

## 4-4 BFN運用システム

### 4-4 BFN Operating System

井出俊行 奥村 実 (NEC 東芝スペースシステム株式会社)  
IDE Toshiyuki and OKUMURA Minoru

#### 要旨

フェーズドアレイアンテナに用いるビーム形成回路の設定には多くのパラメタが必要である。このため、運用の効率化・省力化を図る目的から、BFN運用システムを整備した。本システムは、ビーム形成回路の運用に必要な各種パラメタを一元的に管理し、効率的にビーム形成回路の運用を行うことができる。

Numerous parameters are required for the setup of Beam-Forming Networks used in phased-array antenna systems. For this reason, a fixed BFN operating system was established with the aim of increasing efficiency and saving labor. This system manages the various parameters required for the employment of a BFN unitary, resulting in the more efficient use of BFN.

#### [キーワード]

ビーム形成回路, コマンド, テレメトリ, 運用  
Beam-forming network, Command, Telemetry, Operation

## 1 はじめに

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)は、大型展開鏡面を一次反射鏡とするフェーズドアレイアンテナを搭載している。ここで用いるビーム形成回路(以下、「BFN 1」という。本特集3-6-3 “ビーム形成回路”参照)の制御器(以下、「BFC」という。)の設定を、コマンドにより実行する必要がある。BFCには、ビーム形成に必要な位相・振幅設定パラメタのほか、数多くの設定情報が必要であり、大量のコマンドを用意する必要がある。このため、BFN運用の効率化・省力化を図る目的から、BFN運用システム(以下、「本システム」という。)を用意した。本システムでは、BFN1の運用に必要な各種パラメタを一元的に管理し、BFN1の制御、励振分布テーブル作成及びビームパターンのシミュレーション表示等の機能により、効率的にBFN1の運用を行うことができる。

## 2 システム構成

本システムのハードウェアには、市販のパ

ソナルコンピュータを使用しており、ソフトウェア開発環境には、JAVAを用いている。

本システムは、「実験用テレメトリ・コマンドシステム」(以下、「テレコマシステム」という。本特集4-3 “実験用テレメトリ・コマンド処理システム”参照)における個別部分として、テレコマシステムとTCP/IPネットワークアダプタによりLAN接続されており、テレコマシステムのネットワークストレージ(RAIDシステム)を通じて、テレコマシステムとの間で、本システムで生成したコマンド及び衛星から送られたテレメトリ等の各種データの連携を図っている。

## 3 主な機能

BFN1を運用するためには、ビーム形成に必要な位相・振幅設定パラメタのほか、BFN1の誤差補正データ、鏡面データ、アンテナ系座標データ等々、数多くの設定情報が必要である。本システムでは、これらの各種パラメタを、パーソナルコンピュータ(PC)を用いて一元的に管理するとともに、必要なコマンドストリームを生成

し、テレコマシステムを通じて、コマンド送信を行う。また、BFN1及びBFCのテレメトリ表示機能、更には、アンテナビームパターン作成のための励振分布計算及びビームパターンのシミュレーション機能をも具備しており、ETS-Ⅷ搭載フェーズドアレイアンテナの運用に必要なデータのほとんどが、本システムで制御できる。

なお、本システムで管理するコマンドは、パケットコマンドのみであり、BFN1及びBFCの電源on/offに関しては、テレコマシステムから行う。本システムには、大きく分けて、以下に掲げる

五つの機能がある。各機能における機能・パラメータ設定等のデータ入力では、GUIによるマン・マシン・インタフェース用いて、コマンドラインからの煩雑なコマンド入力を軽減している。

### 3.1 コマンド生成機能

コマンド生成機能では、設定したアンテナ給電部の運用モード、運用パラメータ、励振ウェイトテーブル及び衛星搭載ソフトウェア等を衛星に伝送するために必要なコマンドを生成する。表1に、BFCに対するコマンドの一覧を示す。

表1 BFCパラメータ設定コマンド一覧

ID	Sub ID	Size	内容	ID	Sub ID	Size	内容
1	1~5	1~31	80 MMIC校正表 位相量校正値 振幅偏差校正値 減衰量校正値	10	0	0	1 ビーム操作開始 ビームN走査ON/OFF
2	1~2	0	248 SSPA(LNA)校正表 位相温度勾配 振幅温度勾配	11	0	0	0 ビーム走査強制終了
3	0	0	62 固定ウェイト用MMIC 移相器、減衰器ステータス	12	0	0	8 REVパラメータ 位相回転ステップ(deg) 位相回転時間間隔(制御周期の倍数)
4	1~5	0	248 MMIC初期ウェイト 位相設定値(deg)、振幅設定値(dB)	13	1~5	1~31	0 REV開始
5	1~5	0	248 BFN振幅温度特性 振幅温度偏差係数a,b	14	0	0	0 REV強制終了
6	1~5	0	248 BFN位相温度特性 位相温度偏差係数a,b	15	0	0	27 運用制御パラメータ 運用モード ビーム#i温度補償 ENA/DIS ビーム#i姿勢補償 ENA/DIS 温度センサ#i ENA/DIS ビーム1~5の出力ポート#i ENA/DIS
7	1~2	0	336 アンテナパラメータ 焦点距離 給電部離焦点距離 ビームチルト補正係数 ビームチルト補正係数 放射素子#iのx座標(給電部座標) 放射素子#iのy座標(給電部座標) 衛星座標→アンテナ座標 変換行列 アンテナ座標→給電部座標 変換行列 衛星姿勢→衛星座標 変換行列	16	0	0	310 MMIC制御ビット設定 移相器、減衰器ステータス
8	1~5	0	8 ビームチルト角 ビームチルトAz角、El角(衛星座標系)	17	0	0	MAX 再プログラミング 724 予約 パッチ数 アドレス データ数 データ チェックサム
9	1~5	0	14 プログラム追尾パラメータ ~602 ビーム走査反復回数 ビーム走査角度データ数(1~50) 制御時刻(制御周期の倍数で指定) ビーム走査Az角、El角(衛星座標系)	18	0	0	1 テレメトリモード切り替え テレメトリモード
				19	0	0	2 テレメトリ要求 テレメトリID テレメトリSub ID
				20	0	0	6 メモリダンプ アドレス データサイズ
				21	0	0	0 再プログラミング実行

BFN1の主要回路部分である励振分布設定用MMIC内には、位相制御及び振幅設定用の半導体スイッチが多数あり、BFN1の設定を精度よく行うためには、それらの動作による位相・振幅設定の誤差を、あらかじめBFC内の誤差補正テーブルに設定しておく必要がある。これらのデータは、初期通過特性とともに初期設定パラメータとして、BFN1の運用に先立ってコマンド送信する必要があるため、各パラメータ設定のコマンドを、GUIによるコマンド作成・編集機能を用いてあらかじめ作成しておき、コマンドファイルとして、ハードディスク内に保存する。コマンド作成・編集画面の例として、図1にMMIC誤差補正テーブル設定画面の一例を示す。また、後述のアンテナビームシミュレーション機能において確認されたビームパターンを形成する励振分布の設定コマンドの生成も行える。



図1 MMIC誤差補正テーブル設定画面

MMIC設定パラメータ以外の各コマンドにおいても同様に、各々のコマンドファイルを作成する。図2にアンテナ系座標の設定画面を示す。

### 3.2 コマンド送信機能

生成したコマンド及びアンテナビームパターン情報をテレコマシステム内のRAIDディスクシ

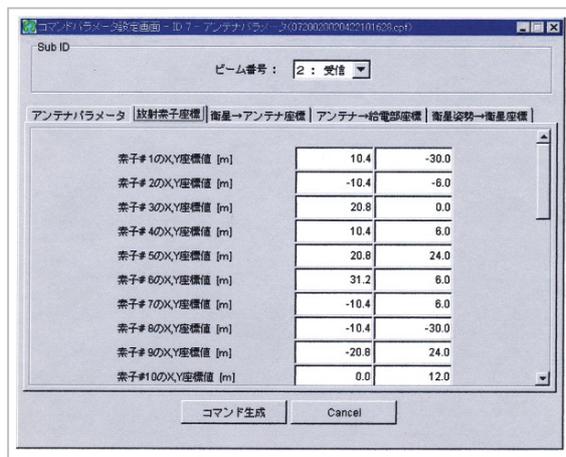


図2 アンテナ衛星系座標設定画面

ステムによるネットワークストレージに書き込み、テレコマシステムを通じて、コマンドを送信する。

前項で掲げた初期設定パラメータ及びMMIC設定パラメータ等のコマンドファイルのほか、次項のビーム形成機能において作成された任意の励振分布テーブルについても同様にコマンド送信ができ、励振分布の変更を容易に行うことができる。

### 3.3 アンテナビーム形成機能

設定したパラメータ(衛星位置、アンテナビーム中心位置、給電部及び反射鏡諸元等)を用いてアンテナ給電部の励振分布を算出し、励振分布テーブルを生成する。励振分布を算出する際には、サービスエリア及び隣接ビームとのアイソレーションを確保するため、利得拘束点を指定する必要があるが、ここでは、図3の地図上で、希望するビーム指向中心点を任意に指定するだけで、

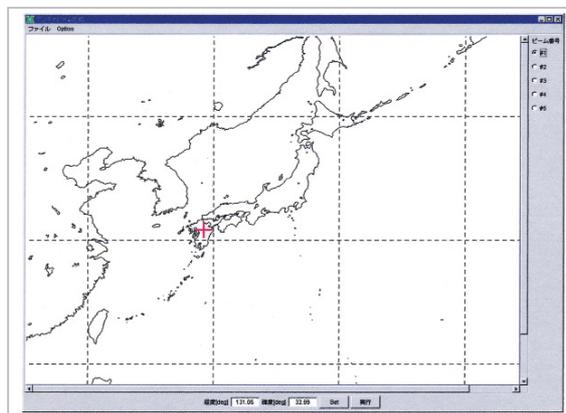


図3 ビーム中心の指定画面

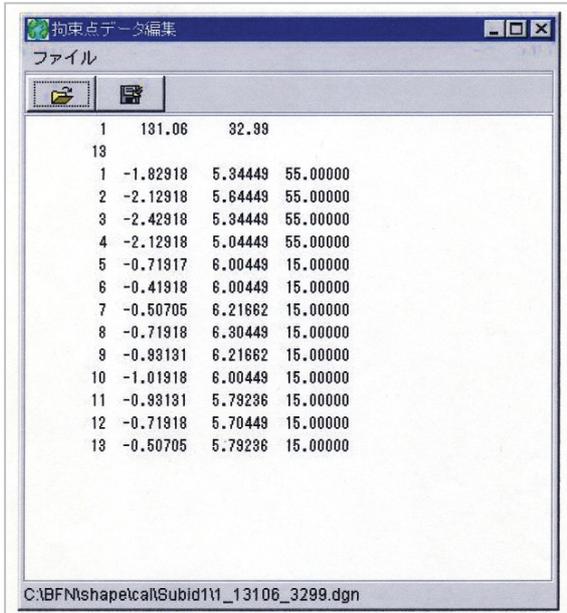


図4 利得拘束点編集画面

13点の拘束点がETS-Ⅷのミッション諸元に適するように自動的に設定される。これにより、操

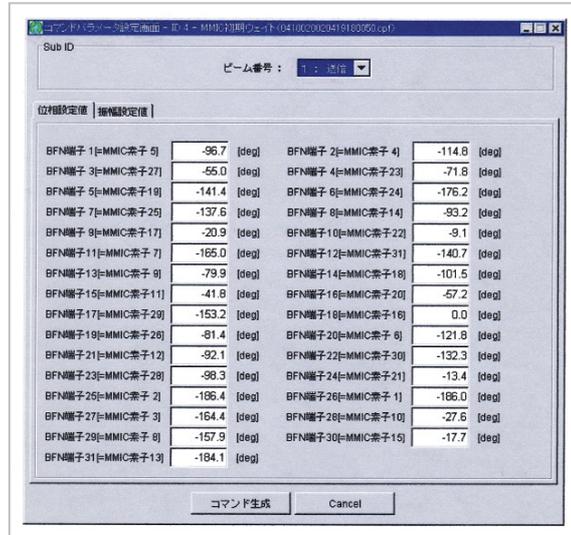


図5 励振分布テーブル編集画面の一例

作に簡易性を持たせているが、図4に示す編集画面を用いて、拘束点データを編集することも可能である。また、任意のビームパターンの励振分布テーブルを作成することもできる。励振分

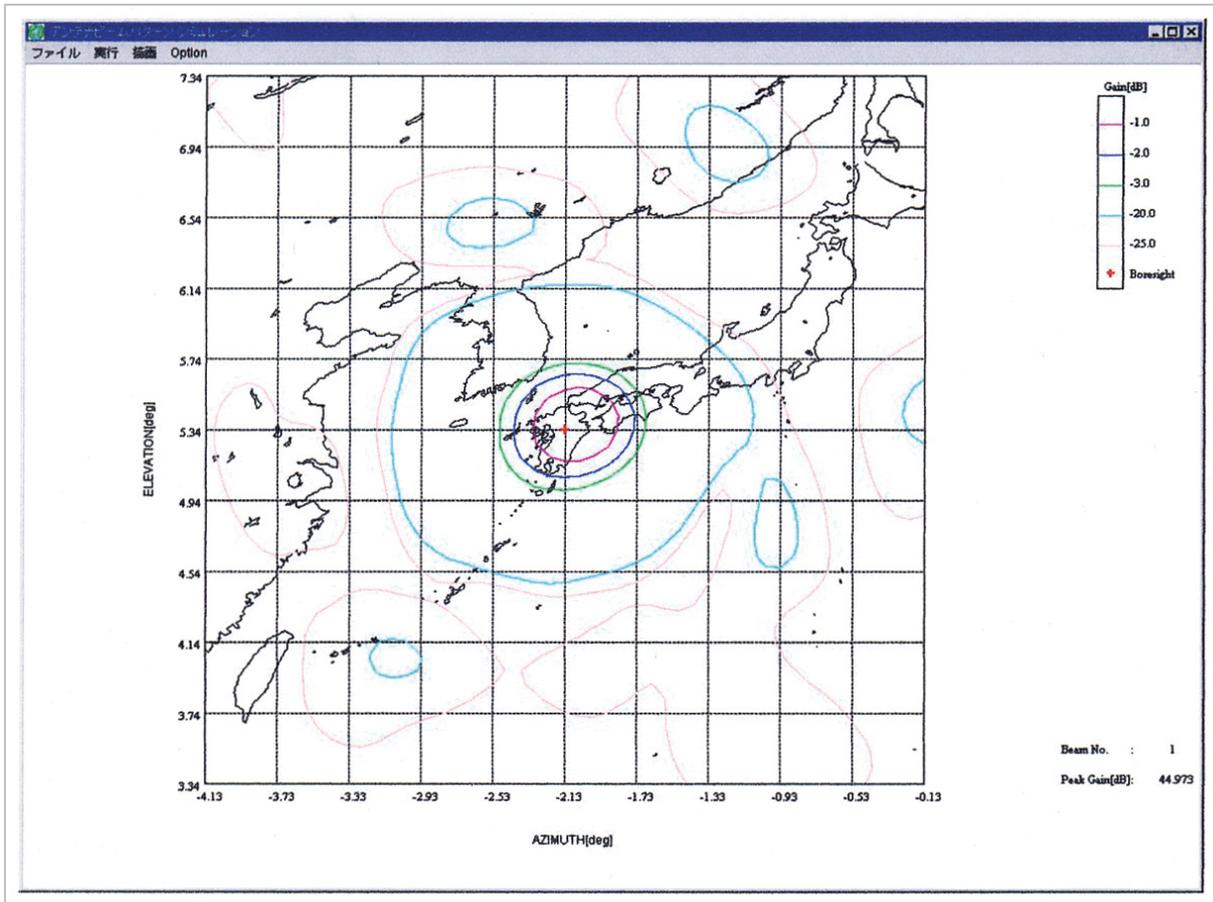


図6 コンタマップの一例

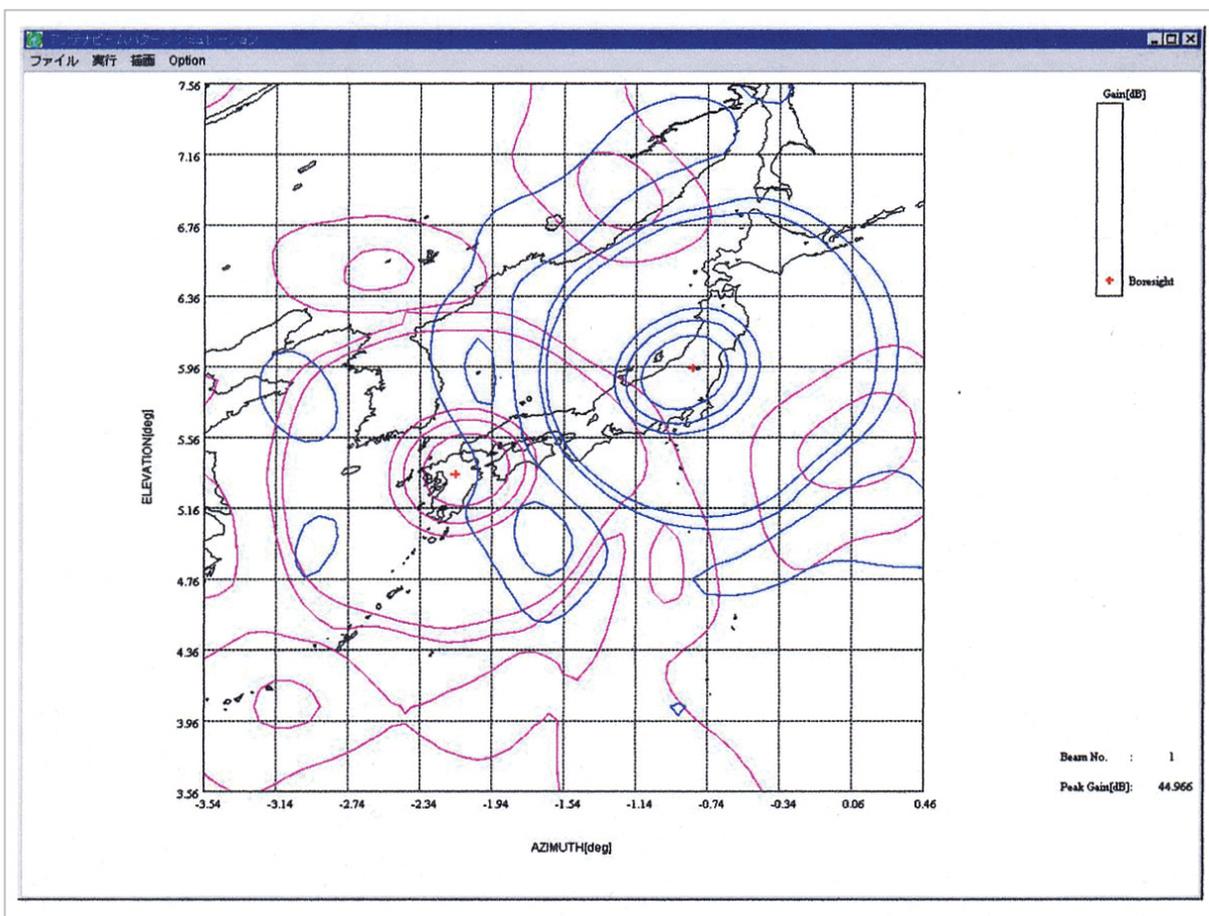


図7 2ビームのコンタマップ例

布テーブル編集画面の一例を図5に示す。

### 3.4 アンテナビームシミュレーション機能

設定したパラメタ(励振分布、反射鏡諸元等)を用いて、アンテナビームパターンシミュレーションを行い、コンタマップを作成し表示する。コンタマップの一例を図6に示す。この機能により、前項で作成した励振分布を用いたビームパターンを地図上で確認することができる。また、図7のように、二つのビームパターンを同一画面に表示することにより、ビーム間アイソレーション等の確認も行うことができる。

ここで表示されたアンテナビームパターン図は、テレコマシステムのネットワークストレージに伝送することにより、テレコマシステムの画面上でも同様に表示することができる。

### 3.5 テレメトリ表示機能

テレコマシステム基幹部分よりデータを読み出し、BFCテレメトリ情報を表示する。BFCテ

レメトリの一覧を表2に示す。リアルタイム処理画面又は履歴表示画面により、BFCの設定状態が表示される。本機能の表示内容は、テレコマシステムのテレメトリ表示機能と同一である。

## 4 まとめ

フェーズドアレイアンテナの運用に必要なパラメタを一元的に管理できる運用システムを構築した。本システムを用いることで、BFN1/BFCの初期設定をはじめ、励振分布パラメタの生成、アンテナパターンシミュレーション等、ETS-VIIIの大型展開アンテナを用いた通信実験を効率的に行うことが可能となる。本稿執筆時点では、衛星のシステムプロトタイプ試験を実施中であり、また、本システムのソフトウェアに関しても、操作性の改良を実施中である。衛星の運用開始までには、最終電気性能試験の結果を反映したパラメタの設定を含め、容易に扱えるものとなるよう、整備を進めていく。

表2 BFCテレメトリの一覧

ID	Sub ID	Size	内容	ID	Sub ID	Size	内容
1	1~5	1~31	80 MMIC校正表 位相量、振幅偏差、減衰量校正値	15	0	0	27 運用制御パラメータ 運用モード ビーム#i温度補償 ENA/DIS ビーム#i姿勢補償 ENA/DIS 温度センサ#i ENA/DIS ビーム1~5の出力ポート#i ENA/DIS
2	1~2	0	248 SSPA(LNA)校正表 位相、振幅温度勾配	16	0	0	310 MMIC制御ビット 移相器、減衰器ステータス
3	0	0	62 固定ウェイト用MMIC 移相器、減衰器ステータス	17	0	0	1 再プログラミング(ストア) 再プログラミング実行(ステータス)
4	1~5	0	248 MMIC初期ウェイト 位相設定値(deg)、振幅設定値(dB)	18	0	0	1 テレメトリモード切り替え テレメトリモード
5	1~5	0	248 BFN振幅温度特性 振幅温度偏差係数a,b	19	0	0	2 テレメトリ要求
6	1~5	0	248 BFN位相温度特性設定 位相温度偏差係数a,b	20	0	0	Max 977 メモリダンプ アドレス データサイズ データ チェックサム
7	1~2	0	336 アンテナパラメータ 焦点距離 給電部離焦点距離 ビームチルト補正係数 放射素子#iのx座標(給電部座標) 放射素子#iのy座標(給電部座標) 衛星座標→アンテナ座標 変換行列 アンテナ座標→給電部座標 変換行列 衛星姿勢→衛星座標 変換行列	21	0	0	1 再プログラミング実行(ステータス)
8	1~5	0	8 ビームチルト角 ビームチルトAz、El角(衛星座標系)	255	0	0	46 周期テレメトリ(制御周期) ビーム指向角 ビーム1~5 Az走査角, El走査角 REVステータス ビーム番号 放射素子番号 位相回転量
9	1~5	0	14 プログラム追尾パラメータ ビーム走査反復回数 ビーム走査角データ数(1~50) 制御時刻(制御周期の倍数で指定) ビーム走査AZ角(衛星座標系) ビーム走査El角(衛星座標系)	254	0	0	137 周期テレメトリ(50制御周期に1回) ビーム指向角 REVステータス 温度センサA/D値 運用制御パラメータ 運用モード ビーム#i温度補償 ENA/DIS ビーム#i姿勢補償 ENA/DIS 温度センサ#i ENA/DIS ビーム1~5の出力ポート#i ENA/DIS
10	0	0	1 ビーム操作開始				
11	0	0	0 ビーム走査強制終了				
12	0	0	8 REVパラメータ 位相回転ステップ(deg) 位相回転時間間隔(制御周期の倍数)				
13	1~5	1~31	2 REV開始				
14	0	0	0 REV強制終了				



井出 俊行

無線通信部門モバイル衛星通信グループ主任研究員  
衛星通信工学



奥村 実

NEC 東芝スペースシステム株式会社  
宇宙機器本部RFグループ5  
衛星搭載アンテナ、電波センサ