

## 3-2 通信・放送実験用中継器の全体構成

### 3-2 Configuration for Mobile Communication Satellite System and Broadcasting Satellite Systems

小園晋一  
KOZONO Shin-ichi

#### 要旨

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)に搭載されている移動体衛星通信・放送実験用中継器は、ETS-Ⅷのメインミッションであり、大型展開アンテナ技術、携帯端末による音声・データ通信が可能な静止衛星を用いた移動体衛星通信システム技術及び高品質な音声や画像の伝送を可能とする移動体衛星デジタルマルチメディア放送システム技術の開発並びにそれらの実験・実証を目的としている。

To realize S-band mobile satellite communications and broadcasting systems, onboard mission systems and equipment were designed for the Engineering Test Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ). Voice communication is performed using handheld terminals, high-speed data communications, and multimedia broadcasting through a geostationary satellite. To enhance the efficiency and flexibility of the communication system, the onboard mission system features phased-array-fed reflector antennas with large antennas and baseband switching through onboard processors.

#### [キーワード]

技術試験衛星Ⅷ型, 移動体衛星通信, 移動体衛星放送, S帯, Ka帯, 大型展開アンテナ, オンボード交換機, パケット交換機

Engineering Test Satellite Ⅷ, Mobile satellite communication, Mobile satellite broadcasting, S-band, Ka-band, Large deployable antenna, On-board processor, Onboard packet switch

## 1 はじめに

将来、超小型の携帯端末を使って、いつでも、どこでも、だれとでも通信可能となるパーソナル移動通信システムの実現が期待されている。都市部、市街地域は地上のセルラシステムや無線LANシステムのホットスポットを適切に配置することで、パーソナル移動通信システムが実現されようとしている。通信に使われる無線周波数は、有限な資源であり、かつ、国民全体が平等に恩恵を享受できるように配慮されなければならない。このため、地上システムだけではカバーできない地域や地上システムでは実現不可能なサービスを、衛星を使った通信システムにより提供することは重要な意義を持つ。衛星に静止衛星を使用すると、日本全土が衛星1機でカバーできるためにコストメリットが非常に

高い。加えて、気象変化の影響を受けにくく移動通信に向いているS帯周波数を用いることで、地上系移動通信システムと相まって真のパーソナル移動通信システムの実現に寄与できる可能性を秘めている。

現在、我が国においてS帯の周波数を用いた可搬型の地球局による移動体音声衛星通信が行われているが、近い将来このシステムを発展したものとして携帯型の小型地球局(携帯端末)を用いた利便性の高い移動体音声衛星通信システムの開発、利用が予想される。特に、近年の急速なインターネットの普及を考慮すると、インターネット環境と融合した衛星通信システムの利用に対するニーズが高まってくるものと予想される。

ETS-Ⅷでは、これらの技術開発を目的として、S帯の周波数を利用して小型携帯端末を用いた音

声通信、画像などのマルチメディア情報伝送のための移動体向け高速パケット通信を可能とする移動体通信・放送実験用中継器を搭載している。

本稿では、移動体通信・放送実験用中継器の全体構成、特徴、機能・性能の概要を述べる。

## 2 通信・放送実験用中継器の開発

移動体通信・放送実験用中継器は、ETS-Ⅷのメインミッションであり、下記の技術開発及びそれらの実験・実証を目的としている[1]-[4]。図1に移動体通信・放送実験システムの全体構成と開発機関を示す。表1に今回開発した移動体通信・放送実験用中継器を構成する各機器の設計

表1 移動体通信・放送実験機器設計の特徴

サブシステム	特徴
大型展開アンテナ 反射鏡部 (LDR)	2面搭載(送受分離) 外径寸法:約19m×17m、投影直径:13m メッシュ/トラス構造による14モジュール構成 鏡面精度:2.4mmRMS以下
大型展開アンテナ 給電部 (LDAF)	31素子アクティブフェーズドアレー給電 送信電力:400W級(20W級SSPA×8、10W級SSPA×23) ビーム制御:一括可変と独立可変
S帯コンバータ部 (SCNE)	系統数:3系統(3ビーム対応) 周波数、利得可変機能(地上コマンド)
オンボード プロセッサ (OBP)	Multi-Carrier TDMA(5多重) 非再生中継(フォワード・リターンリンク)再生中継(クロスリンク)/オンボード回線交換 回線容量400チャンネル(1系統)
パケット交換機 (PKT)	スロットドアロハ方式およびパケット予約方式/オンボード・パケット交換方式 系統数:2系統
フィードリンク装 置 (FLCE)	固定型0.8mφオフセットパラボラアンテナ 主系/冗長系同時運用可能 周波数、利得可変機能(地上コマンド)

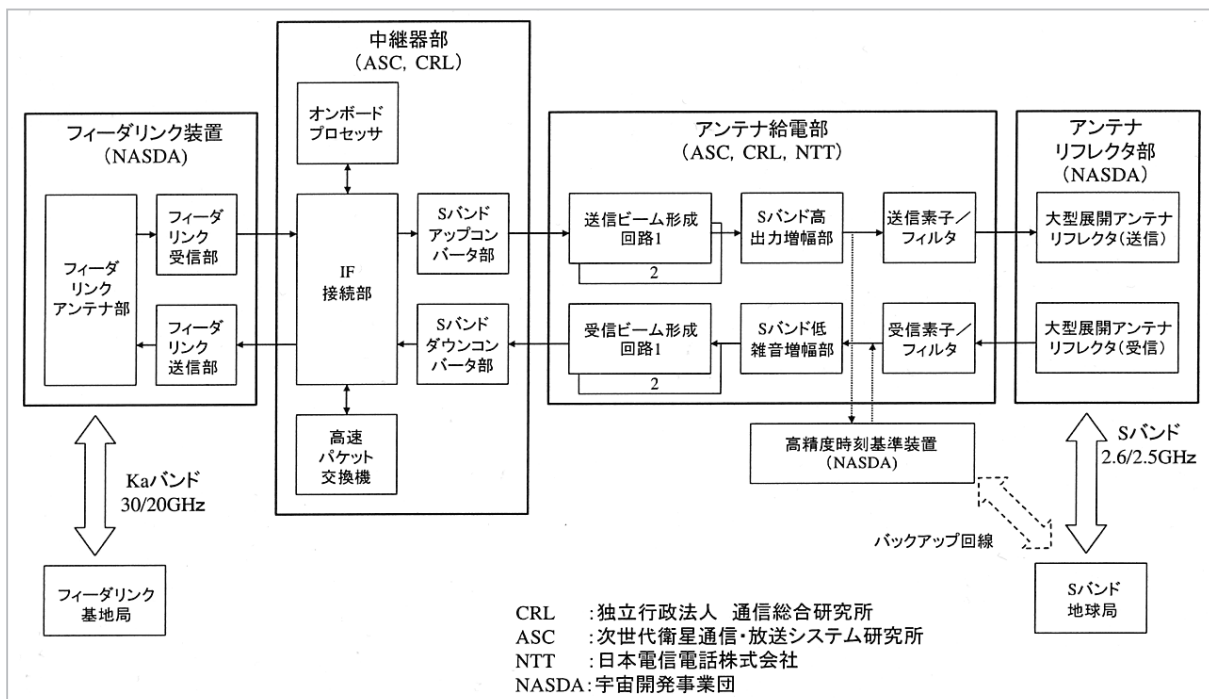


図1 移動体通信・放送実験システムの全体構成と開発機関

の特徴を示す。

- ・世界最大・最先端の大型アンテナ技術
- ・携帯端末による音声・データ通信が可能な静止衛星を用いた移動体衛星通信システム技術
- ・コンパクトディスク (CD) 並みの高品質な音声や画像の伝送を可能とする移動体衛星デジタルマルチメディア放送システム技術

移動体通信・放送用実験機器の開発に当たっては、これらの目的を実現するために以下の基本要件を満足する設計となっている。

- (1) 中継器のルート切替えにより、フィーダリンク⇔サービスリンク、サービスリンク⇔サービスリンクの各通信リンクが設定できること。
  - (2) サービスリンク用衛星搭載アンテナはマルチビーム型とし、日本全土を5ビーム程度でカバーできるアンテナ構成であること。通信ミッション用のアンテナビーム数は、ビーム間周波数共用実験を可能とするため3とする。放送ミッション用アンテナビーム数は1とする。また、ビーム指向方向をコマンドにより制御できること。また、送信用、受信用アンテナビームは互いに十分なアイソレーションを有すること。
  - (3) サービスリンク送信用アンテナで発生する
- 可能性のあるパッシブインタモジュレーション (PIM) を評価するための機能を有すること。
  - (4) サービスリンク用大型アンテナ以外の、他の搭載アンテナ、送受信機による移動体衛星通信・放送実験の一部を可能とするバックアップ機能を有すること。
  - (5) フィーダリンク用衛星搭載アンテナはシングルビーム構成とし、関東地域を指向すること。
  - (6) 各通信リンクを構成する衛星搭載中継器は、線形動作させること。
  - (7) 通信リンクにおいて、フィーダリンクによる品質劣化寄与分は極力小さく (総合 C/N0 の寄与分: 1dB 以下目標) し、搭載機器、地上局装置の性能が適正に配分されていること。
  - (8) 基地局が自動周波数制御に使用するため、フィーダリンク装置は局発信号にコヒーレントな 20GHz 帯ピーコン信号を有すること。
  - (9) 中継器局発信号周波数は、コマンドにより微調整できること。
  - (10) フィーダリンクは、サービスリンクでの周波数共用実験のために、中間周波数を共用とした 30GHz 帯及び 20GHz 帯にそれぞれ

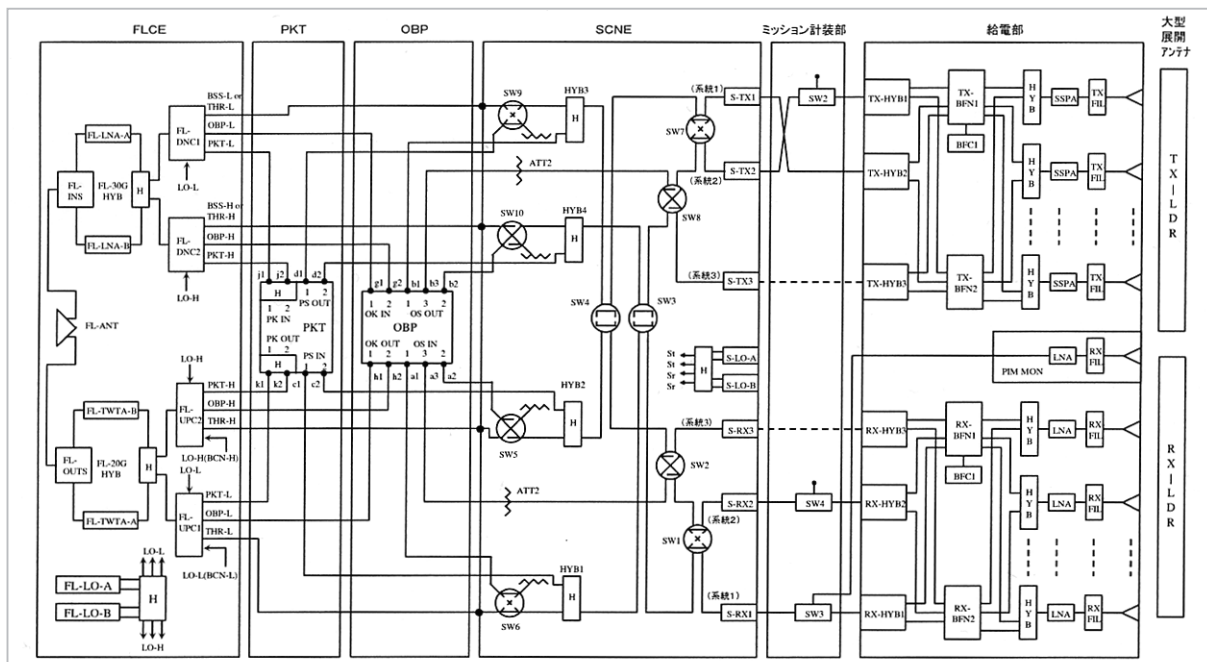


図 2 移動体通信・放送実験用中継器のブロック図

- 周波(High及びLow)を有すること。
- (11) 中継器には利得可変機能を有すること。
  - (12) 移動体音声通信用オンボード交換は、MC-TDMAに対応したチャンネル切替えが可能なこと。また、再生中継、非再生中継に対応できること。
  - (13) パケット通信用交換機は、スロットドアロハ方式を用いて、サービスリンク間及びサービスリンク／フィーダリンク間を接続して移動体地球局向けの高速データ通信を可能にすること。
  - (14) スルーリピータ中継方式によるQPSK等、ほかの通信実験ができること。

### 3 移動体通信・放送実験用中継器の構成

通信・放送実験用中継器は、フィーダリンク装置(FLCE)、搭載交換機部(オンボードプロセッサ(OBP)、パケット交換機(PKT))、S帯コンバータ部(SCNE)、ミッション計装部(MI)、大型展開アンテナ給電部(LDAF)、大型展開アンテナ反射鏡部(LDR)及び給電部放熱パネル(RPNL)から構成されている。図2に通信・放送実験用中継器のブロック図を示す。

フィーダリンク装置は、30GHz帯のアップリンク信号を低雑音増幅し、140MHz帯及び176MHz帯の中間周波数(IF)に変換し、移動体衛星通信・放送用実験機器へ出力する。また、移動体通信・放送実験機器が出力する140MHz帯のIF信号を20GHz帯に変換し、電力増幅してダウンリンク信号として地上実験局へ出力する。同時にフィーダリンク装置内部の局発信号に同期した20GHz帯ビーコン信号をダウンリンク信号として地上実験局へ出力する。

オンボードプロセッサは、移動体音声通信実験において通信信号の接続制御及びチャンネル交換を行う機器である。基地局から移動体局向けのフォワードリンク、移動体局から基地局向けのリターンリンク、移動体局間のクロスリンクと三つの運用経路を持つ。サービスリンクは、3ビームとも運用可能である。フォワードリンク及びリターンリンクは、基地局向けの回線品質を高くすることができるため、フィルタリング

及び交換のみを行う。クロスリンクは移動体局向けの回線品質を上げるために再生中継も行う。

パケット交換機は、パケット信号の交換制御を行う装置である。パケット交換機は、変復調部と交換制御部から構成され、フィーダリンク用に2ポート、サービスリンク用に2ポートの入出力を有しており、フィーダリンク装置及びS帯コンバータ部とは140MHz帯のIF信号にてインタフェースされる。交換制御部にてスイッチング動作を行うための制御情報はパケット信号内に含まれているため、伝送するパケット信号はすべて再生中継を行い、得られた制御情報を基にして交換制御する。

S帯コンバータ部は、3ビーム分のアップコンバータ(S-TX)及びダウンコンバータ(S-RX)と切替えスイッチ(IF-SW)により構成されている。運用モードに応じて、スイッチの切替えを行う。

ミッション計装部は、RF帯(S帯)で使用するスイッチを用いて、バックアップとしての高精度時刻基準装置系と通信系ミッションシステムとの切替え及びPIM系と給電部との切替えを行う。

大型展開アンテナ給電部は2種類のビームフォーミングネットワーク(BFN)装置と、それぞれ31個の高出力固体増幅器(SSPA)、低雑音増幅器(LNA)、送信及び受信アンテナ素子によって構成されており、8台の20W級SSPA、23台の10W級SSPAにより合計で約400Wの高出力を実現している。アンテナ素子には、カップマイクロストリップアンテナ(カップMSA)を用いて、軽量、高剛性な構造を有し、低い隣接素子間結合量を実現した。

ビームフォーミングネットワーク装置は、一括制御BFNと独立制御BFNの2種類を搭載している。一括制御BFNは、複数ビームの形成に必要な励振振幅と位相の共通項を一括して制御することにより、衛星上において、機械、熱、そして電気的原因で発生する指向性誤差を簡単に補正できる。また、独立可変BFNは各ビームの指向性パターンを独立に制御することにより、各ビームを地球局から自在に制御できる。

大型展開アンテナ反射鏡は、移動体局の小型化を図るため、直径13mΦ相当の大型展開アンテナを送受信にそれぞれ1面ずつ搭載している。フェーズドアレー給電方式により、柔軟な

ビーム設定を可能としている。S帯は三つのビームを使用できる。また、実験のため従来のベントパイプ式の中継も可能である。

給電部放熱パネルは、送信給電ユニットで発生した熱を宇宙空間に放散させるパネルで、南北それぞれに1枚実装されている2枚の放熱パネルで構成される。

#### 4 移動体通信・放送実験用中継器の機能・性能

表2に移動体通信・放送実験用中継器の主要諸元を示す。通信形態としては、パケット交換、

表2 移動体通信・放送実験用中継器の主要諸元

周波数	<ul style="list-style-type: none"> <li>通信 2655.5~2658.0 MHz (up)</li> <li>通信 2500.5~2503.0 MHz (down)</li> <li>放送 2537.5~2540.0 MHz</li> <li>フィーダリンク 30.6 GHz (up)/20.8 GHz (down) 帯</li> </ul>
偏波	<ul style="list-style-type: none"> <li>サービスリンク (S帯) 左旋円偏波 (up/down)</li> <li>フィーダリンク (Ka帯) 右旋円偏波 (up)、左旋円偏波 (down)</li> </ul>
アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型展開アンテナ 送・受信 (S帯) 13mφ (投影径)</li> <li>フィーダリンクアンテナ 0.8mφ</li> </ul>
EIRP	<ul style="list-style-type: none"> <li>63.8 dBW (ピーク)</li> <li>61.8 dBW (エリア端)</li> </ul>
情報速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>音声 5.6 kbps</li> <li>データ 32 kbps</li> <li>パケット ~256 kbps</li> <li>放送 220 kbps×6 ch (OFDM)</li> <li>応用通信 ~1536 kbps</li> </ul>
変調・アクセス方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>通信 π/4シフト QPSK MC-TDMA (5多重)</li> <li>パケット π/4シフト QPSK Slotted-ALOHA 及びパケット予約方式</li> <li>放送 OFDM, QPSK 等</li> </ul>
チャンネル容量	<ul style="list-style-type: none"> <li>通信 800 ch/衛星 (音声)</li> <li>パケット 標準 125 パケット/sec/系統</li> <li>放送 220 kbps×6 ch (OFDM)</li> </ul>
給電方式	31素子フェーズドアレイ
ビーム数	<ul style="list-style-type: none"> <li>通信 最大3ビーム</li> <li>パケット 最大2ビーム</li> <li>放送 1ビームの成形ビーム方式</li> </ul>

オンボード交換及びスルーリピータ中継方式がある。図3に移動体通信・放送実験用中継器の回線構成を示す。回線構成としては基地局からのフィーダリンク 30GHz帯と移動体局向けのサービスリンク 2.5GHz帯を用いたフォワードリンク、移動体局からのサービスリンク 2.6GHz帯と基地局向けのフィーダリンク 20GHz帯を用いたリターンリンク及び移動体局間のサービスリンクを用いたクロスリンクがある。

パケット交換機及びオンボードプロセッサは、140MHz帯のIF信号で基地局向けのKa (20/30GHz)帯フィーダリンク用及び移動体局向けのS (2.5/2.6GHz)帯サービスリンク用RF機器に接続される。

衛星に交換機を搭載することにより、移動体局同士が伝播遅延の少ない高品質の通信が可能となっている。また、衛星搭載アンテナを大型化することにより地上局をより小型化することができる。また、大型展開アンテナ反射鏡不展開に対処し、サービスリンクを形成するための高精度時刻基準装置 (HAC) の送受信系との接続が用意されている。

表3に実験運用モードを示す。音声通信、パケット通信、放送の同時運用はなく、それぞれ単独で実験を行う。オンボード交換モードとスルーリピータモードの同時運用はしない。また、ビーコンは常時出力される。

表3 実験運用モード

		音声	パケット	放送	応用
オンボード交換	通信	○			
	音声		○		
スルーリピータ	通信				○
	放送			○	

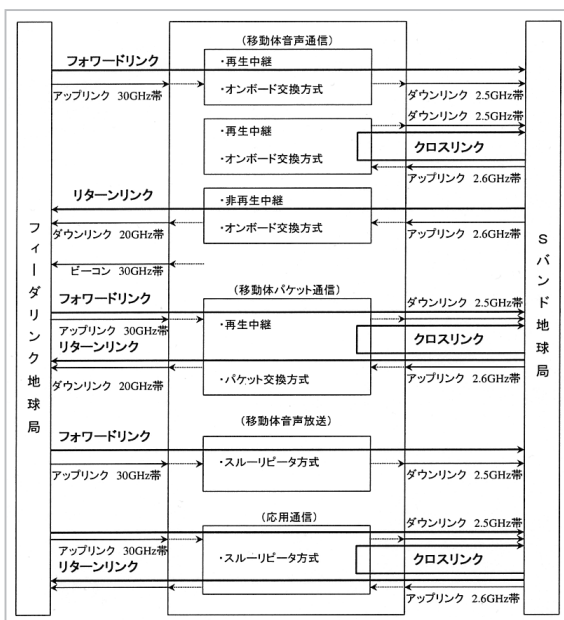


図3 移動体通信・放送実験用中継器の回線構成

#### 4.1 アンテナカバレッジ

衛星に搭載されているKa帯フィーダリンクアンテナパターン、は図4に示すように関東地方をカバーしている。また、サービスリンクは移動体通信用が図5に示すように、日本本島をカバーするマルチビーム (5ビーム) のエリアの内、同時に3ビームで照射する。これらの3ビームは固定ビームあるいは可変ビームで構成され、可変ビームは5ビームのどの位置へも変更できる。移動体放送用は関東、関西地域を図6に示すように1ビームでカバーする。

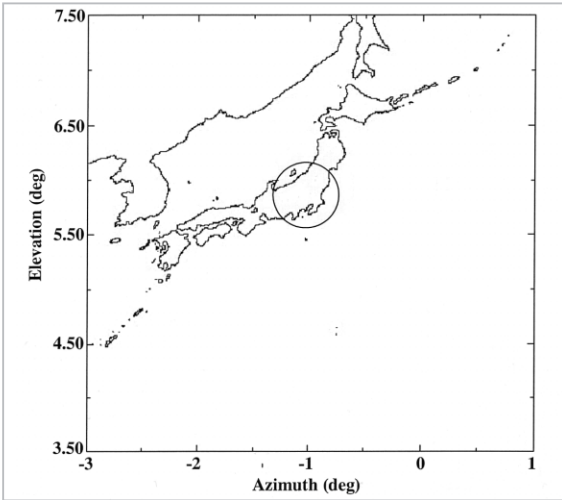


図4 フィーダリンクパターン

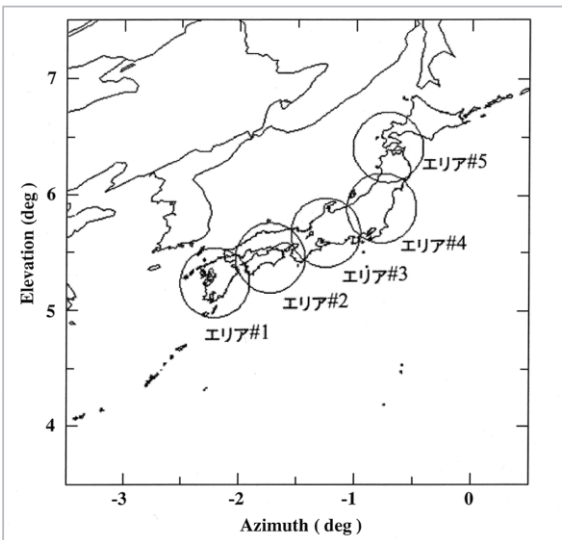


図5 サービスリンクパターン(通信)

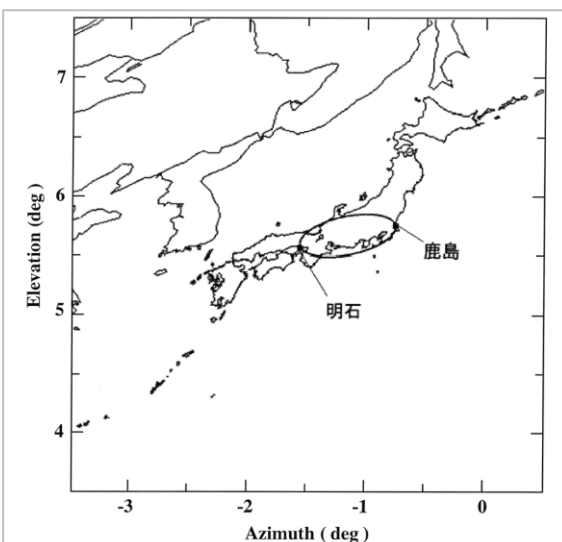


図6 サービスリンクパターン(放送)

## 4.2 周波数配置

図7にKaバンドの周波数配置を、図8にSバンドの周波数配置を示す。フィーダリンク周波数はアップリンクで30.6GHz帯、ダウンリンクで20.8GHz帯を使用している。サービスリンク周波数は、アップリンクが2.6GHz帯、ダウンリンクが2.5GHz帯を使用している。

## 5 おわりに

本稿では、移動体衛星通信・放送実験用中継器の全体構成について述べた。システムを構成する衛星搭載アンテナ、アンテナ給電部、搭載交換機等の機能・性能については以下に続く他の論文で詳細に述べることにする。

移動体衛星通信・放送実験は、次世代の移動体衛星通信の要素技術を解決していくのに不可欠のものであり、多くの成果が期待される。

## 謝辞

試作モデルの開発、フライト品の開発、調整、試験に携わってこられたNEC東芝スペースシステム株式会社、三菱電機株式会社及び関連メーカー各位に感謝いたします。また、ETS-Ⅷシステム、他のミッション機器との調整及び通信・放送実験用中継器の試験等に携わっていただいた宇宙航空研究開発機構(旧宇宙開発事業団)の関係各位に感謝いたします。

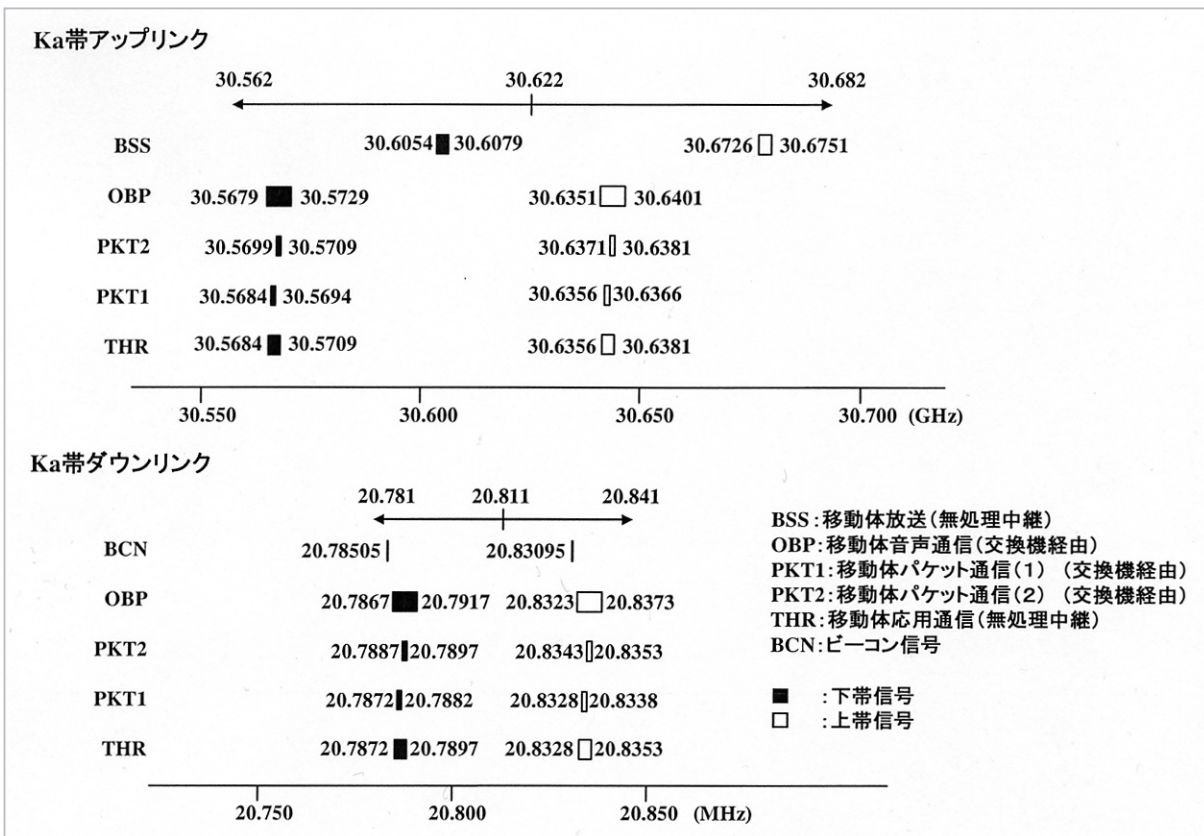


図7 Kaバンド周波数配置

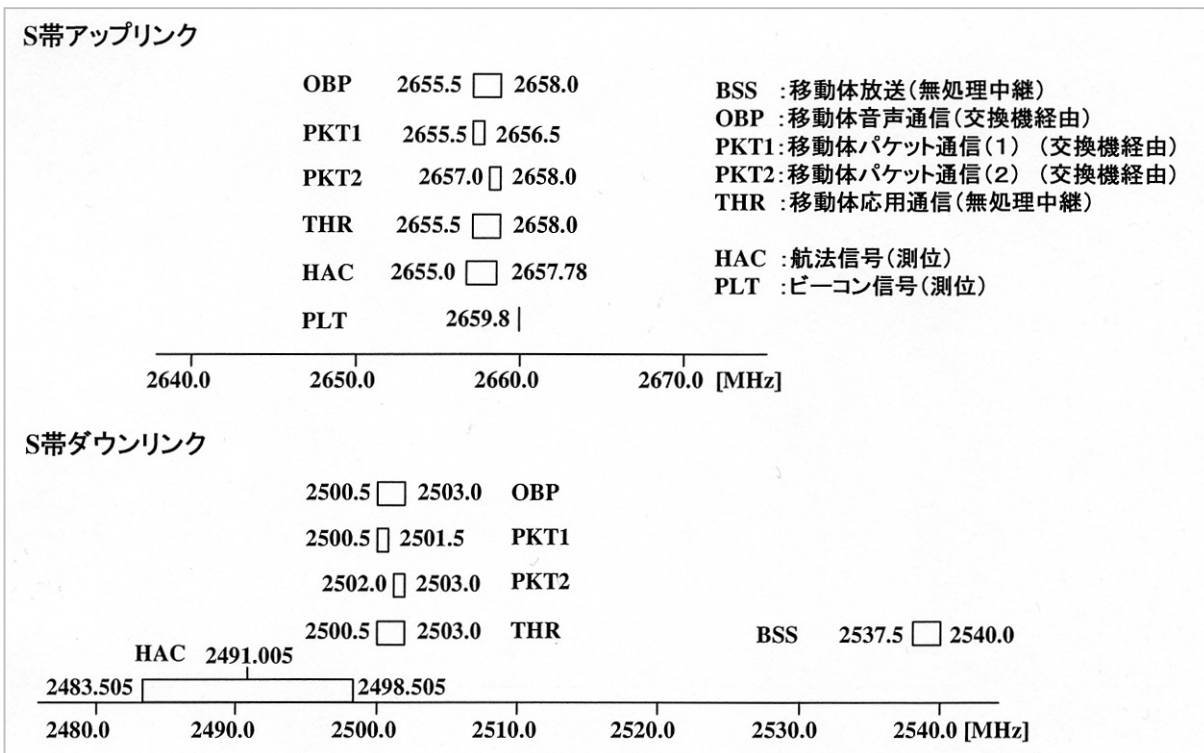


図8 Sバンド周波数配置

参考文献

- 1 Y.Kwakami, S.Yoshimoto, Y.Matsumoto, T.Ohira, and T.Ide, "S-band Mobile Satellite Communications and Multimedia Broadcasting Onboard Equipment for ETS-Ⅷ", IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol. E82-B, No. 10, October 1999.
- 2 M.Homma, S.Yoshimoto, N.Natori, Y.Tsutsumi, "Engineering Test Satellite-8 for Mobile Communications and Navigation Experiment", IAF-00-M.3.01.
- 3 N.Hamamoto, Y.Hashimoto, M.Sakasai, Y.Tsuchihashi, and M.Yoneda, "An Experimental Multimedia Mobile Satellite Communication System using the ETS-Ⅷ Satellite", AIAA 98-1.
- 4 平良真一, "移動体衛星通信・放送システム技術の宇宙実証－ETS-Ⅷの概要－", 2003 電子情報通信学会総合大会TB-1-3, 2003年3月.



こ ぞの しん いち  
小園 晋一

無線通信部門鹿島宇宙通信センターモ  
バイル衛星通信グループ主任研究員衛  
星通信