

7.2 通信放送技術衛星 テレメトリ・コマンド装置

峯野 仁志^{*1} 小園 晋一^{*2} 佐藤 正樹^{*2}
森川 栄久^{*2}

(1996年11月14日受理)

7.2 TELEMETRY AND COMMAND TERMINALS FOR THE COMETS EXPERIMENTS

By

Hitoshi MINENO, Shin-ichi KOZONO, Masaki SATOH,
and Eihisa MORIKAWA

The telemetry and command terminals for the COMETS experiments are for monitoring the status of the CRL's mission equipment on-board the COMETS, and for remote control of that equipment. The terminals are installed at the COMETS main station in the Kashima Space Communications Center of the CRL, and at the COMETS substation at the CRL headquarters.

The terminals were developed with the objectives of achieving an equipment configuration that ensures reliable operation and an interface that allows the operator to use the equipment in an easier, more intuitive way and without error. With emphasis on 24-hour continuous operation, a redundant configuration is used throughout the system. A graphical user interface is used that provides such functions as a block diagram display of the on-board satellite equipment, an alarm display that presents data on equipment abnormalities, graphs that show historical telemetry data and the results of statistical processing, flexible command operation settings, and primary data processing for telemetric analysis.

[キーワード] 通信放送技術衛星, 高度移動体衛星通信, 高度衛星放送, テレメトリ・コマンド装置, COMETS, Advanced Mobile Satellite Communications, Advanced Satellite Broadcasting, Telemetry and Command Terminal.

1. はじめに

通信放送技術衛星 (COMETS) 実験テレメトリ・コマンド装置 (本装置) は, 通信総合研究所 (CRL) 鹿島宇宙通信センターの COMETS 主局 (主局) と CRL 本所の COMETS 高度移動体衛星通信副局 (副局) に設置されており, COMETS に搭載された高度衛星放送機器 (SBE), 高度移動体衛星通信機器 (MCE) の状

態監視, 遠隔制御を行うものである。

本装置は実験者自らが運用を行うために, 直感的, 簡易でなおかつ確実な操作を実現することを目指し, GUI (Graphical User Interface) を全面的に採用した。また, 過去に開発したテレメトリ・コマンドシステムの運用実績をもとに, 表示方法, 入力方法等に改良を加えた。さらに, 24時間連続運用を前提としているため, 機能的に冗長構成とした。設計思想と技術は基本的には ETS-VI 光通信実験管制端末装置[®]を引継ぎ, さらに発展させる形で, 装置構成と操作性の向上, 機能追加を行った。

*1 宇宙通信部 衛星通信研究室

*2 関東支所 鹿島宇宙通信センター 宇宙通信技術研究室

本章では本装置の開発方針及び本装置を構成する各部の機能について述べる。

2. 開発方針

本装置の開発にあたり、過去の衛星運用で使用したテレメトリ・コマンドシステムの運用実績を踏まえて、実運用における問題点を洗い出した。過去の衛星管制システムは主局にテレメトリ装置、コマンド装置および計算機等を設置し、直接衛星と主局の間でテレメトリ・コマンド運用を行ってきた。そして、テレメトリ・コマンドに関する専門知識をもつ専任のスタッフにより運用してきた。しかし、人的資源の制約から、技術試験衛星VI型(ETS-VI)実験においては実験実施者が直接テレメトリ・コマンド運用を行うようになった。また、テレメトリ・コマンド運用は衛星と直接行うのではなく、専用回線で宇宙開発事業団の筑波宇宙センターを経由してテレメトリ・コマンド運用を行う。そのため今までの大がかりなシステムではなく、簡易なシステムの開発を目指した⁽¹⁾。しかし、ETS-VI用に開発したシステムは、システム構成の中心となるPC(PC-9821)の処理能力による制約のため、実運用段階でいろいろな問題点が発生した。実験内容によりデータベースを変更する必要があり、テレメトリ・コマンド運用が煩雑になった。また、キーボード入力によるコマンドデータ作成の為、大量のコマンドを送信する際に必要以上の時間を要したり、テレメトリ表示が複数画面にまたがるため、実験時におけるテレメトリ値の確認作業が煩雑であり、コマンド実行後の各機器の状態確認がスムーズにいかない等の問題があった。

本装置の開発では過去の運用実績をもとに上記問題を解決し、専門知識を有しない者でも短期間で操作法を修得でき、感覚的に操作できるシステムの開発を目標にし、表示方法、入力方法、コンピュータの判断機能等を充実させ、マンマシンインタフェースを向上させた。

2.1 信頼性・保守性

COMETS実験は複数の地点で実施されること、CRLの開発した機器が搭載されており、これらはCRLが責任を負うことなどから、CRLで衛星状態の把握をする必要があるため、本装置は24時間の連続運用を基本とした。そのため、構成品のうちどれか一つに障害が発生した場合でも主局における運用が連続でき、データ欠落を可能な限り少なくするような構成とした。ただしデータ欠落を皆無にするような構成をとることは、コスト効率が極端に悪くなるので、障害復旧処置中のデータ欠落を許容することとした。いずれかの装置に障害が発生した時の対処と運用制限を第1表に示す。

ハードウェアを構成する部品には運用実績があり、障

害発生時の対処が迅速に行えるように、広く使用されている市販品を用いることにした。ソフトウェアについても市販アプリケーションを活用し、作成するプログラムについては保守性の向上のために可能な限り高級言語を用いることにした。

テレメトリデータの工学値変換、コマンド規則、画面表示の定義等、運用に伴って変更が生じる可能性があるパラメータについてはデータベース化し、ソフトウェアに手を入れることなく柔軟に変更できるようにした。

2.2 セキュリティ

COMETSからのテレメトリ信号、衛星へのコマンド信号は宇宙開発事業団(NASDA)筑波宇宙センター内の追跡管制システムを経由して分配・送信される。NASDA追跡管制システムでは衛星および衛星運用に対する安全性を確保するためにセキュリティに対する要求があり、本装置はそれに則った構成となっている。

NASDAからCRLに分配されるテレメトリ、許容されるコマンドはCRLとNASDAの協議の上決定した。分配テレメトリと許可コマンドを第2表に示す。

2.3 操作性

CRLではSBEとMCEの実験を主局、副局、移動局(車載局、可搬局、携帯局等)で行う。本装置の端末構成としては、主局にSBEテレメトリ表示用、MCEテレメトリ表示用、コマンド操作の3台を、副局には全ての操作を行えるよう1台を設置し、実験運用に即した操作を行えるようにした。

また、本装置は実験実施者自らが操作することから、操作は直感的でわかりやすく、間違った操作を極力排除するようにユーザインタフェースに配慮した設計とした。

2.4 データの利用性

本装置で受信したテレメトリや本装置から送り出したコマンドに関しては、ハードディスクに30日分のデータを保存し即座に利用できるように、それ以前のデータはテープ媒体に記録しておくことにした。

保存したデータの利用については、解析に便利なように指定したテレメトリを工学値キャラクタ形式に変換しファイルに出力できるようにした。

3. 装置の構成と外部との接続

3.1 本装置と衛星間の信号の流れ

COMETSからのテレメトリ信号はKa帯(20/30GHz)またはUSB(Unified S-Band; 2.1/2.3GHz)で衛星から送信され、NASDAの沖縄、増田、勝浦の追跡管制所で受信・復調され、筑波宇宙センターに伝送される。筑波宇宙センターでは衛星運用管制プログラム(SOCS; Satellite Operation Control System)に

第1表 装置構成部品の障害時の対処と運用制限

障害装置	対処	運用制限
電源	プリンタを除く全装置にはUPSから電力供給	
WS1	WS2～WS4で運用継続 復帰時には他のWSから障害中のデータをHDに復旧する (WS3外付けHDには30日分保存)	
WS2	WS1、WS3～WS4で運用継続 復帰時には他のWSから障害中のデータをHDに復旧する (WS3外付けHDには30日分保存)	
WS3	WS1～WS2、WS4から障害中のデータをDATとHDに復旧する (WS1内蔵HDには7日分保存)	
WS4	WS1～WS3で運用継続 復帰時には他のWSから障害中のデータをHDに復旧する (WS3外付けHDには30日分保存)	副局運用中断
WS3 外付けHD	ミラーリングされているので、媒体不良には交換 装置障害時には切り離して運用続行 復帰時にはWS1内蔵HD(7日分保存)あるいはWS3外付けDAT(30日分保存)からデータを復旧	
WS3 外付けDAT	切り離して運用続行 復帰時にはWS3外付けHD(30日分保存)からデータを復旧	
回線制御端末	試験装置(ハード、ソフトともに同一構成)に置き換えて運用継続	交換中の運用中断
主局内LAN (HUB、Cable)	代替の装置に交換 専用予備品は特に整備しないが、汎用品で対処	障害部品によっては交換中の運用中断
副局内LAN	同上 ただし主局の運用には支障がない	交換中の副局運用中断
主局副局間 LAN、ルータ	復旧まで副局における運用中断 ただし主局の運用には支障がない	副局運用中断
筑波回線 MODEM	予備品と交換 予備モデムは主局に1台設置	交換中の運用中断
プリンタ	ハードコピー等確認に使用するので、運用に支障なし	
CD ROM	ソフトウェアインストール用なので、運用に支障なし	

第2表 CRLへの分配テレメトリと許可コマンド

テレメトリ・コマンドの種類	テレメトリ	コマンド
SBE中継器系	全項目分配	ヒータ系を除き全面許可*1
SBEアンテナ系	全項目分配	禁止
MCE中継器系	全項目分配	ヒータ系を除き全面許可
FLCアンテナ系	全項目分配	禁止
姿勢系	衛星姿勢に関する項目を分配	禁止
温度系	関連情報分配	禁止
電源系	関連情報分配	禁止

*1: TWTAと同時のon/off運用するヒータコマンドについては許可

よりユーザに分配するテレメトリを抜き出し、配信する。データの流れを第1図に示す。COMETSではCRLに分配してもらうテレメトリデータはすべて生データとした。SOCSからは専用線を経由し、主局に設置した本装置に入力される。副局には主局経由でデータが分配される。

コマンドは本装置で作成し、テレメトリと逆のルートで専用線を介しSOCSに入力される。SOCSでバス系コマンドや他のユーザからのコマンドと送信時間の調整を取り、衛星に送信する。SOCS内ではユーザからのコマンドはバックグラウンドコマンド(BGC)として扱われる。BGCとは複数のユーザが同時にコマンド運用を行う形態で、あらかじめ割り当てられた運用時間のみログインが許可される。

3.2 装置の構成

本装置は、NASDAとの回線制御を受け持つNASDA回線制御部、ユーザインタフェースを受け持ちテレメトリデータの工学値変換・表示・記録やコマンド作成を行うテレメトリ・コマンド処理部、衛星やNASDA局を模擬し、試験や訓練で用いる試験装置部から構成される。装置構成を第2図に、主局装置の外観を第3図に示す。

3.3 NASDA回線制御部

NASDAのSOCSと本装置の間は帯域品目3.4kHz(S)のアナログ専用線で結ばれHDLC(High-level Data Link Control Procedure)手順により通信が

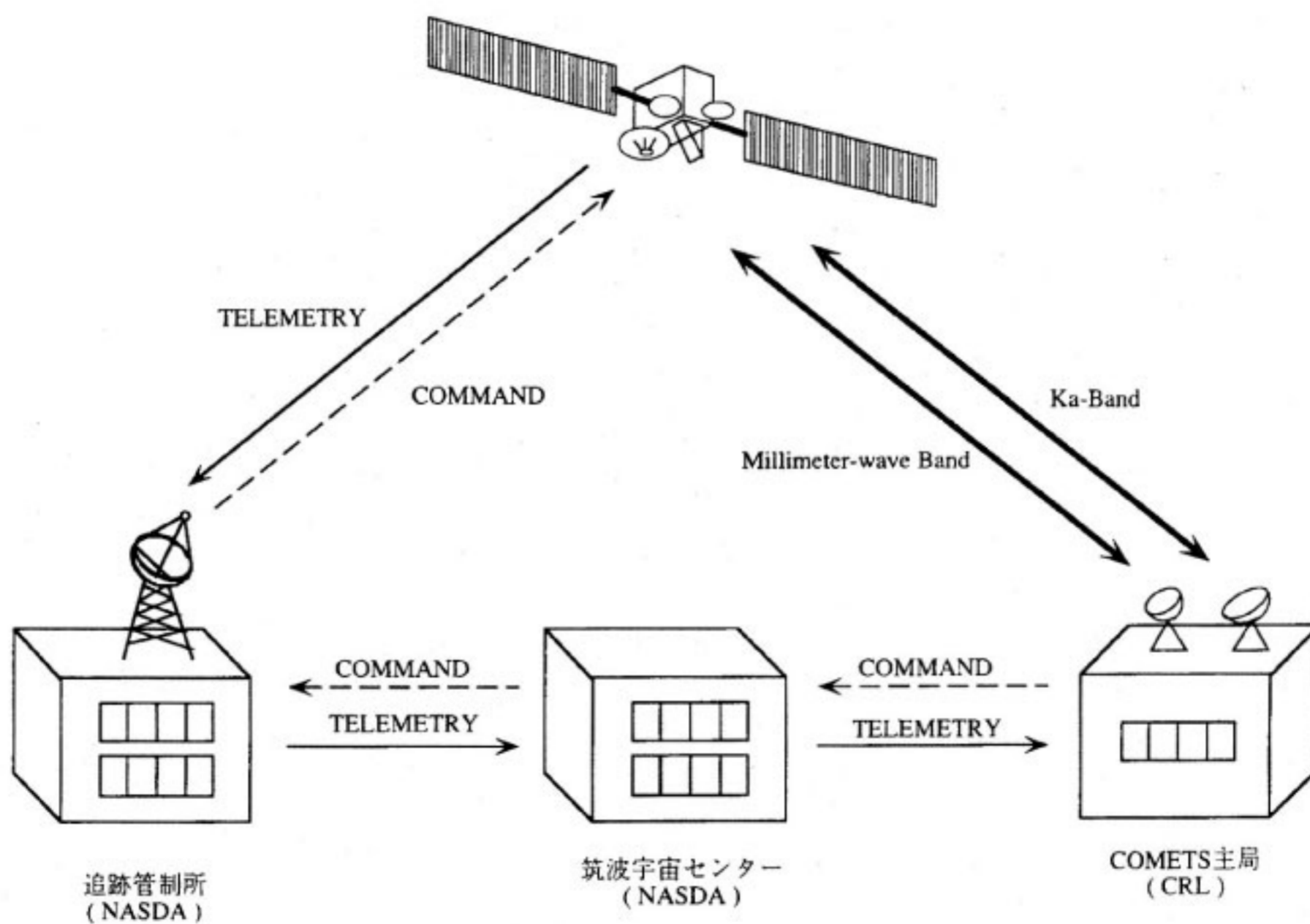
行われる。本装置側のNASDAとの接続点として、PC(PC-9821)にHDLCボードを搭載したNASDA回線制御部を設けSOCSとのインタフェースを行っており、伝送速度は9600bpsである。NASDAとの専用線の両端にはモデムを設置する。本装置とNASDAシステムの分界点は、NASDAに設置したモデムまでが本装置に含まれる。

回線制御部で受けたテレメトリデータは本装置専用LAN(Local Area Network)に送り出される。また、作成されたコマンドは逆のルートで回線制御部からNASDAに送り出される。

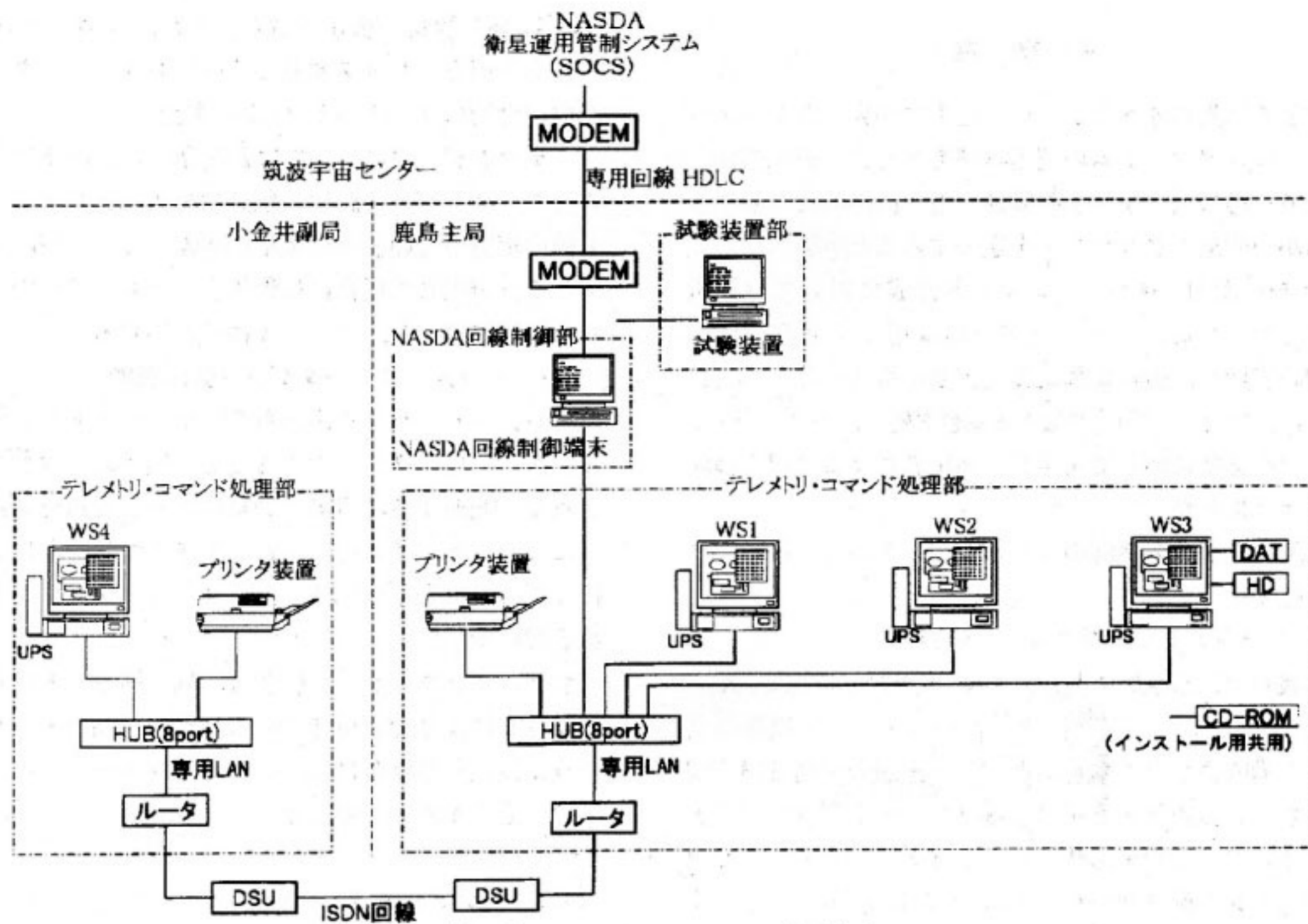
3.4 テレメトリ・コマンド処理部

NASDAから送られてきたテレメトリデータを工学値に変換し、表示・記録を行ったり、運用者がコマンドを作成したりする部分であり、本装置の中心的な役割を持つ。テレメトリ・コマンド処理部は複数のワークステーション(WS)端末、外部記憶装置、プリンタおよび無停電電源装置(UPS)から構成される。

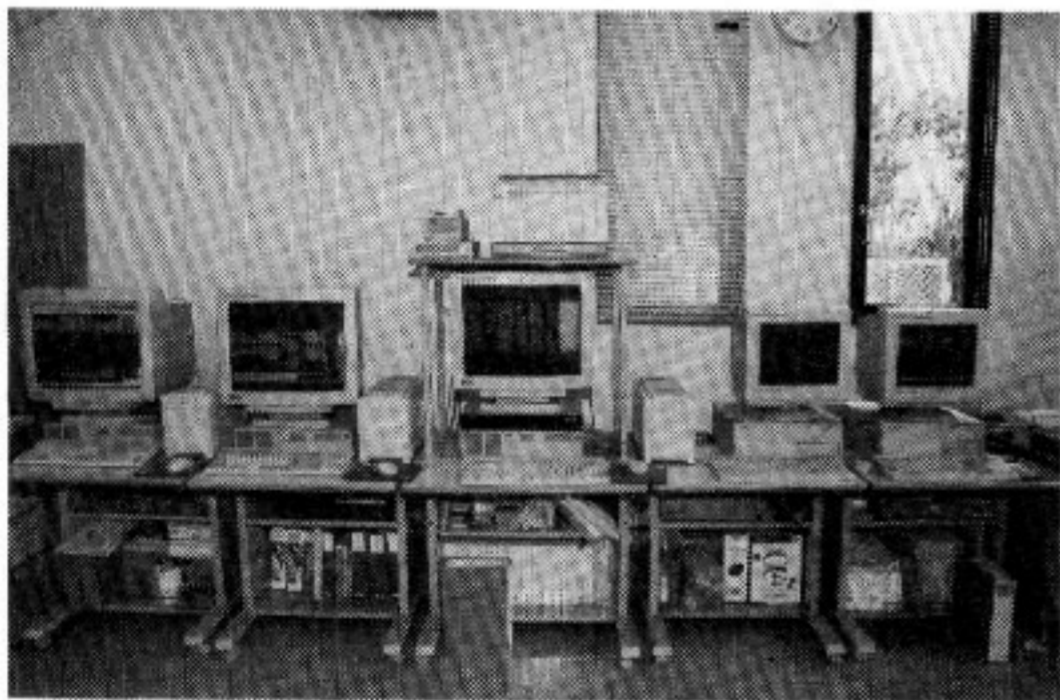
主局ではSBEとMCEの2つの実験が同時に行われることを考慮し、その際の運用性・操作性を確保するためにWS端末を3台設置し、通常はそれぞれをMCE用テレメトリ表示端末、SBE用テレメトリ表示端末、コマンド運用端末として運用することにした。副局には1台のWSを設置し、SBEテレメトリ、MCEテレメトリ、コマンド運用を共用することにした。



第1図 衛星との信号の流れ



第2図 テレメトリ・コマンド装置構成



第3図 テレメトリ・コマンド装置外観

WSの選定は、操作が軽快にできるように、目安としてSPECint92が100以上という基準を設け、DEC社のAlphaStation200を採用した。全てのWSには同一のソフトウェアをインストールし、機能的には全く同じ構成としてある。そのため主局の端末いずれかに障害が発生した時も他の端末で運用が継続できる。

データ記録に関しては、通常のテレメトリデータ処理や衛星状態の解析に用いるため直近30日分の生データをハードディスクに、それ以上長期のデータはテープ媒体としてDAT (Digital Audio Tape) に記録するこ

ととし、WSの1台に2.1GBハードディスクとDAT装置を外付けした。ハードディスクはミラーリング構成のものを採用し、媒体の障害に備えている。また、ハードディスクやDAT装置を接続したWSに障害が発生した場合には他のWSに接続変更することで運用が継続できる。

3.5 試験装置部

本装置の試験や運用訓練時に衛星とNASDA局を模擬するものとして設けた。衛星およびNASDA局のSOCSを模擬し、疑似テレメトリを作成・配信したりコマンドを受け付けたときの応答を返したりする機能を持っている。

ハードウェアとしては回線制御部と同じPCを用いており、回線制御部の障害の際には置き換えて使えるようにしてある。

3.6 装置内接続

本装置内のテレメトリ・コマンド処理端末間、NASDA回線制御部と各端末間は本装置専用LANで接続される。また、このLANのハブの空きポートにPC等を接続してテレメトリデータの処理を行うことも可能である。

主局、副局はそれぞれ独立したサブネット構成とし、2つのサブネット間はISDN回線で接続される。

4. 機能

本装置は先に述べたように、過去に開発したテレメトリ・コマンドシステムの運用実績をもとに、表示方法、入力方法等に改良を加え実験運用者が直感的で容易に、なおかつ間違っただコマンドを送出することがないように、GUIを全面的に採用し、コマンド作成に対しては選択式にした。また、Xウィンドウの採用により複数画面の同時表示や、表示切替え等を容易に行えるようにした。さらに、操作ミス防止や装置不具合対処のために示唆メッセージを必要に応じて表示し、運用者による負担を軽減するようにした。

以下に本装置の機能のうち特徴的なものについての概要を記す。

4.1 テレメトリ・ブロック表示機能

本装置では直感的にわかりやすい操作性を目指した。そこで、SBE、MCEのどちらかのミッション機器のブロック構成表示を基本画面とした。画面表示例を第4図に示す。この画面から注目するブロックの角（CMDと表示されている）をクリックするとそのブロックに関連するコマンド操作画面が、ブロックの背景の部分をクリックすると関連するテレメトリを含んだテレメトリ一覧

（文字表示）画面が表示される。また、ブロック中のテレメトリ値をクリックするとそのテレメトリのグラフ画面が自動的に立ち上がる（4.2項参照）。

アナログデータについては2段階のリミット値（アラームとワーニング）を設け、色分けで表示される。リミット値の変更や元の値への復帰も容易に可能である。リミットエラーが生じた場合には警告音とともにその内容を独立した窓に表示し、ファイルにも記録する。

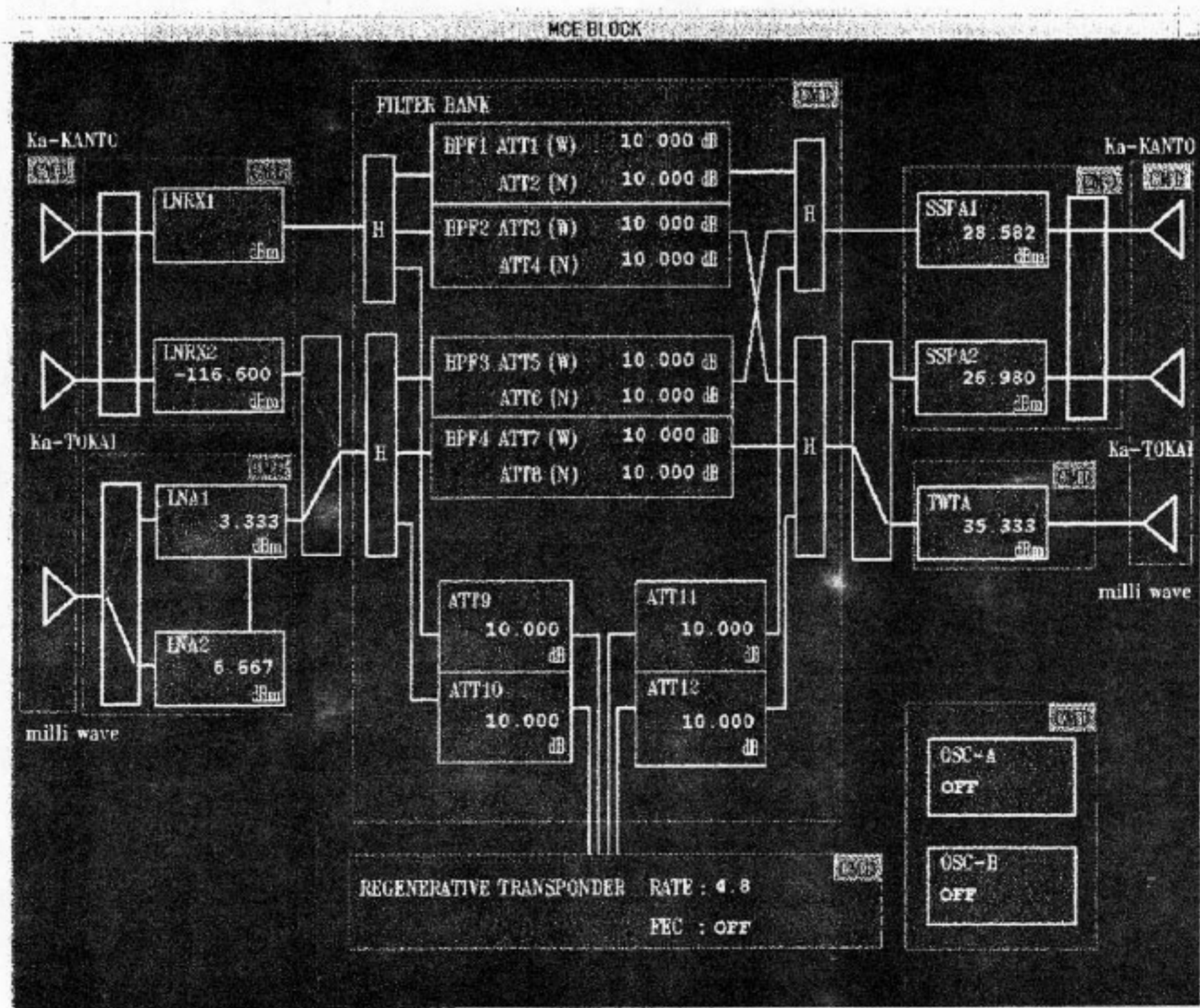
4.2 テレメトリデータグラフ表示機能

テレメトリブロック表示あるいはテレメトリテキスト表示から項目をクリックするとその項目のグラフが表示される。関連する項目で、同時にグラフ表示をしたいものについては、予め組み合わせを指定することにより1枚のグラフに表示される。テレメトリのグラフ表示例を第5図に示す。

また、グラフスケール範囲は縦軸、横軸ともマウスのドラッグにより変更可能である。長い期間の表示を行うように設定した場合には、テレメトリデータの平均値を求めて表示するようにした。

4.3 コマンド作成・送信機能

メニュー画面からコマンドを選択した場合には許可さ



第4図 基本画面の表示例（MCE ミッション機器ブロック構成表示）

れている全コマンドおよびグループコマンドを一覧表示し、対話式にコマンドを作成することができる。コマンド一覧の表示例を第6図に示す。また、テレメトリブロック表示からブロックの右上角をクリックした場合には、そのブロックに関連したコマンドの一覧が表示され、同様に操作できる。アナログ的な設定が必要なものについては、値を入力する窓が開き、入力を促す。搭載機器のon/offや選択状態切り替えのようにコマンド送信に伴って変化するテレメトリがある場合には、テレメトリによる確認を自動的に行い、コマンドが成功しなかった場合にはアラームを発する。

BGC送信時には同時に開いているテレメトリ画面において、関連するテレメトリの色を変えて表示を行うことで、コマンド送信のミスを防ぐとともにコマンド送信後の変化を見やすくするようにしてある。

テレメトリの状態によっては、送信が禁止されるコマンドはデータベースにコマンド送信に際しての条件を設けておき、条件が満たされない場合に誤ってコマンドを送信してしまうことのないようにしている。

本装置はすべての端末でコマンド操作が可能な構成となっているが、同時に複数の端末でコマンドを送信すれば事故につながるおそれがある。そこで1台の端末のみ

がコマンドに関する操作を行える排他制御を行っている。

4.4 グループコマンド

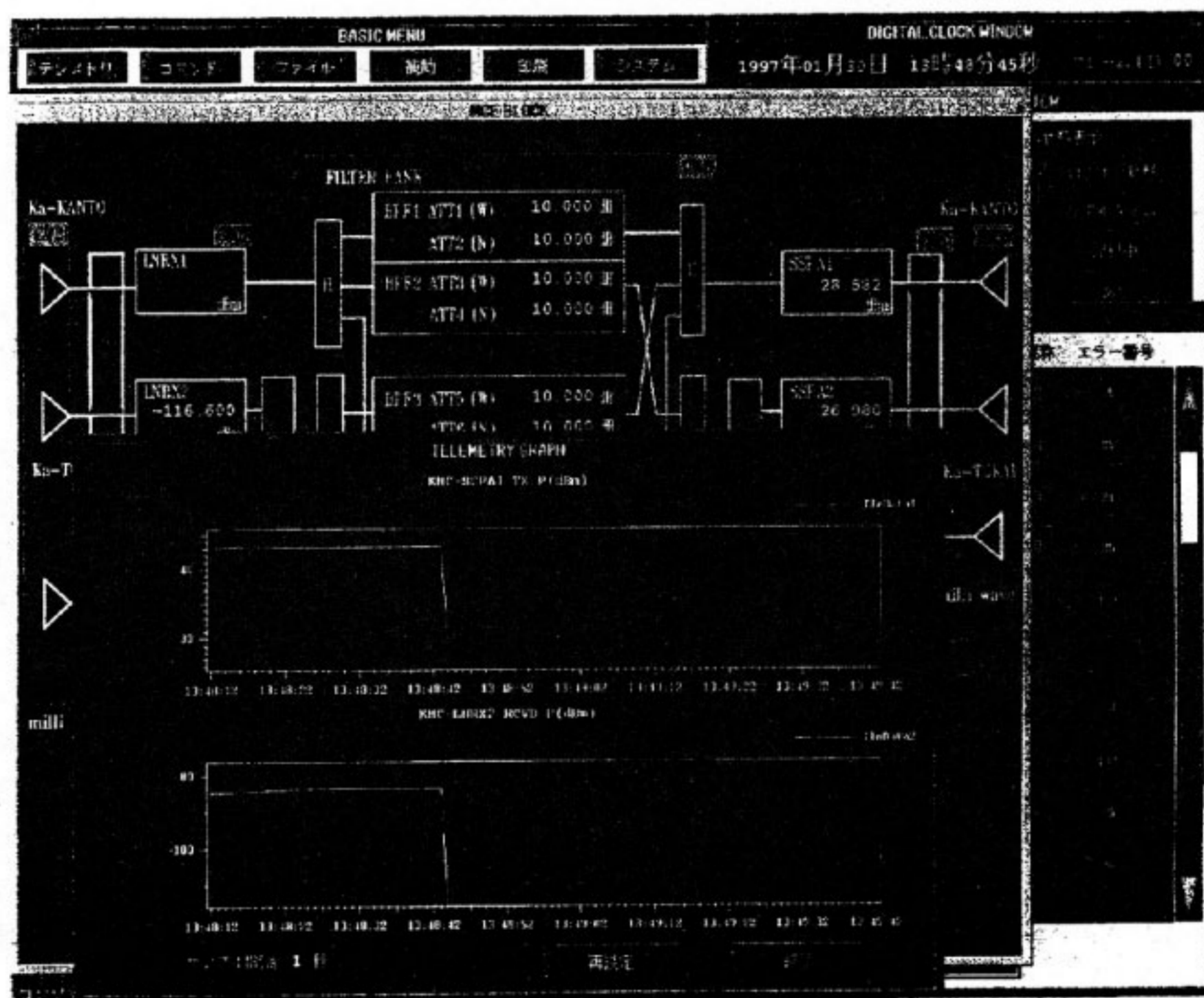
衛星搭載ミッション機器の動作モードを変えるようなときには、複数のコマンドを連続して送信する機会が多い。このようなときにはグループコマンド機能を用い、予め設定した組み合わせのコマンドをまとめて送ることができる。グループコマンドは単独のコマンドと同様に、コマンド一覧画面から選択するようになっている。

グループコマンドは、連続送信、ステップ送信が可能で、ステップ送信では個別のコマンド毎にスキップできる。また、途中で別のコマンド送信画面を開くことができ、実質的にグループコマンドの編集が可能である。さらに本装置では一時的な定義によるグループコマンドを可能とし、その日の実験でだけ使うようなコマンドの組み合わせ送信を容易にした。

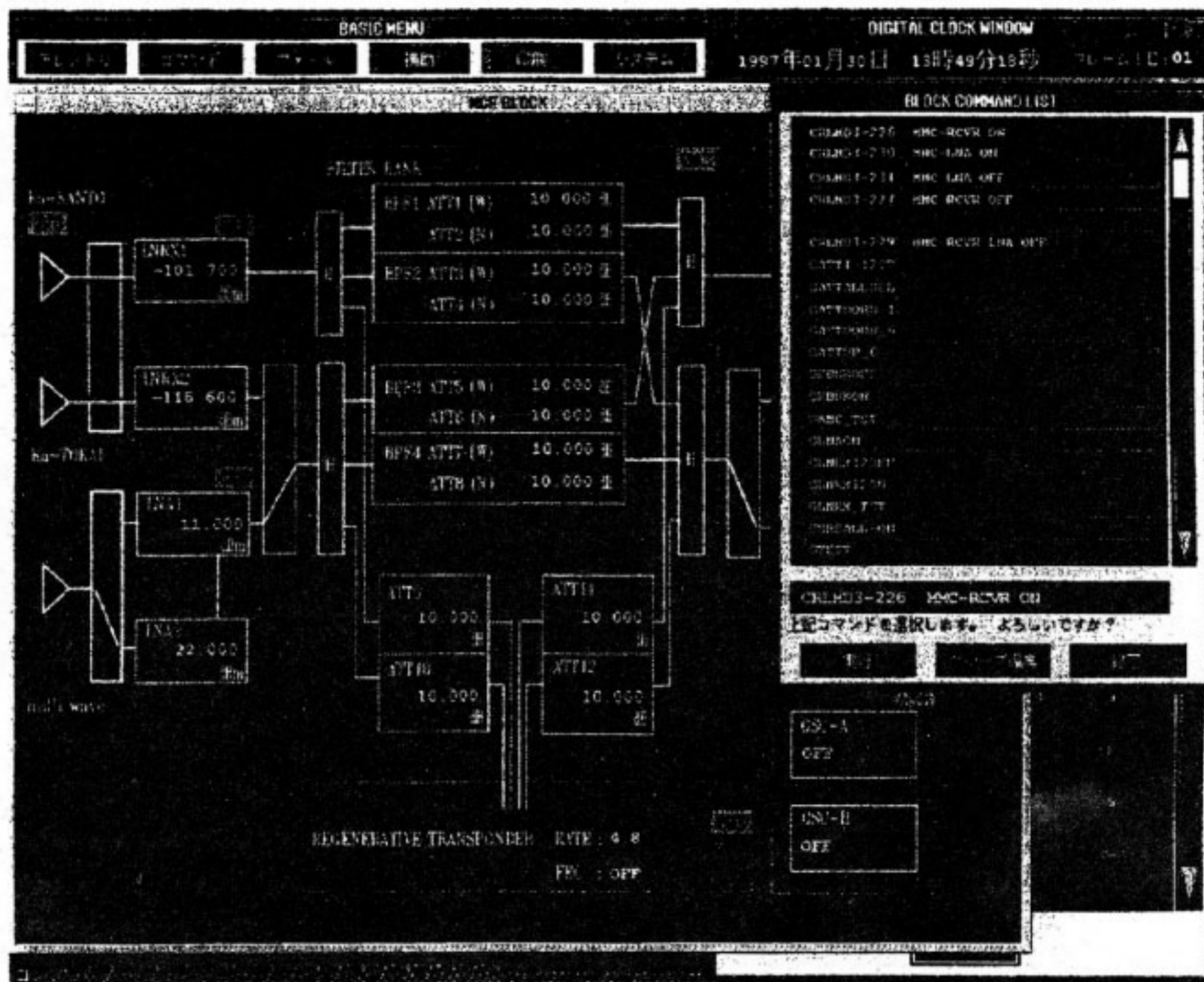
COMETSではグループコマンドのコマンド数はあまり多くないので、コマンド毎にテレメトリによる確認を行う。グループコマンドにおいて途中で確認が取れずにエラーになった場合には、その場所から再送信を行うようにした。

4.5 データ記録

本装置は24時間の連続運転を基本とし、装置障害時



第5図 テレメトリのグラフ表示例



第6図 コマンド選択画面例

でも主局における運用が可能なハードウェア構成としてあることは既に述べたとおりである。データ記録に関しても極力欠損がないように考慮した。

まず通常のテレメトリデータ処理やコマンド履歴はWSに接続された外付けハードディスクに直近30日分が保存されることになっている。同時に他の各端末に内蔵のハードディスクにも3日分のデータを記録しておき(うち1台には7日分)、万が一外付けハードディスクに障害が発生した場合にも運用を継続するとともに、障害復旧時には外付けハードディスク用のデータを復元できる。さらにDATに平行して保存されているデータから復元することも可能である。

DATにはテレメトリデータが1時間毎に、他のデータは1日分毎に記録される。DATの容量は通常使用では一ヶ月以上記録できるが、運用性を考慮して一ヶ月に一度定期的に交換することにする。次に述べる工学値変換出力機能やテレメトリ表示再生機能を一ヶ月以前のデータに対して用いる場合には、DAT装置に過去のテープを装着する必要がある、その間のデータ記録が途切れる。その間に記録されるべきデータは処理が終了後ハードディスクから復元される。DAT装置障害時についても同様である。

4.6 工学値変換出力機能

ハードディスクやDATには容量と保存期間の関係で、NASDAから送られてくるテレメトリについては生データを保存することにした。そこでデータの利用の際に再度工学値変換が必要となる。この処理を利用者が行うことは煩雑であるばかりか誤りの元でもある。そこで本装置にはハードディスクやDATに記録してある生データを工学値変換して出力する機能を設けた。

工学値変換したいテレメトリ項目(複数)と処理期間、処理間隔を指定し、テキストファイルに出力する。このファイルは画面表示やプリンタ出力できる他、本装置専用LANのハブの空きポートに臨時にPC等を接続すればFTP転送を行える。出力フォーマットは表計算ソフト等の市販のアプリケーションで利用可能な形式とした。

4.7 テレメトリ表示再生機能

実験に伴う衛星状態の変化や衛星搭載機器の状態変化を、再度テレメトリ画面上で確認したいときはリアルタイム運用と全く同様に過去の表示を再現できる。ただし、当然のことながらコマンド運用は不可能である。再生表示スピードはリアルタイムと同様の早さの他、約2倍の早送りと約1/2のスロー再生が可能である。

5. おわりに

COMETS 実験で用いるテレメトリ・コマンド装置について開発の経緯とその特徴を記した。本装置と NASDA システムの接続試験を経た後、打ち上げ後は 24 時間運用に供され、高度な実験を影で支える予定である。本装置は過去の衛星運用で使用したテレメトリ・コマンドシステムの実運用における問題点を解決し、ETS-VI 光通信実験管制端末を主に操作性とデータ利用性の観点から見直し、『人に優しい装置』をさらに発展させ、より直感的に操作が可能であり、また誤操作を排除できるようにした。さらに機能的冗長構成とし、連続運転に耐えうるものが出来上がった。



峯野 仁志
Hitoshi MINENO
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信
E-Mail: mineno@crl. go. jp

佐藤 正樹
Masaki SATOH
関東支所 鹿島宇宙通信センター
宇宙通信技術研究室
高度衛星放送における降雨減衰の補償
E-Mail: sato@crl. go. jp

謝 辞

本装置の開発に際し、宇宙開発事業団の追跡管制部、軌道上システム本部の方々には衛星の情報提供、事業団のシステムとの調整・試験等に御協力頂きました。また、ETS-VI 光実験グループの方々からは設計に対するアドバイスをいただきました。さらに三菱スペース・ソフトウェア(株)には厳しい要求に応じてソフトウェア制作を担当していただきました。関係各位に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 小園晋一, 木村繁, 鈴木健治, 木村和宏, 若菜弘充, “フィードリンク地球局管制系,” 通信総研季, 40, 2, June 1994.
- (2) 鹿谷元一, 磯貝光雄, “光通信実験管制端末装置,” 通信総研季, 40, 2, June 1994.



小園 晋一
Shin-ichi KOZONO
関東支所 鹿島宇宙通信センター
宇宙通信技術研究室
衛星通信
E-Mail: kozono@crl. go. jp



森川 栄久
Eihisa MORIKAWA
関東支所 鹿島宇宙通信センター
宇宙通信技術研究室
衛星通信
E-Mail: morikawa@crl. go. jp

