

科学衛星トラッキングおよび データアキジション地上設備

齋藤成文*・野村民也・長谷部 望**

1. 緒 言

わが国のロケット技術も科学衛星打上げのための段階に入っており、これに関連した科学衛星のトラッキングおよびデータアキジション設備が現在建設途上にあり、その中でも主要部分の装置はすでに設置されて、衛星トラッキングのための各種基礎データが着実に得られている。

さて実際に衛星をトラッキングし、データを取得するには、衛星の早期発見、自動的な角度の追跡、衛星へのデータ送出司令、軌道の測定、データ送出の停止などの手順をたどるが、その内容は二つの大きな目的に分けて考えることができる。すなわち、衛星を捕捉して軌道測定を行ない、これより衛星の軌道を決定し、次回以降の軌道の予測を行なう。いわゆるトラッキングと、衛星が各種搭載観測機器により観測しテープレコーダに記憶しているデータを、地上からのコマンドにより観測点上空で送出させ、これを受信して復調・記録するデータアキジションである。前者のトラッキングデータは、これをデータ伝送装置を介して東京にある科学技術庁・宇宙開発推進本部（以下科技庁、推進本部と記す）軌道計算センターに送り、軌道計算を行なって予測軌道算出後、ふたたびデータ伝送回線を通して観測所の各トラッキング装置に伝送し、プログラム追尾あるいは衛星発見の予測値として用いる。後者の衛星からの取得データは東京の宇宙航空研究所に送られ、科学衛星データ処理計算装置により処理計算が行なわれる。

現在衛星用として予定されている周波数帯を以下に記す。

周 波 数	用 途	変 調 方 式
136 MHz 帯	テレメータ	(PCM-DPSK-AM)
400 MHz 帯	テレメータ	(PCM-DPSK-AM)
148 MHz 帯	コマンド	(PNC-PSK-AM)

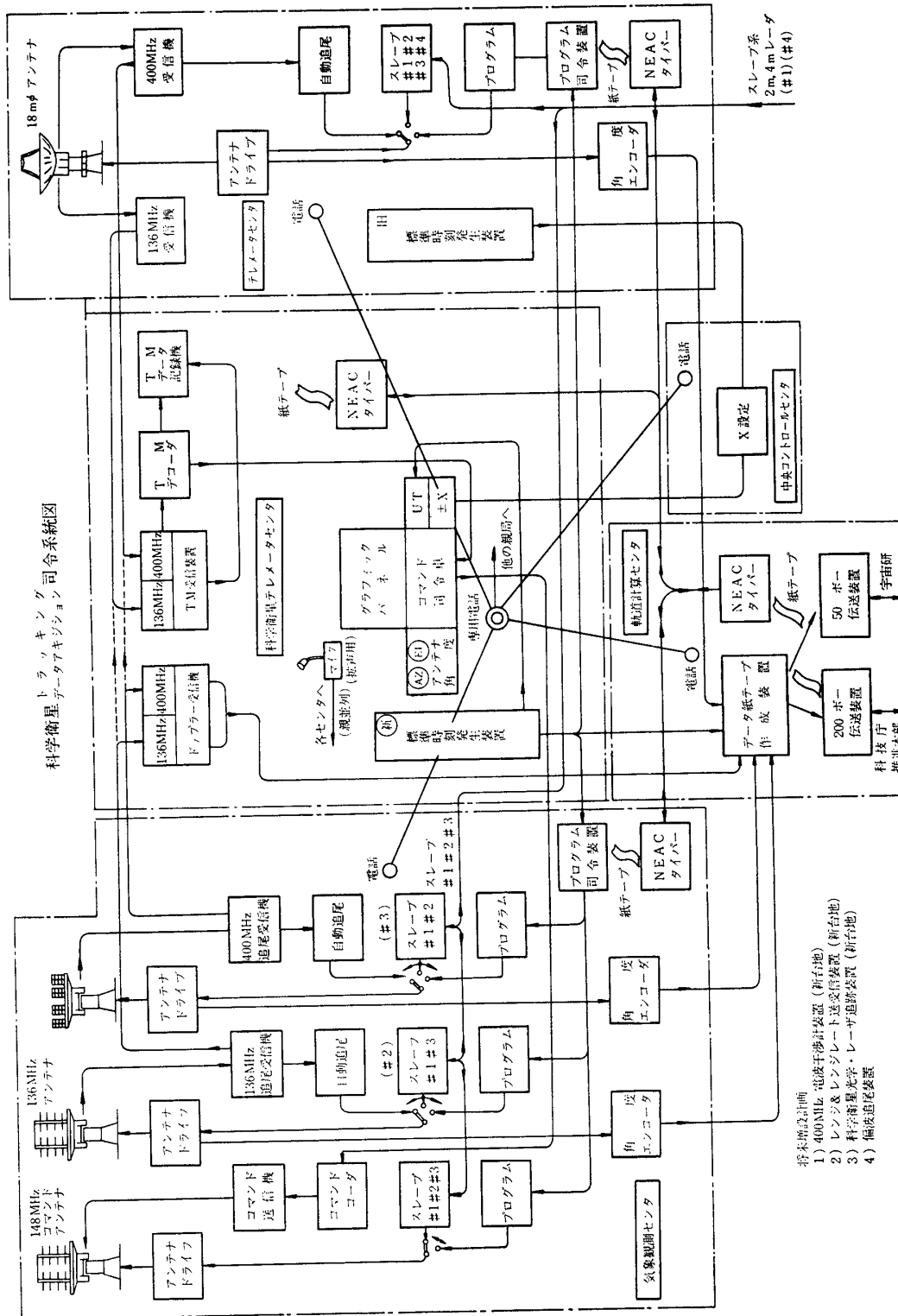
2. トラッキング

この科学衛星トラッキングおよびデータアキジションに対する東京大学鹿児島宇宙空間観測所 (KSC) の地上設備系統図を第 1 図に示した。以下順を追って説明を加える。

科学衛星打上げに対するシーケンスは 4 段式ロケットの 3 段目燃焼後、3 段目ロケットに

* 併任教授 (東大生産研)

** 東大生産技術研究所



第1図

将来増設計画
 1) 400MHz 電波干渉計装置 (新台地)
 2) レンジ&レンジレート送受信装置 (新台地)
 3) 科学衛星光学・レーザ追跡装置 (新台地)
 4) 偏波追尾装置

搭載されている姿勢制御装置が、これまで姿勢安定のためかけられていたスピンをデスピン装置により停止し、あらかじめ計算、設定された 4 段目ロケット打出し方向(衛星軌道方向)に姿勢を制御し、ここであらためてスピンをかける。その後衛星を軌道へ導入する最適時刻(レーダオンライン計算機、その他のトラッキング情報による)に地上よりのコマンドで動作した遅延タイマーにより 3 段目と 4 段目ロケットは切離されて 4 段目ロケットのエンジンに点火し衛星軌道へ打出される。

この際ロケットの 3 段目に搭載された C バンド (5.6 GHz) トランスポンダを追跡しているレーダとリンクした計算機がオンラインで追跡トラジェクトリより予測される軌道要素を算出し、これを軌道計算センタ(第 1 図の中央下)へ伝送タイパーによって伝送する。これを受取った軌道計算センタはこの紙テープを 200 ボーのデータ伝送装置にかけて東京の科技庁、推進本部の軌道計算センタへ伝送する。

ここでは、伝送された軌道要素を用いて衛星再来の軌道予測を行ない、この計算結果(時刻に対する仰角、方位角、直距離、ドップラ周波数)をただちに 200 ボー伝送装置を介して KSC へ送り返す。

これを受信した軌道計算センタはその紙テープを伝送タイパーにかけて衛星の各トラッキング装置へ送り込む。伝送タイパーにより受信した紙テープは各トラッキング装置で自局のデータフォーマットに合うよう変換してアンテナの駆動に、ドップラ周波数測定に用いられる。衛星が地球を一回りして観測点に近付いてくると、まず気象観測台地(図左上)にある 136 MHz 角度追尾アンテナがこの電波を発見捕捉する。136 MHz 角度追尾アンテナが角度自動追尾に入ると、この角度データは軌道計算センタへ角度データ送出装置により 2 秒に 1 回の角度データを BCD 符号で送り出すとともにアナログ情報は他のトラッキングアンテナをスレーブするため送り出される。これと同時に 136 MHz の受信信号は科学衛星テレメータセンタ(図中央)へ伝送されてドップラ周波数検出装置に入ってドップラビートを検出し、このデータ(2 秒ごと)が角度データと同様、軌道計算センタへ送られる。

一方 136 MHz 角度追尾アンテナにスレーブ、もしくはプログラム追尾していた 400 MHz 角度追尾アンテナ(図左上)および 18 mφ パラボラアンテナが 400 MHz の電波を捕捉すると角度追尾アンテナよりの信号は科学衛星テレメータセンタにある 400 MHz ドップラ受信装置に導かれてドップラ周波数を検出し、軌道計算センタへ 2 秒ごとの BCD 符号で送り出す。このとき 18 mφ パラボラアンテナが自動追尾に入ると 400 MHz の角度信号がデータ送出装置より 2 秒ごとの仰角、方位角の BCD 符号となって軌道計算センタへ送り込まれる。

一方軌道計算センタにおいては、各観測装置より送り込まれた角度データ、136 MHz、400 MHz ドップラ周波数データを紙テープ作成装置(せん孔速度 110 字/sec)で 2 秒ごとのデータとして紙テープにせん孔する。このとき角度データは 136 MHz 角度追尾アンテナと 18 mφ パラボラアンテナの二通りのうち前者のデータのみときはそれをせん孔し、後者のデータがあるときは精度の高いこれをせん孔するようになっている。

紙テープ作成装置によってせん孔された紙テープはただちに 200 ボー伝送装置により東京の科技庁、推進本部の軌道計算センタへ送られ電子計算機(HITAC 5020 F)により軌道計算

がなされる。なお、現在、衛星の軌道計算に利用しようとしている計算方法の大略を記すると、初期値として衛星追跡の角度観測データを用いて軌道要素を算出し、ドップラ周波数観測データの2時刻間の周波数の差と、上で計算された軌道要素をもとにして算出された結果を比較し、観測値に一致するよう修正をくり返して軌道改良を行なうものである。またこのデータの質が低い場合は角度データによる軌道改良を行なう。

この科学衛星トラッキングおよびデータアキジション装置は正確な時刻信号と安定した標準周波数を要求する。なんとなれば3点観測による絶対時刻の差はそのまま衛星の位置誤差となり、発振周波数の安定度はドップラ周波数の不明確さとなって相対速度誤差となるからである。このためすべての観測装置にはその必要とする時刻信号および標準周波数を科学衛星テレメータセンタにある標準時刻発生装置から時刻信号伝送回線を通じて供給しており、その時刻精度はJJYの受信機と校正して、 $100\ \mu\text{s}$ まで合せられ、源発振器にはルビジウム原子発振器と水晶発振器を併用して短時間安定度 5×10^{-11} /秒および長時間安定度 5×10^{-11} /day を保持している。

科学衛星トラッキング局として現在 KSC のほかに、千葉県勝浦、沖縄の温納村の電波追跡所（科技厅、推進本部）があって3点観測を行なえるようになっている。

なお科技厅、推進本部と協力して 136 MHz の既存の衛星から電波を受けて3点観測、データ伝送ならびに軌道計算の予備実験を行なった結果は良好な成績が得られ、このトラッキングステーションとしての能力が十分あることを立証している。

3. データアキジション

一方科学衛星からのデータアキジションは 136 MHz および 400 MHz テレメータ送信機と 148 MHz コマンド受信機により行なわれる。このテレメータおよびコマンド系は全デジタル方式で緒言で述べたごとく、テレメータは PCM-DPSK-AM の変調方式（変調度 50%、ドップラ方式の追跡可能）を、コマンドは PNC-PSK-AM の変調方式を採用している。

衛星に搭載された各種センサーによって得られる観測データは記録時間約 95 分の搭載テープレコーダに集録され、受信点上空にきたとき地上よりのコマンドで、19 倍のスピード（再生時間約 5 分）で再生して送信させる。これに用いられるコマンド項目はテープレコーダの再生、観測器類の校正、姿勢制御司令、電源の ON-OFF など数十項目におよぶ。

衛星が近づき、136 MHz 角度追尾アンテナが自動追尾に入ると、この角度信号を受けてスレーブしている 148 MHz コマンド送信アンテナは衛星に対するデータ送出司令を行なう。これを受信したコマンド受信機は符号を検出してテレメータ送信機を通して観測データの伝送を開始する。地上の 18 mφ パラボラアンテナは 136 MHz および 400 MHz のテレメータ電波を受信し、これを 30 MHz に変換したのちテレメータ復調装置に送る。このとき、136 MHz はパラボラ焦点に直角方向に配置した2対の一次放射器と2系統の受信機を用いて偏波ダイバーシティ受信を行ない、400 MHz に対しては自動追尾能力（サイマルテニアスロービング方式）を有する。

受信装置で受信されたテレメータ信号は磁気テープに記録される一方 D-A 変換を行なっ

てペンレコーダやその他のアナログ記録をとる。またデジタル信号のまま表示器に各チャンネルのリアルタイム表示を行なう。このとき特に衛星の環境条件に関するデータや姿勢制御に必要な項目を抽出してデータ伝送回線により宇宙研の科学衛星データ処理計算装置に伝送し、計算処理の結果は折り返し KSC に伝送して衛星に対する必要な司令を行なう。

さらに前記の磁気テープは宇宙研のデータ処理センタに輸送され、ここでデジタルデータプロセッサによりフォーマットの変換を行ない、データの種類、日時などの符号をつけ加えて電子計算機へ送って処理を行なう。

第 1 図の中央に一点鎖線で示してある科学衛星テレメータセンタには科学衛星中央司令卓があって、これらデータアキジションに関する司令を行なう。ここには標準時刻装置より供給された世界時刻 (Universal Time) および打上げロケットの発射時刻 (X) からの経過時間を表示する $\pm X$ がニクシーランプで表示され、現時点でのデータアキジションの状態をグラフィックパネルにより表示する。また自動追尾アンテナ系の状態表示と角度表示が行なわれる。これらデータアキジションに対する司令および連絡打合せ用として専用電話が各センタ間を接続してデータ取得をより一層円滑にする。

4. 結 言

以上は現在建設済みあるいは建設中の地上設備について述べたが、今後科学衛星のトラッキングとデータアキジションのために必要と考えている地上設備には高精度電波トラッキング方式として電波干渉計 (測角精度数 10 秒程度) による角度追跡、レンジ・アンド・レンジレイト方式やシュミットカメラによる光学的トラッキング装置の検討がなされ、衛星からの電波の偏波面の影響を無くする偏波面受信機の設置が計画されている。

最後に本地上設備の製作を担当された日本電気、三菱電機および明星電気の関係各位に厚く御礼申し上げます。

1969 年 5 月 19 日 宇宙工学