

3 ETS-9 の衛星搭載通信システム

3 Onboard Telecommunication Subsystem of ETS-9

3-1 固定・可変ビーム通信サブシステム

3-1 Fixed and Variable Beam Communication Subsystem

角田 聡泰 須永 輝巳 内田 繁 草野 正明 中本 成洋 坂井 英一 堀江 延佳

TSUNODA Toshiyasu, SUNAGA Terumi, UCHIDA Shigeru, KUSANO Masaaki, NAKAMOTO Narihiro, SAKAI Eiichi and HORIE Nobuyoshi

近年、ハイスループット衛星 (HTS) と呼ばれる通信容量を大幅に増加した衛星通信システムの研究開発が進んでいる。日本では、技術試験衛星 9 号機 (ETS-9) プロジェクトが実施され、その中で固定・可変ビーム通信サブシステムは、次世代静止通信衛星の通信の大容量化とフレキシビリティ技術を実証するための通信サブシステムである。固定ビーム通信サブシステムは、デジタルチャネライザ技術を用いて帯域や周波数を通信需要に合わせて柔軟に変更できる中継器であり、可変ビーム通信サブシステムは、デジタルビームフォーミング技術を用いて通信需要に応じた任意の形状のアンテナビームを形成できる中継器である。本稿では固定・可変ビーム通信サブシステムについて述べる。

In recent years, research and development of High Throughput Satellites (HTS) has advanced, with Japan's Engineering Test Satellite 9 (ETS-9) project underway. The fixed and variable beam communication subsystems are communication subsystems designed to demonstrate the capacity enhancement and flexibility technologies of next-generation geostationary communication satellites. The fixed beam communication subsystem is a relay that can flexibly change its bandwidth and frequency according to communication demands using digital channelizer technology, while the variable beam communication subsystem is a relay that can form antenna beams of arbitrary shapes according to communication needs using digital beamforming technology.

1 まえがき

近年、ハイスループット衛星 (HTS: High Throughput Satellites) と呼ばれる通信容量を大幅に増加した衛星通信システムの研究開発が進んでいる。日本では、技術試験衛星 9 号機 (ETS-9) プロジェクトが実施され、Ka バンド／光大容量通信技術とデジタルフレキシブルペイロード技術の検証を進めている。従来の HTS 通信ペイロードは、複数ビームの各ビームに対して固定通信容量かつ覆域は固定としているが、ETS-9 においては衛星搭載機器の高速大容量化とともに、フレキシビリティ化として、ユーザビームの利用周波数帯域の幅や、ユーザビームの形状と位置、フィードリンク切り替えが可能であることからゲートウェイ地球局が選択可能となっている。ETS-9 に搭載される固定・可変ビーム通信サブシステムはビームごとに通信容量を変更できるデジタルチャ

ネライザと柔軟にエリアを変更できるデジタルビームフォーマ (DBF: Digital beam former) を備えており、衛星・通信ペイロードの運用期間中の通信需要の変化に対応する。本稿では、ETS-9 に搭載される固定・可変ビーム通信サブシステムについての概要と搭載機器製造や固定・可変ビーム通信サブシステムの衛星への搭載準備状況と今後の打ち上げまでの各種試験や打ち上げ後の軌道上実証で性能を確認するための試験計画等、研究開発の進捗状況を報告する。

2 固定・可変ビーム通信サブシステム

2.1 固定・可変ビーム通信サブシステムの概要

ETS-9 に搭載する固定・可変ビーム通信サブシステムの全体ブロック図を図 1 に示す。

ここで、固定・可変ビーム通信サブシステムの中心

3 ETS-9 の衛星搭載通信システム

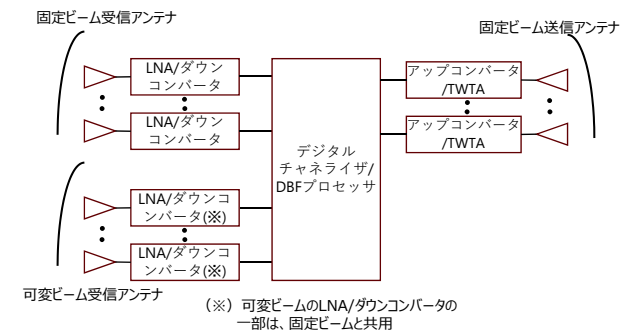


図 1 固定・可変ビーム通信サブシステムブロック図 [1]

表 1 固定ビーム通信サブシステム主要性能

項目		性能	
使用周波数帯		周波数プラン参照	
サービスエリア		固定ビーム覆域中#1, #3, #5, #7, #9	
衛星中継器	IPFD	FWD Max.	-170.68 dBW/m ² /Hz ただし、-83.69 dBW/m ² 以下
		FWD Min.	-191.78 dBW/m ² /Hz ただし、-151.78 dBW/m ² 以上
		RTN Max.	-171.05 dBW/m ² /Hz ただし、-87.07 dBW/m ² 以下
		RTN Min.	-193.82 dBW/m ² /Hz ただし、-139.84 dBW/m ² 以上
	G/T	RTN Min.	6.7 dB/K (サビ [*] エリア中100%) 10.7 dB/K(サビ [*] エリア中62%)
		FWD Min.	NICT鹿児島局、NICT沖縄局前提 16.4 dB/K
	EIRP	RTN Min.	NICT鹿児島局、NICT沖縄局前提 59.64 dBW
		FWD Min.	56.24 dBW(サビ [*] エリア中100%, 3dB/バックオフ) 57.24 dBW(サビ [*] エリア中62%, 3dB/バックオフ)
遷移周波数誤差		2.0ppm以下(静止化3年後)	
チャネライザ	ポート当たり帯域幅		250MHz以上
	最小サブチャネル帯域		2.5MHz
	入出力ポートの交換機能		スター型接続、メッシュ型接続に対応
	チャネライザ総処理帯域		2000MHz以上 (250MHz×8ポート相当)
給電部	ビーム径		0.45deg (283km)
	ビーム数		5
	指向誤差		0.06°
	TXアンテナ利得@EOC		41.8dB(サビ [*] エリア中100%)、42.8dB(サビ [*] エリア中62%)
	RXアンテナ利得@EOC		38.0dB(サビ [*] エリア中100%)、42.0dB(サビ [*] エリア中62%)

的な機能であるデジタルチャネライザとDBFプロセッサは1組の機器であり、TT&C (Telemetry tracking and command) 回線を経由したコマンドによりデジタルチャネライザ機能とDBF機能を切り替えて動作させる。固定ビーム通信サブシステムは、受信した複数の信号をデジタルチャネライザにより切り出し、周波数軸上で並べ替えて送信ビームから送信するため、固定ビーム受信アンテナ、LNA (Low Noise Amplifier)、ダウンコンバータ、デジタルチャネライザ、アップコンバータ、TWTA (Trans Wabe Tube Amplifier)、固定ビーム送信アンテナから構成される。可変ビーム通信サブシステムは、受信DBFを実現するため、可変ビーム受信アンテナ、LNA、ダウンコンバータ、DBFプロセッサから構成されている。なお可変ビーム通信サブシステムの送信側 (DBFプロセッサ出力以降のアップコンバータ、TWTA、送信アンテナ) は固定ビーム通信サブシステムと共用している。

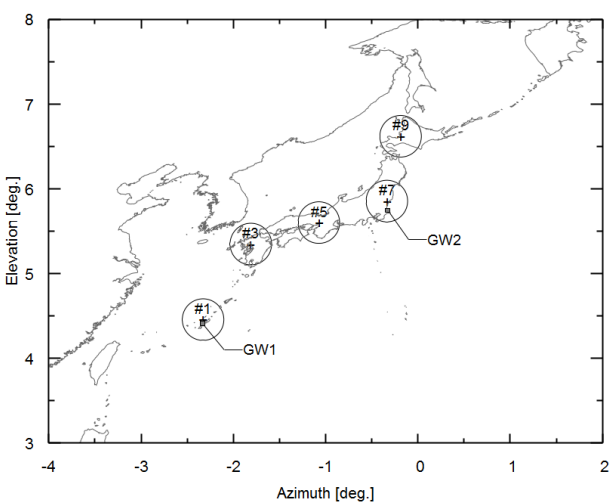


図 2 固定ビーム通信サブシステム覆域

表 2 可変ビーム通信サブシステム主要性能

項目		性能	
使用周波数帯		Uplink/Downlink	
サービスエリア		可変ビーム利得規定点と想定するビーム形状で定義	
衛星中継器	IPFD	Max.	-170.6 dBW/m ² /Hz ただし -89.6dBW/m2 以下 (@125MHz)
		Min.	-193.9 dBW/m ² /Hz ただし、-151.9 dBW/m2以上 (@0.01MHz)
	G/T	Min.	4.8dB/K(想定内でのビーム幅が最も広い場合) 他のビームに関してはアンテナ利得に応じたG/Tに換算する
		Min.	56.24 dBW(サビ*1エリア中100%, 3dB/バックオフ)57.24 dBW(サビ*1エリア中62%, 3dB/バックオフ)
	EIRP	Min.	56.24 dBW(サビ*1エリア中100%, 3dB/バックオフ)57.24 dBW(サビ*1エリア中62%, 3dB/バックオフ)
遷移周波数誤差		2.0ppm以下(静止化3年後)	
DBFプロセッサ部		ビーム当たりの帯域幅	
		125MHz以上	
アンテナ部		最小サブチャネル帯域	
		2.5MHz	
(通信サブシステム) ビーム可変機能		ビーム形成機能	
		あり	
アンテナ部		受信アンテナ利得	
		ビーム形状に応じてそれぞれ定義	
(通信サブシステム) ビーム可変機能		ビーム形成機能	
		励振係数に対応したビーム形成機能を有する 例：ビーム可変機能、ビーム切替機能	
(通信サブシステム) ビーム可変機能		ビーム形成数	
		受信2以上(拡張可能であること)	

表1に固定ビーム通信サブシステムの主要性能、図2に固定ビーム通信サブシステム覆域を示す。固定ビーム通信サブシステムで搭載するビームの覆域は図2の#1、#3、#5、#7、#9であり、#1にGW1、#7にGW2と2局のフィーダリンク局の設置を想定している。また、表2に可変ビーム通信サブシステムの主要性能、図3に可変ビーム通信サブシステム覆域を定義する利得規定点を示す。続いて、図4に固定・可変ビーム通信サブシステムの周波数プランを示す。固定ビーム通信サブシステムでは、各ユーザが使用する端末(地球局)と通信する帯域(ユーザ帯域)として、搭載するビーム覆域#1、#3、#5、#7、#9に対応する帯域として、それぞれ User1、User3、User5、User7、User9の帯域を各250MHz割り当てており、各ビームで使用する偏波も規定している。ユーザ帯域は、デジタルチャネライザを用いることで帯域幅を可変することが可能である。また、地上のネットワークと接続するフィーダリンク局は、沖縄(ビーム覆域#1)及び関東(ビーム覆域#7)に設置することを想定し、関東のフィーダリンク局向けのビーム

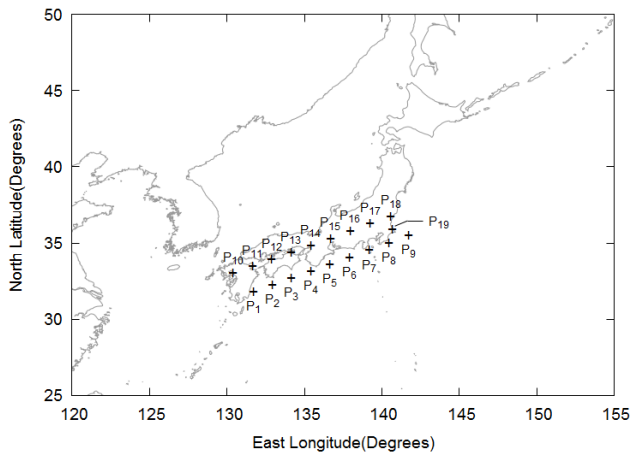


図3 可変ビーム通信サブシステム利得規定点

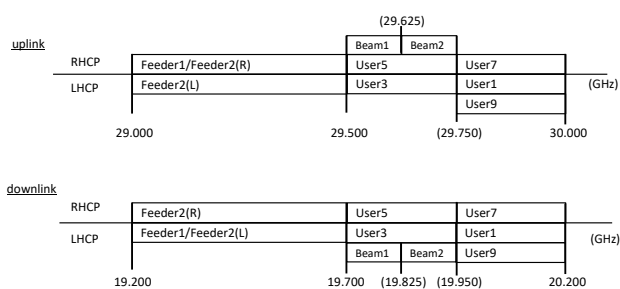


図4 固定・可変ビーム通信サブシステムの周波数プラン

は右旋円偏波及び左旋円偏波(RHCP 及び LHCP)の両偏波対応とした。フィーダリンク用帯域(Feeder1 及び Feeder2)は 500 MHz を割り当てている。可変ビーム通信サブシステムは図4に示す Beam1 及び Beam2 の 125 MHz の帯域を割り当てている。なお、この周波数プランは機器の設計開始段階のものであり、周波数調整の進展に合わせて、使用する周波数や帯域幅が今後変更される可能性がある。

2.2 固定ビーム通信サブシステムの概要

従来の通信衛星の中継器では、図5に示す従来のベントパイプ型通信システムに示すように中継する周波数や帯域が固定されたベントパイプ型の中継器が用いられてきた。ベントパイプ型衛星では、衛星のビームごとに中継帯域が固定であり、通信が少ない場合では、使用しない帯域が生じて周波数利用効率が低下した。一方、図5のチャネライザを用いた次世代衛星の通信システムに示すように、チャネライザは帯域が可変のフィルタバンクに相当するものであり、通信信号の帯域に合わせて中継器の帯域を可変し、スイッチによってフィルタで切り出した信号を任意の周波数に変換して並べ替えることで、限られた帯域で高い周波数利用効率を実現できる。

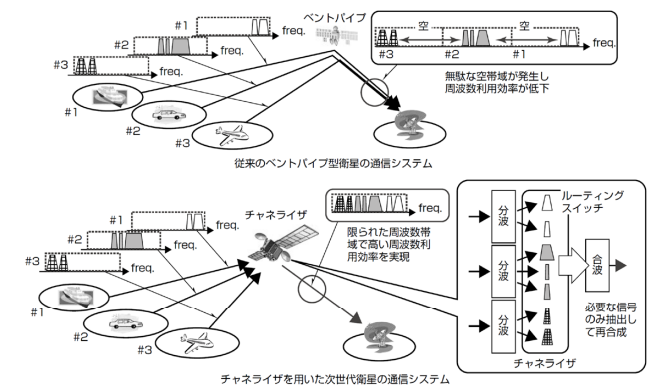


図5 従来のベントパイプ型衛星とチャネライザを用いた衛星の通信システム [2]

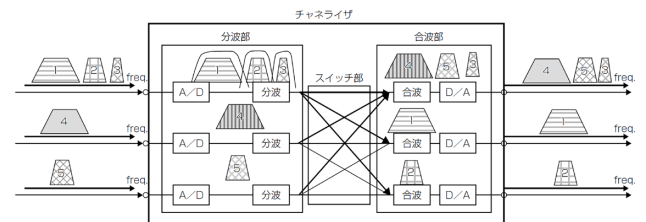


図6 デジタルチャネライザの機能ブロック図 [2]

2.3 デジタルチャネライザ

固定ビーム通信サブシステムのキーコンポーネントとして開発したデジタルチャネライザについて機能ブロック図を図6に示す。各受信ビームのアンテナで受信された受信信号は中間周波数帯に変換後チャネライザに入力される。ここで各ビームの信号には周波数軸上に複数の通信信号(図6の1～5の信号)が含まれる。デジタルチャネライザでは、各ビームの信号を A/D (Analog to Digital) 変換した後、分波部でデジタル信号処理により各信号をフィルタリングして取り出す。開発したデジタルチャネライザでは、フィルタリングする帯域は最大 500 MHz の帯域内を 2.5 MHz の倍数となる任意の周波数幅で切り出すことができる。この信号をスイッチ部で各信号の通信先の送信ビームに振り分ける。合波部では各送信ビームの通信信号を周波数軸上で重ならないように配置し(合波)し D/A (Digital to Analog) 変換して、各送信ビームの信号を得る。なお、分波部、合波部は同一の ASIC (Application Specific Integrated Circuit) に実装した。またスイッチ部は FPGA (Field Programable Gate Array) に実装した。ここで、デジタルチャネライザの実現には、この分波や合波の実現方法が課題となるが、固定ビーム通信サブシステムではハーフバンドフィルタ方式を用いた [3][4]。

2.4 可変ビーム通信サブシステムの概要

可変ビーム通信サブシステムの概要について記載す

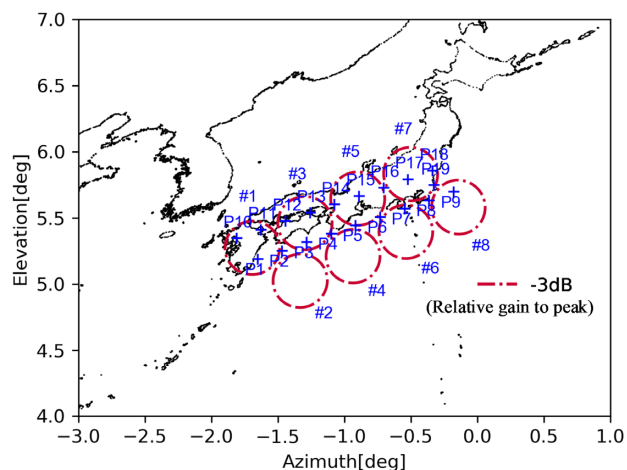


図7 可変ビームの利得規定点と素子ビームのパターン

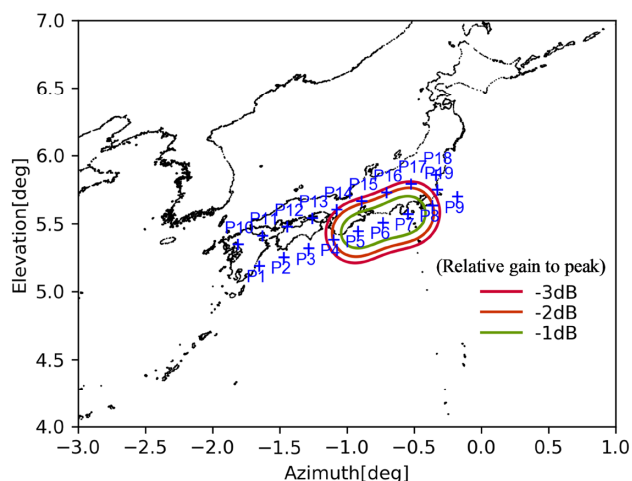


図8 可変ビームの利得規定点と形成したビームの例

る。可変ビーム通信サブシステムは図7に示す素子ビームについての #1～#8 で示すビームパターンを有する8個の素子アンテナの各受信信号に対してDBFプロセッサで励振係数を乗積し、これらを合成することで、様々なビーム形状を有する合成ビームを実現する。このとき、これら素子ビームに重なる形で設定された19個の利得規定点(図7に示すP1～P19)に対して所望の利得を定め、合成ビームの利得がこれら所望利得を満足するように各励振係数は設計されている。例えば図8では19か所中の隣り合った3か所(規定点P5、P6、P7)で所望の利得が得られるように励振係数を設定した場合の合成ビームのパターンのシミュレーション結果を示している[5][6]。

一方、DBFで所望のビーム形状を有するビームを正確に形成するには、各素子アンテナ系統(LNA、ダウンコンバータ、A/D変換器などの機器)の電気特性差に起因する受信信号の誤差を補正する校正が必要である。可変ビームでは、この校正方法として、地上局(校正局)から校正信号を衛星中継器に送出し、各素子ア

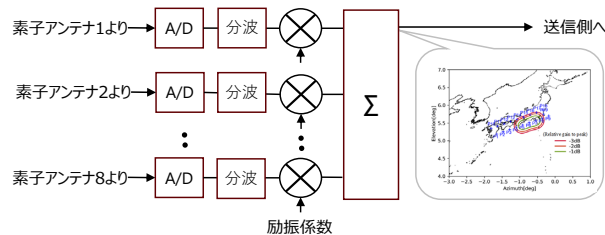


図9 DBFプロセッサの基本構成

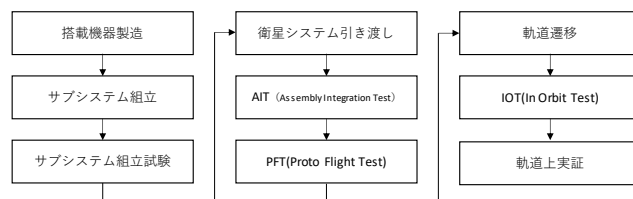


図10 衛星搭載機器の製造から軌道上実証までのフロー

ンテナ系統の受信信号の相互相関を取得し、これを用いて演算により素子アンテナ系統間の誤差を算出、補正する[6]。

2.5 DBFプロセッサ

可変ビーム通信サブシステムのキーコンポーネントであるDBFプロセッサについて、基本構成を図9に示す。受信側でDBFプロセッサは各素子の受信信号を通信信号の帯域ごとに分波し、各素子への送信信号を合波する分波合波部と各素子の信号に励振係数を乗積し合成するDBF部から成る。ここで、分波合波部は固定ビーム通信サブシステムの分波合波部と同じASICを共用している。DBF部は固定ビーム通信サブシステムのスイッチ部と同一のFPGAに実装し、スイッチ機能とDBF機能を切り替えて使用する[7]。

2.6 固定・可変ビーム通信サブシステムの製造・試験状況

固定・可変ビーム通信サブシステムは総務省の電波資源拡大のための研究開発による委託研究として開発を行った。固定ビーム通信サブシステムは2016年に開発を開始し、可変ビーム通信サブシステムは2017年から開発を開始し、いずれも2020年3月に中継器のサブシステムとしての開発を完了した。2020年4月以降は、引き続き総務省の委託研究にて、これら開発したサブシステムの軌道上実証に向けた準備や、軌道上実証で使用する地上系機器の整備等を実施した[8]。

固定・可変ビーム通信サブシステムは、ETS-9衛星システムを開発するJAXAにて衛星システムへの搭載作業としてAIT(Assembly,Integration,Test)が行われ、今後、衛星システムのPFT(Proto Flight Test)等の試験を経て、H3ロケットで打ち上げられる予定で

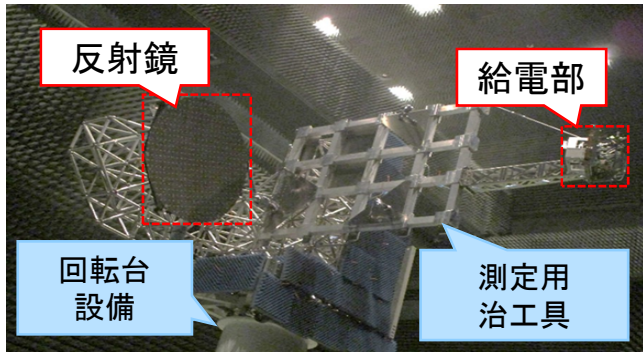


図 11 固定ビーム通信サブシステムアンテナ電気性能試験

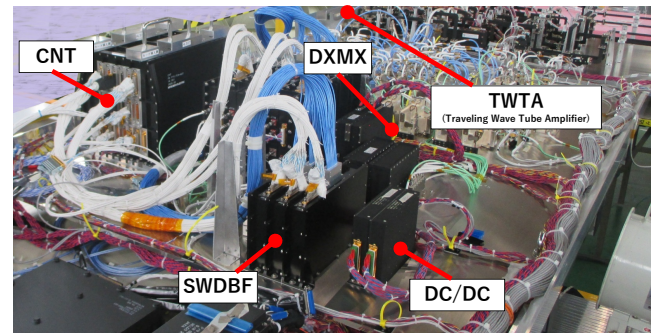


図 13 サブシステム試験の状況 (中継器試験)

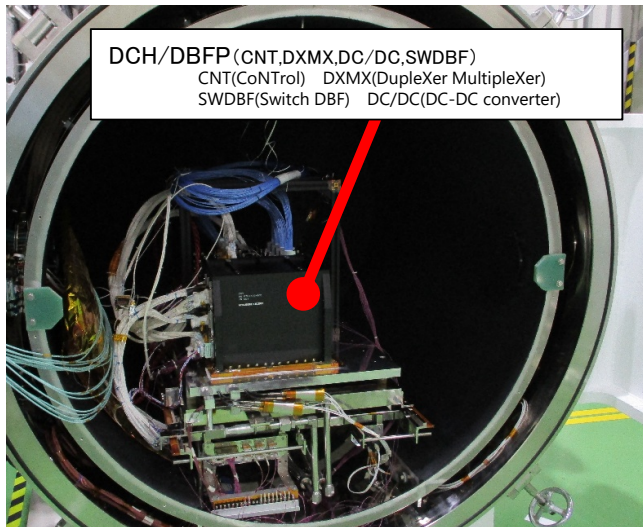


図 12 DCH/DBFP 熱真空試験

ある。ロケットの打ち上げ後、ETS-9 が所定の軌道まで軌道遷移し静止化した後、IOT (In Orbit Test) 及び軌道上実証において開発した機器の実証(通信試験)を行う予定である。図10に機器製造から軌道上実証までのフローを示す。これまで図 10 中の「搭載機器製造」から「PFT」までの製造、試験結果の詳細を報告している [9]-[16]。

2.7 搭載機器製造試験状況

ここではこれまでの搭載機器製造について状況を報告する。図 11 に搭載機器試験状況の例として、固定ビーム通信サブシステムのアンテナ電気性能試験の状況を示す。また、DCH/DBFP (Digital CHannelizer/DBF Processor) については電気性能試験後に実施された熱真空試験の状況を図 12 に示す。

各搭載機器の熱真空試験の結果、衛星搭載に向けて、所定の品質、性能が確認できたため、サブシステム組立へ移行し、サブシステム試験を実施した。

図 13 にサブシステム試験における中継器試験の状況、図 14 に中継器試験の例として利得補正機能試験結

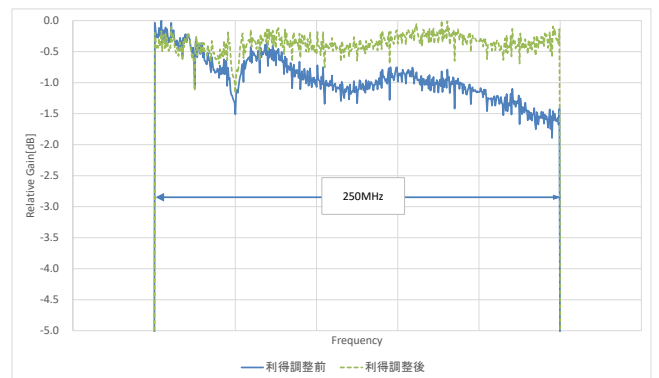


図 14 サブシステム試験結果例 (中継器試験：利得補正試験結果)

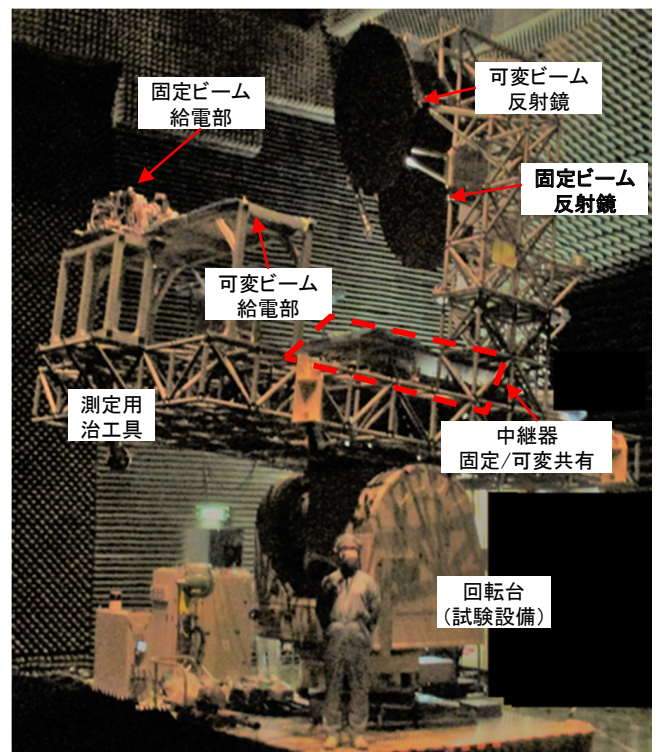


図 15 サブシステム試験 (中継器経由アンテナ特性試験)

果を示す。利得補正機能について想定とおりの動作を確認した。

図 15 にサブシステム試験における中継器を経由し

3 ETS-9 の衛星搭載通信システム

たアンテナ特性試験の状況を示す。CATR (Compact Antenna Test Range) において実際に電波を送受信して特性を確認した。

2.8 衛星システムインテグレーション (AIT)

サブシステム試験終了後、衛星システムへ引き渡し、衛星システムへの搭載と試験(AIT)を実施した。AITには大別して機器動作を確認するDC-INT (Direct Current-Integration)とRF信号を用いて機器動作を確認するRF-INT (Radio Frequency-Integration)がある。

図16にDC-INT完了時の状態を示す。図16は固定・可変ビーム通信サブシステムの各機器を衛星構体パネルに搭載、組立てた状態である。

図17にRF-INT完了時の状態を示す。衛星システム

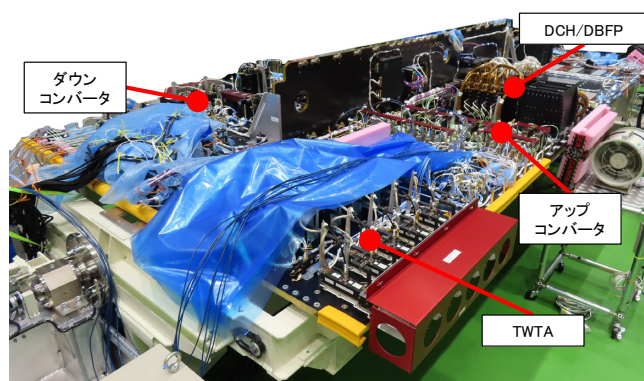


図 16 DC-INT 完了時 (中継器組立て完了状態)

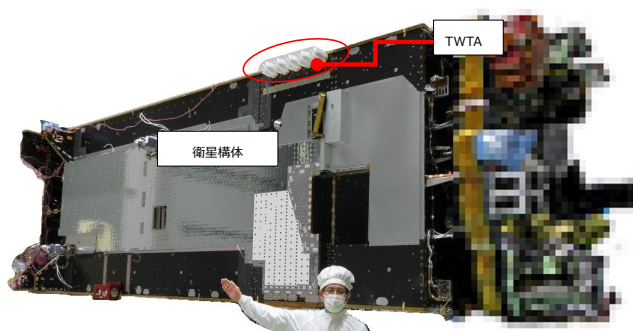


図 17 RF-INT 完了時 (衛星システム搭載完了状態)

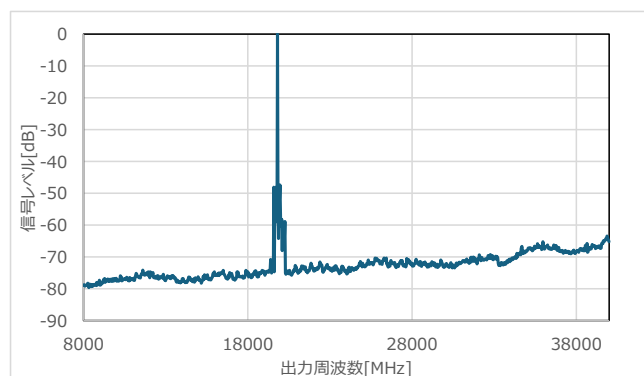


図 18 固定ビーム通信サブシステム試験結果例 (スプリアス)

として組立て済みであり、TWTA の一部のみ確認できる。

図18に固定ビーム通信サブシステムの試験結果例(スプリアス)を示す。所望の信号のみ出力されていることを確認した。

更に可変ビーム通信サブシステムの校正機能[17]について検証を実施した。図19に中心周波数19.825 GHz、帯域幅100 MHzで、軌道上校正時に想定される信号レベルのQPSK変調信号を校正信号として用い、可変ビーム衛星通信サブシステムの8系統(テストコプラの入力ポートから、LNAやダウンコンバータを経由し、A/D変換器出力までのパスを系統と呼称)を一括で校正した場合の校正結果として、校正前後の出力信号スペクトラムの測定結果を示す。

なお、校正信号帯域外については、補外処理によって校正を行っており、250 MHzの全動作帯域をカバーしている。比較として、過年度と同様に、大電力のマルチキャリアCW信号を用いて校正した結果を合わせて示している。校正前には、各系統間の通過特性差の影響により19.75 GHz付近(校正信号の帯域外)で出力レベルが低下している。これに対して、校正後には出力レベル低下が解消し、帯域内でおおむねフラットな特性が得られており、かつ、理想的な校正である大電力のマルチキャリアCW信号を用いた校正結果とおおむね対応した結果が得られていることが分かる。

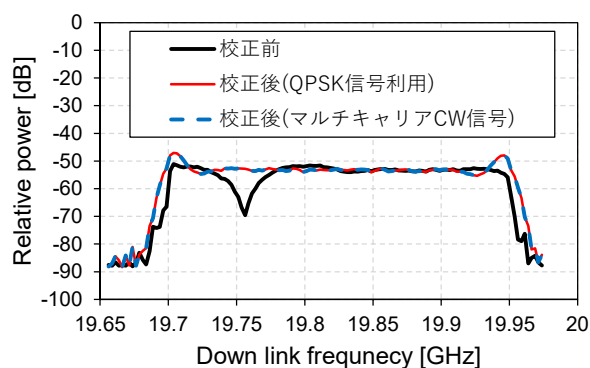


図 19 可変ビーム電気特性結果 (校正機能検証)

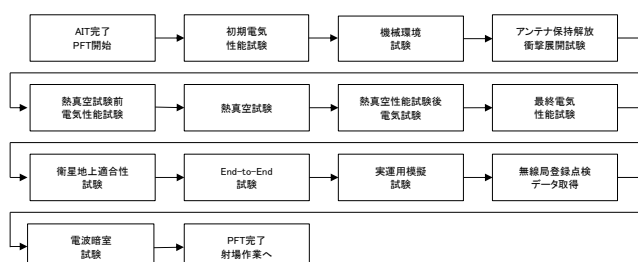


図 20 PFT フロー

2.9 PFT

ここでは固定・可変ビーム通信サブシステムのPFTについて報告する。図20にPFTのフローを示す。

打上げ環境を模擬した機械環境試験、宇宙空間を模擬した熱真空試験などがあり、詳細化(試験方法、手順)を進めている。一例として図21にPFTにおける試験コンフィグレーション案として衛星地上適合性試験の例を示す。

また、End-to-End試験、無線局免許取得に向けた登録点検データ取得についても試験コンフィギュレーションの検討を実施している。また、全体の工程見直しにより、試験の追加・削除・順番入替の可能性があら。

2.10 打ち上げ後の軌道上実証に向けた検討

ここでは打ち上げ後の軌道上実証について報告する。本研究開発においては打ち上げ後に検証する項目を実験要求として実験要求書として定めており、図10に示す「IOT」「軌道上実証」で分担して実施する。

この実験要求に対する試験コンフィギュレーションや手順の詳細検討は実験計画書として検討しており、基本データ取得を行うためのコンフィギュレーションの一

例を図22に示す。ここではアンテナパターン等の基本データ測定を行う為、ETS-9の姿勢制御を行い、測定する。

ほかにも複数ビーム、複数の地上局を用いた実験も実験要求書に記載されており、VSAT (Very Small Aperture Terminal) を日本各地に配置した実験等もあり、並行して検討している。

また、軌道上での検証を行うためには無線局免許の取得が必要になるため、他事業者との国内／国際周波数調整について支援を実施している。無線局免許取得についてはJAXA、NICTと協力して実施する。

3 おわりに

現在打ち上げが計画されている技術試験衛星9号機(ETS-9)に総務省ミッションとして搭載される将来の静止衛星通信の周波数利用効率の向上を目指して開発している固定・可変ビーム通信サブシステムについて概要、製造・試験状況、今後の計画について報告した。引き続きETS-9の打ち上げへ向けた試験作業を継続し、ETS-9打ち上げ後の軌道上実証を目指して開発を進めていく。

謝辞

総務省「電波資源拡大のための研究開発(JPJ000254)」の「多様なユースケースに対応するためのKa帯衛星の制御に関する研究開発」で実施しました。また、本研究開発の遂行にご指導頂いたNICTに感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1 須永 輝巳, 角田 聡泰, 内田 繁, 草野 正明, 中本 成洋, 坂井 英一, 堀江 延佳, “技術試験衛星9号機(ETS-9)固定・可変ビーム通信サブシステムの開発,” 日本航空宇宙学会誌, 73 巻 9 号, 2025.
- 2 江島 二葉, 秋田 稔, 藤村 明憲, 小森 裕一, 中村 和仁, “次世代高速衛星通信用デジタルチャネルライザ,” 三菱電機技報, vol.88, no.2, pp.127-130, 2014.
- 3 須永 輝巳, 山本 裕一, 角田 聡泰, 藤村 明憲, “衛星搭載用デジタル分波/合波の低消費電力化に関する一検討,” 電子情報通信学会総合大会, B-3-13, 2017.
- 4 須永 輝巳, 山本 裕一, 角田 聡泰, 辻 和良, 平栗 慎也, 藤村 明憲, “衛星搭載用チャネルライザの低消費電力化スイッチャルゴリズムの一検討,” 電子情報通信学会総合大会, B-3-14, 2017.
- 5 松木 誠, 田中 泰, 中本 成洋, 高橋 徹, 稻沢 良夫, “受信デジタルビームフォーミングアンテナの校正精度改善に関する一検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-3-27, 2024.
- 6 H.Ono, E.Sakai, Y.Inasawa, M.Kusano, A.Kanasashi, N.Horie, T.Sunaga, and T.Tsunoda, “The Initial Study of Calibrating Receiving Digital Beam Forming in Engineering test Satellite-9,” 37th International Communications Satellite System Conference, Oct. 2019.
- 7 尾野 仁深, 稻沢 良夫, 角田 聡泰, 須永 輝巳, 草野 正明, 金指 有昌, 堀江 延佳, 坂井 英一, “Ka帯デジタルビームフォーミング機能による周波数利用効率化の研究開発ーDBFプロセッサ基本設計ー,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-3-11, 2018.
- 8 内田 繁, 堀江 延佳, 草野 正明, 須永 輝巳, 角田 聡泰, 中本 成洋, 坂井 英一, 三浦 周, 大川 貢, 森川 栄久, 高橋 卓, 辻 宏之, 豊嶋 守生,

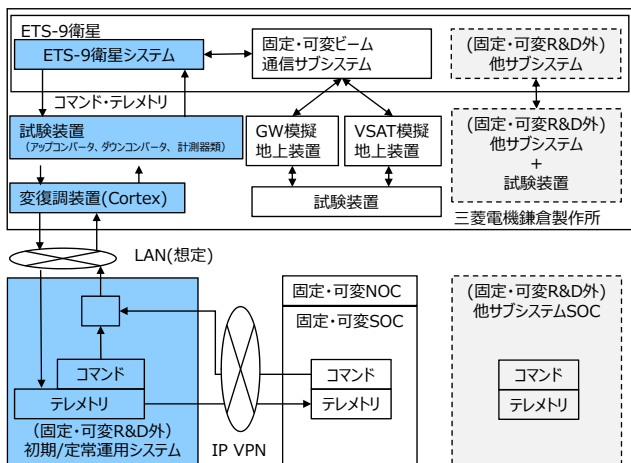


図 21 PFT コンフィグレーション案(衛星地上適合性試験の例)

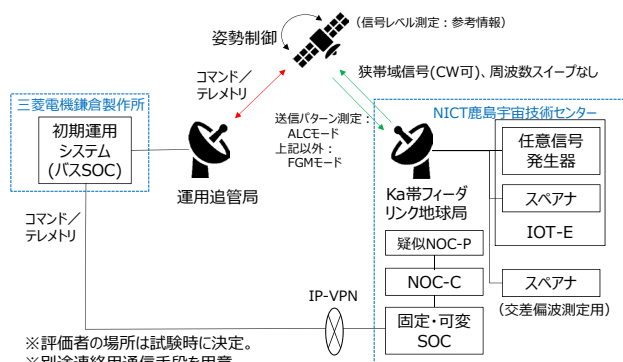


図 22 基本データ取得のコンフィギュレーションの一例

3 ETS-9 の衛星搭載通信システム

“ETS-9 固定・可変ビーム通信サブシステムの試験計画及び衛星通信管制システム開発,” 第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2023.

- 9 草野 正明, 稲沢 良夫, 尾野 仁深, 坂井 英一, 須永 輝巳, 角田 聡泰, 金指 有昌, 堀江 延佳, “技術試験衛星 9 号機 Ka 帯デジタルビームフォーミングの開発,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2019.
- 10 尾野 仁深, 稲沢 良夫, 角田 聡泰, 須永 輝巳, 草野 正明, 金指 有昌, 堀江 延佳, 坂井 英一, “技術試験衛星 9 号機 DBF プロセッサの設計及び試作評価,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2019.
- 11 金指 有昌, 高谷 侑希, 稲沢 良夫, 尾野 仁深, 草野 正明, 須永 輝巳, 角田 聡泰, 堀江 延佳, 坂井 英一, “技術試験衛星 9 号機搭載可変ビーム用アンテナの開発,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2019.
- 12 角田 聡泰, 須永 輝巳, 坂井 英一, 稲沢 良夫, 尾野 仁深, 金指 有昌, 草野 正明, 堀江 延佳, “技術試験衛星 9 号機搭載用マイクロ波モジュール試作評価について,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2019.
- 13 角田 聡泰, 須永 輝巳, 坂井 英一, 稲沢 良夫, 尾野 仁深, 金指 有昌, 草野 正明, 堀江 延佳, “技術試験衛星 9 号機搭載デジタルチャネライザの分波合波部試作評価,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2019.
- 14 角田 聡泰, 須永 輝巳, 坂井 英一, 稲沢 良夫, 尾野 仁深, 金指 有昌, 草野 正明, 堀江 延佳, “技術試験衛星 9 号機搭載デジタルチャネライザの分波合波部試作評価,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2019.
- 15 内田 繁, 堀江 延佳, 草野 正明, 須永 輝巳, 角田 聡泰, 中本 成洋, 坂井 英一, 三浦 周, 大川 貢, 森川 栄久, 高橋 卓, 辻 宏之, 豊嶋 守生, “ETS-9 固定・可変ビーム通信サブシステムの試験計画及び衛星通信管制システム開発,” 第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2023.
- 16 角田 聡泰, 内田 繁, 堀江 延佳, 草野 正明, 須永 輝巳, 中本 成洋, 坂井 英一, 三浦 周, 大川 貢, 森川 栄久, 高橋 卓, 辻 宏之, 豊嶋 守生, “ETS-9 固定・可変ビーム通信サブシステムの試験計画及び試験状況,” 第 68 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1C06, 2024.
- 17 中本 成洋, 松木 誠, 田中 泰, 草野 正明, 内田 繁, “衛星姿勢誤差推定を併用した衛星搭載受信デジタルビームフォーミングアンテナの校正,” 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会, 2025.



草野 正明 (くさの まさあき)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
課長代理
データ通信技術、移動体通信システム、
衛星通信システム



中本 成洋 (なかもと なりひろ)

三菱電機株式会社
情報技術総合研究所
アンテナ技術部
アレーアンテナグループ
シニアエキスパート
博士(工学)
衛星通信用アンテナ、レーダ用アンテナ
【受賞歴】
2013 年 Young Engineer Award, IEEE
AP-S Tokyo Chapter
2012 年 平成 24 年度学術奨励賞, 電子情報通
信学会



坂井 英一 (さかい えいいち)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
アンテナ／望遠鏡制御システム、地球観測
システム、衛星搭載通信システム



角田 聡泰 (つのだ としやす)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
課長代理
衛星搭載用通信機器



須永 輝巳 (すなが てるみ)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
課長代理
博士(工学)
移動体通信技術、衛星搭載機器
【受賞歴】
1997 年 電子情報通信学会 平成 9 年度学術
奨励賞



堀江 延佳 (ほりえ のぶよし)

三菱電機株式会社
防衛システム事業部
防衛宇宙事業推進部 システム技術課
音声コーデック、デジタル信号処理、
衛星通信システム



内田 繁 (うちだ しげる)

三菱電機株式会社
宇宙システム事業部
宇宙事業開発センター
副センター長
広帯域無線通信システム、ホームネットワーク、
衛星通信システム