

科学衛星の運用管制システム

野村 民也・林 友直・二宮 敬虔
井上浩三郎・高橋 慶治・周東晃四郎
河端 征彦

(1986 年 2 月 15 日受理)

1. は じ め に

M ロケットによる科学衛星は 1971 年 9 月に打上げた「しんせい」から 1984 年 2 月に打上げた「おおぞら」までで 9 個を数える。この間、衛星は重量の増加もさることながらその機能は複雑多様化し寿命も長期化する傾向にある。そのため衛星を長期間にわたって安定に運用し観測データを効率よく取得出来る地上の運用管制設備が、必要かつ重要になって来ている。そこで我々は、現在衛星運用で使用している地上設備を、これまでの経験にもとづいて見直すと共に、試験系設備も含めて新しいシステムとして統括し、これを科学衛星総合管制システム（図 1）と名づけ、その効率、高性能化を計っている。

このシステムの中で衛星の運用上中核的な役割を果す科学衛星の運用管制サブシステムについては、MS 50 ミニコンピュータを導入して、2 台の CRT を使った CPU との会話形式を採用した。これによって従来より一段と効率の良い衛星の運用が可能となった。

この報告は、科学衛星「ひのとり」までの運用管制の経緯と、新たに統括した総合管制システムの構成および機能について簡単にふれ、次に科学衛星の運用管制サブシステムについて、8 号衛星「てんま」と 9 号衛星「おおぞら」に例をとって、その構成、機能および運用結果について述べる。

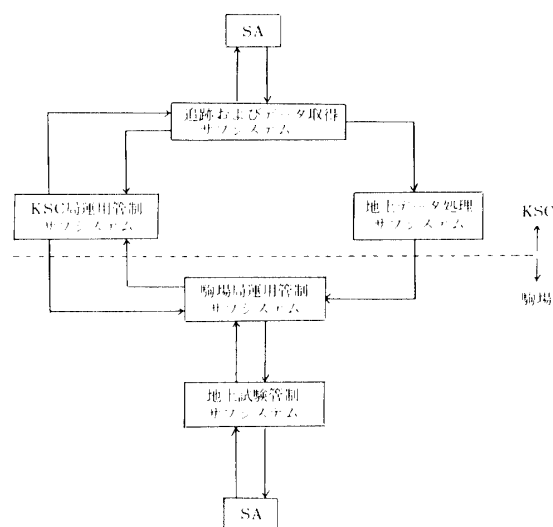


図 1 科学衛星総合管制システム機能ブロック図

2. 運用管制の現状と今後の進め方

1982年6月の時点で観測を続けていた科学衛星は、「じきけん」、「はくちょう」、「ひのとり」で、試験衛星の「たんせい4号」を含めると4個であった。これらの衛星の運用管制は、各衛星の観測目的が異なることもあって、衛星毎にチームを作り、創意工夫を凝らして運用計画を立てて実施してきた。運用管制は主として鹿児島宇宙間観測所（KSC局）で行い、姿勢制御については、公衆電話回線を利用して、東京駒場局で運用管制を行ってきた。

具体的な運用形態を「はくちょう」を例に挙げると、まず東京においては、運用計画者及びコマンド作成者が週番、当番として1週間の運用計画の立案やコマンド作成の作業を行う。一方KSCにおいては、運用者として2名従事しており、東京から回線またはファックスで送られて来る観測用コマンドや姿勢制御用コマンドなどをもとに運用手順書を作成し、衛星の管制を行うプログラマブルタイマ運用装置に登録する。可視時に受信が開始されると、運用者はこの運用装置に登録した運用手順に従ってコマンドを送出し運用管制を行う。この時ミニコンピュータ（U-300）で取込み処理されたりアルタイム（実時間）及びプレイバック（再生）データを運用画面に表示させ衛星状態を監視する。受信終了後、非可視時には取得されたデータの時刻付けを行いデジタルテープに収録し、定期的に東京へ空輸する。これがKSC運用者の主な作業である。空輸されたデジタルテープは、東京のデータ処理班により別途大型計算機で詳細な処理を行いデータベース化している。以上が「はくちょう」の例であり、運用管制の一端を述べた。

このように一つの衛星を運用するのにもかなりの手間および費用などがかかっていたのが現状である。我々が考えている総合管制システムはこれらの点を特に重点的に改善していく事を考えており、究極的に運用者がわざわざKSCへ出かけなくとも、東京においてすべての衛星の運用が（できればリアルタイムで）可能になることを目標にあげている。実際に改善していく場合の問題点としては、すべての地上設備は一年を通じて定常的に稼働しており、新規の設計の場合に比べて進めにくい点がある。反面、実際の運用での不備な点をすぐ反映出来る点で、むしろ効率的と考えている。

3. 科学衛星総合管制システム

3.1 システムの構成

我々が進めている科学衛星総合管制システムは、図1のブロック図に示すように現在運用している地上設備をいくつかのサブシステムに分け、これらを統括したものである。すなわち、追跡およびデータ取得サブシステム、KSC局運用管制サブシステム、地上データ処理サブシステム、駒場局運用管制サブシステム及び地上試験管制サブシステムから成り立っている。下記に各サブシステムの主な機能を、図2, 3に実際の構成設備の系統図を示す。

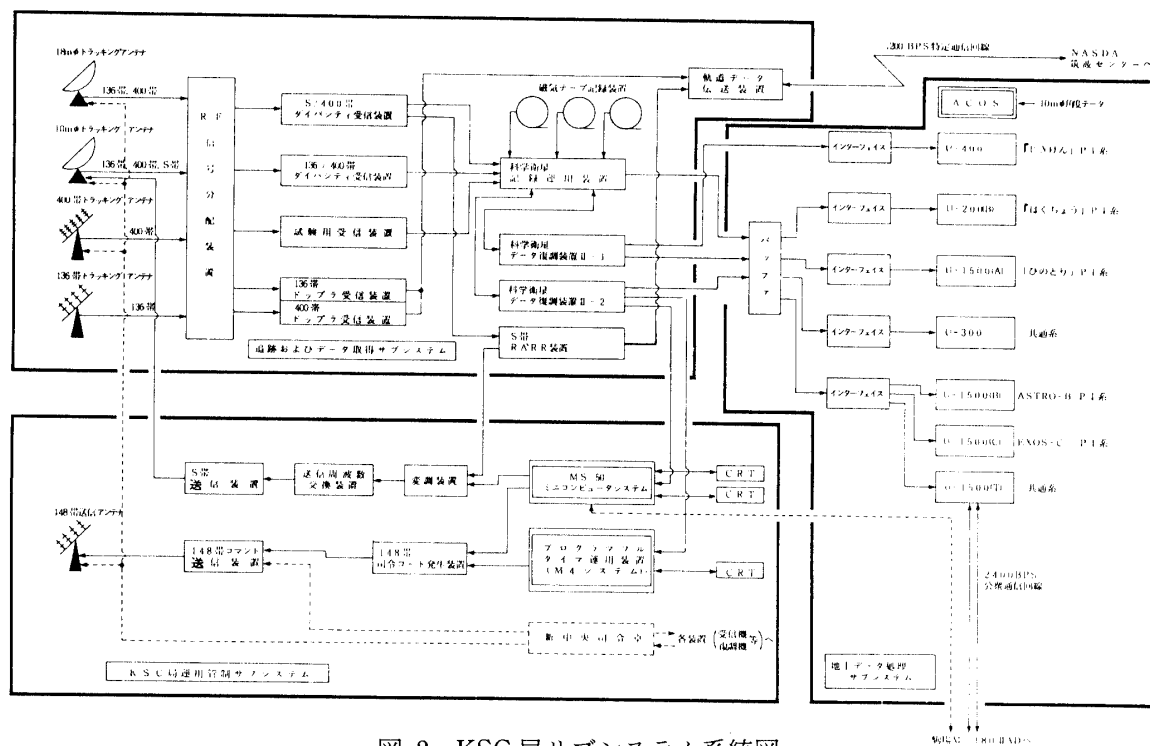


図 2 KSC 局サブシステム系統図

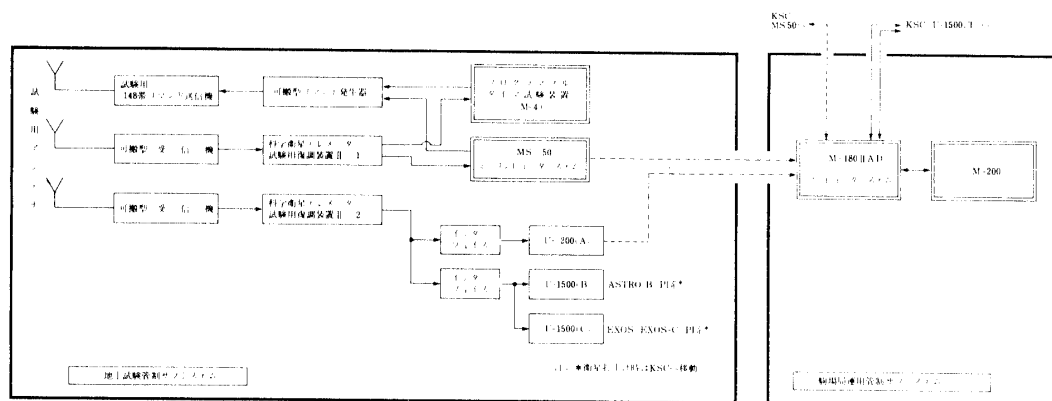


図 3 駒場局サブシステム系統図

3.2 主な機能

3.2.1 追跡及びデータ取得サブシステム

- イ. 衛星の追跡及びテレメータデータの取得
- ロ. 衛星軌道データの取得及び伝送
- ハ. 衛星動作把握のためのハード的な実時間表示
- ニ. 運用管制サブシステム及び地上データ処理サブシステムへのデータ出力

3.2.2 KSC局運用管制サブシステム

- イ. 立案した衛星の運用手順書に従い、ミニコンピュータ MS 50 との会話形式によるコマンド計画の作成
- ロ. コマンド計画にもとづくコマンド送出、テレメータによるコマンドアンサバックとの照合、動作確認。この外に計画外のコマンド送出、衛星状況把握
- ハ. コマンドコードの発生送出、コマンド電波の送信
- ニ. 衛星追跡計画にもとづく地上系設備の集中制御（現在、検討中）
- ホ. 駒場局運用管制サブシステムとのデータ通信

3.2.3 地上データ処理サブシステム

- イ. 衛星受信時に取得した実時間データ及び再生データの収録
- ロ. 受信時データの実時間処理と表示及び受信後の後処理
- ハ. 受信後に再生データの時刻付けと処理（姿勢、HK、電源など）
- ニ. 駒場局運用管制サブシステムとのデータ通信

3.2.4 駒場局運用管制サブシステム

- イ. KSC から電々公社回線を利用して実時間で送られてくるテレメータデータの実時間処理と表示及び後処理
- ロ. 姿勢計算、姿勢決定、姿勢制御処理
- ハ. 衛星運用計画の作成、運用履歴の蓄積
- ニ. KSC とのデータ通信

3.2.5 地上試験管制サブシステム

- イ. 東京での飛翔前試験の試験手順書にもとづくコマンド計画の作成、コマンド送出及びテレメータ照合など
- ロ. 試験データの取得と衛星の状況把握のための処理及び表示

4. ミニコンピュータ MS50 を使用した運用管制サブシステム

本章では3章で述べた科学衛星総合管制システムのうちミニコンピュータ MS 50（以下 MS 50 という）を導入した運用管制サブシステムについて、1983年2月に打上げた第8号科学衛星「てんま」と1984年2月に打上げた第9号科学衛星「おおぞら」の場合を例にとって、その特徴、構成、機能および運用結果について述べる。ただし「おおぞら」については、「てんま」の場合と変わるところは無いが、衛星に搭載の自動管制システム (OGM) に、管制を行わせるソフトウェアが、新規に追加されたものと見なしえるので、この点にのみ言及する。

この MS 50 は、従来より使用していたプログラマブルタイマ (PRT) 運用／試験装置に代わって導入されたもので、テレメータの伝送速度の高速化、さらに今後予想される衛星の高性能化に対応するためである。今回、「てんま」、「おおぞら」において高速処理と多重処理にすぐれている MS 50 の特徴を生かし、2台の CRT を使って CPU との会話形式によって効率良い衛星の運用が可能なシステムを開発した。

4.1 「てんま」における運用管制サブシステム

本システムの主な特徴は次の通りである。

- i) ライトペンを主体にした CPU との会話形式による容易な操作性
- ii) メニー方式を採用した画面の階層構造化により、コマンド計画の編集、送出実行および衛星情報の監視の各モードへの切換えが容易である。
- iii) 射場でのフライトオペレーション等にも従来通り対応できるように、コマンド計画外の各種コマンドを効率良く送出できる。
- iv) 衛星のコマンド運用履歴等のデータのデータベース化が可能である。

4.1.1 システムの構成

I) ハードウェア構成

システムの機器構成は、以下に詳述する MS 50 システムのほか司令コード発生装置、コマンド送信装置 (S 帯および 148 MHz 帯) および 148 MHz 帯送信アンテナより成る。

その中心となる MS 50 システムの構成を図 4 に示す: コンピュータ本体は 16 bit/word で科学演算機構 (SIP) が組込まれており、メインメモリ (MEM) の容量は 256 KB である。周辺装置としては、ライトペンを主体にしてコンピュータと会話するための 2 台の CRT (CDE), 容量が 9.8 MB の磁気ディスク装置 (DK), コンソール (CONSOLE) からのエラーメッセージや各種コマンドの送出履歴の印字ならびに一部画面のハードコピー機能もある低騒音の高速シリアルプリンタ (SP) がある。

さらに司令コード発生装置に最大 14 bit のコマンド信号をシリアルに転送したり、科学衛星データ復調装置から衛星搭載テレメータの PCM 復調信号を 0.5 秒毎に最大 256 Kbit/s の伝送速度で取込み可能な DMA 入出力制御部の GDC (General Purpose DMA Controller) と、モデム等を使って駒場局運用管制サブシステムとデータ伝送回線を通してデータ通信が可能な通信制御装置 (CCU) がある。

なお磁気テープ (MT) は、科学衛星からのデータを受信中に送出する全てのコマンドのデータや衛星の運用管制者が受信後に CRT から会話形式で入力する地上系の動作状況等のデータを、マルチファイル形式で記録することになっている。この他システム運用時の障害発生の場合に、メモリデータを退避するためにも使用される。

システムの性能諸元は表 1 に示す。

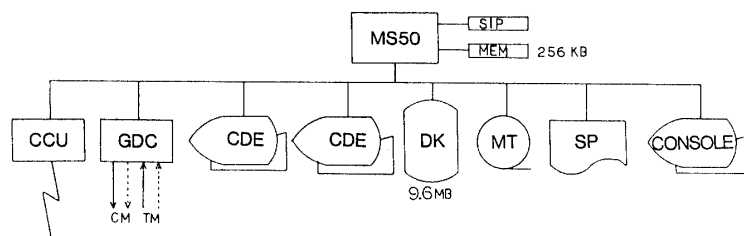


図 4 KSC 衛星管制ミニコンピュータシステム構成図

表 1 MS 50 システムの性能諸元

中央処理装置	命令数……124+64 (オプション) 直接アドレス空間……2 MB レジスタ……26個 2進固定小数点データ……16/32 ビット 浮動小数点データ……32/64 ビット 割込みレベル数……64レベル その他……科学演算機構付
主記憶	サイクルタイム……465 ns (2 バイト)
磁気ディスク	容量……9.8 MB 平均シークタイム……45 ms データ転送速度……312 Kバイト/sec
シリアル プリンタ	印字速度……125 字/sec 印字文字種類……128 文字 印字方式……7×9 インパクトドットマトリックス
コンソール	画面サイズ……14インチ, 2000文字 文字の種類……127 種 文字の構成……7×9 ドットマトリックス キー数……78個 表示色……緑
キーボード ディスプレイ	画面サイズ……20インチ, 1920 文字 文字の種類……128 種 文字の構成……7×9 ドットマトリックス 表示色……7 色
DMA 汎用 入出力制御部	転送方式……半二重ブロック単位 DMA データ転送単位……16ビット並列+2 奇数パリティビット 最大転送速度……入力 800 kW/sec 出力 600 kW/sec ユーザインターフェイス ……データライン 16 ビット並列+2 奇数パリティビット 管制ライン 22ビット
通信制御部	収容回線数……全二重最大 8 回線 (小規模) 全二重最大 128 回線 (大規模) 回線種類……特定, 公衆, DDX 通信速度……調歩同期 50—9600 BPS SYN/F 同期 48 KBPS 以下

II] ソフトウェア構成

本システムでは, 4.1.2 に詳しく述べるコマンド計画の編集, 計画内の各種コマンドの送出および衛星情報の監視の主な機能を効率良く果すために, そのソフトウェアは表 2 に示すように, 5 つのモジュールから構成されている。各モジュールは複数のタスクに分けら

表 2 モジュール一覧

No	モジュール名	処 理 概 要	備考
1	初期設定モジュール	本ソフトウェアの初期設定，機能選択を行う。	
2	計画編集機能モジュール	コマンド計画の作成，修正	
3	コマンド送出機能モジュール	コマンド送出，照合，TLM 情報表示	
4	衛星情報表示機能モジュール	非可視時の衛星情報表示	
5	入出力モジュール	CRT-A, B に対してデータの入出力を行う。	

れるが，それらのタスク相互の関係は図 5 に示す通りである。

なお本ソフトウェアは，各衛星に固有な部分のソフトウェアを除いては標準化が行われているので，各種コマンド情報のテーブル，衛星のシステムブロック図等を衛星毎に入力してやれば，あらゆる科学衛星に対応できる。この事はまた，地上系の適切な増設等により，複数衛星の同時運用が可能な事を示している。

4.1.2 システムの機能動作概要

本システムには，従来 KSC で各周の受信前に作成していた入感，消感モードの確認や衛星搭載機器の制御コマンドの送出ならびに各機器の動作状況の監視等を指示する衛星運用手順書に替るコマンド計画 (Command Plan) の編集，計画内の各種コマンドの自動送出，衛星情報の監視の 3 つの機能がある。これらは図 4 の MS 50 の電源を投入し，その初期化を行って，CONSOLE からメインプログラム (4.1.1 II] で述べた初期設定モジュール中のイニシャライズ・メインタスク) を起動させた後可能になる。このとき 2 台ある CRT (CRT-A と CRT-B) で priority の高い方 (CRT-A) の画面は写真 1 のようになっており，以後ライトペンによる操作が行える。

上述の 3 種の機能は，実際の運用では，画面単位に構成された多数の機能に分けられる。これらの機能画面に対して，システムのコストパフォーマンス等を考えて，図 6 の遷移図に示すように大型コンピュータ並に画面の階層構造化を図った。

以下ではこれらの機能動作を重点的に述べることにする。

I] コマンドの送出機能

ここでは

- a) コマンド計画内の各種コマンド
- b) ディスクリットコマンド (DSC)
- c) 1/0 コマンド
- d) PRT コマンド

が送出できる。送出されたコマンドは，テレメータデータのコマンドアンサバック (CAB) と，DHK (Digital House Keeping) にステータス情報がある機器についてはその情報と，必ず照合を取るようになっている。照合方法は衛星との回線の品質の良否が大きく影響す

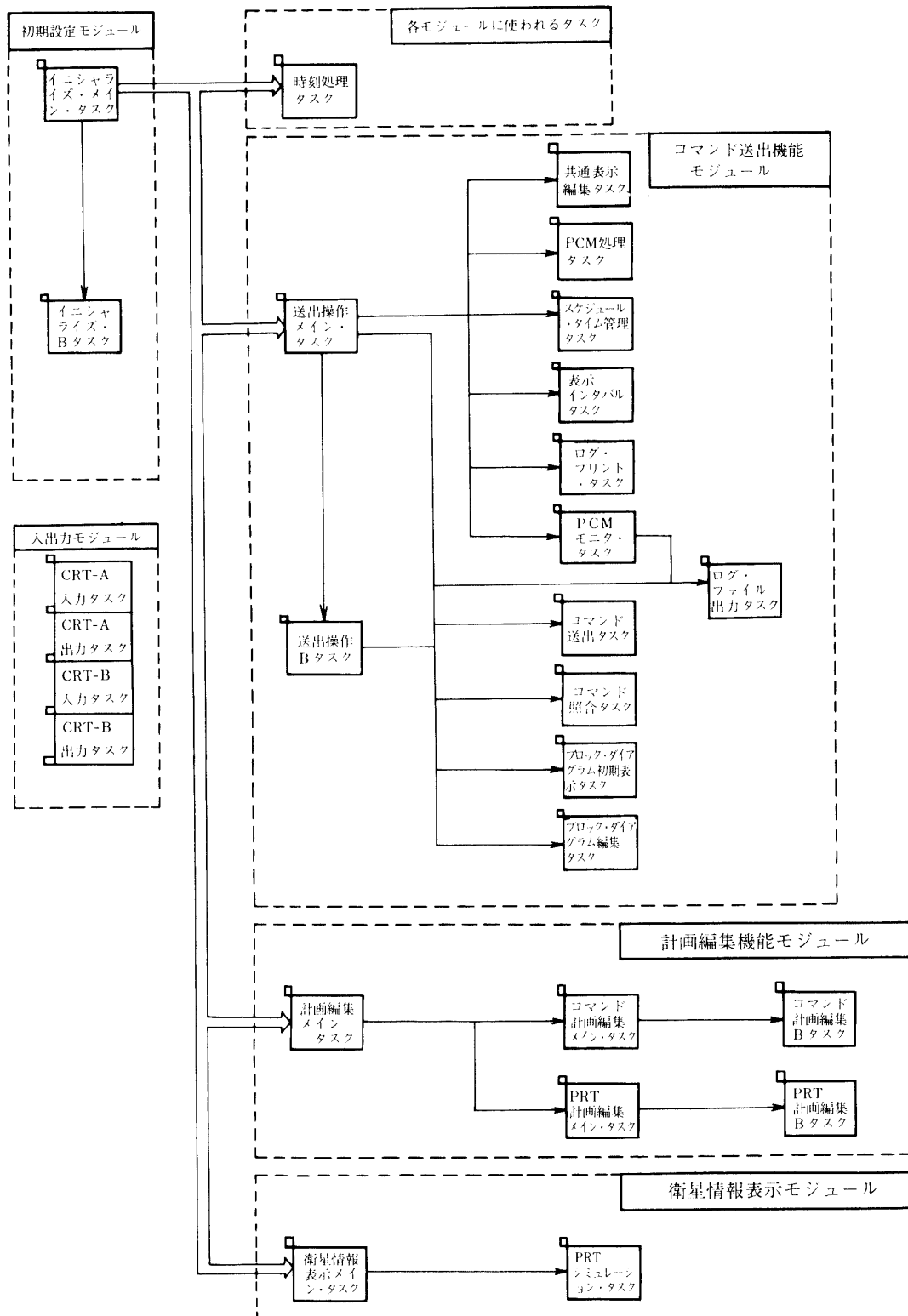


図 5 各種モジュールのタスク構成図

るので、CAB, DHK ステータス共最大 4 回の照合の余裕をみている。しかし、データ復調装置のランプ表示で確認できているのに、MS 50 側で照合が取れない場合には、照合動作を強制的にキャンセルすることによって、次のコマンドの送出行えるようになっている。

また本システムから送出されるコマンドは全て、送出時刻や前述の照合結果と共に、図 4 の SP に印字されることになっている。さらにこれらの送出コマンドは、消感後に運用管制者によって行われる付加情報（各周の入感、消感モード、地上系の動作状況等）の入力操作を経て、その情報と共に周回毎にロギングされ、MT にマルチファイル形式で記録される。以下では紙数の都合で a) と d) の 2 種類のコマンドの送出機能を取り上げる。

i) コマンド計画内の各種コマンド

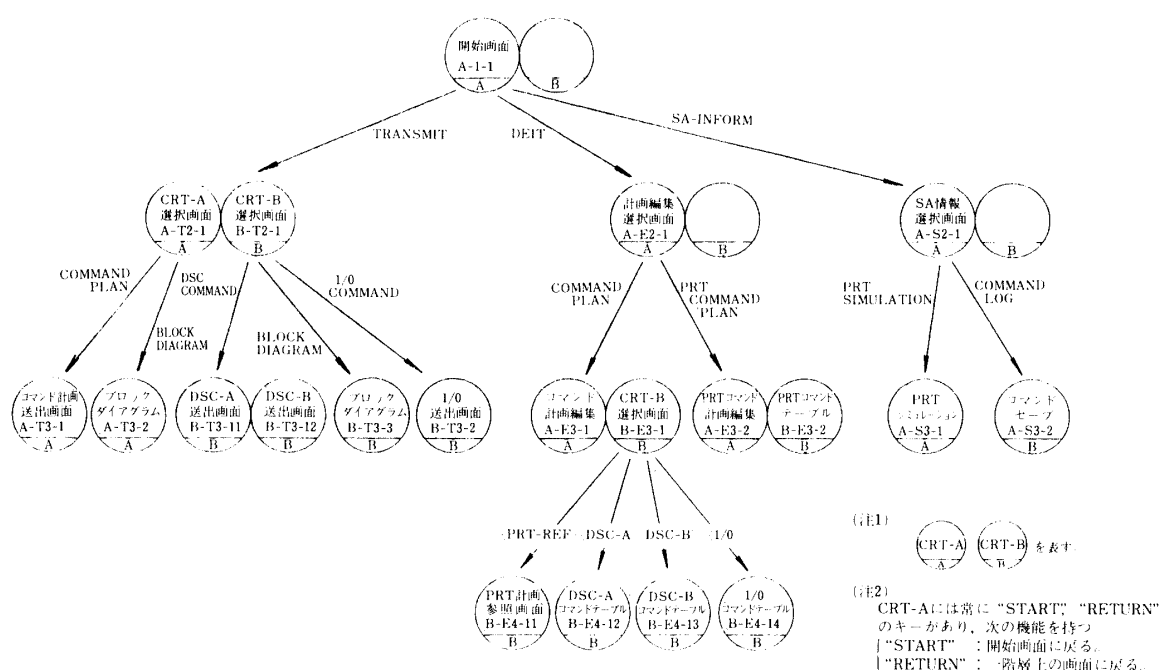


図 6 CRT 画面遷移図

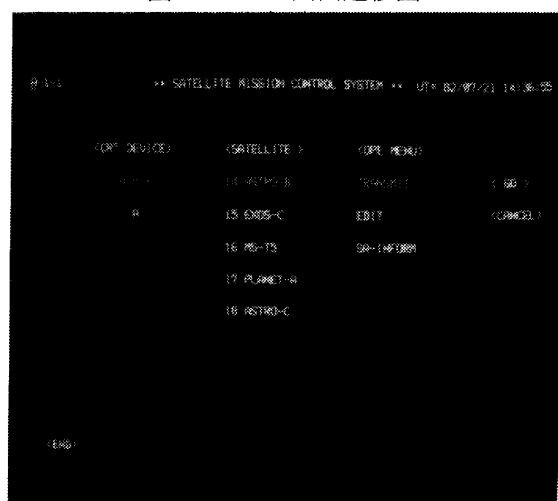


写真 1

II)の編集機能で述べる方法によって、予めコマンド計画を編集登録しておく、「てんま」のコマンド送出の場合であるから、写真1の開始画面上で、〈CRT DEVICE〉のA+B, 〈SATELLITE〉の14 ASTRO-B (14は衛星コード), 〈OP MENU〉の TRANSMIT を、そして最後に〈GO〉をライトペンでピックアップすることによって、図6で階層レベル2の CRT-A 選択画面 (A-T 2-1) に当たる写真2の画面に移行する。そこで〈TRANSMIT〉の COMMAND PLAN をピックアップすると、同じく図6で階層レベル3の CM-PLAN 送出画面 (A-T 3-1) である写真3が得られる。ここで画面右側にある13項目の COMMAND PLAN MENU (この場合には T 00001, T 00002, ..., T 10000 の6項目しか登録されていない)の中から、任意に1項目をピックアップして、左下の XMIT START も同様にすると、コマンド送出が可能な写真4の画面に切換わる。左側がコマンド計画の内容で、右下の〈EXEC〉操作によって左端4桁でブロック番号を示した1ブロック毎のコマンドが自動送出される。右隣には送出時刻と CAB 並びに DHK ステータスとの照合結果を2ビットで表示する。コマンドの自動送出に割込みをかけたい場合には、右下の〈CANCEL〉をピックアップすればよい。割込み後は右側の COMMON CM TABLE 欄の DSC が送出可能となる。このテーブル内のコマンドは、前述の衛星運用手順書に基づいて送出する場合に経験したように、比較的使用回数の多いコマンド等が中心になっていて、例えば受信機の AGC の変動に対応して頻繁に切換えが必要な UHF や S バンドアンテナの切換えコマンド、搭載機器に不具合を生じた場合等にそれに対処するために打つべきコマンド及びコマンド群 (EMG CM や LMDE CM) よりなっている。各コマンドの実行は、当該コマンドをライトペンによってピックアップして、画面左下端で RETURN の上の行に表示させると ready 状態となるので、コマンド計画中のコマンドと同様に〈EXEC〉を実施すればよい。

他のコマンド画面についても共通だが、写真4の画面の上部3行は衛星動作状況の固定表示部で、コマンドデコードの ON/OFF, DSC テーブルの A/B ページ, CMR の AGC, アンテナの切換えステータス、各種コマンドのアンサバック、電源の状況ならびに残り可

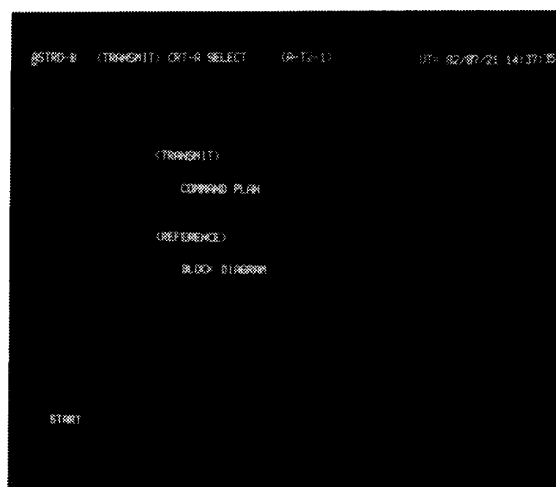


写真 2



写真 3

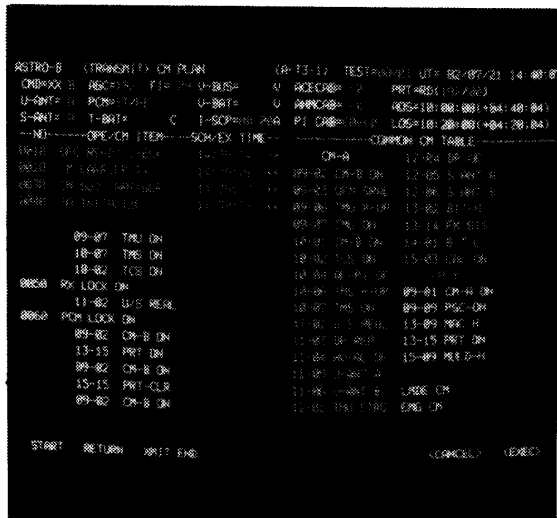


写真 4

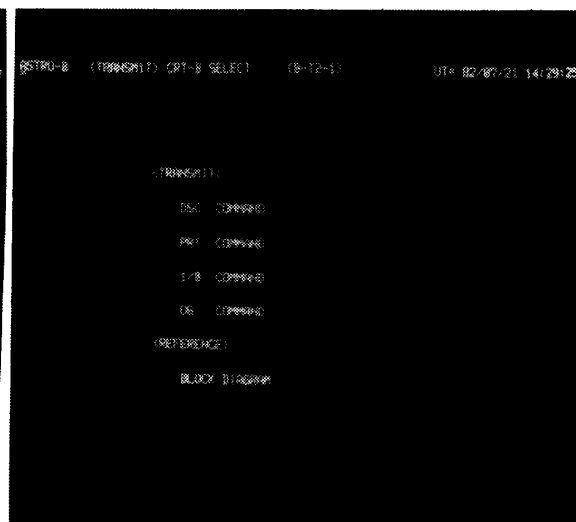


写真 5

視時間等を表示する。これらの表示データも含めて変化する衛星のテレメータデータを画面に表示する場合、その表示間隔は図5の表示インタバルタスクによって4秒となっている。

ii) PRT コマンド

i) のコマンド計画の場合と同様に、PRT コマンド計画を予め編集登録しておく必要がある。これによって、CRT-B に属する写真5のメニュー画面 (B-T 2-1) で、PRT COMMAND をピックアップして、以下 i) のコマンド計画における送出的場合とほぼ同様の操作が可能となる。写真6の例では、画面右の PRT CM PLAN MENU の欄から、P 07 が選択されたことがわかる。

画面左の一連のコマンドの中で、010 14-15 PRT CHK のコマンドについて特記したいのは、これまで PRT-WRT コマンドで PRT の RAM に書込んでいたディレイコマンド

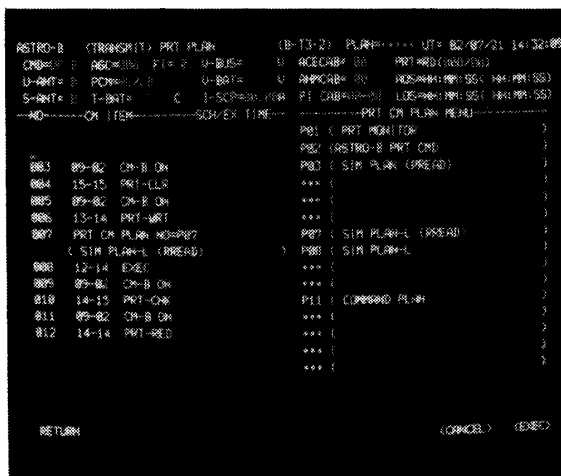


写真 6

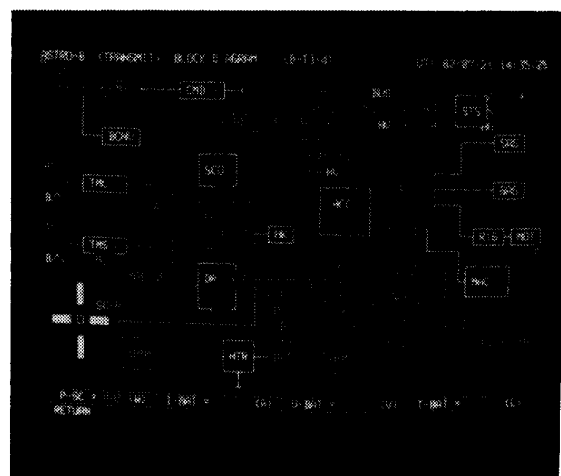


写真 7

項目を、衛星から受信して、MS 50にあるPRT CM PLANの当該ファイルの内容と比較し、エラー数の表示とキーボード上のファンクションキー (PF 3) の押下によるチェックリストの印字しか行わなかったが、今後は送出エラーを生じたコマンドについては、そのみ再送出できるように改善する点である。これによって全てのディレイコマンドを再び送出していた従来の方法に較べて、大幅に時間が節約できると思われる。

なお、DSC等の送出でCRT-Bを用い、CRT-Aが停止している場合には、写真2のCRT-A選択画面で〈REFERENCE〉のBLOCK DIAGRAMをライトペンで選択することにより、写真7のように衛星搭載各サブシステムの動作状況を、従来のキャラクタ表示による以外に、ブロック図の上でも確認できるようになっている。逆にCRT-Bが空いている場合には、写真5のCRT-B画面から同様の操作を行えばよい。

II] コマンド計画とPRT計画の編集機能

科学衛星の運用管制は、前述の写真4のコマンド計画画面を中心にして行うので、そのための画面を予め編集してCM PLAN MENUに登録しておく必要がある。

コマンド計画の編集機能の開始は、写真1の開始画面で〈OPE MENU〉のEDITを、階層レベル2の写真8のメニュー画面 (A-E 2-2) でCOMMAND PLANを、ライトペンで選択してやればよい。この操作によって写真9のCM PLAN EDIT画面 (A-E 3-1) が得られる。この画面で、一般にプログラムを作るときに使用される挿入、置換、消去等の機能を持つソフト、いわゆるEDITと類似のソフトによって編集を行い、画面右下の〈UPDATE PLAN〉を選択する。編集は、DSCや1/0コマンドのテーブルをCRT-Bに表示しながら行えるので、大変能率的である。その後CM PLAN番号の指定や30字以内のCOMMENTの入力等を経て、ファイルへの登録が行われる。同時にファイルに登録したコマンド計画のリストが、SPに印字される。

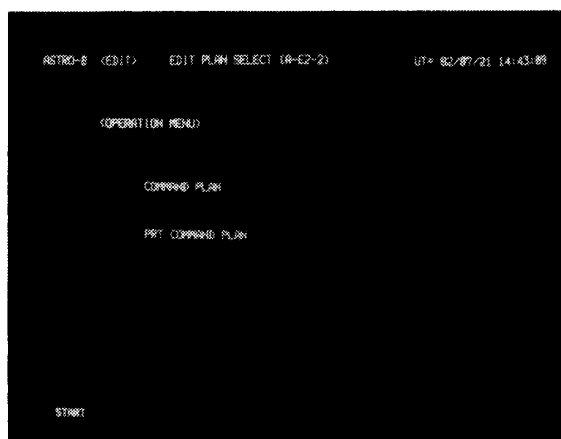


写真 8



写真 9

具体的な編集、登録手順は以下の通りである。

i) 更新または新規編集用コマンド計画の指定

写真9の画面右に表示されているCM PLAN MENUの中から、更新または新規に編集するためのコマンド計画をライトペンで指定する。

ii) 編集の開始

同上画面で、ライトペンによって〈EDIT START〉をピックアップする。

iii) AOS, LOS 時刻 (衛星の入感, 消感時刻) の入力

同上画面の下部入力エリアに表示される AOS, LOS=’の次に

AOS, LOS=10:00:00, 10:20:00

入力データ

のように、キーボードを使用して入力する。

iv) 編集

写真 10 の最下行に表示された〈REP〉, 〈INS〉, 〈DEL〉等の機能 (詳細は表 3 参照) とキーボードからの各種コマンドデータの入力によって編集を行う。

例えば挿入機能の実行は、まず画面下の〈INS〉を選定して、挿入行を指定すると、下部入力エリアに DATA=’ と表示されるので、キーボードから

DATA=ID/[nnnn], アイテム[, time]

入力データ

のように入力すればよい ([] は省略可)。各入力パラメータについては、表 4 を参照願いたい。写真 10 の例では、ブロック No. 0060 の前に、DSC 13-05 HK OFF が挿入されることになる。

他の機能についても同様である。

v) 編集の終了

写真 10 の最下行にある〈EDIT END〉を、ライトペンでピックアップする。この後画面は、最下行のみ写真 9 の場合と同一になる。

表 3 コマンド計画編集 EDIT モード一覧

項番	モード	キー	説 明
1	置き換え	〈REP〉	コマンド計画内容中のライトペンで指定したラインをキーボードから入力する新コマンドと置き換える。 尚、本モードは、他のキーをピックするまで有効であり、新データを入力後、置き換えラインを指定する事によって連続的に、置き換えが可能である。
2	挿入	〈INS〉	コマンド計画内容中のライトペンで指定したラインの直前に、キーボードから入力する新コマンドを挿入する。 尚本モードは、他のキーをピックするまで有効であり、新コマンドを複数個挿入可能である。
3	消去	〈DEL〉	コマンド計画内容中のライトペンで指定したラインを消去する。 尚本モードは、他のキーをピックするまで有効であり、連続的に消去可能である。
4	全消去	〈CL-ALL〉	コマンド計画内容中の全ラインを消去する
5	リナンバー	〈RENUMBER〉	コマンド計画内容中のコメントの先頭に付いているブロック番号をリナンバリングする。

vi) 登録機能への移行

写真9と同一になった最下行で右端の〈UPDATE PLAN〉をピックアップする。

vii) 登録先の指定

編集したコマンド計画の登録先を、CM PLAN EDIT 画面右の CM PLAN MENU 欄

表4 新コマンド入力パラメーター一覧

項番	パラメータ	説明																								
1	ID	データの種別を示す ID。以下に、ID とアイテムの対応を示す。 <table border="1"> <tr> <th>ID</th><th>アイテム</th><th>入力形式</th></tr> <tr> <td>C△</td><td>コメント</td><td>16 文字以内</td></tr> <tr> <td>DS</td><td>DSC コマンド</td><td>AD-EX</td></tr> <tr> <td>PR</td><td>PRT 計画</td><td>Pnn</td></tr> <tr> <td>PI</td><td>PI コマンド</td><td>DV-OS</td></tr> <tr> <td>AH (T△)</td><td>AH コマンド</td><td>2 桁の16進データ</td></tr> <tr> <td>CP</td><td>CMP コマンド</td><td>2 桁の16進データ</td></tr> <tr> <td>AC</td><td>ACE コマンド</td><td>3 桁の16進データ</td></tr> </table>	ID	アイテム	入力形式	C△	コメント	16 文字以内	DS	DSC コマンド	AD-EX	PR	PRT 計画	Pnn	PI	PI コマンド	DV-OS	AH (T△)	AH コマンド	2 桁の16進データ	CP	CMP コマンド	2 桁の16進データ	AC	ACE コマンド	3 桁の16進データ
ID	アイテム	入力形式																								
C△	コメント	16 文字以内																								
DS	DSC コマンド	AD-EX																								
PR	PRT 計画	Pnn																								
PI	PI コマンド	DV-OS																								
AH (T△)	AH コマンド	2 桁の16進データ																								
CP	CMP コマンド	2 桁の16進データ																								
AC	ACE コマンド	3 桁の16進データ																								
2	nnnn	ブロックの区切りを示す番号 (10 進数, 4 桁以内)																								
3	time	スケジュールタイムである。省略時には、付加しない。但し、PRT READ コマンド(14-14) の場合は、PRT 計画作成の時点で指定した時刻とする。 フォーマットは、HH:MM:SS である。																								

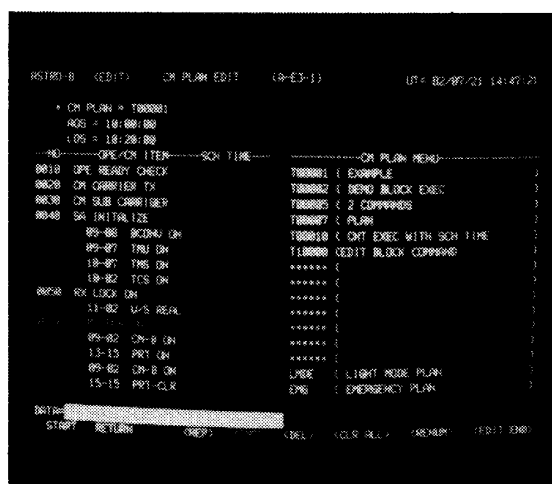


写真 10

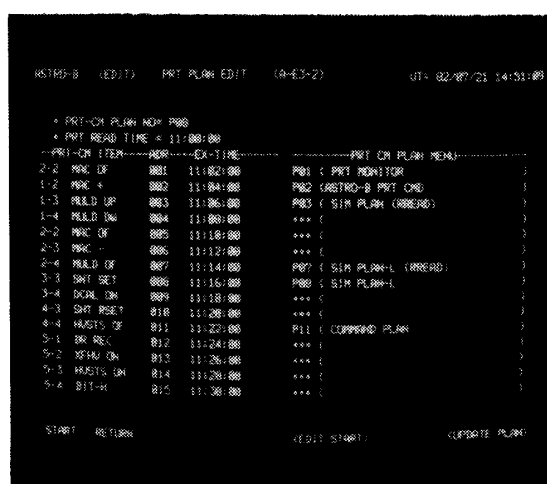


写真 11

で、ライトペンによって指定する。

viii) コマンド計画番号の入力

vii) の操作後、画面下の入力エリアに

PLAN NUMBER=R 10000

入力データ

のように入力する (R は周回, T は地上試験を意味している)。

ix) コメントの入力

当該コマンド計画に対するコメントを、画面下に COMMENT '=' と入力要求の表示後、30 字以内でキーボードから入力する。

次に、PRT 計画の場合であるが、その編集、登録の手順は、コマンド計画の場合と基本的には同じなので、以下では相違点のみを述べることにする。

まず PRT 計画の編集画面を呼び出すために、写真 8 のメニュー画面上で PRT COMMAND PLAN を選択する。得られた写真 11 の PRT PLAN EDIT 画面 (A-E 3-2) 上で、同時に CRT-B に表示される写真 12 の PRT CM TABLE (B-E 3-2) 画面を参照しながら編集を行う。

ASTRO-8 (E3-1) PRT TABLE (B-E 3-2) UT= 82/07/21 14:26:21

EX/AD	1	2	3	4	5	6	7	8
1	*	*	*	PRT PRT	DR	PRC	DR	PRC
2	PRC	*	PRC	DR	*	PRC	DR	PRC
3	PRC	DR	PRC	DR	PRC	DR	PRC	DR
4	PRC	DR	PRC	DR	PRC	DR	PRC	DR

写真 12

ASTRO-8 (S-E 1F 3F) PRT SIMULATION (B-E 3-1) UT= 82/07/21 14:54:22

PRG	ITEM	ADR	EX-TIME	PRG	ITEM	ADR	EX-TIME
1-1	PRC	DR	14:46:58	15	PRC	DR	14:46:58
1-2	PRC	DR	14:46:58	15	PRC	DR	14:46:58
1-3	PRC	DR	14:46:58	15	PRC	DR	14:46:58
1-4	PRC	DR	14:46:58	15	PRC	DR	14:46:58

写真 13

コマンド計画の AOS, LOS 時刻の入力に対応するのが、PRT のスタート時刻である READ TIME の入力で、画面最下行より一つ上の入力エリアに、キーボードから

READ TIME =11:00:00

入力データ

のように入力すればよい。

データの入力では、そのパラメータがコマンド計画の場合と異なって、

DATA='アドレス-エグゼキュート, PRT の RAM アドレス'

入力データ

のようになっている (RAM アドレスは 3 桁の 10 進数)。

ファイル登録のときに、コマンド計画の番号を入力する必要はない。

PRT 計画の登録が済むと、コマンド計画の編集時に、PRT 計画の内容を PRT 計画参照画面 (B-E 4-11) によって確認することもできる。

III) 衛星情報の監視機能

PRT コマンドは、その間隔を 2 分/アドレスとして 511 のアドレスに書込むので、10 分前後の衛星可視時ではほとんどその実行を確認できない。そこで非可視時における PRT コマンドの実行状態を、実際の時間の進行につれてモニタできるようにしている。そのための画面が写真 13 の PRT SIMULATION 画面 (A-S 3-1) で、右側の PRT CM PLAN MENU の中から、モニタしたい PRT 計画をライトペンで選択すると、現在の時刻までに実行を終了したコマンドを画面左に表示する。このとき CRT-B には写真 7 で述べたブロック図が表示され、PRT コマンド動作に対応した衛星サブシステムのステータスも、同時にモニタできるようになっている。

なお、先に 4.1.2 I] で述べた消感後に行う各種コマンドの送出履歴等のロギングも、本機能下に属するコマンドログセーブ画面で扱われる。

4.2 「おおぞら」における運用管制サブシステム

前にも述べたように、「おおぞら」の運用管制サブシステムについては、衛星の自動管制に待機冗長構成された 2 台の搭載コンピュータモジュール (OGM) を使った OG (Organized Command) を利用しているので、OG 計画の編集、送出管理等のソフトウェアが、「てんま」の場合と異なっている。

OG 1 項目は 16 bit で構成されており、4 bit 毎の各グループが各観測機器 (PI) の ON/OFF 制御、姿勢系の制御、テレメータ系の制御、PI パラメータの制御を分担している。これらの制御は OG 実行時、同時に実行される。実際に軌道上で OG 制御を行うには、31 項目の OG よりなるコントロールコマンドをこれらの OG が格納されている OGM の ROM および RAM 内でのアドレスを使って、予め同じ RAM 内に書込んでおく必要がある。その他 OG スタートアドレス、30 ヶの OG のどこにジャンプするか、1 OG 当たりの継続時間等も指定して書込んでおかねばならない。

4.2.1 OG 計画の編集機能

図 4 の 2 台の CRT のうちで、OG 計画の作成、編集を CRT-A で行い、OGM の ROM および RAM に格納されている OG のアドレスを指定するために (MS 50 側では、OG 16 bit の内容を 16 進 4 桁で入力させ、MS 50 自身が予め用意した OGM の ROM および RAM の最新の内容と参照して、各 OG のアドレスを指定することになる) 参照する、図 7 の OG テーブルの表示を CRT-B で行っている。

以下に編集手順を述べる必要があるが、OG 計画のコントロールコマンドを作成する機能以外は、「てんま」の PRT 計画の編集の場合と大きな差がないので、ここでは図 8 の編集画面のみを採り上げることにする。

CRT-A で編集機能モードのとき、OG PLAN 編集画面 (A-E 3-3) に設定して、OG スタートアドレス (OG START ADR)、OG 実行開始時刻 (OG START TIME) を入力 (本例では各々「03」、「23:30:30」を入力) すると、図 8 の状態となり、31 項目の OG の編集が可能となる。

[illegible]

図 7 OG コマンドテーブル参照画面

[illegible]

図8 OG計画編集画面（〈EDIT-START〉選択後）

最初に同図からも明らかなように、自動的に出力される左端の OG シーケンス アドレス (ADR) に続いて、30 々の OG のどこにジャンプするかを、JMP キーと 16 進 2 桁で入力する。ジャンプ無しの場合は、* キーを入力し、次に OG の内容を 16 進 4 桁で入力する。OG のアドレス (OG-AD) 表示については、OG が OGM の ROM 内にあれば対応アドレスを、無ければ RAM 内の OG とみなして、OG コマンドの送出時に MS 50 のディスクファイルに格納されている最新の OGM の RAM と比較して、そのアドレスを表示する。

最後に OG の継続時間またはジャンプでバックループが発生した場合その回数を、16 進 1 桁で入力する。

編集の終了、OG 計画の登録等の処理は「てんま」の PRT 計画の場合とほぼ同様であるので省略する。

4.2.2 OG 計画の送出機能

軌道上の衛星の運用は、コマンド計画内の各種コマンドを順に送出することによって進められるから、OG 計画を実行するには、通常 OG 計画がコマンド計画の構成要素の一つとして作成されていなければならない。

このような編集を行った後に、衛星運用の段階で、まず当該 OG 計画を含むコマンド計画を、「てんま」の場合とほぼ同様の手順で、多数のコマンド計画のメニューの中から選択する。次に各種の DSC 等を送出して、OG 計画の送出ということになる。4.2 の初めにも触れたように、OG 計画の書込みには 3 種類の作業、すなわちコントロールコマンドを構成する 31 個の OG のうちで、新規の OG の OGM RAM への書き込み、コントロールコマンドの OG シーケンスの書込み、および OG シーケンスの一部修正の各コマンドを送出する

<pre> 0001 07-04 NEWOG WT (xx) OG ADD 05-03 ADD SET 06-03 CODE SET NEW(mm) PLAN=OG(pp) (コメント) 07-03 END </pre>	<p>任意 OG RAM の内容により 0~16回展開される</p> <p>xx: 5Bitコード (00~1F)</p> <p>pp: OG計画番号 (01~30)</p> <p>mm: 展開数 (01~16)</p>
<pre> 0002 05-04 CNT CM W 06-03 CODE SET CNT CM PLAN=OG(pp) (コメント) 07-03 END </pre>	<p>SEQ OG RAM の内容により 0~1回展開される</p>
<pre> 0003 06-04 OG MOD WT (xy) OG ADD 05-03 ADD SET 06-03 CODE SET MOD(nn) PLAN=OG(pp) (コメント) 07-03 END </pre>	<p>SEQ OG RAM の内容により 0~16回展開される</p> <p>xy: 5Bitコード (01~1F)</p> <p>nn: 展開数 (01~16)</p>
<pre> 0004 01-02 PDC-2 ON 03-10 MOD-10 </pre>	<p>必ず 1 回展開 される。</p>

図 9 OG 書込み時に自動展開されるコマンド

必要がある。この書込み作業を効率的に行うために、CRT の送出画面では図 9 に示すように、各作業が 0001～0003 のブロック番号によって自動的に定められたフォーマットに展開されることになる。そこで、〈EXEC〉操作によって 1 ブロックずつ実行して行けばよい。

なおブロック番号 0004 で RAM に書込まれた OG のエラーチェックが行われ、エラーがなければ OG 制御開始のコマンドを送出すればよい。エラーがある場合には、エラー項目訂正の再送出機能が使え点も「てんま」と同様である。紙数の都合で、これらの詳細については「EXOS-C データブック」や「科学衛星試験管制システム 操作要領説明資料」等を参照願いたい。

4.2.3 衛星運用におけるデータ伝送系

「おおぞら」は、MAP 計画に参加して中層大気に関する地球全域の各種の観測を行うため、軌道傾斜角 75.0° の準極軌道を周回する。これに対応してテレメータデータの地上での取得能率を高めるために、テレメータ受信点を KSC の外に南極の昭和基地とスウェーデンのエスレンジに設けることにした。実際にこれら 3 局の運用を効率的に行うために、「おおぞら」が実行すべき OG 計画は、衛星の軌道が電力収支から見て実現可能な計画であるかどうかを、駒場の大形計算機 M-180 IIAD でチェックする必要がある。チェックに合格したものを、KSC に伝送すればよい。

この方法を実現するために、駒場局が中心になって受信テレメータデータの収集、チェックに通った OG 計画の KSC 局への伝送等を行う図 10 のデータ伝送系を考えた。ここではとりあえず「てんま」と「おおぞら」のデータを伝送するために、駒場との伝送回線は従来の公衆回線 1 回線を外し、DDX (Digital Data Exchange) も 1 回線に減らす代りに、9600 bps 符号品目 2 回線を追加して駒場の大形計算機 M-180 II AD に接続している。

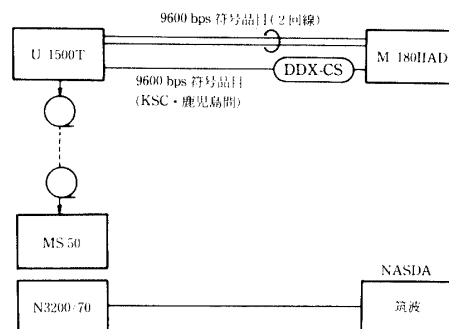


図 10 データ伝送系

系の主な機能は以下の通りである。

i) OG 計画の伝送

OG 計画は、衛星運用の初期には KSC で編集されるが、定常運用に入ると、まず M-180 II AD によって衛星の軌道や電力収支を考慮した観測計画が実行可能かチェックされ、問題が無ければ OG 計画として編集される。その後 DDX 回線を通じて KSC の U-1500 (T) へ伝送される。MS 50 への登録は MT を介して行えばよい。

ii) テレメータデータの伝送

受信されたテレメータデータ (リアルタイムデータおよびプレイバックデータ) は U-

1500 (T) に格納され、リアルタイムデータのうちで共通系のデータは DDX 回線を通じて M-180 IIAD に伝送される。これによって駒場での衛星の QL 表示が可能である。

プレイバックデータは消感後時刻付け等の処理を施され、前述のリアルタイムデータと共に U-1500 (T) から符号品目 2 回線経由で M-180 IIAD に伝送される。

iii) 軌道データの伝送

追跡データ伝送装置 N 3200/70 で取得された $10\text{ m}\phi$ のアンテナの角度データとドップラーデータならびにレンジングデータを、電々公社の専用回路を通じて NASDA の筑波宇宙センターに送り、軌道計算を行ってもらった後、軌道 6 要素と KSC における可視時刻およびアンテナの角度予報データを KSC へ送り返してもらう。

このうちアンテナの角度予報データは、MELCOM 70 へも送られて、アンテナのプログラム追尾のデータとして使用される。

5. 運用管制サブシステムの運用結果

5.1 「てんま」の場合

「てんま」の運用管制は 1 日 5 ～ 6 周回行い、1 周回当たりの可視時間は約 10 分だった。その間、PI の高圧電源の最初の投入以外は、ほぼ本システムによって運用が行われた。

その 1 周回での代表例を以下に挙げる。

まず衛星の非可視時に、駒場より PRT コマンド計画をファックスで受けた後、オペレータがその計画と運用手順書を併わせて、PRT 計画、コマンド計画の順に、ライトペンとキーボードで CRT 画面上に作成していく。この場合、既に本システムへ登録した計画のうちに、新規に作成しようとする計画に類似のものがあれば、呼び出して、編集機能により修正した後、新計画として登録することができる。この機能は非常に有効に活用された。

新計画の作成が終ると、次の可視時間で使用するコマンド計画を選択し、2 台の CRT に 4 章で述べたコマンド計画送出画面 (A-T 3-1) と衛星のブロックダイアグラム表示画面 (B-T 3-4) を表示させて、可視時刻になるのを待ち受ける。

衛星からの電波が入感し始めると、コマンド計画のうちで衛星の初期設定用コマンドシーケンスを実行し、入感モードのチェックを行う。衛星が予想通りの状態にあれば所定のコマンド計画が順調に実行されていくが、その他の場合は、計画外のコマンドを CRT-B 画面より自由に送出できる。いずれの場合にもオペレータは、CRT 画面に対して直接ライトペンで必要な実行項目を選択していく。

また、コマンド計画中に PRT コマンド計画の書込みシーケンスが含まれる場合、衛星との回線不良等により PRT コマンド計画の CHECK 処理で書込みエラーが検出されることがあるが、このときは RETRY 機能を用いて PRT コマンド計画のエラー項目訂正シーケンスを実行している。

衛星からの電波が消感する数分前になると、消感モードのチェックを行い、その周回のコマンド計画を終了する。

消感後オペレータは、コマンドログセーブ画面を選択して衛星および各種地上装置の機器情報を入力した後、ディスクに格納された可視時のコマンド送出履歴と共に MT ヘファ

```

*****
* COMMAND PLAN START
* R00076 ( DR REP/PRT WRIT )
*****
0000 13-02 BIT-H 04:48:41 1 *
0010 10-07 THS OM 04:49:14 1 1
0020 11-03 DR REP 04:49:27 1 1
0030 09-02 CM-B DN 04:50:02 1 1
0040 09-09 PSC-DN 04:50:04 1 1
0040 09-02 CM-B DN 04:50:14 1 1
13-15 PRT ON 04:50:16 1 1
09-02 CM-B DN 04:50:23 1 1
13-15 PRT-CLR 04:50:25 1 *
09-02 CM-B DN 04:50:26 1 1
13-14 PRT-WRT 04:50:28 1 1
PRT CM PLAN NO=P10 04:53:19 * *
( MAC OPEN/DR REC CONTROL )
0050 14-02 EXEC 04:53:27 1 *
09-02 CM-B DN 04:53:28 1 1
14-15 PRT-CHK 04:53:30 1 1
/
PRT CHECK LOG
PRT COMMAND PLAN = P10 ( MAC OPEN/DR REC CONTROL )
ERROR COUNT = 0
---PRT CM ITEM---ADR---CHK (HEX)---
-----END OF COMMAND-----
0070 09-02 CM-B DN 04:56:00 1 1
14-14 PRT-RED 04:56:02 1 1
/
PRT SCHEDULE TIME
PRT COMMAND PLAN = P10 ( MAC OPEN/DR REC CONTROL )
READ TIME = 04:56:07
---PRT CM ITEM---ADR---SCH/TIME---
2-3 MAC - 002 05:00:07
2-2 MAC OF 005 05:06:07
1-2 MAC + 006 05:08:07
2-2 MAC OF 016 05:28:07
2-3 MAC - 017 05:30:07
2-2 MAC OF 031 05:58:07
1-2 MAC + 032 06:00:07
2-2 MAC OF 041 06:18:07
2-3 MAC - 042 06:20:07
2-2 MAC OF 051 06:38:07
1-2 MAC + 052 06:40:07
2-2 MAC OF 062 07:00:07
2-3 MAC - 063 07:02:07
2-2 MAC OF 074 07:24:07
3-1 DR REC 099 08:14:07
6-1 DR OF 114 08:44:07
3-1 DR REC 192 11:20:07
6-1 DR OF 207 11:50:07
3-1 DR REC 287 14:30:07
6-1 DR OF 302 15:00:07
3-1 DR REC 382 17:40:07
6-1 DR OF 397 18:10:07
3-1 DR REC 476 20:48:07
6-1 DR OF 491 21:18:07
-----END OF COMMAND-----
* 0080 11-04 HV-AL DF 04:58:38 1 *
14-01 BIT-L 04:58:54 1
***** END OF LOG *****

```

図 11 コマンドの送出履歴リスト

イルする。コマンドの送出履歴リストの SP への出力例を図 11 に示す。

5.1.1 運用管制上の問題点

本システムのソフトウェアは、打上げ前の各種試験によってチェックを行い、充分デバッグを行ってあるが、地上試験ですべてのケースを尽くすことはできないから、衛星の打上げ後に、バグ等の問題点が生ずることもありえる。

以下では衛星の可視の運用中にこのようなソフトウェア上で生じた若干の問題点を取り上げ、その対策を考えた。

i) 問題点 1

コマンド計画は主に複数のコマンドシーケンス毎にブロック化し、そのブロック単位で各コマンドが自動送出されるようになっているが、自動シーケンスの実行中に衛星の状態が変化して計画外のコマンドを送出する必要がある場合、自動送出シーケンスを中断できない。

【対策】“シーケンスポーズ”機能を追加する。この機能により自動送出シーケンスの一時停止・再起動が可能となり、計画外のコマンドが送出できる。

ii) 問題点 2

PRT コマンド計画は 1 コマンド計画について 1 計画分のみ登録でき、PRT CHECK 処理は PRT CHECK コマンドの送出前に書込まれた PRT コマンド計画のみチェックできるようにになっている。しかし、衛星の短い可視時間で書き込める PRT コマンド項目数が限

られるため、長い項目数の PRT コマンド計画を衛星の PRT に登録できない。

〔対策〕 PRT コマンド計画を数周回分に分割して送出し、全項目の書き込みが終了したところで、1括して PRT CHECK 処理ができるような機能を追加する。

iii) 問題点 3

PRT CHECK 処理において PRT コマンド項目の書き込みエラーが検出された時は、エラー項目数だけ訂正書き込みする RETRY 機能が使えるようになっている。エラー数が多い場合、RETRY 機能を使用すると、この機能の所要時間が、PRT コマンド計画を最初から書き込む時間より長くなる場合がある。

〔対策〕 ブロックの開始ポインタヘシーケンスを戻せるような“バックステップ”機能を追加する。これによって PRT 計画送出シーケンスの最初から再度実行できるようになる。

以上の問題点に対し、このような対策が講じられるものは、それを実施したが、無理なものは次の衛星以後で取り上げることにした。

一方ハードウェア上では、コマンドの送出時間をできるだけ短縮するために、CRT とのデータ転送方式を半二重から全二重に変えたり、1984 年 10 月にメインメモリの容量を 512 K バイトに増やしたりした。

さらに、テレメータデータの磁気テープへの収録ならびに収録テープの空輪といった従来方式は、観測データの迅速な処理、各種経費等の点で問題があるので、データはすべて電々公社回線を利用して伝送することに改めた。そこで、9,600 bit/s の DDX 2 回線をデータ転送用に、公衆回線 1 回線を KSC から駒場のジョブ起動用に割当てた。

5.2 「おおぞら」の場合

「おおぞら」の運用管制も「てんま」の場合とほぼ同様に行われたので、ここでは詳細は省略するが、「おおぞら」の打上げ時、第 3 段モータが切断後衛星に追突し、コマンド受信アンテナの一部に損傷をきたしたと思われ、衛星の姿勢角によってはアンテナパターンの切れ込みが大きく、コマンド回線に支障をきたした。このため衛星運用の初期には OG の RAM への書き込みエラーが生じたり、定常時には、上記現象とソフトウェアのバグによる RAM 照合時のエラーが重なり、OG が正しく書込まれないという不具合が発生した。ソフトウェアのバグに対しては、その後詳細原因を突き止め修復を行った。コマンド回線の不良に対しては、地上でコマンド AGC をモニタし、条件のよい所でコマンド送出を行うようにした。

その後は、特に問題もなく「おおぞら」の運用管制は概ね良好に行われている。

なお、今回、消感まぎわに送出したコマンドのアンサバックがとれず、姿勢制御がクローズ制御からオープン制御になってしまった事に気付かず、衛星が反転するという不測の事態が生じた。そこで、急きょ U-1500(C)で自動的に入、消感チェックが可能なソフトウェアの開発を行い、運用に有効に活用している。この点は今後の衛星でも大いに採用する必要がある。

さらに、1984 年 11 月には、PLANET 計画に備えて予め KSC に設置された新しい伝送装置 (U-1500(L)) の活用により、4.2.3 で述べた OG 計画の伝送がオンライン化された。すなわち図 12 に示すように OG 計画の MS 50 への登録を従来 MT 経由で行っていたが、

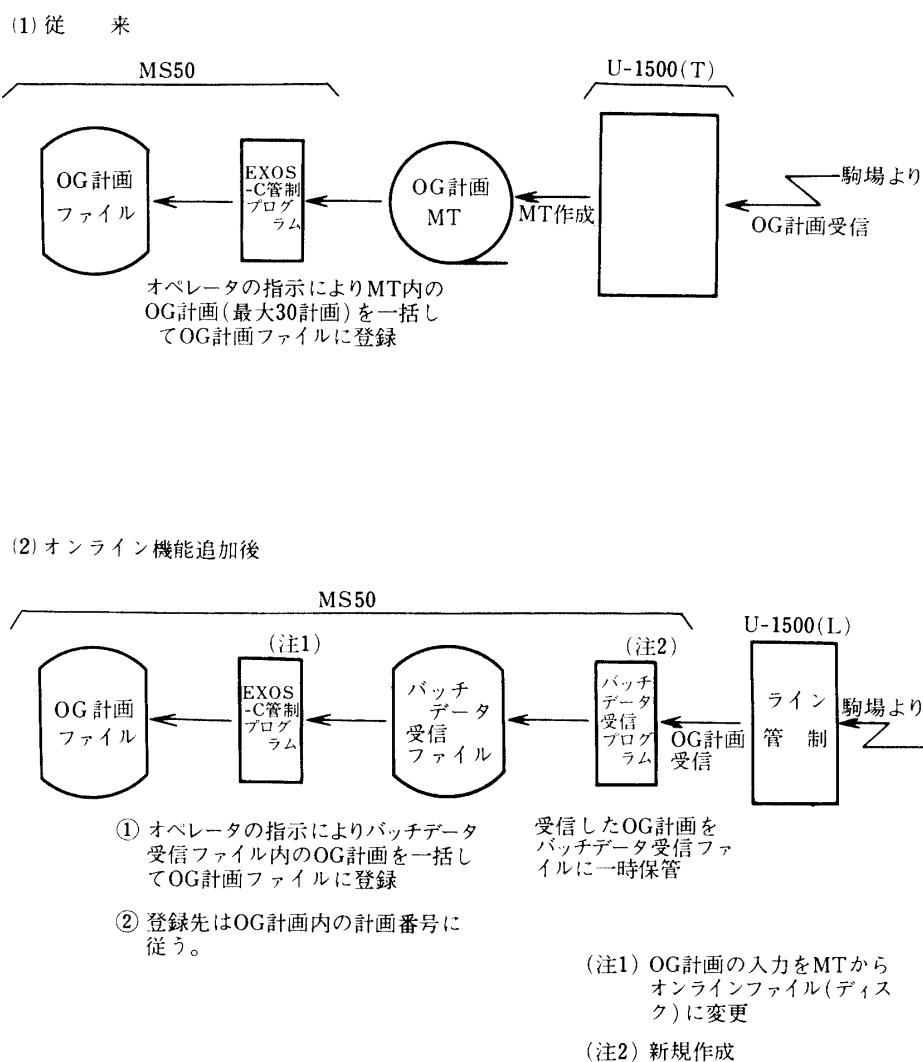


図 12 OG 計画の伝送

今後駒場から U-1500(L)の伝送系を通じて、予め MS 50 の受信ファイルに送っておけば、MS 50 で容易に登録できるようになった。運用履歴データについても「てんま」のケースを含めて駒場への伝送が実現した。駒場の大形計算機も、1984 年 7 月から M-360 AP に切換えられると共に回線制御用に S-3300 も設置されたので、今後の各種応用が期待できる。

6. お わ り に

衛星運用、地上試験等で使用している地上の各種設備を新たに統括した科学衛星総合管制システムのなかで、ミニコンピュータ MS 50 を導入した科学衛星の運用管制サブシステムについて、「てんま」、「おおぞら」の実際の運用例を示しながら、衛星を運用する場合のソフト機能を中心に報告した。本サブシステムは、2 台の CRT を使った CPU との会話形式を初めて採用したので、従来より一段と効率の良い衛星の運用が可能となった。

今後、この総合管制システムは、将来の科学衛星ミッション計画を考慮し、実際の運用経験を取り入れながらより良いシステムにする必要がある。当面の課題としては、省力化のための各装置の集中制御化、複数の衛星をリアルタイムで制御できる並列制御システムの開発、さらに東京駒場局で衛星のリモート運用が可能なハードとソフト両面の検討等があげられる。

最後に、このシステムを開発するにあたり、宇宙研ならびに日本電気関係各位特に、山下修史、吉田典弘の両氏に深謝申し上げる。

参 考 文 献

- [1] 野村ほか：“地球周回衛星の運用管制システムについて” 科学衛星シンポジウム 昭和 57 年度, pp. 168-195 (昭和 57-06)。
- [2] 野村, ほか：“地球周回衛星の運用管制システム—「てんま」の運用結果—” 科学衛星シンポジウム 昭和 58 年度, pp. 117-120 (昭和 58-06)。