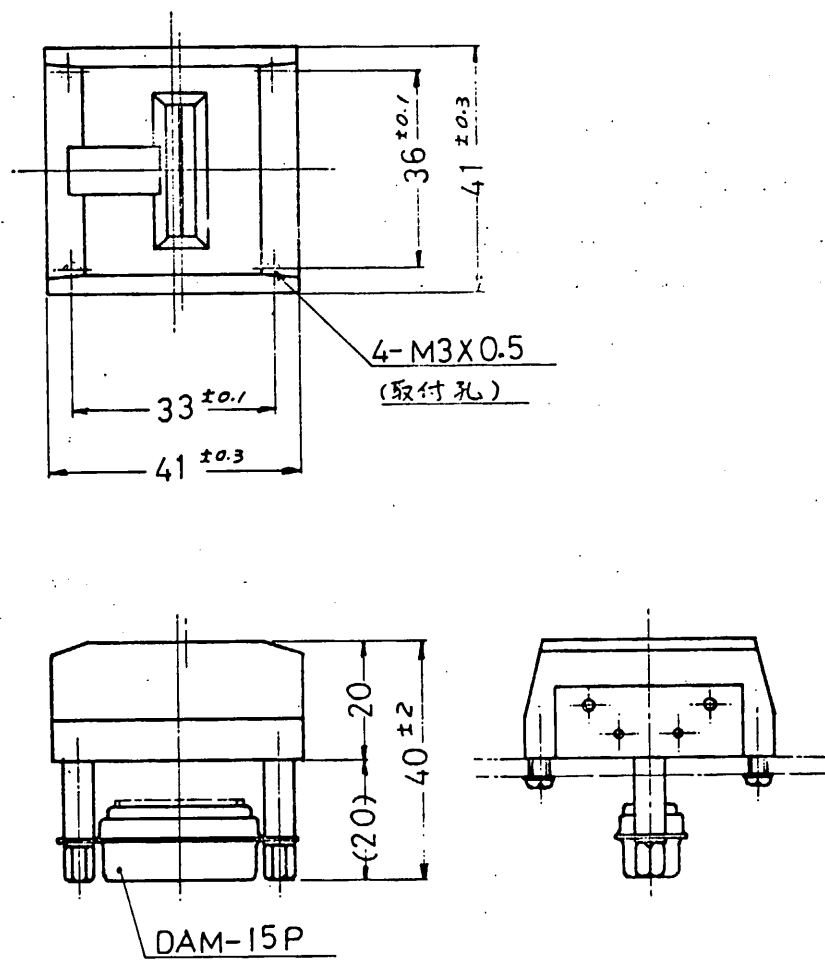


図 3

## 第 3 章

# 共 通 機 器

## 3.2 環境計測装置 (HK)

東大宇宙研 後川研究室  
松下通信工業 (株)

### 1. 概 要

本装置はEXOS-A衛星に搭載され、衛星内部の電圧、電流、温度、SQ (Sequence)モニタの環境計測を行ない、そのデータにより衛星及びPIの動作状態を確認するものである。

測定項目は、校正電圧を含めて70で内6点はCMにより切換を行なう。スキャナーク換器としてはFETを用いており、このスキャナーク換用のタイミングはENCよりバイナリ6Bitのパルスを受けHK内部で64に切換える。

切換えられた信号は増幅器により増幅され、ENCに送出する。

### 2. 構 成

区 分	品 名	員 数	備 考
本 体	H K	1	
検出器	温度センサ	51	白金センサ
〃	電圧センサ	5	精密抵抗
付属品	計装側コネクタ	6	コネクタ付属品を含む

### 3. 性 能

#### 3.1 電氣的性能

##### 3.1.1 電圧測定系

- (1) 測定範囲 : 測定項目表参照
- (2) 測定方法 : 抵抗分圧
- (3) 出力電圧精度 :  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ において  
 $0\text{ V} \pm 0.06\text{ V}$   
 $3\text{ V} \pm 0.09\text{ V}$
- (4) 検 出 器 : 電源系のみ  
MFA 10K $\Omega$ CT1A

### 3.1.2 温度測定系

- (1) 測定範囲 : 測定項目表参照
- (2) 測定方法 : 白金温度センサによる
- (3) 検出器 : Q 0516 PT 50 $\Omega$
- (4) 検出器感度 : TL 0.38 mV $\pm$ 0.1 %/ $^{\circ}$ C  
TH 0.24 mV $\pm$ 0.1 %/ $^{\circ}$ C
- (5) 出力電圧精度 : 23 $\pm$ 2 $^{\circ}$ Cにおいて  
0 V $\pm$ 0.06 V  
3 V $\pm$ 0.09 V

### 3.1.3 総 合

- (1) 周波数特性 : DC $\sim$ 200 Hz ( $\pm$ 1 dB)
- (2) 出力電圧温度ドリフト : -30 $\sim$ +60 $^{\circ}$ Cにおいて $\pm$ 30 mV以内
- (3) 出力電圧経時ドリフト : 300時間のランニングテスト中におけるドリフトは $\pm$ 10 mV以内
- (4) 出力インピーダンス : 1 K $\Omega$  $\pm$ 20 %以内
- (5) コントロール  
パルス電圧 : "1" 2 $\sim$ 5.5 V  
: "0" 0.9 $\sim$ 0 V
- (6) コントロール  
パルス受けインピーダンス : "1" 150 K $\Omega$ 以上  
: "0" 167 K $\Omega$ 以上
- (7) 出力立上り時間遅れ : 100  $\mu$ s 以下
- (8) コマンドパルス電圧 : 10 $\sim$ 17 V
- (9) コマンド受回路のインピーダンス : HK-ON 219  $\Omega$   
HK-OFF 390  $\Omega$   
ENC-ON 250  $\Omega$   
ENC-OFF 167  $\Omega$   
CH-CANGE 390  $\Omega$
- (10) 校正電圧 : CAL-A 0.5 V $\pm$ 1 %  
CAL-B 2.5 V $\pm$ 1 %
- (11) 入力電圧, 消費電流 : +12 V $\pm$ 4 % 10 mA

+ 5 V  $\pm$  5 %      130mA  
- 12V  $\pm$  4 %      30 mA  
+ 15 V  $\pm$  10%      100 mA

(コマンド時のみ)

(12) 外部操作      : HK-ON      AD 3 EX 5  
                         HK-OFF      AD 4 EX 15  
                         ENC -ON  
                         ENC -OFF  
                         CH-CANGE   AD 5  
   EX 13

(13) アンサ信号      : なし

### 3.2 機械的性能

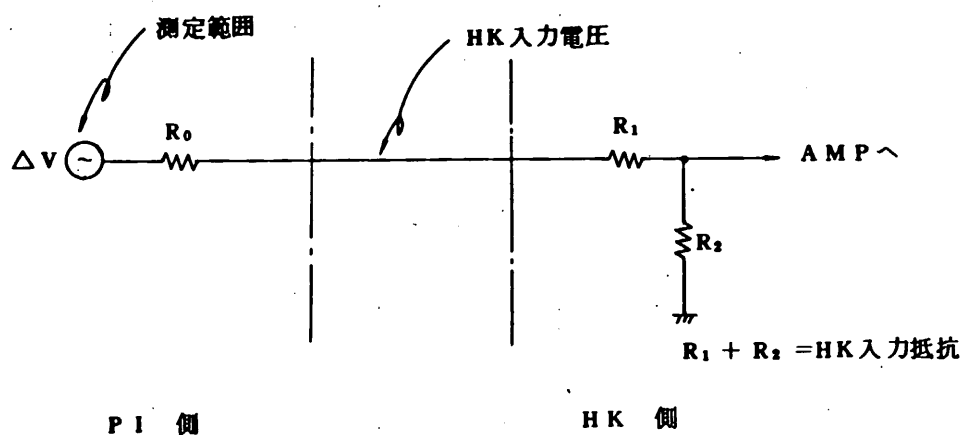
(1) 外形寸法      : 206  $\times$  168  $\times$  55 H (mm)  
(2) 重      量      : 1400 g  
(3) ケース材質      : A 5052 P  
(4) 表面処理      : EP I CO 2000 黒色半つや塗装



表1 EXOS-A HK 測定項目表

F. No	項 目	測定範囲	HK入力電圧	HK入力抵抗	備 考
0	TH - 4	-90~+120℃	+48~97mV	1 MΩ	SCP側面上 1
1	5				2
2	6				3
3	7/23				4/KMケース
4	8				SCP側面下 1
5	9				2
6	10				3
7	11				4
8	12				SCP 下 1
9	13				2
10	14				Heat Pipe 1
11	15				2
12	16				3
13	17				4
14	18				5
15	19				6
16	20				頭部カップラ
17	21				SHUNT-R
18	22				下部カップラ
19	CAL-A	-	-	-	0.50V(HK)
20	B	-	-	-	2.50V(HK)
21	ESP-HV1	0~+4 kV	0~+3.9 V	78 kΩ	ESP-HV 1 モニタ
22	ESP-HV2				2 モニタ
23	MSP-HV	0~+ kV	0~+3.5 V	70 kΩ	MSP-HV モニタ
24	AUV-HV	0~+4 kV	0~+4.9 V	98 kΩ	AUV-HV モニタ

F.No	項 目	測 定 範 囲	HK入力電圧	HK入力抵抗	備 考
52	TL - 19	-50~+80℃	+87~137mV	1 MΩ	D/R Case
53	↓ 20	↓	↓	↓	ATV Case
54	↓ 21	↓	↓	↓	ATVレンズ外部
55	↓ 22	↓	↓	↓	↓ 内部
56	↓ 23	↓	↓	↓	ATV撮像管
57	↓ 24	↓	↓	↓	SHUNT-E Case
58	↓ 25	↓	↓	↓	CONV
59	SLD-X	↓	↓	99 kΩ	
60	SLD-Y	↓	↓	↓	
61	TH - 1	-90~+120℃	+48~97mV	1 MΩ	TELセンサ
62	↓ 2	↓	↓	↓	SCP 上 1
63	↓ 3	↓	↓	↓	↓ 2



F.No	項 目	測 定 範 囲	HK入力電圧	HK入力抵抗	備 考
25	AUV-SLIT	0 ~ +10 V	0 ~ +49 V	98 k $\Omega$	AUVスリット振幅モニタ
26	BAT-V	0 ~ +30 V	0 ~ +29.5 V	590 k $\Omega$	バッテリー端子電圧
27	Ep -P	↓	↓	↓	+BUS電圧
28	Es -12P	0 ~ +15 V	0 ~ +14.5 V	290 k $\Omega$	+12V Reg 出力電圧
29	Es -5P	0 ~ +7.5 V	0 ~ +7 V	140 k $\Omega$	+5V Reg 出力電圧
30	Ic -P	-2 ~ +2 A	0 ~ +2 V	40 k $\Omega$	太陽電池出力電流
31	Id -P	0 ~ +3 A	↓	↓	BAT充電電流
32	Es-12N	0 ~ -15 V	0 ~ -14.5 V	290 k $\Omega$	-12V Reg 出力電圧
33	ATV-HV	0 ~ -2.5 kV	0 ~ 50 mV	1 M $\Omega$	ATV-HV モニタ
34	TL - 1	-50 ~ +80 $^{\circ}$ C	+87 ~ 137 mV	↓	ESP センサ 1
35	2	↓	↓	↓	↓ 2
36	3	↓	↓	↓	AUV センサ
37	4	↓	↓	↓	MSP センサ
38	5	↓	↓	↓	Heat Pipe 1
39	6	↓	↓	↓	↓ 2
40	7	↓	↓	↓	↓ 3
41	8	↓	↓	↓	CMR Case
42	9	↓	↓	↓	セントラルチューブ/Sep Moni
43	10	↓	↓	↓	MSP-E Case
44	11/28	↓	↓	↓	スラストチューブ/MAG ダンパ
45	12/SQ0	↓	↓	↓	ベースプレート1/SQ 0
46	13/SQ1	↓	↓	↓	↓ 2/ 1
47	14/SQ2	↓	↓	↓	↓ 3/ 2
48	15/SQ3	↓	↓	↓	↓ 4/ 3
49	16	↓	↓	↓	BAT Cell 表面
50	17	↓	↓	↓	BAT Case 内面
51	18	↓	↓	↓	TMV Case

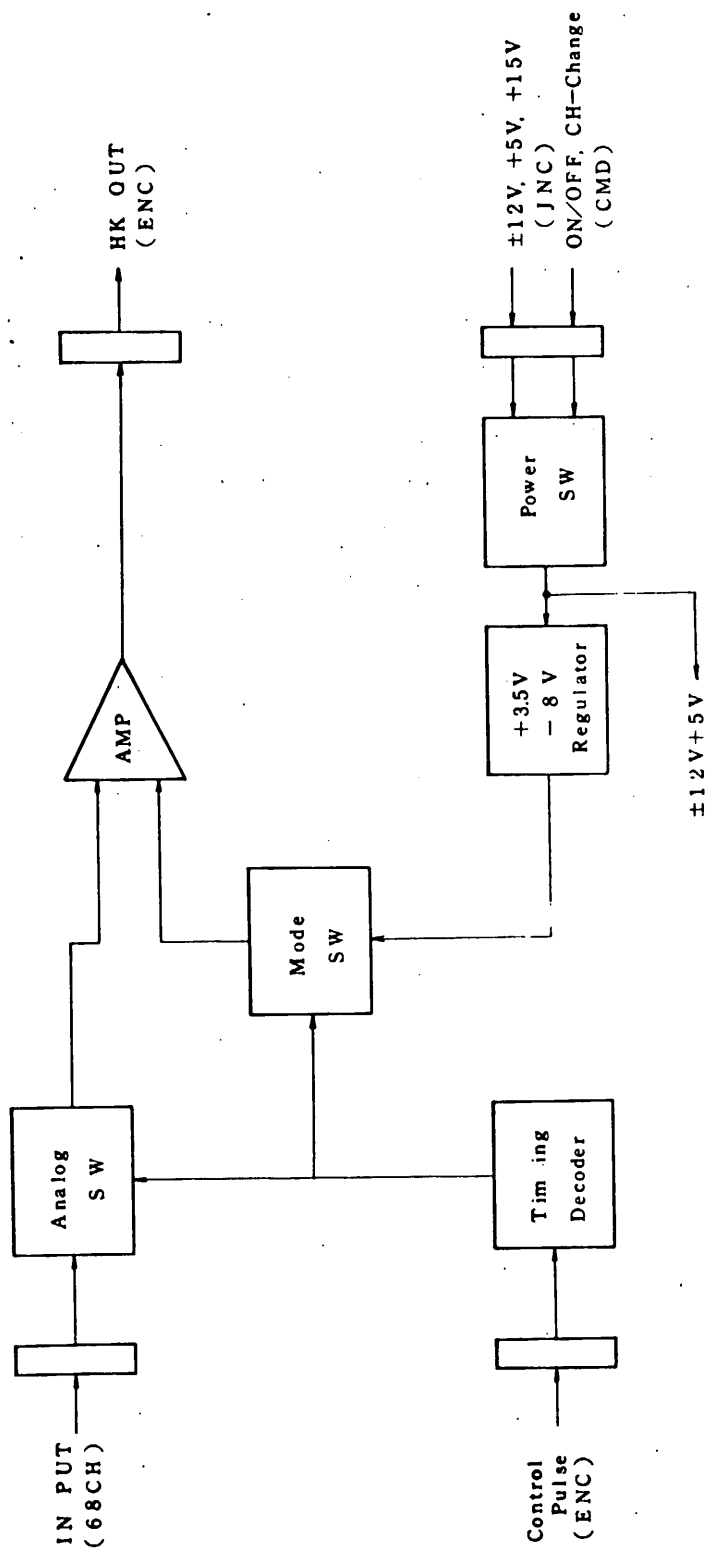


図 1 ブロック図



### 3.6 データ処理系 (ENC, DR)

東大宇宙研 野村研究室

日本電気 (株)

#### 3.6.1 概 要

データ処理系は、テレメータエンコーダとデータレコーダとから構成される。EXOS-Aの観測モードは、北極でオーロラ現象を観測するNPモードと地球全域にわたって電子、イオン等の観測を行なうGLモードとに大別される。表1、表2に各モードのデータフォーマットとステータスモニタの内容を示す。

エンコーダは、リアルタイムコマンド又はディレイコマンドによって指令された動作モードで、データを集積編集するとともに各観測機器を制御する。編集されたPCMデータは、リアルタイムデータとして可視時間に地上に伝送されるほか、一旦データレコーダに記録されて可視時間に10分間で加速再生される。

又HKデータは64チャンネルのサブコミテーションとしてPCMデータの中に編集される。表3にHKデータを示す。

表1 データフォーマット

NP mode

W

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

127 126 125 124 123

F0-37

F-SYN

FITI

STATUS

HK

CM

GAS/SAS

ESP

NEL

NEL

TEL

D

D

D

A

A

A&D

D

D

A

TELは  $\sum_{n=0}^{16} F_{n+1} W_{26-27}$

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

126 127

F58-255

F-SYN

FITI

STATUS

HK

CM

GAS/SAS

ESP

ATV

(19×198)

D

D

D

A

A

A&D

D

D

D

F1 = 00000000

F0

F57 F58

F57

F58

F1 = 00111010

F57

F58

F1 = 1111

F55

NEL / TEL

29 bit

ATV (1-00 画 像 1 行 分)

99 bit

GL mode

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20																				26 27 28 29 30										126 127	
$\sum_{n=0}^{63} F_{n+0}$		F-SYN	FITI	STATUS		HK	CM	GAS/SAS		ESP										ESW											
		D	D	D	D	A	A	D	A&D	D										D	A										

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17																			26 27 28 29 30											122 123 124 125 126 127				
$\sum_{n=0}^{63} F_{n+1}$		F-SYN	FITI	STATUS		HK	CM	GAS/SAS		ESP										NEL	NEL					TEL								
		D	D	D	D	A	A	D	A&D	D										D	A					A								

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17																			26 27 28 29 30											126 127	
$\sum_{n=0}^{63} F_{n+2}$		F-SYN	FITI	STATUS		HK	CM	GAS/SAS		ESP										ESW											
		D	D	D	D	A	A	D	A&D	D										D	A										

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17																			26 27 28 29											87 88 89 90 91 92				127
$\sum_{n=0}^{63} F_{n+3}$		F-SYN	FITI	STATUS		HK	CM	GAS/SAS		ESP										AUV						MSP				MSP				
		D	D	D	D	A	A	D	A&D	D										D	D					A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> A <sub>3</sub> A <sub>4</sub>				D				

CHK mode

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16																127	
F-SYN		FITI		STATUS		HK		CM		GAS		SAS		SAG			
D		D		D		A		A		D		A		D		D	
同期ハザード																	

GAS/SAS フォーマット (N3-15)

$\sum_{n=0}^{31} F_{n+7}$															$\sum_{n=0}^{31} F_{n+7}$																
GAS-1		SAS-1	SAS-2	SAS-3	GAS-2	SAS-4	SAS-5	SAS-6								GAS-1		SAS-1	SAS-2	SAS-3	SAS-4	SAS-5	SAS-6								
A		D	D	D	A	D	D	D								A		D	D	D	A	D									
XYZ																XYZ															

同期ハザード (W0-2)

1111010 1111001 00100000

表2 ステータスモニタ

FL-No.	FL-F No.	FL-T No.	項目	1	0
Fn	W5	B0	NPL-T	NP	
		B1	GLE-T	GL	
		B2	CHKE-T	CHK	
		B3	Bit rate	H	L
		B4	PT Read-T	R	
		B5	PT Write-T	W	
		B6	PT Stand B	S	
		B7	cal ON/OFF	ON	OFF
		B0	PT-M1(AD delay)	1	0
		B1	PT-M2( )	1	0
		B2	PT-M3( )	1	0
		B3	PT-M4(EX delay)	1	0
		B4	PT-M5( )	1	0
		B5	PCU-Level	A	B
		B6	PCU-FULL/TRIC	F	T
		B7	BAT-FULL/TRIC	F	T
	W6	B0	TEL ON/OFF	ON	OFF
		B1	ESW	ON	OFF
		B2	NEL	ON	OFF
		B3	MSP	ON	OFF
		B4	ESP	ON	OFF
		B5	ATV	ON	OFF
		B6	AUV	ON	OFF
	W7	B7	D/R	ON	OFF
		B7	SD/LD	SD	LD
		B3	CW/CCW	CW	CCW
		B4	TH (H/L)	⊕	⊙
		B5	X mag	⊕	⊙
		B6	Y mag	⊕	⊙
		B7	T		
Fn	W6	B0	TEL gain 1/2	1	2
		B1	TEL Sensor 1/2	1	2
		B2	ESP H.V. (1)		
		B3	" (2)		
		B4	ESP T120V (1)		
		B5	" (2)		
		B6	ESP H.V. (1)	A	B
		B7	ESP V.E. 9.19.1	S	
		B0	A0		
		B1	A1		
		B2	A2		
		B3	E0		
		B4	E1		
		B5	E2		
		B6	E3		
	W2	B7	CMD ON/OFF	ON	OFF
		B0	F-A 1/20Hz/1/12Hz		
		B1	F-B 1/4Hz/1/20Hz		
		B2	F-C 1/2Hz/1/20Hz		
		B3	F-E 1/6Hz/1/6Hz		
		B4	F-A 1/8Hz/1/32Hz		
		B5	F-E 1/4Hz/1/16Hz		
	W3	B6	F-B 1/2Hz/1/8Hz		
		B7	F-A 1Hz/1/4Hz		
		B0	AUV H.V. (1)		
		B1	" (2)		
		B2	AUV T120V (1)		
		B3	" (2)		
		B4	MSP Amp gain (1)		
	W4	B5	" (2)		
		B6	MSP 1/32 1/2		
		B7	RANK/VLF for PCM	RANK	VLF for PCM
Fn	W4	B0	T-p 1/32768Hz		
		B1	T-o		
		B2	T-n		
		B3	T-m		
		B4	T-l		
		B5	T-k		
		B6	T-j		
		B7	T-i 1/256Hz		
		B0	T-h 1/20Hz		
		B1	T-g		
		B2	T-f		
		B3	T-e		
		B4	T-d		
		B5	T-c		
		B6	T-b		
		B7	T-a 1Hz		
	W8	B0	ATV H.V. ON/OFF	ON	OFF
		B1	SUNセンサ 9.19.1		
		B2	SUNセンサ 9.19.2		
		B3	1/47.5		
		B4	0		
		B5	センサ 9.19.1		
		B6	"		
		B7	"		
	W9	B0	ATV gain 9.1		
		B1	" 2		
		B2	" 3		
		B3	" 4		
		B4	" 5		
		B5	MSP 1/32 1/2		
		B6	" (2)		
		B7	RANK/VLF for PCM	RANK	VLF for PCM

W4, W5, W6, W7, W8, W9 は F2 の通りサマ。但し SLD-OFF の時は リフ コミ を行わず  
 して ESP データとなる。

F0	F1	F2	F3	F4
B0-1 B2-7	B0-1 B2-7	B0-1 B2-7	B0-1 B2-7	B0-1 B2-7
TEL ESP	TEL ESP	TEL SLD	TEL SLD	TEL ESP



表3 HKデータ

F.NO	項目	測定範囲	名称	F.NO	項目	測定範囲	名称
1	TH-A	-90~+120℃	SCP 断面1	32	ES-12N	0~-15V	Reg 出力電圧
2	5		2	33	ATV-HV	0~-2.5kV	HV モニタ
3	6		3	34	TEL-1	-50~+80℃	ESP センサ
4	7/22		4/KMT-S	35	2		2
5	8		SCP 断面下	36	3		ATV センサ
6	9		1	37	4		MSP センサ
7	10		2	38	5		Heat Pipe 1
8	11		3	39	6		2
9	12		SCP 断面1	40	7		3
10	13		2	41	8		Case
11	14		Heat Pipe	42	9		セルラ -3-JE/Sep MON
12	15		2	43	10		MSP E Case
13	16		3	44	11/26		スラット -3-JE/MAG 90°
14	17		4	45	12/500		V-371-1/1/SP 0
15	18		5	46	13/501		2/ 1
16	19		6	47	14/502		3/ 2
17	20		20部 カプラ	48	15/503		4/ 3
18	21		SHUNT-R	49	16		BAT Cell 表面
19	22		F部 カプラ	50	17		BAT Case 内部
20	CAL-A		0.50V (HK)	51	18		TMV Case
21	B		2.50V (HK)	52	19		D/R Case
22	ESP-HV1	0~-+4kV	ESP HV モニタ	53	20		ATV Case
23	1 HV2		2k=9	54	21		ATV レンズ 外部
24	MSP-HV	0~-+kV	MSP-HV モニタ	55	22		内部
25	AUV-HV	0~-+4kV	AUV-HV モニタ	56	23		ATV 構造管
26	AUV-SL1	0~-+0.0V	AUV スリット 温度センサ	57	24		SHUNT-E Case
27	BAT-V	0~-+30V	BAT-V 端子電圧	58	25		CONV
28	EP-P		+BUS 電圧	59	SLD-X		
29	ES-12P	0~-+5kV	+12V Reg 出力電圧	60	Y		
30	ES-5P	0~-+75kV	+5V Reg 出力電圧	61	TH-1	-90~+120℃	TEL センサ
31	IC-P	0~-+3A	入側電池 出力電流	62	2		SCP 2 1
	1d-P	-2~-+2A	BAT 充放電電流	63	3		2

### 3.6.2 テレメータエンコーダ (ENC)

#### 1. 概 要

EXOS-A のテレメータエンコーダのデータ伝送形式には、GLモード、NPモード、及びプログラムタイマのメモリ内容をチェックするCHモードがありコマンドによって設定された伝送形式に従って各機器のデータが編集され、テレメータ送信機あるいはデータレコーダに送られる。そのデータ伝送速度は観測目的やデータレコーダのメモリ容量に応じて、高 (2048bits/S)、低 (512 bits/S) の2段に切替ることができる。

また、各機器に対しては、クロック、タイミング信号などの制御信号を供給し、観測機器の制御を行なう。

#### 2. 機 能

テレメータエンコーダのブロック図を図1に示す。

タイミング信号発生部では、原振 2097.15 KHz の水晶発振器の出力を分周して、時刻信号や、ビットレートに応じた、ビット信号、ワード信号、フレーム信号及び他のタイミング信号を作っている。これらの信号は、入力データの時分割多重化、A/D変換、PCM信号のSPM符号化などに使われたり、制御信号として各機器へ供給される。

アナログ入力信号は、データ伝送形式に従ってサンプルされ、8 bit のデジタル信号にA/D変換された後、デジタル入力信号と共に編集されて、シリアルなPCM (NRZ-L)信号になる。

このようにして作られたシリアル信号 (NRZ-L) は、次にSPM信号に変換され、低ビットレートの時には、PSK変調をかけ、高ビットレートの時にはそのままフィルタを通して信号切替部に入力する。

データ切替部では、データレコーダからの再生信号、SPMのREAL信号、PSKのREAL信号、SPMのREAL信号、PSKのREAL信号をコマンドに従って切替え、136MHzと400MHzの送信機に送出する。

#### 3. 性 能

電氣的性能

##### 1) データ編集形式

サブコミテーション数	64W
ワード数	128 W / F
ビット数	8 bit / w
ビット速度	高 2048bit / s

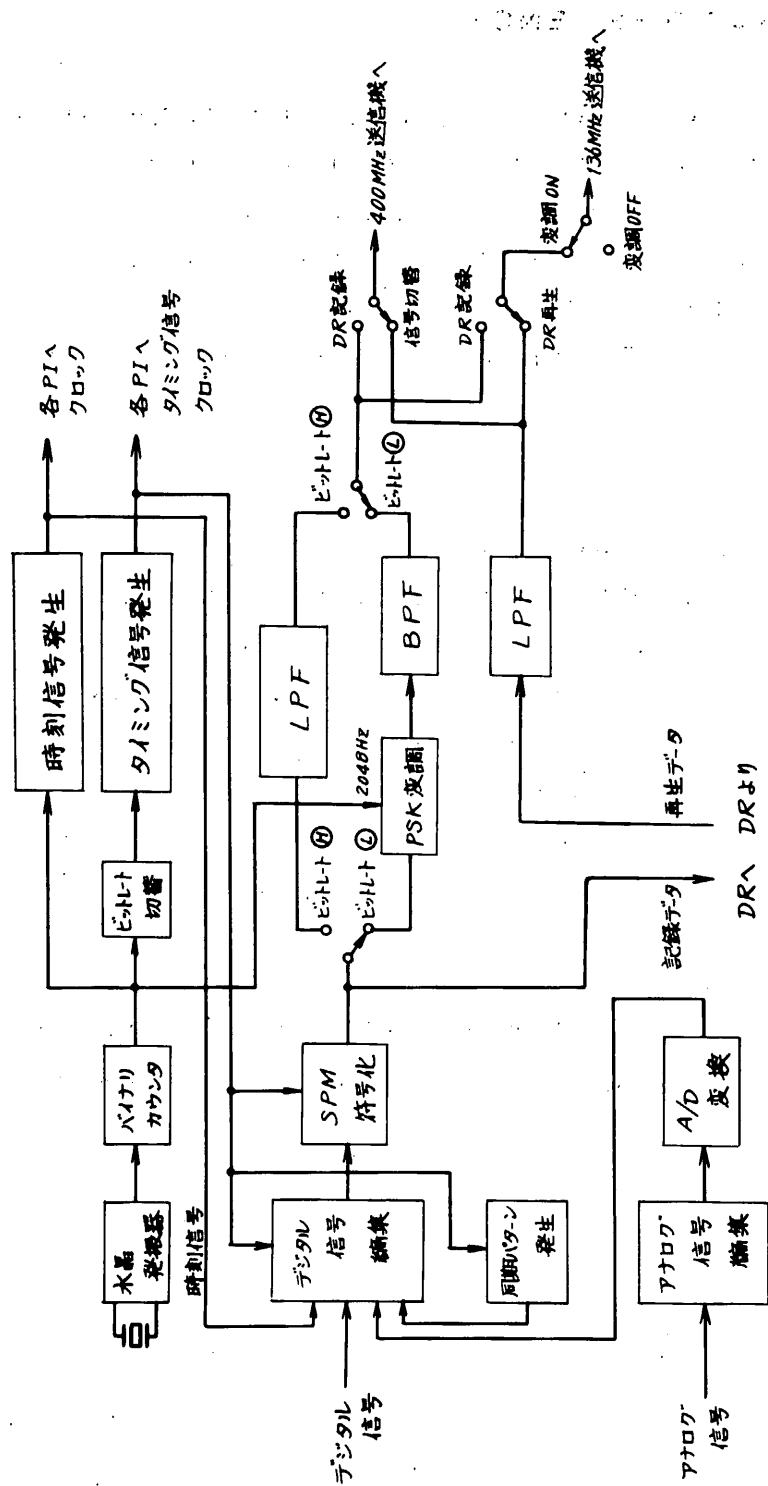


図1 テレメータエンコーダ機能ブロック図

ビット速度	低 512 bit/s
2) A/D変換性能	
A/D変換範囲	0 ~ 3.0 V
出力桁数	8 bit
変換精度 (入力周波数 2 Hz 以下)	± 0.8 %以下
3) 出力信号形式	
PCM (SPM)	$2.0 \pm 0.2 V_{P-P}$
(低ビット速度の時は、サブキャリア周波数 2048 Hz の PCM (SPM) - DPSK)	
4) 消費電力	
常時	35 mW
ENC-ON時	2880 mW
ENC-OFF/PRT-ON時	550 mW
機械的性能	
1) 寸法及び外観	図 2
2) 重 量	5500 gr

### 3.6.3 データレコーダ (DR)

#### 1. 概 要

データレコーダ部は、データレコーダ本体と周辺装置とから構成される。データレコーダ本体は 512 bits/s 又は 2048 bits/s の PCM データを記録する米国 ODETICS 社製のテープレコーダである。周辺装置はデータレコーダとコマンド、テレメータ、電源等とのインターフェイスを行なう回路部分である。

#### 2. データレコーダの特徴

今回使用するデータレコーダは、今まで使用されてきたデータレコーダと異なる種々の特徴を具えている。

主な特徴は次の通りである。

- (イ) 観測目的、観測時間に応じて 2 種類のビットレートのデータを記録することができる。
- (ロ) Reel to Reel 方式である。
- (ハ) テープの端で自動的にテープの進行方向が変わる擬似エンドレステープ方式を使用している。
- (ニ) フェーズロック式サーボシステムを採用して再生信号のジッタを減少させている。

(※) 専用電源を内蔵している。

### 3. 性 能

#### (1) 電氣的性能

記録信号	512 bits /s 又は 2048 bits /s    SP—M信号
再生信号	8192 bits /s    SP—M信号
記録時間	40分（2048 bits /s の時）、160 分（512 bits /s の時）
再生時間	10分
コマンド	記録開始 / 電源 ON    再生開始 / 電源 ON 電源 OFF
入力電圧	17～24 V
消費電力	記録モード    4.0 W max 再生モード    6.0 W max
使用温度範囲	－25℃～＋45℃

#### (2) 機械的性能

重量 本体	5103 gr 以下
周辺装置	350 gr 以下
形状	図 3 に示す。

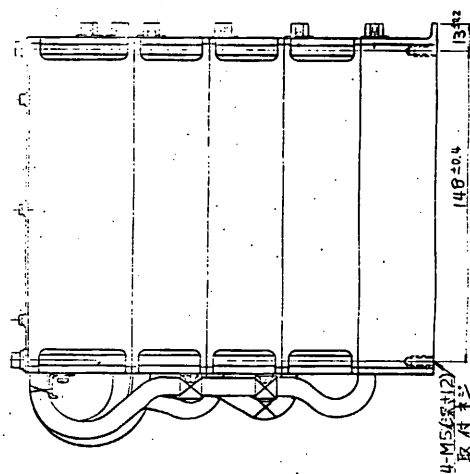
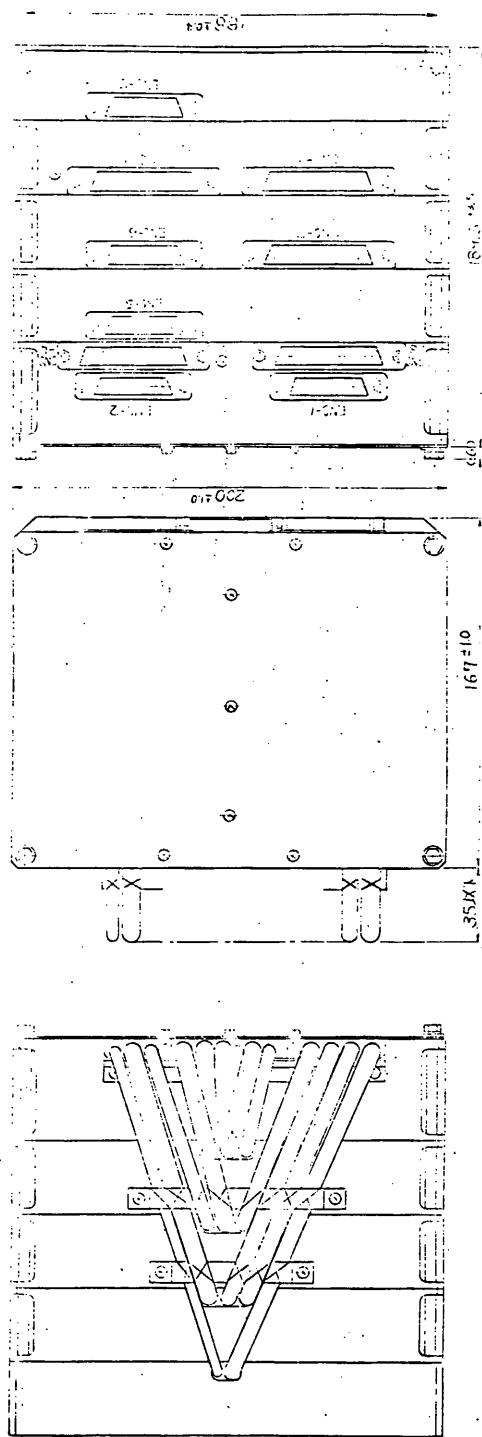


図2 テレビターエコンコード外觀図

